

## A2: Pesquisa aplicada à localização de unidades de saúde

Relatório Final

Inteligência Artificial

Mestrado Integrado em Engenharia Informática e Computação

Daniel Garrido - [up201403060@fe.up.pt](mailto:up201403060@fe.up.pt)

Nuno Castro - [up201406990@fe.up.pt](mailto:up201406990@fe.up.pt)

Sara Santos – [up201402814@fe.up.pt](mailto:up201402814@fe.up.pt)

21 de Maio de 2017

## **Conteúdo**

1. Objetivo.....	2
2. Especificação.....	2
3. Desenvolvimento.....	3
4. Experiências .....	5
5. Melhoramentos.....	9
6. Recursos .....	9
7. Conclusões .....	10
Anexos.....	11
A. Manual Utilizador .....	11

## 1. Objetivo

O objetivo deste projeto é determinar a melhor localização de um conjunto de unidades de saúde numa região constituída por múltiplas localidades, minimizando o seu custo de construção e maximizando a população servida. Considera-se que a localidade deve estar a uma distância menor ou igual a um valor a especificar da unidade de saúde mais próxima.

É permitida a especificação do conjunto de localidades e respetivas populações a partir de ficheiros de texto que devem ser fornecidos aquando da execução do programa. Considera-se também que o custo de construção de uma unidade de saúde varia com a localidade.

## 2. Especificação

De forma a representar a região (conjunto de localidades) na qual será aplicado a nossa pesquisa, o utilizador deverá fornecer dois ficheiros de texto que contêm toda a informação necessária para a representação da região do problema: um ficheiro relativo às localidades, contendo o seu nome, custo de construção e população e um ficheiro relativo a estradas (conexão entre localidades), apresentando o nome das localidades que conecta e a distância entre as duas.

Inicialmente também é pedido ao utilizador, através de uma simples interface em linha de comandos, a distância máxima a que as localidades devem ficar de um centro de saúde e o número de centros de saúde a colocar.

A resolução deste problema focou-se maioritariamente no uso do algoritmo  $A^*$ , usando como um auxiliar à pesquisa o algoritmo Dijkstra.

O algoritmo de Dijkstra encontra o caminho menos dispendioso entre dois nós num grafo direcionado ou não-direcionado com arestas com peso positivo. No contexto do nosso problema é bastante útil para determinar o caminho mais curto entre duas localidades e determinar quais as localidades servidas por um centro de saúde (que se encontram a uma distância menor do que a máxima definida).

O algoritmo  $A^*$  é um algoritmo de pesquisa informada que procura de todos os caminhos possíveis aquele que possui o custo mais baixo aquele que considera chegar à solução no espaço de tempo mais curto. Como tal, será esta o nosso meio para determinar quais as melhores localidades para colocar os centros de saúde.

$$f(n) = g(n) + h(n), \text{ onde}$$

- $g(n)$  é o custo da solução parcial até ao momento
- $h(n)$  heurística custo estimado do objetivo

Visto que a resolução do nosso problema tem duas fases (fase inicial, com número dado de unidades de saúde e fase secundária em que o número de unidades de saúde deve

ser calculado pelo programa) iremos ter duas abordagens ligeiramente diferentes ao problema.

Dado que se pretende maximizar a população que uma unidade de saúde serve e o custo da sua construção, foi criado um  $ratio = custo/população$  relativo a cada localidade. Este ratio irá ser usado para o cálculo do custo de cada nó em ambas as fases.

Considerando a abordagem à primeira fase deste problema. Para além do  $ratio$  já mencionado, foi também tido em conta a distância que uma localidade se encontra de um centro de saúde, priorizando as unidades que se encontram mais distantes e tentando minimizar, de forma indireta, a distância média de todas as localidades ao centro de saúde mais próximo.

Como tal, temos que  $h(n)$  será a soma dos  $x$  localidades que tenham menor

$ratio + \frac{\text{distância máxima}}{\text{distância ao centro de saúde mais próximo}}$ , sendo  $x$  o número de unidades de saúde ainda não atribuídos.

É de notar que não é assegurado que todas as localidades fiquem a uma distância menor que a distância máxima definida, porém a heurística “dá prioridade” às unidades de saúde que ainda não estão servidas por nenhum centro, considerando a parcela  $\frac{\text{distância máxima}}{\text{distância ao centro de saúde mais próximo}}$ .

