



Universidade do Minho
Escola de Engenharia
Licenciatura em Engenharia Informática

Unidade Curricular de Inteligência Artificial

Ano Letivo de 2023/2024

EcoRouteSolver

Rui Pedro Castro Alves(A100699)
João do Nascimento Queirós Ferreira(A79495)
Rui Pedro Fernandes Ribeiro (A100816)
Fábio Daniel Rodrigues Leite (A100902)

1 de janeiro de 2024

IA

Avaliação por Pares		
Nº Aluno	Nome	Delta
A100699	Rui Pedro Castro Alves	0
A79495	João do Nascimento Queirós Ferreira	0
A100816	Rui Pedro Fernandes Ribeiro	0
A100902	Fábio Daniel Rodrigues Leite	0

EcoRouteSolver

Rui Pedro Castro Alves(A100699)
João do Nascimento Queirós Ferreira(A79495)
Rui Pedro Fernandes Ribeiro (A100816)
Fábio Daniel Rodrigues Leite (A100902)

1 de janeiro de 2024

Índice

1	Introdução	1
2	Descrição do problema	2
2.1	Contextualização	2
2.2	Elementos-Chave do Problema	2
2.2.1	Veículos	2
2.2.2	Entregas e Prazos	2
2.2.3	Avaliação do Cliente	2
2.2.4	Características das Encomendas	3
2.3	Desafios a Serem Abordados	3
2.3.1	Algoritmos de Procura Eficientes	3
2.3.2	Seleção Sustentável de Meios de Transporte	3
2.3.3	Gestão de Avaliações e Satisfação do Cliente	3
2.3.4	Cálculo Preciso do Custo do Serviço	3
2.4	Considerações Finais	3
3	Formulação do problema	4
3.1	Tipo do problema	4
3.2	Representação do estado inicial	4
3.3	Estado/Teste objetivo	4
3.4	Operadores	4
3.5	Custo da solução	5
4	Criação dos circuitos de entrega	6
5	Descrição de todas as tarefas realizadas	8
5.1	Menus	8
5.2	Distribuição de encomendas	11
5.3	Implementação de algoritmos de procura	12
5.3.1	Procura não-informada	12
5.3.2	Procura informada	12
5.4	Mapa de Fluxo do Sistema	13
5.5	Avaliação do estafeta	14
6	Sumário e discussão dos resultados obtidos	15
7	Conclusão	17

1 Introdução

Este trabalho aborda a resolução de problemas de otimização de entrega de encomendas através da implementação de algoritmos de procura, com foco na sustentabilidade, no âmbito da distribuição de encomendas por parte da empresa *Eco Route Solver*. O objetivo principal é desenvolver estratégias eficazes que otimizem a entrega de encomendas, considerando não apenas a logística como também o impacto ambiental dos meios de transporte utilizados.

Ao decorrer deste relatório, serão apresentados todos os detalhes sobre cada uma das tarefas propostas, proporcionando uma análise abrangente do desenvolvimento dos algoritmos de procura implementados, com o objetivo de encontrar a rota mais ecológica para as entregas no âmbito deste projeto.

2 Descrição do problema

2.1 Contextualização

A Eco Route Solver, uma empresa fictícia de distribuição, está focada em tornar suas operações de entrega mais sustentáveis e ecologicamente amigáveis. Para atingir esse objetivo, a empresa busca a otimização dos meios de transporte utilizados pelos seus estafetas, considerando não apenas a eficiência logística, mas também o impacto ambiental. O problema proposto envolve a formalização e resolução de desafios relacionados à gestão de entregas em um contexto urbano.

2.2 Elementos-Chave do Problema

2.2.1 Veículos

A Eco Route Solver dispõe de diferentes meios de transporte, cada um com características específicas de consumo de energia. A escolha do meio de transporte adequado é crucial para a sustentabilidade das operações.

2.2.2 Entregas e Prazos

Cada estafeta é designado para realizar entregas em ruas específicas, associadas à freguesia de Gualtar-Braga. Os clientes estabelecem prazos de entrega, e o não cumprimento desses prazos resulta em penalizações, afetando o ranking de satisfação.

