



INSTITUTO  
UNIVERSITÁRIO  
DE LISBOA

---

**Rotas dinâmicas, um caso de estudo nos serviços urgentes de prestação de cuidados respiratórios domiciliários.**

Pedro Seoane Jesus

Mestrado em Business Analytics

Orientador:

Professora Doutora Ana Catarina de Carvalho Nunes, Professora Auxiliar,  
Iscte Business School

Co-Orientador:

Professora Doutora Maria da Conceição da Fonseca, Professora Auxiliar,  
FCUL

Setembro, 2023





**BUSINESS  
SCHOOL**

---

Departamento de Métodos Quantitativos para a Gestão

**Rotas dinâmicas, um caso de estudo nos serviços urgentes de prestação de cuidados respiratórios domiciliários.**

Pedro Seoane Jesus

Mestrado em Business Analytics

Orientador:

Professora Doutora Ana Catarina de Carvalho Nunes, Professora Auxiliar,  
Iscte Business School

Co-Orientador:

Professora Doutora Maria da Conceição da Fonseca, Professora Auxiliar,  
FCUL

Setembro, 2023



*Dedicado à minha família e, em particular à minha mãe, que está sempre ao meu lado.*



## Agradecimentos

Queria deixar umas palavras de agradecimento a algumas pessoas que me ajudaram e, sem o seu contributo, esta dissertação não teria sido possível.

Um agradecimento especial à Professora Ana Catarina e à Professora Maria da Conceição, pela ajuda constante e disponibilidade ao longo da dissertação. Obrigado por todo o apoio e acompanhamento inestimável.

Um agradecimento com muito carinho aos meus pais, ao meu irmão António e à Sofia que me aturaram durante este período da minha vida, me inspiraram para ir mais além e descobrir novos caminhos.

Não queria deixar de agradecer ao meu grande amigo Francisco Leal que esteve sempre disponível para ajudar e aconselhar, quando tinha dificuldades com a programação, em longas sessões de *brainstorming*.

Por fim, queria agradecer ao meu grupo de amigos que estiveram disponíveis para me ouvir queixar sobre as dificuldades e amarguras da vida, no meio de muitos risos e humor, tornando este percurso em momentos partilhados e inesquecíveis.

Obrigado a todos!





## Resumo

O problema abordado nesta dissertação é caracterizado como um problema de determinação de rotas dinâmicas. Os dados utilizados são reais de uma empresa especializada em serviços de assistência respiratória ao domicílio. O propósito subjacente a esta investigação é dar continuidade ao trabalho feito por Ferreira (2021).

A particularidade que se verifica neste problema está relacionada com a possibilidade de serem introduzidos novos pedidos no decurso do dia, à medida que os clientes vão solicitando serviços que a empresa precisa de atender prontamente, dando origem a alterações nas rotas previamente planeadas, para acomodar essas mudanças de forma eficiente.

O foco desta dissertação reside na obtenção de rotas que assegurem a paridade nos horários de trabalho dos técnicos, provendo uma distribuição justa da carga laboral. Para concretizar esse objetivo, é introduzido em todas as rotas, para o dia em análise, um limite máximo de horas de trabalho.

É desenvolvido um método, composto por dois algoritmos, para obter soluções para o problema. Este método é constituído por uma fase inicial, que consiste na inserção de pedidos nas rotas usando a heurística de inserção de menor custo, seguido de uma heurística de melhoramento local.

Os resultados obtidos dizem respeito aos dados reais e a cenários criados, considerando uma distribuição de probabilidade associada à chegada de novos pedidos.

Torna-se evidente que a imposição de restrições no horário de trabalho resultará numa distribuição mais equitativa das horas de trabalho entre os técnicos. No entanto, isso acarretará um aumento no tempo total despendido e na distância percorrida.

**Palavras-chave:** rotas dinâmicas para veículos, heurística de inserção de menor custo, heurística de melhoramento local, cuidados respiratórios domiciliários



## Abstract

The problem addressed in this dissertation is characterized as a dynamic routing problem. The data used is real from a company specialized in home respiratory care services. The underlying purpose of this research is to continue the investigation carried out by Ferreira (2021).

The particularity of this problem is related to the possibility of new requests being introduced during the course of the day, as customers request services that the company needs to attend, giving rise to changes in the previously planned routes in order to accommodate these changes efficiently.

The focus of this dissertation is obtaining routes that ensure parity in the technicians' working hours, providing a fair distribution of the workload. To achieve this goal, a maximum working hours limit is introduced into all routes for the day under analysis.

A method consisting of two algorithms is developed to obtain solutions to the problem. This method is composed of an initial phase, which consists of inserting requests into the routes using the least-cost insertion heuristic, followed by a local improvement heuristic.

The results obtained relate to real data and to scenarios created regarding a probability distribution concerning the arrival of new orders.

It becomes evident that imposing restrictions on working hours will result in a more equitable distribution of workload among technicians. However, this will lead to an increase in both the total time obtained and the distance travelled.

**Keywords:** dynamic vehicle routing problem, least-cost insertion heuristic, local improvement heuristic, home respiratory care services



# Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vii
Capítulo 1. Introdução	1
1.1 Contexto	1
1.2 Definição de cuidados respiratórios ao domicílio	1
1.3 Descrição do problema e objetivo geral	1
1.4 Questões e objetivo de investigação	2
1.5 Estrutura da dissertação	3
Capítulo 2. Revisão de Literatura	5
2.1 <i>Vehicle Routing Problem</i>	5
2.2 <i>Dynamic Vehicle Routing Problem</i>	5
2.3 Variantes e métodos de resolução do DVRP	7
2.3.1 DVRP sem restrições	8
2.3.2 DVRP com janelas temporais	8
2.3.3 DVRP com informação do congestionamento das estradas em tempo real	8
2.3.4 DVRP com múltiplas rotas	9
2.3.5 DVRP com entrega e recolha	10
Capítulo 3. Caso de Estudo	11
Capítulo 4. Método de resolução	15
4.1 Descrição dos algoritmos	15
4.2 Exemplos dos métodos usados	20
4.2.1 Exemplo da heurística de inserção de menor custo	20
4.2.2 Exemplo da heurística de melhoramento local	24
Capítulo 5. Resultados computacionais	27
5.1 Análise dos pedidos totais realizados	27
5.2 Cenários considerados	27
5.3 Resultados obtidos	29

5.4 Descrição da experiência	32
5.4.1 Resultados	33
Capítulo 6. Conclusões e Limitações	37
6.1 Conclusões	37
6.2 Limitações	37
6.3 Trabalhos futuros	38
Referências Bibliográficas	41

## Índice de Figuras

Figura 2.1. Exemplo da execução de uma rota dinâmica baseado em Pillac <i>et al.</i> (2013).....	7
Figura 3.1. Informação sobre os pedidos realizados .....	14
Figura 3.2. Distribuição geográfica dos pedidos .....	14
Figura 4.1. Janela temporal considerada .....	16
Figura 4.2. Rota A .....	21
Figura 4.3. Rota B .....	21
Figura 4.4. Rota A com o pedido 6 inserido.....	22
Figura 4.5. Rota A, retirando o percurso (2,3) .....	22
Figura 4.6. Rota A final, após a aplicação da heurística de inserção de menor custo .....	23
Figura 4.7. Rota A alterando a posição dos pedidos 6 e 3.....	24
Figura 4.8. Rota final A, após a aplicação da heurística de melhoramento local .....	25
Figura 5.1. Informação sobre a distribuição dos pedidos imediatos fornecida pela empresa.....	30
Figura 5.2. Informação sobre a distribuição dos pedidos imediatos, resultantes da experiência e a distribuição dos pedidos imediatos fornecidas pela empresa.....	33





## Índice de Tabelas

Tabela 3.1. Informação sobre cada técnico da empresa e número de pedidos antecipados atribuídos no início do dia em estudo .....	13
Tabela 4.1. Informação sobre os parâmetros utilizados para desenvolver o método. ....	15
Tabela 4.2. Custo entre os pedidos da rota A e o novo pedido .....	21
Tabela 4.3. Custo entre os pedidos da rota B e o novo pedido.....	21
Tabela 4.4. Custos entre os pedidos da rota A.....	24
Tabela 5.1. Informação das rotas iniciais do cenário A .....	28
Tabela 5.2. Informação das rotas iniciais do cenário B .....	29
Tabela 5.3. Informação dos resultados finais obtidos pelo cenário A .....	31
Tabela 5.4. Informação dos resultados finais obtidos pelo cenário B .....	32
Tabela 5.5. Resultados finais da experiência no cenário A <sup>1</sup> .....	34
Tabela 5.6. Resultados finais da experiência no cenário B <sup>1</sup> .....	34



## **Glossário**

CRD – Cuidados respiratórios ao domicílio

VRP – *Vehicle Routing Problem*

DVRP – *Dynamic Vehicle Routing Problem*



# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Contexto

Num mundo cada vez mais envolvido com a preocupação e foco na sustentabilidade, otimizar percursos, poupar combustíveis fósseis, reduzir a pegada ecológica, tornar-nos mais eficientes, é importante. A procura de soluções socialmente viáveis e que vão ao encontro destas necessidades tornou-se um pilar fundamental para o futuro do nosso planeta. O estudo de rotas dinâmicas tirando partido das novas tecnologias torna-se essencial a muitos níveis e pode ser adaptado às mais diversas situações (Messad *et al.*, 2018).

O trabalho desenvolvido tem como base de estudo dados reais provenientes de uma empresa que presta serviços essenciais na área de cuidados respiratórios ao domicílio (CRD). Esta empresa em particular, atendendo às especificações críticas, lida diretamente com a prestação de serviços de suporte vital, onde a eficácia é de essencial importância e a constante melhoria é imperativa. A complexidade da otimização aumenta devido às exigências que afetam vidas humanas.

O problema abordado nesta dissertação está enquadrado numa vertente particular de rotas de veículos, conhecido por problema de rotas dinâmicas para veículos ou, em inglês, como *Dynamic Vehicle Routing Problem* (DVRP).

