



Relatório da Unidade Curricular
de Inteligência Artificial
2021/2022

Grupo 09

Bernardo Saraiva 93189

José Gonçalves 93204

Pedro Araújo 70699

Rui Moreira 93232

Janeiro, 2022

Índice

1	Introdução	3
2	Base de Conhecimento	3
3	Análise do Grafo	5
4	Fundamentação do Problema	5
5	Análise de Estratégias de Procura e Resultados	6
6	Testes computacionais	8
7	Conclusão	11

1 Introdução

Seguindo o encadeamento da fase anterior, o documento apresentado tem o intuito de explicar os procedimentos adoptados para a realização da segunda fase do Instrumento de Avaliação em Grupo. A presente fase passou pela implementação de novas funcionalidades no sistema de representação de conhecimento e raciocínio construído anteriormente, nomeadamente encarando o presente enunciado como um problema de pesquisa e tentando fornecer soluções viáveis ao mesmo. Todas as funcionalidades irão ser apresentadas e discutidas nas secções seguintes.

2 Base de Conhecimento

Como complemento, foram acrescentadas à base de conhecimento presente na primeira fase algumas propriedades, como é possível visualizar no excerto de código transcrito abaixo, tendo todas as novas propriedades sido povoadas com base no grafo da Secção 3.

```
aresta(sao-vitor/rua-da-fabrica,nogueiro/rua-da-capela,3.1,6).
```

```
estima(lamacaes/rua-da-carreira,7.8,16.7).
```

O conhecimento é representado como:

- *Aresta*: Caracteriza um caminho entre duas ruas. Onde:
 - O primeiro argumento representa uma freguesia e a respectiva rua, que neste caso será o ponto inicial da ligação;
 - O segundo argumento também será uma freguesia e rua, no entanto representa o ponto final da ligação;
 - O terceiro argumento simboliza a distância entre ambos os pontos;
 - O quarto argumento é representado pelo tempo que demora a percorrer essa mesma distância, com base em informação retirada do *Google Maps*.
- *Estima*: O conhecimento caracteriza uma estimativa face ao percurso mais curto desde um determinado ponto até à sede da *Green Distribution*. Onde:
 - O primeiro argumento representa um dos nós do percurso ao qual se está a efectuar a estima;
 - O segundo argumento simboliza a distância cumulativa do ponto escolhido até à sede;
 - O terceiro argumento representa uma estimativa temporal para percorrer esse percurso.

- *Circuito*: O conhecimento representa um percurso específico. Onde:
 - O primeiro argumento representa a identificação da entrega;
 - O segundo argumento representa o caminho.

Relativamente à base de conhecimento da fase anterior foram efectuadas as seguintes mudanças:

- Previamente denominado como *Encomenda*, passou-se a denominar como *Entrega*. O predicado passou assim a representar uma entrega concluída com sucesso, tendo sido alterado o conhecimento do seguinte modo:
 - identificação da encomenda realizada no sistema;
 - identificação do estafeta que irá fazer a entrega;
 - identificação do cliente à qual a mesma se destina;
 - destino, identificado pela Freguesia e a respectiva Rua;
 - data e hora máxima para a entrega;
 - data e hora real da entrega;
 - classificação da entrega;
 - seu peso e volumetria;
 - seu custo monetário.
- *Encomenda*: O predicado representa agora o registo de uma encomenda no sistema. O conhecimento é denominado pela/o:
 - destino;
 - identificação da encomenda;
 - identificação do cliente à qual a mesma se destina;
 - data máxima para entrega;
 - hora em que foi efectuada a encomenda;
 - sua volumetria;
 - seu custo monetário.