2.2.3 Avaliação do Cliente

O software tem a capacidade de avaliar as entregas dos estafetas em uma escala de 0 a 5 estrelas. Essas avaliações contribuem para o feedback do serviço.

2.2.4 Características das Encomendas

Cada encomenda é caracterizada pelo seu peso e volume, fatores determinantes na escolha do meio de transporte mais adequado.

2.3 Desafios a Serem Abordados

2.3.1 Algoritmos de Procura Eficientes

Desenvolver algoritmos de procura eficientes para otimizar as rotas de entrega, levando em consideração os prazos estipulados pelos clientes e minimizando as penalizações.

2.3.2 Seleção Sustentável de Meios de Transporte

Desenvolver um sistema inteligente de escolha de meios de transporte com base em critérios sustentáveis, visando a redução do impacto ambiental.

2.3.3 Gestão de Avaliações e Satisfação do Cliente

Implementar estratégias para melhorar o ranking de satisfação dos clientes, considerando as avaliações recebidas e promovendo a excelência no serviço

2.3.4 Cálculo Preciso do Custo do Serviço

Desenvolver algoritmos de cálculo de preço do serviço de entrega que considerem diferentes variáveis, como prazo de entrega, meio de transporte e características das encomendas.

2.4 Considerações Finais

O trabalho prático visa a aplicação de conceitos avançados de algoritmos de procura em um contexto prático e socialmente relevante. A resolução eficaz desses desafios não apenas contribuirá para a sustentabilidade da Eco Route Solver, mas também para a melhoria da experiência do cliente e a competitividade no mercado de entregas.

3 Formulação do problema

3.1 Tipo do problema

Problema de estado único.

3.2 Representação do estado inicial

O estado inicial pode ser representado pela posição inicial do estafeta e as entregas pendentes.

3.3 Estado/Teste objetivo

O estado objetivo seria quando todas as entregas foram realizadas, ou seja, não há mais encomendas pendentes.

3.4 Operadores

Os operadores representam as ações que podem ser realizadas para transitar de um estado para outro. Podem ser definidos da seguinte forma:

- **Carregar Encomenda:**
 - **Pré-condições:** Estafeta junto á encomenda e com capacidade de transporte disponível.
 - **Efeitos:** Estafeta carrega a encomenda e ajusta a capacidade de transporte disponível.
- **Entregar Encomenda:**
 - **Pré-condições:** O estafeta possui a encomenda e encontra-se junto ao local de entrega.

- **Efeitos:** A encomenda é entregue pelo estafeta.
- **Deslocações:**
 - **Pré-condições:** O estafeta deve possuir uma rota.
 - **Efeitos:** O estafeta move-se para um novo local e as rotas são reajustadas.

3.5 Custo da solução

O custo da solução pode ser definido com base em diversos critérios que incluem o tempo total de entrega, a eficiência energética dos meios de transporte utilizados e a satisfação do cliente. O objetivo é encontrar uma solução que minimize o custo global, considerando todos os fatores.

4 Criação dos circuitos de entrega

Para a criação dos circuitos de entrega, demos proveito á funcionalidade do Google Maps para uma visualização detalhada e uma divisão estratégica de Gualtar em diversas zonas distintas.

Para efetuarmos essa divisão tomamos por base a quantidade de nodos(ruas) existente numa determinada zona como também a qualidade do acesso ás zonas definidas. Esta abordagem permitiu-nos uma melhor compreensão da geografia local, facilitando assim a criação de rotas eficientes e otimizadas para a distribuição das encomendas, conforme detalhado a seguir.