Dada a particularidade da situação estudada e a sua influência direta na vida das pessoas, a procura de boas soluções neste contexto não é apenas um exercício teórico, mas sim uma tarefa muito importante a fim de melhorar a prestação desses serviços essenciais.

### 1.2 Definição de cuidados respiratórios ao domicílio

Os CRD referem-se a serviços de saúde com o objetivo de melhorar a qualidade de vida de pessoas com necessidades resultantes de condições respiratórias tais como a doença pulmonar obstrutiva crónica, a asma, ou a apneia do sono, visando o tratamento e a gestão de condições médicas relacionadas com o sistema respiratório, oferecendo-lhes tratamento nos seus locais de residência, com o uso de equipamento especializado, proporcionando uma maior comodidade para o paciente.

São oferecidos tratamentos como a oxigenoterapia, terapia com ventilador, administração de medicamentos inalatórios e, também, a monitorização cardiorrespiratória e apoio psicológico (Gabinete do Secretário de Estado Adjunto e da Saúde, 2019).

### 1.3 Descrição do problema e objetivo geral

No final de cada dia é planeada a rota que os trabalhadores da empresa farão no dia seguinte. Esse planeamento tem em consideração tanto os serviços previamente agendados, como aqueles que não

foram realizados em dias anteriores. À medida que o dia avança, chegam novos pedidos que terão de ser incorporados nas rotas em execução. Pretende-se otimizar todo este processo dinâmico.

O objetivo desta dissertação é obter as rotas dinâmicas otimizadas, incorporando os novos pedidos tendo em consideração o horário de trabalho dos funcionários. Em suma, o intuito não é apenas a eficiência operacional, mas também é desenvolver rotas que garantam uma equidade na carga horária dos técnicos.

#### **1.4 Questões e objetivo de investigação**

Para abordar o tema da equidade em termos de tempo das rotas, assim como os efeitos que podem resultar da utilização de algoritmos melhorativos sobre as rotas iniciais, isto é, rotas criadas antes do dia em questão, foram desenvolvidas duas questões de investigação:

- Qual será a importância que o limite no horário de trabalho irá trazer no balanceamento do número de horas de trabalho de cada técnico?
- Como irão ser afetados os resultados, utilizando algoritmos melhorativos para obter rotas otimizadas à partida?

Com base nas questões de investigação e no objetivo definido para este estudo, fica clara a finalidade subjacente à dissertação: resolver um problema real, aprimorando os serviços de CRD, com o propósito de otimizar a sua eficiência e promover a paridade de horários entre os funcionários. Por outras palavras, pretende-se implementar um método que reduza o tempo de deslocação, resultando numa maior produtividade para este tipo de suporte domiciliário, o qual exerce um impacto direto na qualidade de vida dos indivíduos que dele necessitam. O cerne desta procura pela melhoria reside na oferta de uma assistência mais ágil àqueles que confiam nesse apoio nas suas residências, ao mesmo tempo que se procura equilibrar os horários de trabalho dos colaboradores.

A finalidade desta investigação foi pensada com o intuito de responder às questões de investigação propostas. Assim, os objetivos centram-se em dois aspetos desta dissertação:

- Em primeiro lugar, será a criação de um método a ser implementado em linguagem *Python*. Este método é composto por duas fases distintas: numa fase inicial recorre-se a uma heurística, designada por heurística de inserção de menor custo, com o propósito de alocar os pedidos às rotas dos técnicos. Subsequentemente, numa fase posterior, é utilizada uma heurística melhorativa do tipo 2-optimal para cada novo pedido inserido. O objetivo desta segunda fase é aperfeiçoar os resultados obtidos na fase anterior, procurando otimizar as rotas já estabelecidas.
- O segundo aspeto desta investigação abordará o impacto da restrição sobre o limite máximo de horas de trabalho dos técnicos, nos resultados alcançados após a implementação do método.

## **1.5 Estrutura da dissertação**

A dissertação seguirá uma estrutura organizada em capítulos, em que cada capítulo corresponderá a uma fase da investigação.

No capítulo 2, será apresentada a revisão de literatura relacionada com o problema em estudo e no capítulo 3 será descrito, detalhadamente o caso de estudo abordado.

No capítulo 4, o método desenvolvido para alcançar os resultados será apresentado em detalhe. Além disso, neste capítulo serão exemplificados dois casos que ilustram o processo de cada algoritmo utilizado para a construção do método.

No capítulo 5, serão apresentados e analisados os resultados computacionais.

Finalmente, no capítulo 6, apresentam-se as principais conclusões baseadas nos resultados computacionais obtidos, juntamente com as limitações identificadas ao longo da investigação. Este capítulo também fornecerá sugestões para trabalhos futuros.





## Capítulo 2

### Revisão de Literatura

Neste capítulo, procede-se à revisão de literatura relacionada com o problema em estudo, o qual é designado por *Dynamic Vehicle Routing Problem* (DVRP). Este problema específico configura-se como uma variante do problema de determinação de rotas para veículos ou *Vehicle Routing Problem* (VRP). Dessa forma, procede-se, inicialmente à descrição do VRP seguido pelo DVRP. Conclui-se este capítulo com a apresentação de algumas variantes do DVRP e métodos mais empregues na obtenção de soluções para este tipo de problemas.

#### 2.1 *Vehicle Routing Problem*

A primeira vez que surgiu um problema de determinação de rotas para veículos, descrito como uma questão de otimização, foi num artigo escrito por Dantzig & Ramser, em 1959. Os autores designaram o problema como um “*truck dispatching problem*”, numa tradução direta, um problema de frotas de veículos. A abordagem foi gerir os trajetos de uma frota de camiões de distribuição de combustível de uma forma eficiente, otimizando os percursos dos veículos ao longo das rotas necessárias. Mais tarde, este tipo de problemas passou a ser classificado como um *Vehicle Routing Problem* (Braekers *et al.*, 2016).

Após a publicação de Dantzig & Ramser (1959), muita investigação foi realizada e publicada com o intuito de obter soluções para diferentes tipos de VRP. Alguns exemplos notáveis são o VRP com restrições sobre a capacidade de cada veículo, VRP com imposições temporais e o VRP dinâmico (Mor & Speranza, 2022).

Frequentemente, os algoritmos empregues na resolução desses problemas enfrentam dificuldades em encontrar a solução exata devido à complexidade das situações envolvidas. Nesse contexto, os resultados produzidos por esses algoritmos são referidos como soluções admissíveis, representando uma abordagem aproximada à solução exata (Mor & Speranza, 2022).

É possível definir o VRP como a resposta à pergunta: para um dado conjunto de veículos e um dado conjunto de clientes, quais as rotas que devem ser traçadas para satisfazer as necessidades de todos os clientes? O propósito do VRP reside em determinar uma solução que minimize o custo global inerente a este processo.

Na maior parte dos cenários, essa minimização traduz-se na redução das distâncias percorridas pelos veículos, uma preocupação que está no cerne desta questão (Mor & Speranza, 2022).

#### 2.2 *Dynamic Vehicle Routing Problem*

Num contexto de VRP estático, no qual os parâmetros e restrições do problema podem ser claramente definidos antes da implementação do método, torna-se possível encontrar uma boa solução admissível

do problema. No entanto, em muitas situações não há o conhecimento preciso dos diversos elementos que compõem o problema, resultando estas em situações mais complexas.

Neste sentido, houve a necessidade de uma adaptação do VRP para um ambiente dinâmico com a exploração de novos métodos e algoritmos que se pudessem adaptar a situações em constante mutação, reconfigurando rotas e estratégias em tempo real, ampliando consideravelmente o campo de aplicação.

Como foi mencionado no início deste capítulo, a investigação conduzida nesta dissertação aborda uma variante do VRP que tem como foco a resolução de um tipo de problemas onde determinados parâmetros são desconhecidos inicialmente. Essas incógnitas, que podem envolver o tempo preciso para realizar um serviço, a duração da viagem entre dois pontos, a localização precisa dos clientes, a situação de congestionamento das vias, fazem com que esta nova abordagem seja designada por *Dynamic Vehicle Routing Problem (DVRP)* (Bektas *et al.*, 2014; Braekers *et al.*, 2016).

A primeira aplicação do DVRP foi estudada na década de 70 do século XX. Inicialmente por Speidel em 1976, por Wilson e Colvin, em 1977 e por Psaraftis em 1980 (Rios *et al.*, 2021).

O DVRP é a contraparte dinâmica de um VRP e pode ser considerado uma extensão do VRP que trabalha com a adaptação e manipulação de rotas em tempo real, levando em consideração múltiplas restrições.

Ao longo do horizonte temporal, informações em tempo real vão sendo incorporadas, levando a ajustes contínuos nas rotas. O termo dinâmico refere-se exatamente à capacidade de ser possível modificar um ou mais parâmetros do problema em resposta às mudanças (Golden *et al.*, 2008).

Do mesmo modo que o objetivo do VRP era minimizar as distâncias percorridas pelos veículos visando a minimização dos custos da rota, para o DVRP o objetivo vai depender dos novos parâmetros que surgem, num cenário em evolução, proporcionando mais flexibilidade conforme os requisitos mutáveis do problema. Esses objetivos podem variar entre minimizar os custos das rotas ou otimizar o tempo de satisfação de pedidos realizados durante a execução das rotas.

A figura 2.1 ilustra o procedimento de uma rota dinâmica (Pillac *et al.*, 2013). No momento  $t_0$  o veículo encontra-se no armazém (*depot*), tendo sido planeada a execução da rota (Armazém, A, B, C, D, E, Armazém). No instante  $t_1$ , o veículo está a dirigir-se para o pedido C, tendo já sido satisfeitos os pedidos A e B. Durante esse período, são introduzidos no sistema dois novos pedidos, X e Y que vão requerer a alteração da rota, inserindo o pedido Y entre os pedidos D e E, e o pedido X entre o pedido E e o Armazém. Assim, o veículo em vez de fazer o trajeto direto de D para E, passa a fazer o trajeto (D, Y, E). Do mesmo modo, o trajeto de E para o Armazém passa a ser feito o trajeto (E, X, Armazém). No final da execução da rota, no instante  $t_f$ , ficamos com o percurso: (Armazém, A, B, C, D, Y, E, X, Armazém).