3 Análise do Grafo

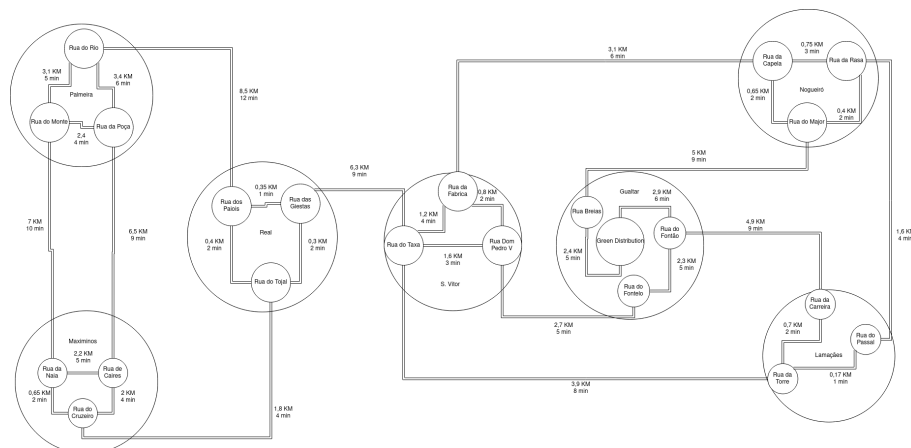


Figure 1: Representação dos diversos pontos de entrega em formato de grafo

O grafo representado na Figura 1 foi desenvolvido com base na cidade de Braga. Procedeu-se à escolha de sete freguesias da mesma, tendo sido escolhidas aleatoriamente três ruas de cada freguesia. Recorreu-se à utilização do *Google Maps* de modo a se retirar as distâncias e estimativa temporal dos percursos em questão.

De modo a introduzir a sede de uma empresa fictícia no problema de contexto real, optou-se por colocar a sede da *Green Distribution* na localização correspondente à Universidade do Minho.

A utilização do presente grafo possibilita a criação de circuitos, sendo os mesmos criados em *run time* como resposta às diversas *queries*. Os circuitos são preservados enquanto o sistema se encontra em funcionamento.

4 Fundamentação do Problema

- Tipo de Problema: Problema de Estado Único;
- Estado Inicial: *Green Distribution*;
- Estado Objectivo: Um dos possíveis nós (ruas);
- Teste Objectivo: Chegar ao nó (rua) desejado e regressar;
- Estado Final: *Green Distribution*;
- Operadores: Passagem de um nó (rua) para o outro;
- Custo: Distância percorrida ou Tempo despendido.

Sendo o problema proposto um problema de estado único, foi necessário realizar toda uma apreciação de modo a correctamente fundamentar o mesmo. Através do enunciado é perceptível que o estado inicial e final da solução proposta deveria ser a *Green Distribution* devido ao facto de um circuito corresponder à saída de um estafeta da sede e o retorno do mesmo à sede aquando da efectuação da sua entrega. Como tal o estado objectivo será os múltiplos nós (ruas), que se irá aceder para efectuar uma entrega e o teste objectivo será chegar efectivamente a esses nós, ruas, sendo os operadores a passagem de uma rua para a outra. Quanto ao custo este pode tomar dois valores, poderá ser os quilómetros ou o tempo que demora a percorrer um determinado percurso.

5 Análise de Estratégias de Procura e Resultados

Estratégia	Tipo	Complexidade Temporal	Complexidade Espacial
DFS	Não Informada	$O(b^m)$	$O(b \cdot m)$
BFS	Não Informada	$O(b^{d+1})$	$O(b^{d+1})$
BILP	Não Informada	$O(b^d)$	$O(b \cdot l)$
Gulosa	Informada	$O(b^m)$	$O(b^m)$
A*	Informada	$O(b^d)$	$O(b^d)$

Table 1: Comparação entres os algoritmos implementados

Onde:

- b - representa quantas bifurcações cada nó possui no máximo;
- m - será a máxima profundidade da árvore até ao nodo em questão;
- d - representa a profundidade da solução;
- l - o limite imposto.
- Depth-first search - Procura em Profundidade - esgota todas as possibilidades de caminhos, tentando perceber qual é o melhor caminho ou contando todos os caminhos possíveis;
- Breadth-first search - Procura em Largura - tenta encontrar o caminho mais curto de um nó para outro;
- BILP - Busca Iterativa Limitada em Profundidade - semelhante à procura em profundidade, no entanto numa tentativa de efectuar a procura de forma mais eficiente coloca um limite à profundidade da procura sendo o mesmo iterativamente aumentado até chegar à solução;
- Gulosa - A procura é expandida primordialmente ao nó cuja distância estimada até ao destino é a menor, isto pode levar a que o caminho encontrado possa não ser o ideal.