Na segunda fase, o objetivo é colocar o menor número de centros de saúde de forma a servir toda a população, minimizando os custos de construção e distância às unidades de saúde. A solução foi encontrada recorrendo ao algoritmo Dijkstra, ou seja, não existe o cálculo de  $h(n)$ , considerando apenas o custo atual da solução até ao momento. Como referido anteriormente, a abordagem para encontrar o número e a localização dos centros a colocar numa região foi um pouco diferente à realizada para um número fixo de unidades de saúde.

Para além de ser considerado o  $ratio$  de cada nó (localidade), foi tido em conta população servida (soma da população da localidade com a população das localidades que se encontram a uma distância menor do que a máxima).

$$g(n) = ratio + \frac{10000}{\text{população servida}} + \frac{\text{distância máxima}}{\text{distância ao centro de saúde mais próximo}}$$

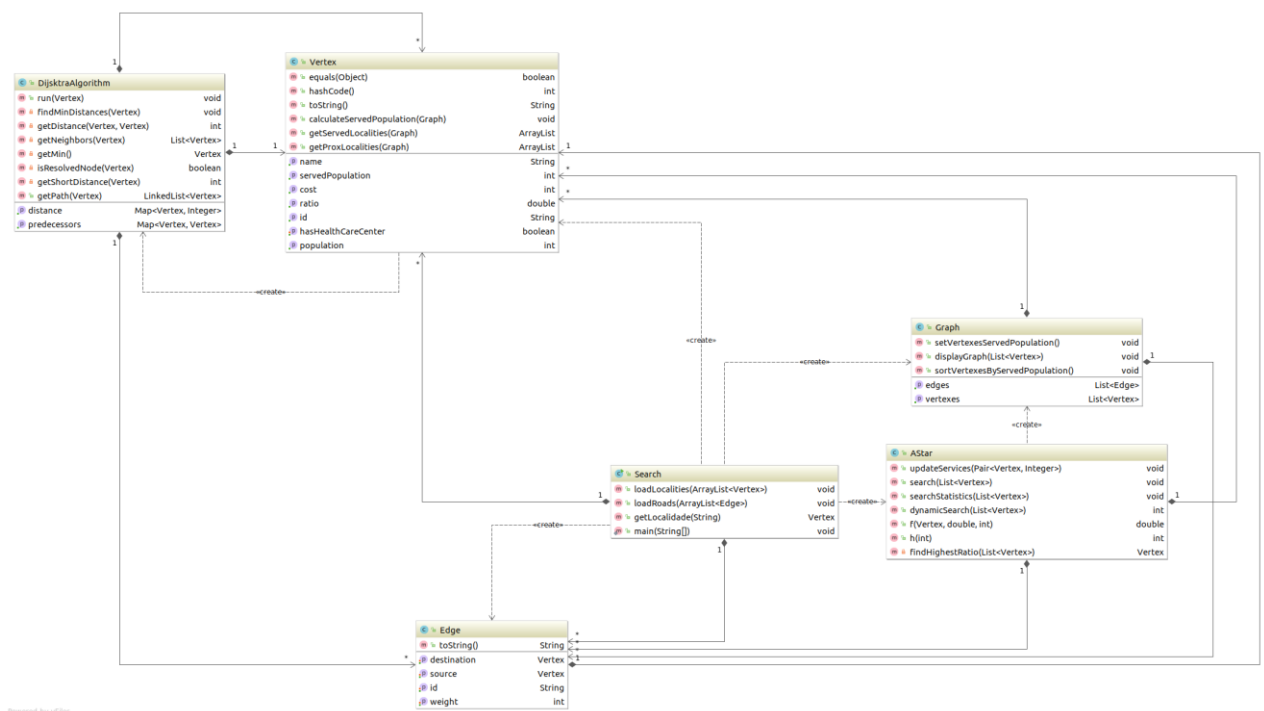
Foi utilizado um fator de 10000 para dividir a população servida, de forma a obter valores na mesma ordem de grandeza iguais às outras parcelas consideradas.