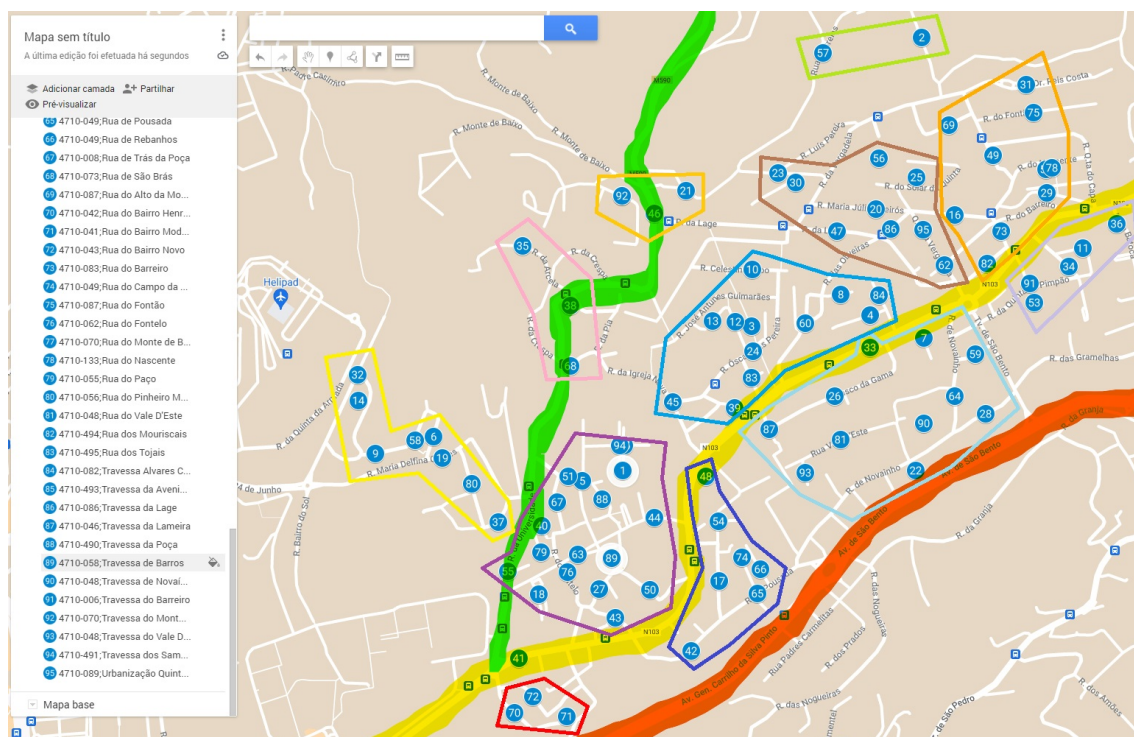


Figura 4.1: Mapa de Gualtar.

Depois de efetuarmos a divisão por zonas em Gualtar, atribuímos a cada uma um nodo principal que funcionará como o centro de recolha das entregas. Através destes nodos efetuamos as ligações entre os diferentes centros de entrega, calculando também a distância(custo) entre cada nodo. Esta informação é representada na seguinte figura:

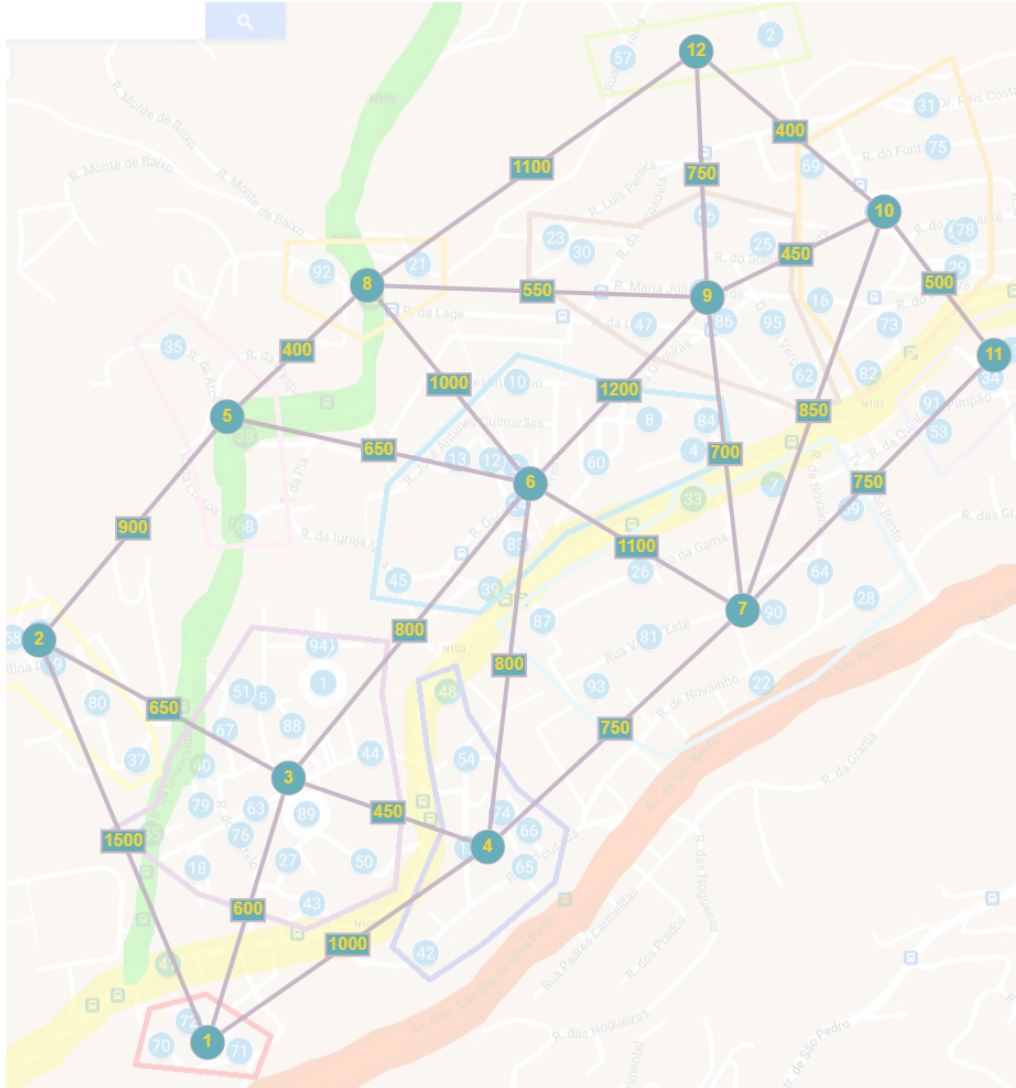


Figura 4.2: Grafo do mapa de Gualtar

5 Descrição de todas as tarefas realizadas

5.1 Menus

Para facilitar a interação com o usuário, o programa implementa diversos menus interativos com diversas escolhas. Ao iniciar o programa, os usuários são apresentados ao Menu Principal, que oferece as seguintes opções:

```
=====Bem Vindo ao Sistema da Eco-Route Solver=====
1 ==> Opções Frota
2 ==> Opções Encomendas
3 ==> Consultar Grafo
4 ==> Iniciar Processamento
5 ==> Sair
```

Figura 5.1: Menu Principal

1. Opções Frota

- Adicionar Veículo: Permite a adição de um novo veículo à frota especificando as suas características, como o tipo de veículo e a quantidade de veículos que pretendemos adicionar daquela tipo.
- Remover Veículo: Possibilita a remoção de um veículo existente na frota.
- Consultar Frota: Exibe todas as informações detalhadas sobre todos os veículos na presentes na frota.
- Consultar os Estafetas: Exibe todas as informações sobre todos os estafetas presentes na frota.

```
=====Opções de Frota=====
1 ==> Adicionar á Frota
2 ==> Remover da Frota
3 ==> Consultar a Frota
4 ==> Consultar os Estafetas
5 ==> Sair de Opções de Frota
```

Figura 5.2: Menu Frota

2. Opções Encomendas

- Adicionar Encomenda: Permite a criação de uma nova encomenda especificando características como o peso, o destino, o comprimento, a largura, a altura e o tempo de entrega.
- Remover Encomenda: Permite a remoção de uma encomenda existente.
- Consultar Encomendas: Exibe uma lista de encomendas que ainda não estão associadas a nenhum veiculo.
- Gerar 'n' Encomendas Random: Permite a criação rápida de varias encomendas para facilitar todos os testes realizados.

```
=====Opções de Serviços=====
1 ==> Adicionar a Encomendas
2 ==> Remover de Encomendas
3 ==> Consultar Encomendas
4 ==> Gerar 'n' Encomendas Random
5 ==> Sair de Opções de Encomendas
```

Figura 5.3: Menu Encomendas

3. Consultar Grafo

- Visualizar Grafo: Apresenta o grafo representado pelos seus pontos de entrega e pelas suas conexões entre eles.