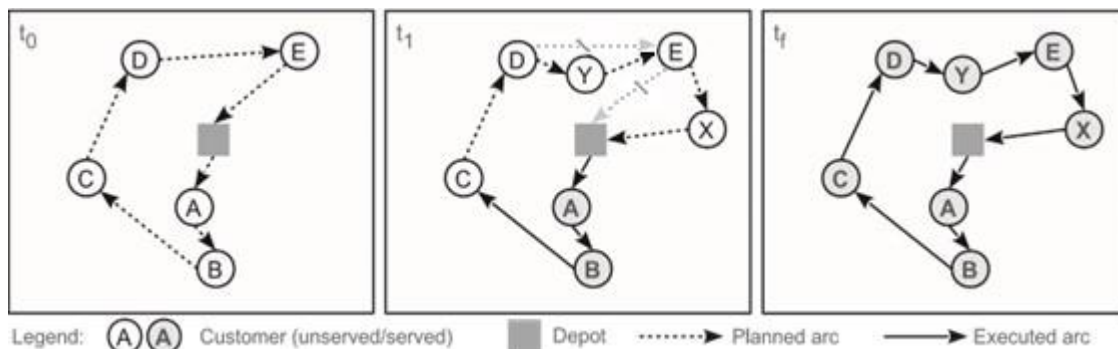


Figura 2.1 – Exemplo da execução de uma rota dinâmica baseado em Pillac *et al.* (2013)

De forma análoga ao VRP, o DVRP também abarca uma diversidade de variantes. Para cada um dos diferentes tipos de DVRP, é necessária a aplicação de métodos e algoritmos adequados. Em certos casos, pode ser necessária a criação de um novo método fazendo a fusão de dois algoritmos já existentes (Zhang *et al.*, 2021).

Nas últimas duas décadas, registou-se um notável avanço no que diz respeito a artigos publicados sobre este tema. Este aumento de publicações deve-se aos progressos tecnológicos que ocorreram e que continuam em curso. Segundo Psaraftis *et al.* (2016), estes avanços incluem:

- Avanços do poder computacional tais como o aumento do desempenho dos *central processing units* (CPU) e o aumento da memória RAM dos computadores. Esses melhoramentos potenciam a execução de algoritmos complexos e o processamento de dados volumosos, tornando a abordagem do DVRP mais eficaz.
- *Big Data*: uma referência crucial nos avanços tecnológicos, o *Big Data* é um conjunto de métodos direcionados para o processamento e análise de quantidades enormes de dados e possibilita a aplicação de modelos e algoritmos na resolução de DVRP, em problemas de grande envergadura.
- Evolução nas técnicas de análise preditiva: a constante melhoria nas técnicas de análise preditiva, desempenha um papel importante na resolução de problemas dinâmicos como o DVRP por ajudarem a prever comportamentos e tendências futuras com base em dados anteriores.
- Outros avanços tecnológicos incluem: o uso massivo de dispositivos como *smartphones*, a expansão da internet, a evolução dos computadores e o desenvolvimento de aplicações que permitem a recolha de dados em tempo real. Estas inovações alimentam continuamente dados essenciais para a resolução eficaz do DVRP.

### 2.3 Variantes e métodos de resolução do DVRP

Nesta secção, serão apresentados, resumidamente, vários artigos que abordam variantes do DVRP, bem como os métodos usados para obter soluções admissíveis para o problema.

### **2.3.1 DVRP sem restrições**

No artigo de Xu *et al.* (2018) é abordado um problema semelhante àquele que é tratado nesta dissertação. Nesse contexto, existem pedidos que são conhecidos de antemão, antes que as rotas sejam desenvolvidas. No entanto, durante o decorrer do dia, novos pedidos surgem e precisam de ser incorporados nas rotas planejadas. O objetivo central de Xu *et al.* (2018) será otimizar a inserção destes pedidos adicionais, de forma a minimizar a distância total percorrida pelos veículos.

O DVRP é subdividido em vários períodos de tempo, nos quais cada período é tratado como um VRP estático. Para obter esta divisão, é empregue um *Event Scheduler System*, que aloca os pedidos conhecidos antecipadamente às rotas existentes, criando assim múltiplos VRPs e otimizando as suas trajetórias. Posteriormente, os pedidos realizados ao longo do dia são inseridos no sistema, associados ao período correspondente. Pedidos não atendidos no próprio dia são agendados para as rotas do dia seguinte (Xu *et al.*, 2018).

O método principal utilizado para obter os resultados é designado por colónia de formigas e pode ser descrito como o processo pelo qual as formigas determinam o caminho mais curto entre a colónia e a fonte de alimentos (Blum, 2005).

Ao abordar o problema desenvolvido por Xu *et al.* (2018), Kaiwartya *et al.* (2015) utilizam um algoritmo baseado no comportamento das aves, cuja conduta é análoga à das formigas, denominado por enxame de partículas (Kennedy & Eberhart, 1995).

Com o intuito de aperfeiçoar os resultados obtidos por Xu *et al.* (2018), são aplicados os seguintes algoritmo: *K-means* (Hartigan & Wong, 1979), a operação *crossover* (Alhijawi & Awajan, 2023) e o 2-optimal (Croes, 1958).

### **2.3.2 DVRP com janelas temporais**

O trabalho de Huang & Geng (2013) aborda uma classe do DVRP que consiste na satisfação de um dado serviço, dentro de uma janela temporal estabelecida pelo cliente ou pela empresa que presta o serviço. O objetivo deste problema será minimizar a distância total percorrida pela totalidade dos veículos.

Para obter os resultados do problema acima referido, são usadas várias heurísticas de pesquisa local (Michiels *et al.*, 2007). De seguida, são usadas as mesmas heurísticas para melhorar as soluções encontradas (Huang & Geng, 2013).

Para testar e validar o método desenvolvido, foram usados os dados de teste de *Solomon* (Braver & Braver 1988).

### **2.3.3 DVRP com informação do congestionamento das estradas em tempo real**

No artigo de Yu & Yang (2019), foi apresentado um algoritmo para resolver o *Dynamic Vehicle Routing Problem*, com informação do congestionamento das estradas em tempo real. O artigo refere que, ao

considerar o problema como um DVRP e não como o VRP estático, vai fazer com que o tempo total das rotas criadas diminua consideravelmente.

Para este problema, certos parâmetros são desconhecidos previamente quando se realiza o planejamento das rotas iniciais. Estes parâmetros manifestam-se no decorrer dos tempos de serviço e durante os tempos de viagem. Em conformidade com a informação sobre o tráfego das estradas, a rota de cada veículo é otimizada (Yu & Yang, 2019).

Tal como o artigo de Huang & Geng (2013), o objetivo deste problema será minimizar a distância total percorrida por cada veículo.

É criado um algoritmo de aproximação dinâmica, baseado na programação linear, para obter soluções admissíveis para o problema (Farias & Roy, 2003). Para melhorar os resultados obtidos, bem como aumentar a sua eficiência computacional, é usada a heurística *time-directed policy* (Adelman, 2007).

O método desenvolvido a partir do algoritmo e da heurística mencionada no parágrafo anterior é validado usando vários conjuntos de dados, com o intuito de testar o desempenho do método bem como a qualidade das soluções obtidas (Yu & Yang, 2019).

#### **2.3.4 DVRP com múltiplas rotas**

O DVRP, conforme definido por Azi *et al.* (2011) segue uma metodologia idêntica àquela posteriormente apresentada no artigo de Xu *et al.* (2018), para obtenção de soluções do problema. Neste contexto, o algoritmo utilizado neste artigo para encontrar soluções foi originalmente desenvolvido para lidar com um problema de natureza estática. Em primeiro lugar, a heurística vai determinar soluções para um *Vehicle Routing Problem* e, de seguida, são considerados múltiplos cenários de soluções possíveis (em que posição e em que rota o novo pedido vai ser introduzido), geradas com base no passado da empresa sobre pedidos e rotas anteriormente realizadas, para conseguir resolver o VRP num espaço dinâmico, classificando este problema como um DVRP.

O problema abordado no artigo de Azi *et al.* (2011), consiste numa variante de DVRP onde cada veículo realiza múltiplas rotas. O dinamismo é refletido na inserção de novos pedidos feitos por parte dos clientes, durante um horizonte temporal limitado. Tal como os artigos apresentados anteriormente, novos pedidos vão ser realizados no decurso das rotas planeadas. Para cada novo cliente/pedido é associado um valor, um tempo de serviço e uma janela temporal que tem de ser cumprida (Azi *et al.*, 2011).

Para obter soluções admissíveis para o problema, é desenvolvida uma solução inicial a partir da heurística de inserção (Gendreau *et al.*, 1998). De seguida, é usada a heurística *adaptive large neighborhood search*, para melhorar a solução resultante da primeira heurística (Ropke & Pisinger, 2006; Azi *et al.*, 2011).

São considerados cenários de soluções possíveis de pedidos futuros, no sentido de obter soluções para a parte dinâmica do problema. Os cenários iniciais desta fase são otimizados usando a *adaptive*

*large neighborhood search*. Cada cenário ponderado possui regras de aceitação de pedidos, baseadas na disponibilidade e nas competências de cada técnico (Azi *et al.*, 2011).