### 3. Desenvolvimento

O desenvolvimento deste projeto foi feito recorrendo à linguagem Java. Como tal, foi utilizada a biblioteca *JUNG* que facilita a representação gráfica de grafos em aplicações desenvolvidas nesta linguagem e a biblioteca *JavaFX* para facilitar o uso de pares de informação. A aplicação foi também desenvolvida utilizando o sistema operativo Windows 10, utilizando também o ambiente de desenvolvimento *IntelliJ IDEA*.

Em termos estruturais, a aplicação encontra-se dividida num módulo apenas, no entanto, em termos lógicos pode-se dividir em 2 módulos: o módulo de informação e o módulo de pesquisa. O módulo de informação é onde se encontra o grafo e todas as estruturas de dados relevantes para a sua representação, nomeadamente os nós e as arestas. No módulo de pesquisa encontram-se os algoritmos de pesquisa implementados relevantes para este projeto, os algoritmos de Dijkstra e A\*.

Na figura abaixo é apresentado o diagrama de classes para o projeto:



**Figura 1** Diagrama de Classes

Para facilitar tanto a execução do programa como a confirmação dos resultados, foi desenvolvida uma interface de utilização bastante simples. Inicialmente indica-se quais são os ficheiros de onde se vão retirar as localidades e as ligações entre as mesmas, a distância máxima a uma unidade de saúde e o número de unidades de saúde pretendidas (0 para este ser calculado dinamicamente).

Na figura abaixo é apresentado um exemplo de utilização da interface:

```

Load Localities from file:
loc.txt
Load Roads from file:
est.txt
Max distance to Health Care Center (in km):
8
Number of Health Care Centers (zero for dynamic calculation):
0
Number of localities: 23
Number of roads: 64

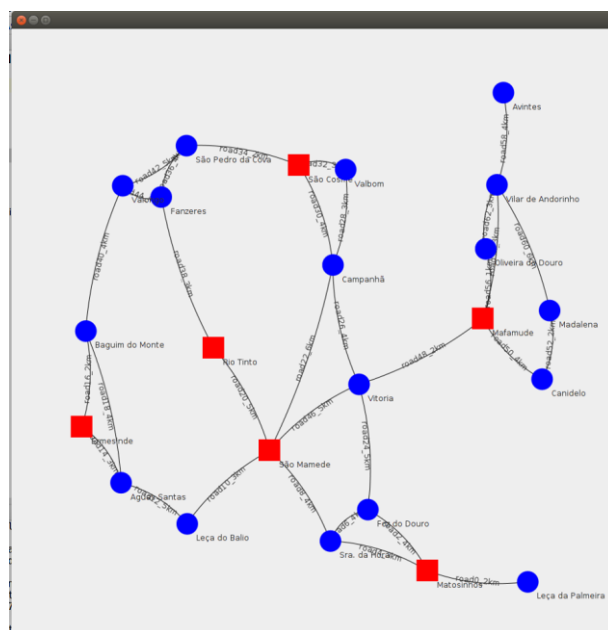
Average distance to Health Center: 9.666667
Served Population: 509432
Total Cost: 7994 thousands euros

Number of Health Care Centers: 6
Result Localites to place Health Care Centers:
Rio Tinto
Ermesinde
Mafamude
Matosinhos
São Cosme
Leça do Balio

```

*Figura 2 Interface com utilizador*

De modo a ser mais perceptível a visualização da solução do problema, o grafo com todas as localidades é representado graficamente indicando as localidades com unidades de saúde a vermelho conforme mostra a figura abaixo.



*Figura 3 Representação gráfica da solução*

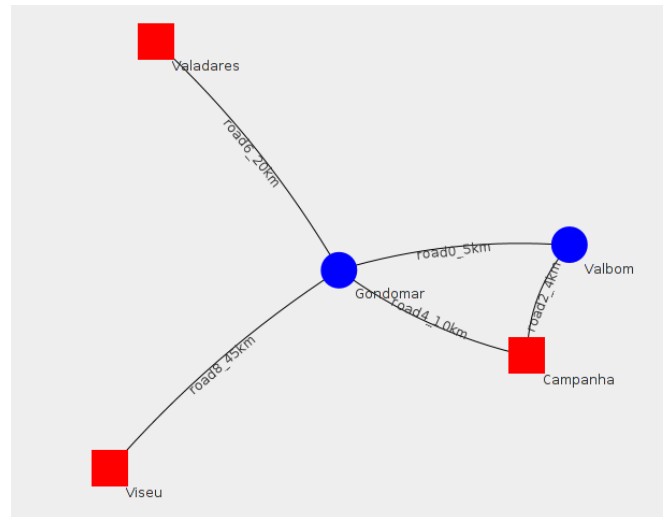
#### 4. Experiências

Para realizar as experiências construímos dois mapas: um pequeno (com 5 localidades e 5 ligações) e um grande com cerca de 20 localidades e 30 ligações.