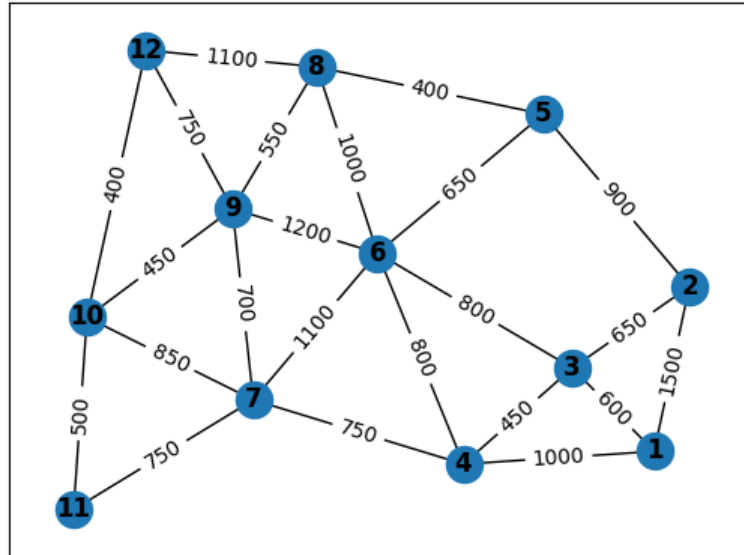


Figura 5.4: Consultar Grafo

4. Iniciar Processamento

- Frota: Aplica um algoritmo de otimização à frota como um todo, em busca da rota eficiente.
- Veiculo: Aplica um algoritmo de otimização a um veiculo especifico da frota.

```
=====Escolha a quem pretende aplicar o algoritmo=====
1 ==> Frota
2 ==> Veiculo
3 ==> Sair
```

Figura 5.5: Iniciar Processamento

```

=====Opções de Algoritmos(Veiculo)=====
1 ==> DFS
2 ==> BFS
3 ==> GREEDY
4 ==> A*
5 ==> TODOS
6 ==> Sair de Opções de Algoritmos

```

Figura 5.6: Escolha do algoritmo desejado

5.2 Distribuição de encomendas

A distribuição de encomendas acontece no exato momento em que selecionamos o *Iniciar Processamento* no menu principal. A distribuição acontece em duas fases distintas, onde começamos primeiro por identificar as encomendas que são diretamente atribuídas aos carros, ou seja, maiores que 20 kg ou com um volume superior a 198000 cm³, garantindo assim uma maior eficiência na futura distribuição das encomendas. Em seguida, para cada veículo na frota, o sistema verifica a capacidade disponível e distribui as encomendas de forma a otimizar o uso do espaço e cumprir as restrições de peso e volume de cada um, atualizando assim, a lista de encomendas que cada veículo possui.