### **2.3.5 DVRP com entrega e recolha**

Berahhou *et al.* (2022) apresentam uma outra variante do DVRP que pretende otimizar a entrega e a recolha de produtos. A satisfação de um novo pedido pode ser feita através das rotas de veículos, introduzindo o novo pedido na rota com maior disponibilidade para o fazer ou na rota onde o custo de satisfazer o pedido seja menor. Se nenhuma das rotas reunir condições para realizar o pedido, é usado um dos veículos do armazém que se encontra acessível. Neste caso, para cada veículo da frota existe um limite de capacidade de produto, sendo necessário retornar ao armazém para reabastecer o *stock* (Berahhou *et al.*, 2022).

Foi usado um algoritmo memético (*memetic algorithm*) para obter soluções admissíveis para o problema (Moscato, 1986). Este método pode ser traduzido como a combinação de dois algoritmos diferentes. Em primeiro lugar, é usado um algoritmo genético para encontrar as soluções admissíveis do problema, baseado em processos naturais de seleção imitando a teoria darwiniana de evolução (Alhijawi & Awajan, 2023). Em seguida, são utilizadas várias heurísticas de pesquisa local, com o intuito de melhorar a solução obtida pelo algoritmo genético (Berahhou, *et al.*, 2022; Michiels *et al.*, 2007).

Como o método desenvolvido é sensível aos parâmetros introduzidos pelo utilizador, em particular durante a primeira fase, os autores realizaram vários testes ao modelo para aperfeiçoar esses parâmetros, estes fundamentais para o funcionamento do método, visto que vão condicionar diretamente a qualidade dos resultados finais obtidos (Berahhou *et al.*, 2022).

## Capítulo 3

### Caso de Estudo

O caso abordado nesta dissertação é caracterizado como um problema de determinação de rotas dinâmicas (*Dynamic Vehicle Routing Problem*). Apresenta-se um caso de estudo já investigado por Ferreira (2021) e os dados tratados na sua investigação serão os utilizados nesta dissertação.

Nesse estudo, os dados utilizados eram reais, de apenas um dia de expediente, provenientes de uma empresa de cuidados de saúde domiciliários, na área de cuidados respiratórios, conforme já foi mencionado. No entanto, esses dados apresentavam algumas limitações que foram identificadas e abordadas por Ferreira (2021).

Entre as limitações identificadas, destacava-se a presença de dados incompletos relativos às distâncias percorridas entre pontos do percurso, ao tempo decorrido entre os serviços e até no que dizia respeito à informação sobre certos pedidos. Para retificar essas limitações, foram implementadas alterações e correção nos dados (Ferreira, 2021).

O objetivo da investigação realizada por Ferreira (2021) foi obter soluções, onde todos os pedidos feitos durante o dia em questão, fossem satisfeitos, minimizando a duração total dos serviços realizados pelos técnicos.

As rotas iniciais reais realizadas pela empresa já manifestavam disparidades no tempo que demoravam a ser cumpridas. Um dos exemplos é o caso de uma rota com duração total de 11 horas e 41 minutos, em comparação com a média global de todas as rotas realizadas pelos técnicos, de 6 horas e 13 minutos naquele dia. Este desequilíbrio foi visível nas soluções obtidas por Ferreira (2021), que sugeriram uma distribuição desigual de tarefas e percursos no trabalho dos técnicos.

A presente dissertação tem por base os mesmos dados. Contudo o equilíbrio das rotas em termos de tempo passa também a ser uma prioridade.

Para alcançar esse equilíbrio e evitar grandes discrepâncias na duração das rotas, é implementada uma nova condição em relação ao horário de trabalho dos técnicos. Esta condição estipula que os técnicos devem cumprir um máximo de 10 horas de trabalho, sendo esta uma condição fundamentada na equidade das tarefas e tem como resultado o envolvimento de todos os técnicos disponíveis na conclusão dos serviços.

Esta restrição do horário de trabalho terá implicações significativas na inserção de novos pedidos numa rota. Quando se insere um novo pedido numa rota em curso, deve-se ter em conta o tempo que o técnico levará a percorrer os serviços já agendados, somado ao tempo necessário para atender este novo pedido. Se esta soma exceder o limite de tempo imposto por esta nova restrição, o pedido não poderá ser inserido nessa rota específica, sendo necessário atribuí-lo a outro técnico.

As características deste caso de estudo são as seguintes:

- A empresa tem 10 técnicos disponíveis no dia em estudo.

- Até ao início de um novo dia de trabalho, existem pedidos previamente agendados designados por pedidos antecipados.
- Ao longo do dia, vão entrando no sistema novos pedidos, designados por pedidos imediatos. À medida que os pedidos imediatos entram no sistema, é necessário inseri-los nas rotas dos técnicos, forçando a que estas sejam re-otimizadas periodicamente.

Existem várias particularidades que é necessário observar e que definem a forma como são estruturadas e otimizadas as rotas e a escolha dos diferentes intervenientes.

- Todos os serviços devem ser realizados entre as 8 e as 21 horas. Os pedidos que não forem satisfeitos dentro desse período serão realizados em dias posteriores.
- Na empresa existem dois perfis de técnicos: os que tratam da logística e instalação de sistema de ventilação assistida, designados por VENT, e os que fornecem gás para efeitos medicinais, designados por OXIG. Quando um novo pedido é recebido, é atribuído ao perfil de técnico correspondente. Este procedimento visa otimizar a especialização dos técnicos e a eficiência na realização dos serviços.
- Os trabalhadores da empresa dispõem de flexibilidade em relação ao horário de trabalho. Cada técnico tem isenção de horário e pode começar a trabalhar a qualquer hora, desde que respeite a janela temporal das 8 às 21 horas e não ultrapasse a duração máxima permitida de 10 horas por turno diário.
- O intervalo para o início da refeição ocorre entre as 14 e 15 horas e tem a duração de uma hora. A hora de almoço é definida em duas situações distintas:
  - Se um técnico está a caminho de um serviço às 14 horas, deverá fazer uma pausa para almoçar, num local próximo da rota planeada, e em seguida continuar o seu trajeto até ao cliente.
  - Se às 14 horas o técnico está a realizar um serviço, deverá almoçar depois de terminar esse serviço.
- Cada pedido possui um nível de urgência próprio designado *rank*, com o valor 1 (urgente) ou 2 (não urgente). Geralmente, devido ao seu carácter de urgência, todos os pedidos com *rank* 1 são satisfeitos no próprio dia, enquanto os pedidos com *rank* 2, se não houver disponibilidade dos técnicos para os satisfazer, poderão transitar para dias subsequentes.
- Para além do *rank*, cada pedido tem um valor que representa a prioridade dentro do seu *rank*. Este valor de prioridade está relacionado com a importância do pedido em relação aos outros e contribui para a tomada de decisões na alocação dos pedidos nas rotas dos técnicos.
- Cada pedido tem associada uma duração, independente do tipo de serviço que é realizado.

Para além das características mencionadas anteriormente, atendendo à importância da equidade entre os trabalhadores, consideram-se novas restrições para a resolução do problema:



- Existe um limite estrito máximo de horas de trabalho, igual para todos os técnicos.
- É estabelecida a restrição de que os técnicos não podem fazer horas extraordinárias, para além do limite máximo estabelecido. Isso reforça a equidade e assegura que o tempo de trabalho seja distribuído de forma justa.
- Cada rota tem associado um técnico específico, cujo perfil (VENT ou OXIG) corresponde aos tipos de pedidos que podem ser satisfeitos nessa rota.

Na tabela 3.1 é apresentado um resumo da informação sobre os técnicos e o tipo de pedido que podem realizar, bem como a hora de entrada ao serviço.

Tabela 3.1 – Informação sobre cada técnico da empresa e número de pedidos antecipados atribuídos no início do dia em estudo.

ID do Técnico	Tipo de pedido que pode ser satisfeito	Hora de Entrada	Número de pedidos antecipado a serem satisfeitos
1	VENT	8:00	11
2	VENT	8:00	4
3	VENT	8:00	14
4	VENT	10:30	5
5	OXIG	8:00	19
6	OXIG	11:00	3
7	OXIG	11:00	9
8	OXIG	11:00	5
9	VENT	8:00	2
10	OXIG	11:00	11
<b>Total</b>			<b>83</b>

De seguida apresenta-se a figura 3.1, onde consta a informação sobre os pedidos totais feitos, que correspondem ao dia em questão. Neste gráfico, é perceptível que no total foram feitos 122 pedidos, sendo 83 pedidos antecipados (75,3%) e 39 pedidos imediatos (24,6%).

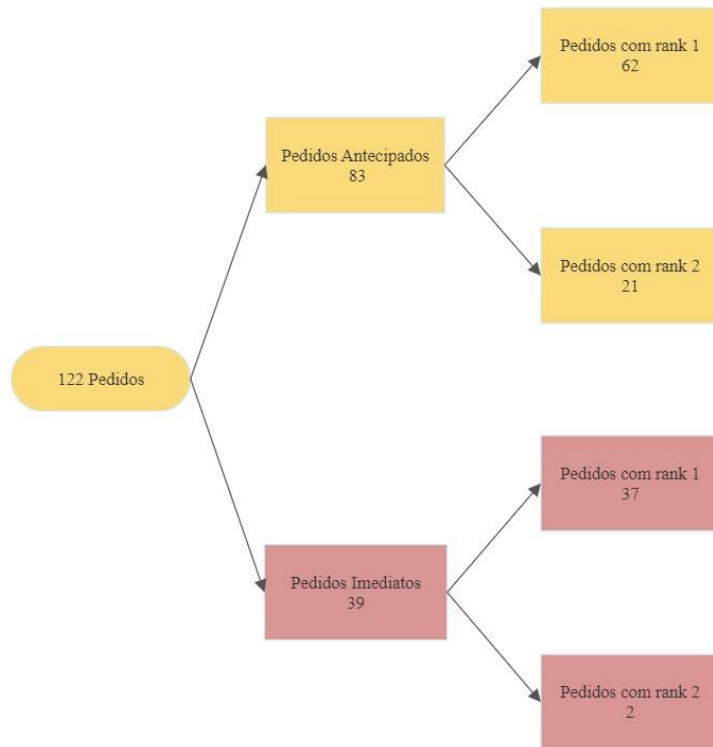


Figura 3.1 – Informação sobre os pedidos realizados

Na figura 3.2, é apresentada a distribuição geográfica de todos os pedidos, incluindo o armazém, para o dia em estudo. A maior parte dos pedidos antecipados, bem como a maioria dos pedidos imediatos, encontram-se muito próximos do armazém.