Com o mapa pequeno conseguimos saber intuitivamente qual seria a melhor solução para o problema, o que torna este cenário ideal para testar o algoritmo numa fase inicial e de seguida testar no mapa maior.

## Experiência #1

Mapa pequeno com número fixo de US de 3:



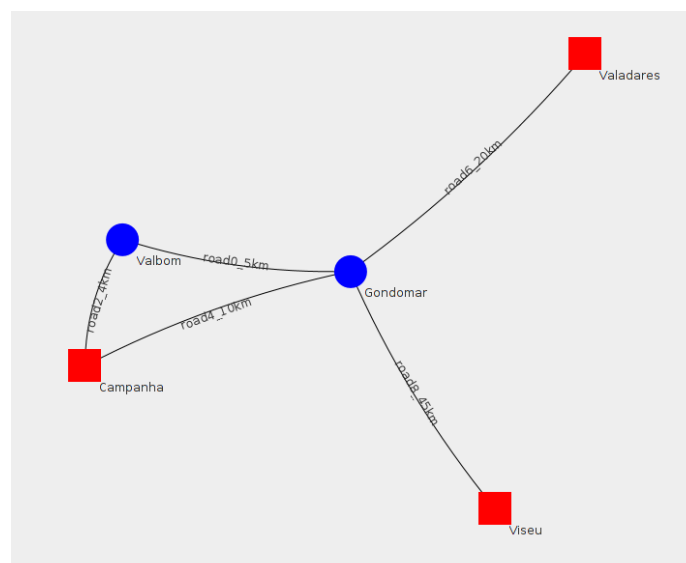
Average distance to Health Center: 4.3333335  
Served Population: 96126  
Total Cost: 1936 thousands euros

Result Localites to place Health Care Centers:  
Viseu  
Campanha  
Valadares

*Figura 4 Resultados Experiência #1*

## Experiência #2

Mapa pequeno com número dinâmico de US:



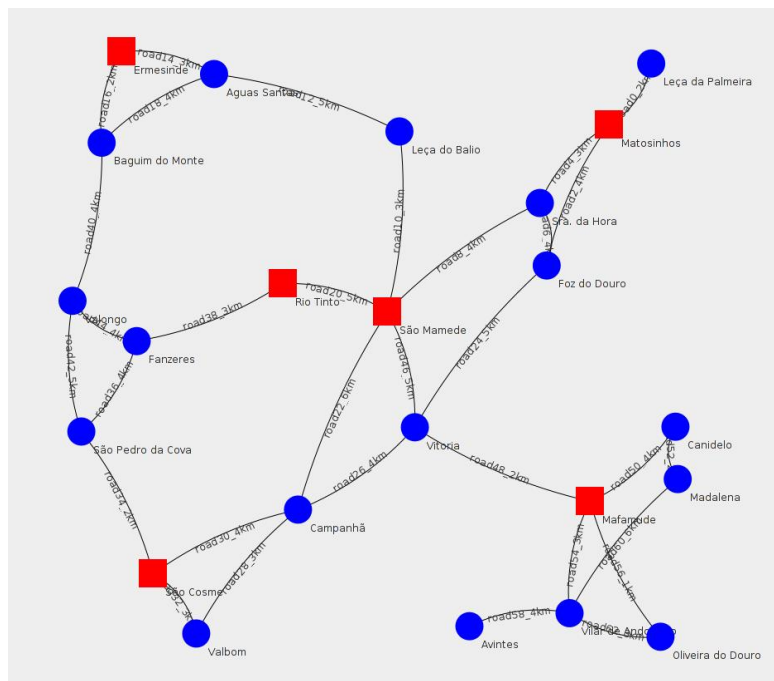
Average distance to Health Center: 4.3333335  
 Served Population: 96126  
 Total Cost: 1936 thousands euros