Um ponto bastante importante, é que as encomendas quando são criadas, são logo ordenadas pela sua data de entrega, quanto menor for o tempo de entrega para uma encomenda, mais prioridade ela vai ter numa futura distribuição. Outro ponto bastante importante, é que a frota também está ordenada de forma aos veículo mais ecológico para o planeta terem preferência na distribuição, dando assim sempre prioridade às bicicletas para efetuar as entregas.

```

ID: 7, Tipo: Carro, Capacidade: 100, Volume: 2464000 cm³, Velocidade média: 50, Penalização por peso: 0.1, Volume Ocupado: 2118834 cm³, Peso Ocupado: 99 kg,
Lista de Encomendas:
ID: 319, Peso: 50 kg, Destino: 9, Dimensões: 136 x 9 x 34 cm, Volume: 41616 cm³, Tempo de Entrega: 1 minutos
ID: 297, Peso: 2 kg, Destino: 5, Dimensões: 156 x 44 x 98 cm, Volume: 672672 cm³, Tempo de Entrega: 2 minutos
ID: 352, Peso: 14 kg, Destino: 1, Dimensões: 92 x 111 x 88 cm, Volume: 898656 cm³, Tempo de Entrega: 4 minutos
ID: 261, Peso: 7 kg, Destino: 6, Dimensões: 53 x 126 x 47 cm, Volume: 313866 cm³, Tempo de Entrega: 5 minutos
ID: 356, Peso: 26 kg, Destino: 3, Dimensões: 28 x 127 x 54 cm, Volume: 192024 cm³, Tempo de Entrega: 6 minutos

```

Figura 5.7: Lista de encomendas de um veículo

5.3 Implementação de algoritmos de procura

A implementação dos nossos algoritmos de procura tem como objetivo encontrar a rota ideal consoante a lista de encomendas que cada estafeta tem para entregar. Deste modo, implementamos diversos algoritmos de procura informada (DFS e BFS) e não informada (Greedy e A*) de modo a construir o trajeto ideal para o estafeta.

5.3.1 Procura não-informada

Algoritmo Depth-First Search

O Algoritmo Depth-First Search é um algoritmo de procura que explora tão longe quanto possível um ramo antes de retroceder. No nosso contexto, implementamos o DFS para veículos que possam percorrer distâncias significativas. Ele é valioso para explorar as rotas mais extensas e avaliar as opções de entrega em uma escala mais ampla, permitindo uma análise mais abrangente das possíveis rotas disponíveis.

Algoritmo Breadth-First Search

Ao contrário do DFS, a Busca em Largura explora os vizinhos de um nó antes de se aprofundar em qualquer direção. Implementamos o BFS em contextos nos quais a rapidez na entrega é uma prioridade, permitindo uma exploração mais ampla das opções antes de selecionar a rota mais eficiente.

5.3.2 Procura informada

Heurística

No contexto de algoritmos de procura informada, estes algoritmos baseiam-se numa heurística para encontrar o próximo melhor nodo, de entre os nodos disponíveis. Sendo assim, consideramos de heurística, a distancia em linha reta entre os nodos. Para isso usamos as coordenadas dos nodos, atribuídas no inicio do programa aos nodos, para calcularmos a distancia entre eles.

Algoritmo Greedy

O algoritmo Greedy faz as escolhas que parecem ser as melhores no momento, baseado sempre na menor heurística. No nosso problema, onde as tomadas de decisões podem impactar significativamente a eficiência, implementamos o algoritmo guloso para fazer escolhas localmente ótimas. Isso é valioso para situações em que é necessário otimizar constantemente as decisões ao longo da rota.

Algoritmo A*

O algoritmo A* opta por uma estratégia bastante semelhante ao do Greedy, no entanto armazena o custo até cada um dos estados que já foram alcançados. No nosso contexto, este algoritmo é bastante importante quando é essencial levar em consideração tanto a eficiência quanto a precisão na escolha das rotas. Este algoritmo encontra solução ótima caso a heurística seja aceitável.

5.4 Mapa de Fluxo do Sistema

Como recurso de simplificação, o presente mapa proporciona uma perspectiva clara sobre o fluxo de informações no sistema, destacando operações e conexões essenciais. Nesta análise do mapa, almejamos uma compreensão concisa da estrutura do programa.