- A^* - A procura é realizada através de uma ponderação entre a estimativa e o custo garantindo que o caminho encontrado entre o nó inicial e o nó objectivo/final é o ideal e que o algoritmo eventualmente termina.

Apesar de todos os algoritmos encontrarem soluções, apenas o algoritmo A^* encontra sempre todas as soluções de forma óptima, uma vez que, de todos os algoritmos utilizados, é o único que é óptimo, isto é, encontra sempre o caminho óptimo entre o nó inicial e o nó objectivo sendo também o único que é completo.

De modo a se poder comparar o desempenho dos diferentes algoritmos implementados recorreu-se ao uso do seguinte predicado:

`chronometrise(escolheAlgoritmo(X,maximinos/rua_da_naia,CAM/Cus)).`

Assim é nos possível efectuar comparações sobre o desempenho a nível de tempo, espaço e custo como podemos visualizar na Tabela 2.

Estratégia	Tempo (segundos)	Espaço	Custo	Melhor Solução
DFS	0.004811s	10	74,3	✗
BFS	0.008253s	512	37,1	✗
BILP	0.005865s	30	44,2	✗
Gulosa	Distancia: 0.006339s Tempo: 0.006096s	256	37,1	✗
A^*	Distancia: 0.005004s Tempo: 0.005114s	256	37,1	✓

Table 2: Métricas obtidas sobre os testes realizados aos diferentes algoritmos implementados

Os tempos apresentados foram calculados recorrendo ao uso do predicando citado anteriormente, sendo que este recebe um predicado de utilização de um dos possíveis algoritmos, onde X representa as hipóteses representadas abaixo:

- 1 - A^* em função da distância;
- 2 - A^* em função do tempo;
- 3 - *Gulosa* em função da distância;
- 4 - *Gulosa* em função do tempo;
- 5 - Em profundidade;
- 6 - Em largura;
- 7 - Em profundidade limitada iterativa;

O espaço foi calculado recorrendo à complexidade espacial representada na Tabela 1, onde:

- b - representa quantas bifurcações cada nó possui no máximo, sendo que no caso do grafo representado na Secção 3 será sempre 2;
- m - será a máxima profundidade da árvore até ao nodo em questão, tomando o valor de 15 para os casos em que se aplica;
- d - representa a profundidade da solução, que será 15 para os casos onde é necessário;
- l - o limite imposto, que toma o valor de 5.

6 Testes computacionais

```

Sistema de Recomendação de Circuitos de Entrega de Encomendas

1 - Identificar quais os circuitos com maior número de entregas (por volume e peso)
2 - Comparar circuitos de entrega tendo em conta os indicadores de produtividade
3 - Escolher o circuito mais rápido (usando o critério da distância)
4 - Escolher o circuito mais ecológico (usando um critério de tempo)
5 - Gerar um circuito de entrega com algoritmo à escolha
6 - Adicionar uma encomenda
7 - Mostrar encomendas não entregues
8 - Sair.

Digite a opção:
1: 1.
Digite o número de circuitos que pretende: 3.

1 - Por volume
2 - Por peso
1: 1.
[[noqueiro/rua do major,noqueiro/rua da rasa,lamacas/rua do passal,lamacas/rua da torre,sao vitor/rua do taxa,sao vitor/rua dom pedro v,qualtar/rua do fontelo,qualtar/rua do fontao,qualtar/green distribution]/10,[[noqueiro/rua da capela,noqueiro/rua do major,qualtar/rua breias,qualtar/green distribution]/10,[[palmeira/rua do rio,real/rua dos paiois,real/rua das giestas,sao vitor/rua do taxa,sao vitor/rua da fabrica,noqueiro/rua da capela,noqueiro/rua do major,qualtar/rua breias,qualtar/green distribution]/2]