Number of Health Care Centers: 3  
 Result Localites to place Health Care Centers:  
 Viseu  
 Campanha  
 Valadares

*Figura 5 Resultados Experiência #2*

### Experiencia #3

Mapa grande com número fixo de US de 6:



Average distance to Health Center: 9.666667  
 Served Population: 509432  
 Total Cost: 7786 thousands euros

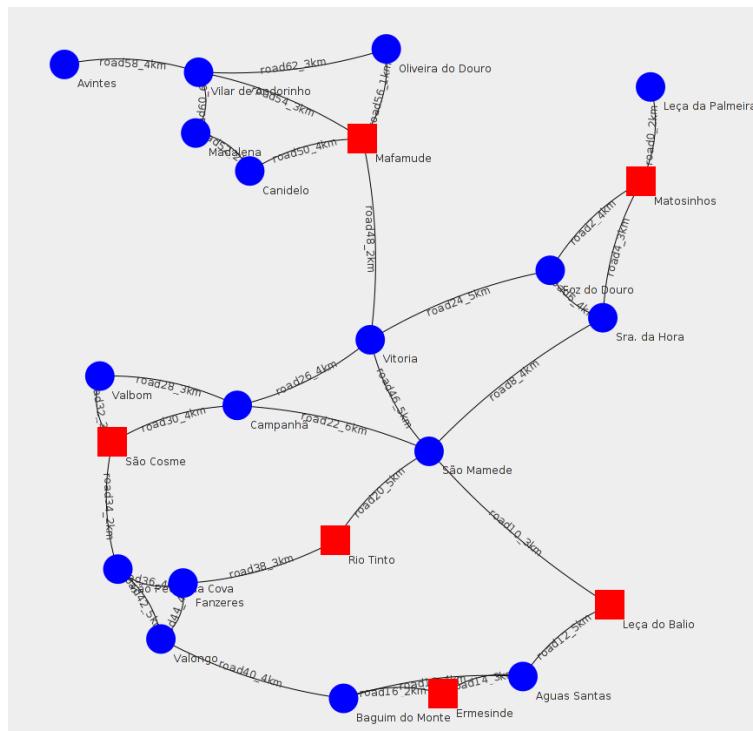
Result Localites to place Health Care Centers:  
 Rio Tinto  
 Ermesinde  
 Mafamude  
 Matosinhos  
 São Cosme  
 São Mamede

*Figura 6 Resultados Experiência #3*



## Experiencia #4

Mapa grande com número dinâmico de US:



Average distance to Health Center: 9.666667  
Served Population: 509432  
Total Cost: 7994 thousands euros

Number of Health Care Centers: 6  
Result Localites to place Health Care Centers:  
Rio Tinto  
Ermesinde  
Mafamude  
Matosinhos  
São Cosme  
Leça do Balio

**Figura 7** Resultados Experiência #4

## Conclusões:

As experiências realizadas no mapa pequeno obtiveram os mesmos resultados. Seria de esperar tais resultados visto que o mapa não oferece muitas opções em termos de onde colocar as unidades de saúde para obter uma resposta satisfatória. Estas respostas são aquelas a que nós próprios chegamos usando simples cálculos e intuição.

Por outro lado, as experiências realizadas no mapa maior obtiveram respostas parecidas, mas não iguais. O algoritmo com número de Unidades de Saúde definido pelo utilizador obteve a melhor resposta, com um custo total menor para o mesma população servida e distância média da população a uma unidade de saúde iguais. Achamos que tal é devido ao facto de o primeiro caso usar um algoritmo com uma função heurística, ao contrário do modo dinâmico, que usa Dijkstra.

## 5. Melhoramentos

De forma a aproximar mais dos objetivos propostos inicialmente, poderíamos identificar os casos em que não é possível que todas as localidades fiquem a uma distância de uma unidade de saúde menor do que a máxima definida, indicando, nesses casos, quantos mais centros seriam necessários.

Para outro lado, também poderíamos abordar mais profundamente a segunda fase do projeto, na qual o programa deve calcular o número de unidades a colocar, criando uma heurística aplicada ao problema, que compara o custo de construir uma unidade de saúde com a otimização dos serviços às populações.