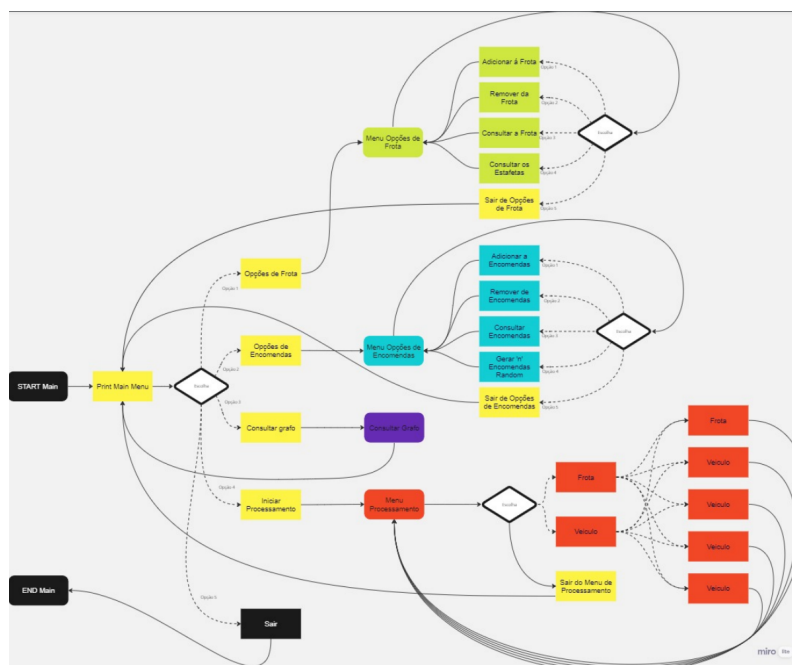


Figura 5.8: Mapa de Fluxo do Programa

5.5 Avaliação do estafeta

A avaliação do desempenho do estafeta é uma parte crucial para garantir a eficiência e a qualidade do serviço de entrega. Para isso, implementamos um sistema de avaliação em que o estafeta recebe bonificações ou penalizações consoante o tempo que demorou a efetuar a entrega, afetando assim o seu rating no final de cada encomenda. Esta avaliação é feita após a escolha da melhor rota, resultado da aplicação dos algoritmos de procura. Como podemos ver na seguinte imagem, após ser escolhido o algoritmo com o melhor tempo, verificou-se que o estafeta demorou a mais 2.24 minutos do que o tempo médio de entrega de todas as encomendas, afetando assim negativamente o seu rating.

```
Algoritmo escolhido: BFS!  
Tempo de entrega maior que a média! Demorados 2.24 minutos a mais.  
Rating atualizado: 4.96
```

Figura 5.9: Atraso na entrega de uma encomenda

6 Sumário e discussão dos resultados obtidos

De modo a testarmos os diferentes resultados obtidos nos diferentes algoritmos, criamos inicialmente um numero de encomendas aleatórias. Depois da atribuição das diferentes encomendas aos veículos, escolhemos um veiculo aleatório para ser possível estudar o resultado da aplicação dos algoritmos.

```
ID: 9, Tipo: Mota, Capacidade: 20, Volume: 594000 cm³, Velocidade média: 35, Penalização por peso: 0.5, Volume Ocupado: 290170 cm³, Peso Ocupado: 19 kg,
Lista de Encomendas:
ID: 82, Peso: 12 kg, Destino: 1, Dimensões: 25 x 58 x 106 cm, Volume: 153700 cm³, Tempo de Entrega: 3 minutos
ID: 133, Peso: 4 kg, Destino: 4, Dimensões: 58 x 61 x 27 cm, Volume: 95526 cm³, Tempo de Entrega: 5 minutos
ID: 293, Peso: 2 kg, Destino: 9, Dimensões: 72 x 26 x 1 cm, Volume: 1872 cm³, Tempo de Entrega: 9 minutos
ID: 338, Peso: 1 kg, Destino: 6, Dimensões: 22 x 74 x 24 cm, Volume: 39072 cm³, Tempo de Entrega: 22 minutos
```