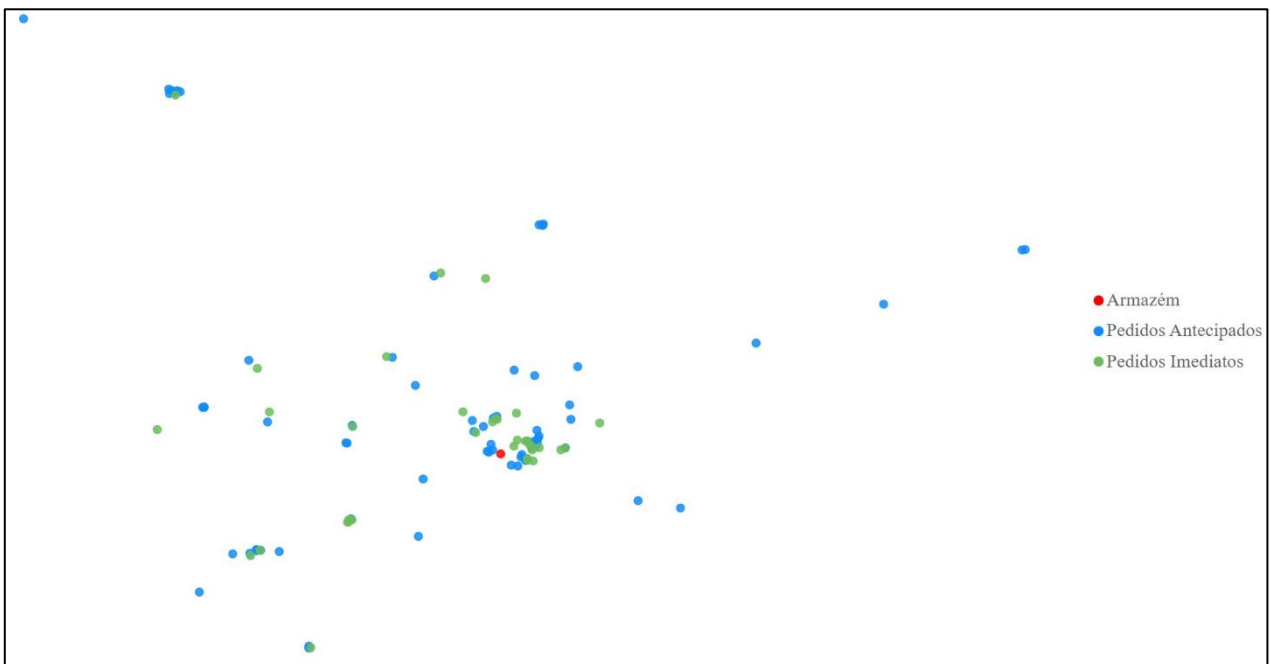


Figura 3.2 – Distribuição geográfica dos pedidos

## Capítulo 4

### Método de resolução

Neste capítulo serão descritos os métodos usados para obter as soluções admissíveis para o problema em estudo, assim como dois exemplos de como os métodos operam.

#### 4.1 Descrição dos algoritmos

Pretende-se obter rotas equilibradas, em termos de tempo, que minimizem o custo total. O custo total é a soma do tempo percorrido pelos técnicos entre serviços com o tempo necessário para satisfazer cada serviço.

O método usado para obter estas soluções é constituído por uma fase inicial, que consiste na obtenção de soluções admissíveis, utilizando uma heurística de inserção de menor custo (Madsen *et al.*, 1995). Na fase posterior é aplicada uma heurística de melhoramento local do tipo 2-optimal (Ulder N. L. *et al.*, 1991).

Apresenta-se na tabela 4.1 a descrição e a definição dos parâmetros utilizados para desenvolver os algoritmos, bem como algumas observações.

Tabela 4.1 – Informação sobre os parâmetros utilizados para desenvolver o método.

Designação	Definição	Observações
0	Depósito/Armazém.	
$T = [t_{i,j}]$	Matriz de tempos (em minutos).	Representa os custos (tempos) entre os pedidos e entre os pedidos e o armazém.
$amp$	Amplitude dos intervalos de tempo (em minutos).	Representa o tempo entre inserções de novos pedidos imediatos nas rotas.
$t_n$	Instante de tempo (em minutos).	$t_0 = 0$ e $t_n = n * amp$
$T_n$	Intervalo de tempo (em minutos).	$T_0 = ] - \infty, t_0]$ e $T_n = ]t_{n-1}, t_n]$ $T_0$ representa o intervalo de tempo até ao início dos serviços do dia e no qual ficam conhecidos os pedidos antecipados.
$P_n$	Conjunto de pedidos que surgiram no intervalo $T_n$ .	$P_0$ representa o conjunto de pedidos antecipados.
$N$	Número de intervalos de tempo com amplitude $amp$ .	$N = 26$ para este caso de estudo.
$p$	Pedido $p \in P_n, \forall n \geq 0$ .	Cada pedido $p$ tem como atributo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de serviço.</li> <li>• ID.</li> <li>• Rank.</li> <li>• Momento de receção do pedido.</li> <li>• Duração do pedido.</li> </ul>
$R$	Conjunto total das rotas.	
$L$	Limite de duração de cada rota (em horas).	Este limite é igual para todas as rotas $r \in R$
$\delta$	Tolerância sobre o limite $L$ imposto.	$\delta \in [0,1]$

$r$	Rota $r \in R$ que começa e termina no 0, com $r = (0, \dots, i, i + 1, \dots, 0)$ .	Cada rota $r$ tem como atributo: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipo de serviço.</li> <li>• Limite máximo de trabalho, <math>L</math>.</li> <li>• Tolerância sobre esse limite, <math>\delta</math>.</li> <li>• Hora de almoço (em minutos).</li> <li>• Duração da rota, <math>dur(r)</math>.</li> <li>• Vetor com o instante de chegada a cada cliente da rota, <math>tempo\_c</math>.</li> </ul>
$R^p$	Conjunto das rotas $r \in R$ admissíveis para satisfazer o pedido $p$ .	As rotas $r \in R^p$ são rotas compatíveis com o tipo de serviço do pedido $p$ e a inserção do pedido $p$ não ultrapassa o limite $L$ e a tolerância $\delta$ ( $L + \delta \times L$ ).
$pos$	Serviço da rota $r$ a seguir ao qual será inserido o pedido $p$ .	
$V_{pos}$	Posição de um dado cliente dentro da rota $r$ .	$V_{pos}[r]$ representa, para uma rota $r \in R^p$ , a posição do 1.º serviço após o instante $t$ .
$V_{final}$	Último serviço da rota $r$ antes de 0.	

Antes de apresentar o método, é necessário descrever o procedimento de inserir um pedido  $p$  na rota  $r$ , na posição  $a$ , com  $a \in r$ . Este procedimento significa que o pedido será inserido imediatamente a seguir ao serviço  $a$ , ou seja, se na rota  $r$  atual existir a ligação  $(a, b)$  com  $b$  o serviço a ser realizado imediatamente a seguir ao pedido  $a$ , com  $b \in r$ , então o serviço  $p$  será inserido entre os serviços  $a$  e  $b$ . Portanto, passarão a existir as ligações  $(a, p)$  e  $(p, b)$  e a ligação  $(a, b)$  será removida da rota  $r$ .

Na figura 4.1 está representado a janela temporal considerada.

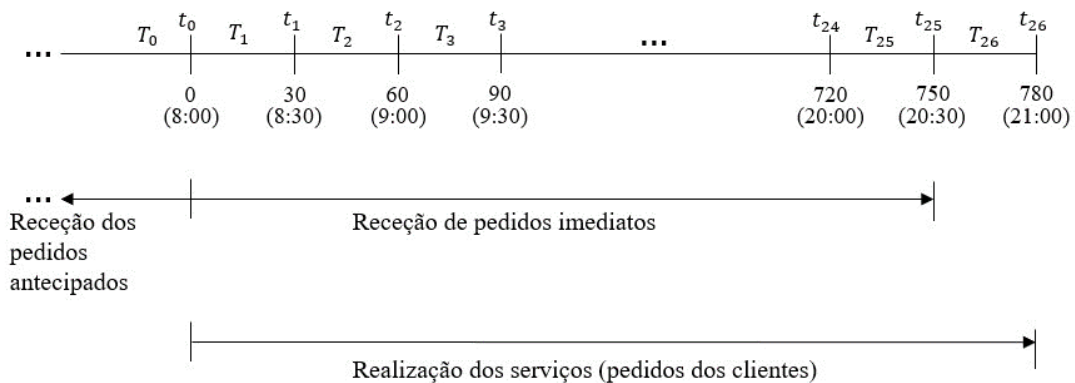


Figura 4.1 – Janela temporal considerada

Consideram-se dois casos relativamente às rotas iniciais (rotas construídas com apenas pedidos antecipados): as rotas fornecidas pela empresa que não eram equitativas, em termos de tempo, e rotas construídas com base no método descrito neste capítulo.

A inserção dos pedidos imediatos que chegam durante a janela temporal considerada é feita numa das rotas admissíveis usando a heurística de inserção de menor custo. Após a inserção de um pedido numa dada rota, é usada uma heurística de melhoramento local.

Apresenta-se a descrição dos algoritmos usados.