## 6. Recursos

De seguida são enumerados alguns dos recursos principais utilizados para o desenvolvimento do projeto:

- Apontamentos das aulas de Inteligência Artificial  
[https://paginas.fe.up.pt/~eol/IA/1617/ia\\_.html](https://paginas.fe.up.pt/~eol/IA/1617/ia_.html)
- Algoritmo A\*: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Algoritmo\\_A\\*](https://pt.wikipedia.org/wiki/Algoritmo_A*),  
<http://web.mit.edu/eranki/www/tutorials/search/>
- Algoritmo Dijkstra: [https://pt.wikipedia.org/wiki/Algoritmo\\_de\\_Dijkstra](https://pt.wikipedia.org/wiki/Algoritmo_de_Dijkstra)
- JUNG: <http://jung.sourceforge.net/>

O trabalho foi dividido de igual modo por todos os membros do grupo, sendo que a definição da heurística para o algoritmo A\* foi decidida em conjunto com todos os elementos do grupo. Sendo assim, a percentagem aproximada de trabalho efetivo para cada elemento do grupo é 33%.

## **7. Conclusões**

De forma sucinta o objetivo do projeto foi bem-sucedido. Conseguimos cobrir todos os pontos propostos para a funcionalidade do programa, no entanto a segunda abordagem poderia ser mais desenvolvida, garantindo não apenas um número mínimo de centros de saúde para servir uma região, mas também minimizar a distância média das localidades ao centro de saúde mais próximo.

Os testes que efetuamos revelaram resultados esperados, sendo possível visualizar na representação gráfica do conjunto de localidades, uma atribuição ponderada das unidades de saúde.

## Anexos

### A. Manual Utilizador

Para executar a aplicação é necessário que o projeto seja importado para um IDE que suporte a linguagem Java. De seguida é necessário adicionar as bibliotecas *JavaFX* e *JUNG* ao *classpath* do projeto para que o programa tenha acesso a tudo o que precisa para compilar corretamente.

Após executar a aplicação, segue-se uma série de questões às quais o utilizador deverá responder. As primeiras duas questões são responsáveis por carregar a memória do programa com dados das localidades e ligações entre as mesmas. Como tal, deverão seguir uma sintaxe própria:

#### Ficheiro de localidades:

Nome da localidade : Número de habitantes : Custo de construção:

```
1 Foz do Douro:11000:1183
2 Matosinhos:30984:1690
3 Leça da Palmeira:17215:1301
4 Sra. da Hora:27747:1791
5 Campanhã:15456:1832
6 Rio Tinto:50713:883
7 São Mamede:23122:1560
8 Leça do Balio:17571:1768
9 Baguim do Monte:14102:1553
10 Valbom:14407:1367
11 São Cosme:27047:1519
12 Valongo:23925:1987
13 São Pedro da Cova:16478:1427
14 Oliveira do Douro:22383:1849
15 Canidelo:27769:1238
16 Madalena:10040:1878
17 Vilar de Andorinho:18155:1526
18 Avintes:11497:1971
19 Ermesinde:38798:883
20 Aguas Santas:27470:966
```

#### Ficheiro de ligações:

Localidade 1: Localidade 2: Distância entre localidades

```
1 Matosinhos:Leça da Palmeira:2
2 Matosinhos:Foz do Douro:4
3 Matosinhos:Sra. da Hora:3
4 Foz do Douro:Sra. da Hora:4
5 Sra. da Hora:São Mamede:4
6 São Mamede:Leça do Balio:3
7 Leça do Balio:Aguas Santas:5
8 Aguas Santas:Ermesinde:3
9 Ermesinde:Baguim do Monte:2
10 Aguas Santas:Baguim do Monte:4
11 São Mamede:Rio Tinto:5
12 São Mamede:Campanhã:6
13 Foz do Douro:Vitoria:5
14 Campanhã:Vitoria:4
15 Campanhã:Valbom:3
16 Campanhã:São Cosme:4
17 Valbom:São Cosme:3
18 São Cosme:São Pedro da Cova:2
```

Depois é perguntado ao utilizador a distância máxima entre unidades de saúde desejada e o número de unidades de saúde que este pretende.

Finalmente, são apresentadas na consola as localidades onde deverão ser construídas unidades de saúde, bem como também é apresentada uma representação gráfica da solução.