Figura 6.1: Veiculo escolhido

Como é possível observar na figura, a encomenda tem como destino os setores 1,4,6 e 9, sendo necessário agora processar os diferentes algoritmos para sabermos qual é a melhor rota que o estafeta deve seguir. Depois de processados, obtemos os seguintes resultados:

```
Setores a visitar:
{1, 4, 9, 6}

=====ALGORITMO DFS=====
Caminho combinado: ['1', '2', '3', '4', '1', '2', '3', '6', '5', '8', '12', '9']
Custo total: 9450
Tempo de entrega: 22.24 minutos.

=====ALGORITMO BFS=====
Caminho combinado: ['1', '4', '6', '9', '6']
Custo total: 4200
Tempo de entrega: 9.88 minutos.

=====ALGORITMO GREEDY=====
Caminho combinado: ['1', '4', '6', '4', '6', '9']
Custo total: 5000
Tempo de entrega: 11.76 minutos.

=====ALGORITMO A*=====
Caminho combinado: ['1', '4', '7', '9', '6']
Custo total: 3650
Tempo de entrega: 8.59 minutos.
```

Figura 6.2: Resultados

Analisando a *Figura 6.2*, Ao analisarmos os resultados obtidos a partir da aplicação dos diferentes algoritmos, é possível notarmos variações significativas no custo total e no tempo de entrega.

O algoritmo DFS, embora seja uma opção viável, apresentou uma performance muito inferior em relação aos outros. O caminho combinado revela um padrão de retrocessos frequentes, resultando assim em um custo total e um tempo de entrega muito elevados. Já no algoritmo BFS, este apresentou uma melhoria notável em relação ao DFS. O caminho combinado exibe uma abordagem mais direta, priorizando os setores mais próximos resultando num custo total de 4.2km e um tempo de 9.88 minutos.

O algoritmo Greedy, ao priorizar uma escolha local ótima em cada etapa, resultou em um caminho combinado com alguns retrocessos. O custo total foi registrado em 5 km, e o tempo de entrega foi de 11.76 minutos. Embora tenha demonstrado alguma eficiência, a abordagem gananciosa de ir sempre ao localmente ótimo, pode levar a soluções que não são tão ótimas em alguns cenários. Já o algoritmo A* é capaz de minimizar as ineficiências trazidas pela escolha da heurística. O caminho combinado revela uma abordagem bastante estratégica, com um custo total de 3,65km e um tempo de entrega de 8.59 minutos. O A* destaca-se por encontrar soluções eficientes com uma abordagem mais direcionada.

O estafeta escolhe agora o trajeto que tem um custo menor para efetuar a entrega sendo bonificado pelo tempo a menos que demorou, como é possível observar na figura abaixo.

```
Algoritmo escolhido: A*!  
Tempo de entrega menor ou igual à média! 1.16 minutos antecipado.  
Rating atualizado: 5.00
```

Figura 6.3: Rating do estafeta.

7 Conclusão

Ao longo deste projeto, desenvolvemos uma solução abrangente para otimizar a distribuição de encomendas da Eco Route Solver. Utilizando algoritmos de procura, tanto informada quanto não informada, conseguimos encontrar rotas eficientes que consideram não apenas a logística, mas também a sustentabilidade e o impacto ambiental dos meios de transporte.

A implementação de algoritmos como DFS, BFS, Greedy e A* permitiu-nos explorar diferentes abordagens para a resolução do problema, considerando as características específicas de cada algoritmo. A heurística baseada na distância em linha reta entre os pontos de entrega foi fundamental para melhorar a eficácia dos algoritmos informados.

Além disso, a distribuição de encomendas foi cuidadosamente projetada, levando em conta não apenas a eficiência na utilização do espaço nos veículos, mas também priorizando a entrega por veículos mais sustentáveis, como bicicletas.

A avaliação do desempenho do estafeta, incluindo a consideração do tempo de entrega em relação aos prazos estipulados, proporcionou uma abordagem equilibrada para garantir a qualidade do serviço prestado.

Sendo assim, a solução proposta oferece uma combinação de eficiência logística, sustentabilidade e satisfação do cliente. O sistema foi projetado para ser flexível e adaptável, permitindo futuras melhorias e ajustes conforme as necessidades da Eco Route Solver.

Desenvolver este projeto permitiu-nos ter um conhecimento mais aprofundado sobre os algoritmos utilizados, bem como nos permitiu ter uma melhor perspectiva em situações em que os mesmos podem ser utilizados num contexto prático.