---

---

**ALGORITMO BASE**

---

---

INPUT:

$R^p, amp, N, P_0, \dots, P_{N-1}$

PASSO 0 // Construção das rotas iniciais ou o uso das rotas já existentes

Se  $r = (0,0)$ :

$dur(r) = 0$

$rMin = 0$

$V_{pos} = 0$

Para cada pedido  $p \in P_0$ :

$HeurMenorCusto(p, R^p, V_{pos}, rMin)$

$HeurTrocasLocais(rMin, V_{pos})$

PASSO 1 // Inserção dos pedidos imediatos nas rotas disponíveis

Para  $n = 1, \dots, N - 1$ : // Pedidos aceites até ao penúltimo período

$T_n = ]t_{n-1}, t_n]$

$amp = 30$

$t_n = n * amp$

$PosTempos(R^p, t_n, V_{pos})$

Para cada pedido  $p \in P_n$ :

$HeurMenorCusto(p, R^p, V_{pos}, rMin)$

$HeurTrocasLocais(rMin, V_{pos})$

OUTPUT:

$R$  // Rotas finais realizadas pelos técnicos dentro da janela temporal estabelecida

---

Algoritmo correspondente à heurística de inserção de menor custo:

---

**HeurMenorCusto** ( $p, R^p, V_{pos}, rMin$ )

---

INPUT

$R^p, p, V_{pos}$

PASSO 1

$CustoMin = +\infty$

Para cada rota  $r \in R^p$ :

$pos = -1$

Para cada  $a = V_{pos}[r]$  até  $a = 0$ : // Para todos os pares (a, b) de serviço consecutivos

$CustoIns(p, r, a, custo)$

Se  $dur(r) + custo \leq L + (L \times \delta)$ :

Se  $custo + dur(r) < CustoMin$ :

$CustoMin = custo + dur(r)$

$pos = a$

$rMin = r$

Se  $pos \geq 0$

$InserirPedido(p, rMin, pos)$

OUTPUT

$R^p$  // Conjunto de rotas  $R^p$  após a inserção do pedido  $p$

---

Algoritmo correspondente ao melhoramento local:

---

**HeurTrocasLocais** ( $rMin, V_{pos}$ )

---

INPUT

$rMin, V_{pos}$

PASSO 1

$CustoMin = dur(rMin)$

Para  $i = V_{pos}$  até  $V_{final}$ , com  $i \geq 1$ :

Para  $k = 2$  até  $(V_{final} - V_{pos})$ , com  $k \geq 1$  e  $k \leq V_{final} + 1$ :

Construir a rota  $r_0 = (0, \dots, i, i + k, i + (k - 1), i + (k - 2), \dots, i + (k + 1), i + (k + 2), V_{final}, 0)$

Se  $dur(r_0) < CustoMin$ :

$CustoMin = dur(r_0)$

$rMin = r_0$

OUTPUT

$rMin$  // Rota após as trocas locais

---

Algoritmo correspondente à inserção de um pedido numa rota:

---

**InserirPedido** ( $p, r, i$ ) // Inserir o pedido  $p$  na rota  $r$ , imediatamente a seguir ao serviço  $i$

---

INPUT

$p, r$

PASSO 1

Se  $r \in R^p$ :

Se  $i = 0$ :

Se  $r = (0,0)$ : // O pedido  $p$  será o 1.º serviço da rota  $r$

$$r = (0, p, 0)$$

$$dur(r) = 2 \times t_{0,p}$$

Caso contrário:

$$r = (0, \dots, 0, p, 0)$$

$$dur(r) = dur(r) + t_{0,p} + t_{p,0}$$

Caso contrário:

$$r = (0, \dots, i, p, i + 1, \dots, 0)$$

$$dur(r) = dur(r) + t_{i,p} + t_{i+1,p} - t_{i,i+1}$$

OUTPUT

$r$  // Rota com pedido inserido

---

Algoritmo correspondente à posição da rota no tempo:

---

**PosTempos** ( $R^p, t, V_{pos}$ ) // Calcula a posição onde o técnico está, no instante  $t$

---

INPUT

$R^p, t$

PASSO 1

Para cada  $r \in R^p$ :

Se  $r = (0,0)$ :

$$V_{pos}[r] = 0$$

Caso contrário:

$$k = 1$$

Enquanto  $tempo_c[k] < t$ :

$$k = k + 1$$

$$V_{pos}[r] = k$$

OUTPUT

$V_{pos}$  // Vetor com a posição do 1º cliente após  $t$  de cada rota

---

Algoritmo correspondente ao custo de inserir um pedido:

---

***CustoIns (p, r, pos, custo)***

---

INPUT

*r, p, pos*

PASSO 1

Se  $pos = 0$ :

$$Custo = t_{0,p} + t_{p,0}$$

Caso contrário:

$$Custo = t_{pos,p} + t_{p,pos+1} - t_{pos,pos+1}$$

OUTPUT

*Custo* // Custo da inserção do pedido *p* na rota *r*

---

## 4.2 Exemplos dos métodos usados

Apresentam-se dois exemplos para ilustrar o método usado para obter duas rotas admissíveis num espaço dinâmico, ou seja, enquanto os técnicos realizam as rotas planeadas, entra no sistema um novo pedido para satisfazer. Depois de inserido o novo pedido numa das rotas utilizando a heurística de inserção de menor custo, é usada uma heurística de melhoramento local para aprimorar a rota obtida pela primeira heurística. O objetivo destes exemplos será a compreensão do funcionamento dos métodos usados para obter soluções admissíveis do problema, bem como a apresentação da restrição imposta sobre o horário dos trabalhadores.

### 4.2.1 Exemplo da heurística de inserção de menor custo

Neste exemplo temos a rota A com os pedidos (0, 1, 2, 3, 4, 5, 0) e a rota B com os pedidos (0, 5', 2', 3', 4', 1', 0), com 0 a representar o armazém onde todos os técnicos começam e acabam o seu dia de trabalho, bem como os custos entre cada par de pedido de cada rota, de (12, 15, 7, 10, 17, 9) e (6, 19, 2, 16, 25, 17), respetivamente.

Foi imposto um limite de tempo de trabalho de 90 minutos para as duas rotas.

O técnico que está a percorrer a rota A, tendo já satisfeito o pedido 1 e a caminho do pedido 2 recebe no sistema um novo pedido para satisfazer, o pedido 6. O mesmo se passa com o técnico que realiza a rota B, tendo já satisfeito o pedido 5' e a caminho do pedido 2', recebe a notificação deste novo pedido no sistema.



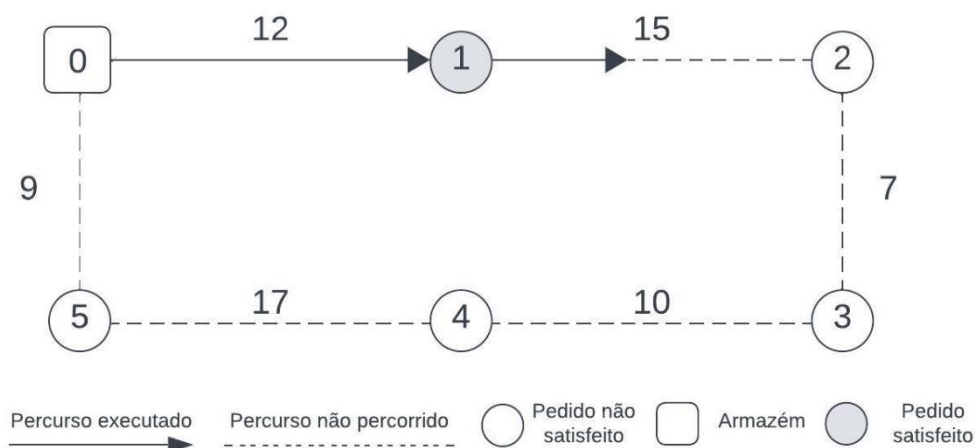


Figura 4.2 – Rota A

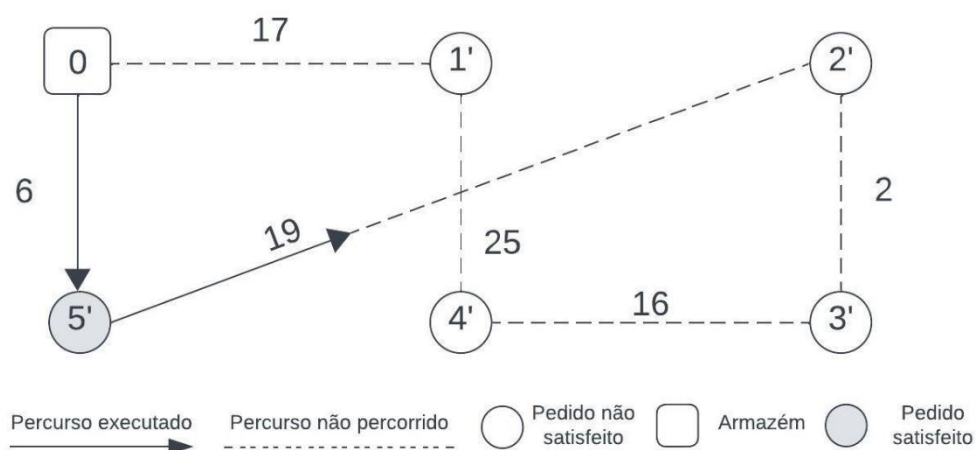


Figura 4.3 – Rota B

A rota A e a rota B têm o custo total de 70 e 85, respectivamente. O objetivo será escolher a rota onde a inserção do novo pedido não ultrapasse o limite de tempo estabelecido e, ao mesmo tempo, otimizar a inserção deste mesmo pedido, isto é, tentar que a inserção do pedido provoque o menor acréscimo possível no custo total inicial.

Na tabela 4.2 e 4.3 são apresentados os custos entre todos os pedidos da rota A e da rota B, com o novo pedido.

Tabela 4.2 – Custo entre os pedidos da rota A e o novo pedido.

	0	1	2	3	4	5
6	18	20	13	9	21	12

Tabela 4.3 – Custo entre os pedidos da rota B e o novo pedido.