```

Figure 2: Resposta à query 1 seleccionando a opção 1

```

Sistema de Recomendação de Circuitos de Entrega de Encomendas

1 - Identificar quais os circuitos com maior número de entregas (por volume e peso)
2 - Comparar circuitos de entrega tendo em conta os indicadores de produtividade
3 - Escolher o circuito mais rápido (usando o critério da distância)
4 - Escolher o circuito mais ecológico (usando um critério de tempo)
5 - Gerar um circuito de entrega com algoritmo à escolha
6 - Adicionar uma encomenda
7 - Mostrar encomendas não entregues
8 - Sair.

Digite a opção:
1: 1.
Digite o número de circuitos que pretende: 4.

1 - Por volume
2 - Por peso
1: 2.
[[noqueiro/rua do major,noqueiro/rua da rasa,lamacas/rua do passal,lamacas/rua da torre,sao vitor/rua do taxa,sao vitor/rua dom pedro v,qualtar/rua do fontelo,qualtar/rua do fontao,qualtar/green distribution]/10,[[palmeira/rua do rio,real/rua dos paiois,real/rua das giestas,sao vitor/rua do taxa,sao vitor/rua dom pedro v,qualtar/rua do fontelo,qualtar/rua do fontao,qualtar/green distribution]/10,[[real/rua dos paiois,real/rua das giestas,sao vitor/rua do taxa,sao vitor/rua dom pedro v,qualtar/rua do fontelo,qualtar/rua do fontao,qualtar/green distribution]/10,[[noqueiro/rua do major,qualtar/rua breias,qualtar/green distribution]/10]

```

Figure 3: Resposta à query 1 seleccionando a opção 2

Como é possível observar nas Figuras 2 e 3, quando o utilizar selecciona a opção para saber quais os circuitos com o maior número de entregues este é apresentado com duas opções:

- Circuito com maior número de entregas em função do volume, Figura 2;
- Circuito com maior número de entregas em função do peso, Figura 3.

são assim apresentadas as duas possíveis respostas à query 1.


```
Sistema de Recomendação de Circuitos de Entrega de Encomendas
1 - Identificar quais os circuitos com maior número de entregas (por volume e peso)
2 - Comparar circuitos de entrega tendo em conta os indicadores de produtividade
3 - Escolher o circuito mais rápido (usando o critério da distância)
4 - Escolher o circuito mais ecológico (usando um critério de tempo)
5 - Gerar um circuito de entrega com algoritmo à escolha
6 - Adicionar uma encomenda
7 - Mostrar encomendas não entregues
8 - Sair

Digite a opção:
1: 2
Digite o número de circuitos que pretende: 1: 3
[[palmeira/rua do rio,real/rua dos pais,real/rua das giestas,sao_vitor/rua do taxa,sao_vitor/rua da fabrica,nogueiro/rua da capela,nogueiro/rua do major,qualtar/rua breias,qualtar/green_distribution]
/2020-01-01,real/rua dos pais,real/rua das giestas,sao_vitor/rua do taxa,sao_vitor/rua do pedro_v,qualtar/rua do fontelo,qualtar/green_distribution]][[Sooooooooooooo],nogueiro/ru
a do major,nogueiro/rua da rasa,lamaes/rua do passal,lamaes/rua da torre,sao_vitor/rua do taxa,sao_vitor/rua do pedro_v,qualtar/rua do fontelo,qualtar/rua do fontao,qualtar/green_distribution]]/992
-2]
```

Figure 4: Resposta à query 2

Na Figura 4, são apresentados os circuitos com melhores indicadores de produtividade, recorrendo a um cálculo em que se soma a distancia com o tempo e se multiplica esta soma pela vertente ecológica do veículo que efetuou o transporte. No calculo do tempo é tido em conta o decréscimo na velocidade média consoante o tipo de veículo, tal como pretendido.

```
Sistema de Recomendação de Circuitos de Entrega de Encomendas
1 - Identificar quais os circuitos com maior número de entregas (por volume e peso)
2 - Comparar circuitos de entrega tendo em conta os indicadores de produtividade
3 - Escolher o circuito mais rápido (usando o critério da distância)
4 - Escolher o circuito mais ecológico (usando um critério de tempo)
5 - Gerar um circuito de entrega com algoritmo à escolha
6 - Adicionar uma encomenda
7 - Mostrar encomendas não entregues
8 - Sair

Digite a opção:
1: 3
Insira o ano referente à data de início: 2020.
Insira o mes referente à data de início: 05.
Insira o dia referente à data de início: 12.
Insira a hora referente à data de início: 12.
Insira os minutos referentes à data de início: 12.
Digite o ID da encomenda: 1: casaco.
O estafeta selecionado foi hanSolo

[qualtar/green_distribution,qualtar/rua breias,nogueiro/rua do major,nogueiro/rua da capela,nogueiro/rua do major,qualtar/rua breias,qualtar/green_distribution]

O Tempo para a entrega foi de 42 minutos
Introduza a classificacao da entrega
1: 8.
```