	0	1'	2'	3'	4'	5'
6	10	18	6	3	25	13

Independentemente dos custos, o novo pedido só pode ser inserido na rota A, a partir do serviço 2, visto que o pedido 1 já foi satisfeito e o técnico está a caminho do serviço 2, tornando inviável colocar o novo pedido antes de 2 estar satisfeito. O mesmo princípio é aplicado na rota B, onde a inserção do pedido só pode ser feita a partir do serviço 2'.

Aplicando a heurística de inserção de menor custo para as duas rotas, começamos com a rota A.

Usando a heurística, tentamos inserir o pedido 6 entre os serviços 2 e 3.

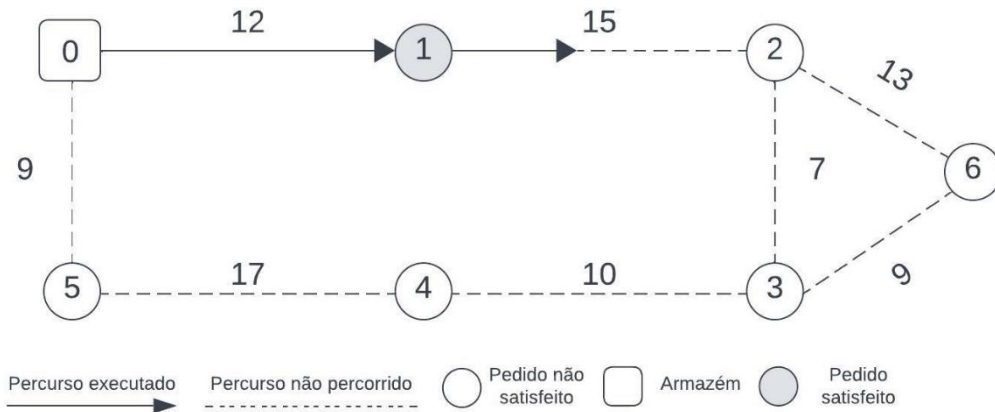


Figura 4.4 – Rota A com o pedido 6 inserido

O custo entre 2 e 6 vai ser  $C_{2,6} = 13$  e  $C_{6,3} = 9$ , logo o custo de inserir 6 entre 2 e 3 será  $C_{2,6} + C_{6,3} = 13 + 9 = 22$ . Adicionar 6 à rota A, significa que o caminho 2 a 3 não será percorrido pelo técnico, logo é necessário retirar esse valor ao custo total.

O custo de inserir o pedido 6 entre 2 e 3 será  $22 - C_{2,3} = 15$ . Portanto, inserir o pedido 6 entre 2 e 3 vai aumentar o custo de total para  $C_{Total} = 70 + 15 = 85 \leq 90$ .

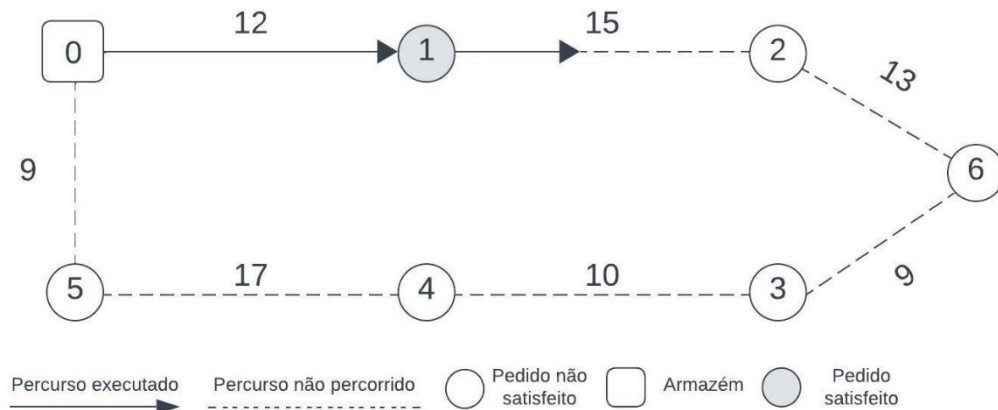


Figura 4.5 – Rota A, retirando o percurso (2,3)

Utiliza-se o mesmo processo para conhecer os custos de inserir o pedido 6 entre os serviços da rota A e obtêm-se:

- $C_{3,6} + C_{6,4} - C_{3,4} = 20$  com o custo total de  $C_{Total} = 90 = 90$
- $C_{4,6} + C_{6,5} - C_{4,5} = 16$  com o custo total de  $C_{Total} = 86 \leq 90$
- $C_{5,6} + C_{6,0} - C_{5,0} = 21$  com o custo total de  $C_{Total} = 91 > 90$

Para finalizar a inserção do pedido 6, é necessário fazer o mesmo procedimento com a rota B, para poder seleccionar a inserção de menor custo deste novo pedido numa das duas rotas. Obtém-se:

- $C_{2',6} + C_{6,3'} - C_{2',3'} = 7$  com custo total de  $C_{Total} = 92 > 90$
- $C_{3',6} + C_{6,4'} - C_{3',4'} = 12$  com custo total de  $C_{Total} = 97 > 90$
- $C_{4',6} + C_{6,1'} - C_{4',1'} = 18$  com custo total de  $C_{Total} = 103 > 90$
- $C_{1',6} + C_{6,0} - C_{1',0} = 11$  com custo total de  $C_{Total} = 96 > 90$

É possível afirmar, após observar os resultados obtidos, que três dos quatro custos calculados para a rota B são menores que o custo de inserir o pedido na rota A ( $C_{2',6} + C_{6,3'} - C_{2',3'} = 7 < C_{2,6} + C_{6,3} - C_{2,3} = 15$ ,  $12 < 15$  e  $11 < 15$ ). No entanto todos os tempos ultrapassam a restrição sobre o limite máximo de trabalho estabelecido (90 minutos), logo o pedido 6 só vai poder ser inserido na rota A entre os serviços 2 e 3, 3 e 4 ou 4 e 5. De entre todas as possibilidades, é seleccionado inserir o novo pedido entre os serviços 2 e 3, por corresponder ao menor dos respectivos custos de inserção. A rota A final vai ficar (0, 1, 2, 6, 3, 4, 5, 0) com um custo total de  $C_{Total} = 85$

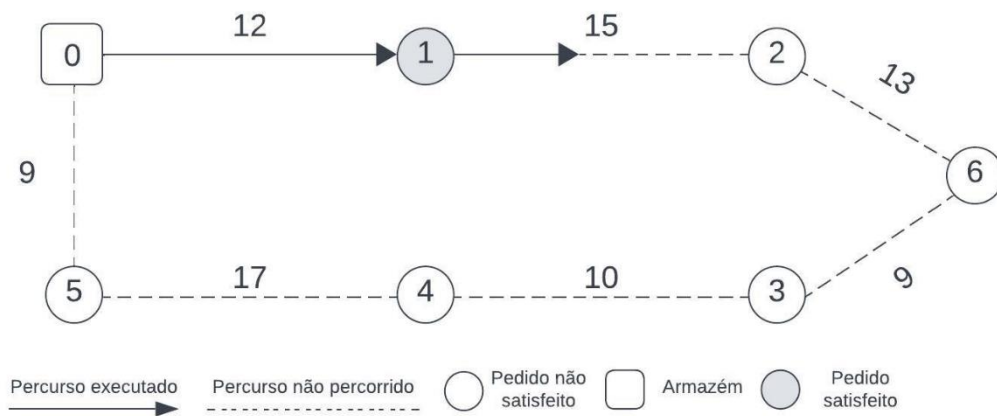


Figura 4.6 – Rota A final, após a aplicação da heurística de inserção de menor custo

Estas alterações sobre a rota são feitas num curto espaço de tempo, concedendo tempo ao sistema para enviar as alterações feitas sobre a rota para o técnico.

#### 4.2.2 Exemplo da heurística de melhoramento local

A rota A foi a única que sofreu alterações com a inserção do novo pedido e por isso será usada para exemplificar a heurística de melhoramento local.

As condições do problema são as mesmas:

- A rota A é (0, 1, 2, 6, 3, 4, 5, 0) e tem um custo total de 85.
- O técnico já satisfaz o pedido 1 e encontra-se a caminho do pedido 2.
- A rota A só pode ser alterada a partir do pedido 2, exclusive.

Na tabela 4.4 consta a informação sobre os custos entre todos os pedidos da rota A.

Tabela 4.4 – Custos entre os pedidos da rota A.

	0	1	2	3	4	5	6
0	0	12	16	5	13	9	18
1	12	0	15	14	16	5	20
2	16	15	0	7	9	16	13
3	5	14	7	0	10	11	9
4	13	16	9	10	0	17	21
5	9	5	16	11	17	0	12
6	18	20	13	9	21	12	0

Aplicando o algoritmo de melhoramento local, começamos a alterar a ordem de todos os pedidos da rota A, à exceção dos pedidos 1 e 2.

Começamos com o pedido 6 e alteramos a posição deste pedido com o pedido 3, alterando também os custos entre todos os pedidos que tinham ligação com 6 e 3.

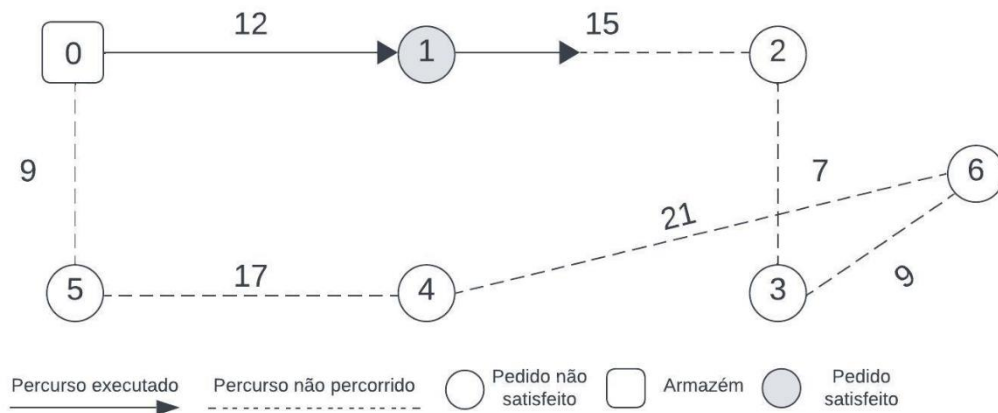


Figura 4.7 – Rota A alterando a posição dos pedidos 6 e 3

Esta alteração de posições fazem variar o custo total de  $C_{2,3} + C_{6,4} - C_{2,6} - C_{3,4} = 7 + 21 - 13 - 10 = 5$ , passando de 85 para 90. Sendo que variação aumentou o custo total final, esta alteração não será aceite.