Figure 5: Resposta à query 3

Como é possível visualizar na Figura 5, é pedido ao utilizador que coloque as informações referentes à encomenda de modo a que o sistema possa atribuir um estafeta para efectuar a entrega. De seguida é calculado qual é o circuito mais rápido utilizando o critério de distância.

```
Sistema de Recomendação de Circuitos de Entrega de Encomendas

1 - Identificar quais os circuitos com maior número de entregas (por volume e peso)
2 - Comparar circuitos de entrega tendo em conta os indicadores de produtividade
3 - Escolher o circuito mais rápido (usando o critério da distância)
4 - Escolher o circuito mais ecológico (usando um critério de tempo)
5 - Gerar um circuito de entrega com algoritmo à escolha
6 - Adicionar uma encomenda
7 - Mostrar encomendas não entregues
8 - Sair.

Digite a opção:
|: 4.
Insira o ano referente à data de início: |: 2020.
Insira o mes referente à data de início: |: 04.
Insira o dia referente à data de início: |: 14.
Insira a hora referente à data de início: |: 14.
Insira os minutos referentes à data de início: |: 15.
Digite o ID da encomenda: |: casaco.

Caminho a estrela: [gualtar/green_distribution,gualtar/rua_breias,nogueiro/rua_do_major,nogueiro/rua_da_capela,nogueiro/rua_do_major,gualtar/rua_breias,gualtar/green_distribution]
Peso: 20
Vel possíveis peso[mota,carro]
Vel possíveis prazo[bicicleta,mota,carro]
[mota,carro]
Freguesianoqueiro
Estafetas[margarida,hardole]
Estafeta atribuído:margarida
Distância16.1
Tempo:39
Introduza a classificação da entrega
|: 5.
```

Figure 6: Resposta à query 4

Similarmente à query 3, também aqui é solicitada a informação referente a uma determinada encomenda. No entanto, como é observável na Figura 6, o utilizador desta vez irá obter qual o circuito a ser realizado para efectuar a entrega com base na métrica de tempo obtendo-se assim o circuito mais ecológico.

```
Sistema de Recomendação de Circuitos de Entrega de Encomendas

1 - Identificar quais os circuitos com maior número de entregas (por volume e peso)
2 - Comparar circuitos de entrega tendo em conta os indicadores de produtividade
3 - Escolher o circuito mais rápido (usando o critério da distância)
4 - Escolher o circuito mais ecológico (usando um critério de tempo)
5 - Gerar um circuito de entrega com algoritmo à escolha
6 - Adicionar uma encomenda
7 - Mostrar encomendas não entregues
8 - Sair.

Digite a opção:
|: 5.
1 - A Estrela com critério distancia.
2 - A Estrela com critério tempo.
3 - Gulosa com estima pela distancia.
4 - Gulosa com estima pelo tempo.
5 - Depth First Search.
6 - Breadth First Search
7 - Busca Iterativa Limitada em Profundidade
|: 5.
Digite o nodo onde pretende levar a encomenda: |: palmeira/rua do rio.
(gualtar/green_distribution,gualtar/rua do fontao,gualtar/rua do fontelo,sao vitor/rua do pedro v,sao vitor/rua da fabrica,sao vitor/rua do taxa,real/rua das giestas,real/rua dos paisois,real/rua do to
jal,maximino/rua do cruzeiro,maximino/rua de caire,maximino/rua da mais,palmeira/rua do monte,palmeira/rua da poça,palmeira/rua do rio,palmeira/rua da poça,palmeira/rua do monte,maximino/rua da m
la,maximino/rua de caire,maximino/rua do cruzeiro,real/rua do tojal,real/rua dos paisois,real/rua das giestas,sao vitor/rua do taxa,sao vitor/rua da fabrica,sao vitor/rua do pedro v,gualtar/rua do f
ontelo,gualtar/rua do fontao,gualtar/green_distribution)/rua do rio.
```

Figure 7: Resposta à query 5

De modo a dar resposta à query 5 é apresentada ao utilizador a possibilidade de escolher qual dos algoritmos este pretende utilizar. Aquando dessa escolha o sistema prossegue com o calculo desse mesmo circuito a partir de um nodo escolhido também pelo o utilizador, como é possível observar na Figura 7.

```
Sistema de Recomendação de Circuitos de Entrega de Encomendas

1 - Identificar quais os circuitos com maior número de entregas (por volume e peso)
2 - Comparar circuitos de entrega tendo em conta os indicadores de produtividade
3 - Escolher o circuito mais rápido (usando o critério da distância)
4 - Escolher o circuito mais ecológico (usando um critério de tempo)
5 - Gerar um circuito de entrega com algoritmo à escolha
6 - Adicionar uma encomenda
7 - Mostrar encomendas não entregues
8- Sair.

Digite a opção:
|: 6.
Insira a morada no formato Freguesia/Rua: |: palmeira/rua_do_rio.
Insira o ID (único) da encomenda: |: uberEats.
Insira o ID do cliente: |: messias.
Insira o ano do prazo para a entrega: |: 2022.
Insira o mes do prazo para a entrega: |: 02.
Insira o dia do prazo para a entrega: |: 12.
Insira a hora do prazo para a entrega: |: 17.
Insira os minutos do prazo para a entrega: |: 15.
Insira o peso e o volume no formato Peso/Volume: |: 3/1.
Insira o preço: |: 50.

Encomenda com o ID uberEats adicionada com sucesso! Existem agora 19 encomendas.
```

Figure 8: Resposta à query 6

O sistema também fornece ao utilizador a capacidade de inserir uma encomenda no mesmo em *run time*, como é possível depreender pela Figura 8.

```
Sistema de Recomendação de Circuitos de Entrega de Encomendas

1 - Identificar quais os circuitos com maior número de entregas (por volume e peso)
2 - Comparar circuitos de entrega tendo em conta os indicadores de produtividade
3 - Escolher o circuito mais rápido (usando o critério da distância)
4 - Escolher o circuito mais ecológico (usando um critério de tempo)
5 - Gerar um circuito de entrega com algoritmo à escolha
6 - Adicionar uma encomenda
7 - Mostrar encomendas não entregues
8- Sair.

Digite a opção:
|: 7.
Encomendas não entregues:
[televisao,portatil,teclado,rato,headset,pao,hamburger,lata,francesinha,casaco,mala,bicicleta,sapatos]
```

Figure 9: Resposta à query 7

Finalmente, e pela demonstração da Figura 9, existe também a opção de saber quais das encomendas presentes no sistema ainda não foram efectuadas.

7 Conclusão

Com base no trabalho efectuado no decorrer da segunda fase do Instrumento de Avaliação em Grupo, foi possível obter uma maior compreensão do modo como as diferentes estratégias de procura funcionam. Ficou deste modo extremamente perceptível o tremendo ganho proporcionado pelas estratégias de procura informadas sobre as estratégias não-informadas. A aplicação das diferentes estratégias levou dos conhecimentos adquiridos nas aulas teóricas e práticas sobre o assunto, tendo sido esclarecidas qualquer dúvidas sobre as mais valias que cada uma das estratégias proporciona. No entanto, e independentemente das conclusões acima citadas, é possível entender que a diferença entre o A^* e

o *Gulosa*, sendo ambos algoritmos "melhor primeiro", passa maioritariamente pelo problema em mãos. Tendo em conta o grafo representado na Secção 3, as estimativas efectuadas são demasiado proporcionais ao seu respectivo custo o que leva a que a diferença entre o A^* e o *Gulosa* não seja tão perceptível. No entanto, o algoritmo A^* é superior na maioria dos casos uma vez que este se preocupa com o custo e a estima, enquanto que o algoritmo *Gulosa* apenas se preocupa com a estima podendo assim não apresentar o caminho optimizado.

References

- [1] I. Bratko, *Prolog Programming for Artificial Intelligence*. International Computer Science Series, Addison-Wesley, 2011.
- [2] S. Russell, S. Russell, and P. Norvig, *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson series in artificial intelligence, Pearson, 2020.