Utiliza-se a mesma metodologia para obter as possíveis variações da posição do pedido 6 e obtêm-se:

- Alterar a posição de 6 com 3, varia o custo total para  $C_{Total} = 90 > 85$
- Alterar a posição de 6 com 4, varia o custo total para  $C_{Total} = 76 \leq 85$
- Alterar a posição de 6 com 5, varia o custo total para  $C_{Total} = 103 > 85$

Para terminar a aplicação da heurística de melhoramento local na rota A, é necessário alterar as posições dos restantes pedidos e obtêm-se:

- Alterar a posição de 3 com 4, varia o custo total para  $C_{Total} = 91 > 85$
- Alterar a posição de 3 com 5, varia o custo total para  $C_{Total} = 84 \leq 85$
- Alterar a posição de 4 com 5, varia o custo total para  $C_{Total} = 90 > 85$

Como alterar a posição de 6 com 4 corresponde à maior redução do custo total da rota A, então os pedidos 6 e 4 vão trocar de posições. No final a rota A vai ficar (0, 1, 2, 4, 3, 6, 5, 0) com um custo total de  $C_{Total} = 76$ .

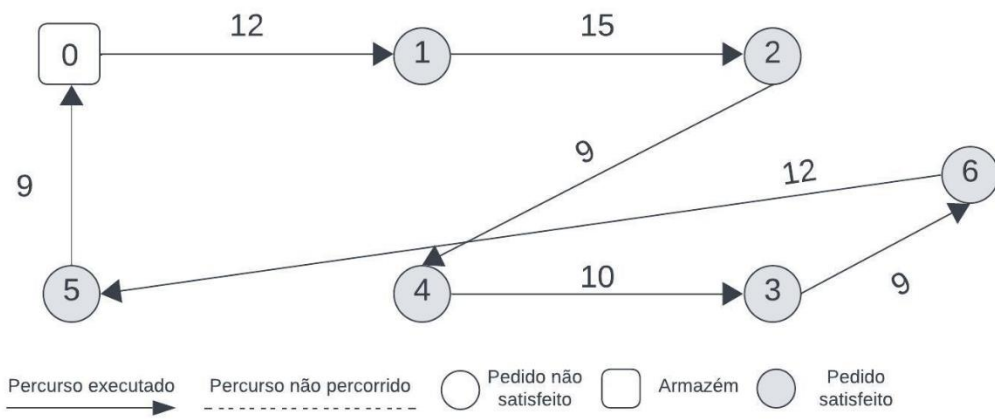


Figura 4.8 - Rota final A, após a aplicação da heurística de melhoramento local

## Capítulo 5

### Resultados computacionais

Neste capítulo serão apresentados e analisados os resultados obtidos pelo método descrito no capítulo anterior. São testados vários cenários. Um cenário partindo das rotas iniciais fornecidas pela empresa e um cenário com as rotas iniciais equilibradas. Consideram-se ainda diferentes distribuições na chegada de pedidos imediatos.

As soluções admissíveis foram obtidas num computador com processador Intel® Core™ i7-8700K @ 3.70ghz e com 16 GB de memória RAM. O método foi desenvolvido em linguagem *Python*, na versão 3.10.

Foi considerado um limite máximo  $L = 9$  horas, incluindo uma hora de almoço, e uma tolerância  $\delta = \frac{1}{9}$ , ficando com o limite para cada rota de 10 horas.

#### 5.1 Análise dos pedidos totais realizados

A informação sobre a totalidade dos pedidos realizados encontra-se na figura 3.1.

É possível afirmar que, dos 83 pedidos antecipados realizados, 62 são classificados como *rank 1* e 21 com *rank 2*.

No que diz respeito aos 39 pedidos imediatos realizados no dia em questão, 37 deles são classificados como *rank 1* e dois como *rank 2*.

#### 5.2 Cenários considerados

Foi realizada uma análise considerando dois cenários: o primeiro, designado por cenário *A*, baseou-se nos dados iniciais das rotas da empresa, nos quais se identificou, como foi mencionado no capítulo 3, uma notável discrepância nos tempos atribuídos aos diferentes funcionários. O segundo cenário considerado, designado por cenário *B*, foi concebido com o intuito de equilibrar, em termos de tempo, as rotas iniciais. Para tal, foram criadas novas rotas iniciais, seguindo o método descrito no capítulo anterior.

As tabelas 5.1 e 5.2 apresentam os dados das rotas iniciais fornecidos pela empresa e as rotas iniciais resultantes do método, respetivamente.

Tabela 5.1 – Informação das rotas iniciais do cenário A.

ID	Hora de Entrada	Tempo de viagem	Tempo dos serviços a realizar	Hora de chegada prevista	Tempo total de rota	Distância percorrida (Km)	Pedidos Antecipados
1	8:00	4h35m	2h46m	15:21	7h21m	189.42	11
2	8:00	5h36m	1h10m	14:46	6h46m	412.16	4
3	8:00	3h45m	5h25m	17:10	9h10m	153.55	14
4	10:30	4h37m	1h20m	16:34	5h57m	286.17	5
5	8:00	8h20m	3h21	19:41	11h41m	497.61	19
6	11:00	3h48m	40m	15:28	4h28m	201.38	3
7	11:00	3h14m	1h48m	16:02	5h02m	140.42	9
8	11:00	3h16m	1h10m	15:26	4h26m	158.96	5
9*	8:00	35m	1h38m	10:13	2h13m	26.49	2
10	11:00	2h38m	2h23m	15:01	5h01m	37.92	11
<b>Totais</b>					<b>62h05m</b>	<b>2104.08</b>	<b>83</b>

\* A coluna Tempo de viagem inclui a hora de almoço, excepto para o técnico 9 que acaba o trabalho antes das 14h

Dos resultados obtidos pelo cenário A das rotas iniciais, o técnico 5 realiza uma rota com um tempo total de 11 horas e 41 minutos. Sendo estas rotas iniciais fornecidas pela empresa, a restrição do limite no horário de trabalho, não foi aplicada. Nos resultados finais, todas as outras rotas irão obedecer a esta restrição. Este técnico detém um tempo total de rota superior aos restantes, independentemente da inserção dos pedidos imediatos, sendo que esta ultrapassa o limite máximo estabelecido de 10 horas.

O tempo total é de 62 horas e 5 minutos, com uma distância total de 2104,08km. O técnico que tem o menor número de pedidos a satisfazer, assim como o menor tempo total, é o técnico 9 (2 pedidos e 2h13m). A média do tempo total das rotas é de 6 horas e 13 minutos.

Na tabela 5.2 do cenário B, o tempo total das rotas é de 70 horas e 14 minutos, e a distância total percorrida é de 2889,9km. Pode-se verificar que o técnico com mais pedidos antecipados agendados (técnico 8, com 11 pedidos e um tempo total de 6h51m) não corresponde ao técnico com a rota com mais tempo (técnico 4 com 8 pedidos e um tempo total de 7h26m).



Tabela 5.2 – Informação das rotas iniciais do cenário *B*.

ID	Hora de Entrada	Tempo de viagem	Tempo dos serviços a realizar	Hora de chegada prevista	Tempo total de rota	Distancia percorrida (Km)	Pedidos Antecipados
1	8:00	5h29m	1h45m	15:14	7h14m	342.41	6
2	8:00	4h54m	2h15m	15:09	7h09m	208.32	7
3	8:00	5h17m	1h30m	14:47	6h47m	391.5	5
4	10:30	4h41m	1h45m	15:26	7h26m	225.34	8
5	8:00	4h59m	2h13m	15:12	7h12m	301.55	9
6	11:00	5h30m	1h55m	15:25	7h25m	304.28	8
7	11:00	5h29m	1h45m	15:14	7h14m	354.78	9
8	11:00	4h46m	1h05m	14:51	6h51m	220.07	11
9	8:00	4h05m	3h01m	15:06	7h06m	222.82	10
10	11:00	5h09m	1h44m	14:53	6h53m	320.98	10
<b>Totais</b>					<b>70h14m</b>	<b>2889.9</b>	<b>83</b>

Com base na tabela 5.2, é possível afirmar que o cenário *B* demonstra um maior equilíbrio em termos de tempo das rotas. Neste cenário, o tempo varia entre 6 horas e 47 minutos (técnico 3) e 7 horas 26 minutos (técnico 4). Em contraste, no cenário *A*, há técnicos a realizar rotas com um tempo total de 11 horas e 41 minutos (técnico 5) e outras com 2 horas e 13 minutos (técnico 9). Este equilíbrio resulta num aumento do tempo total da rota do cenário *B*, comparativamente com o cenário *A* (62h05m e 70h14m, respetivamente). Da mesma forma, a distância total percorrida pelos técnicos também aumenta no cenário *B* (2889,9km) em comparação com o cenário *A* (2104,08km).

### 5.3 Resultados obtidos

Nesta secção, serão apresentados e analisados os resultados decorrentes da inserção dos pedidos imediatos nas rotas de cada cenário.

Em primeiro lugar, é crucial abordar a distribuição no momento da chegada dos pedidos imediatos. Esta informação é disponibilizada pela empresa e indica o exato minuto em que o cliente submete o pedido ao longo do dia em questão. Na figura 5.1 encontra-se representado o número de pedidos imediatos, classificados por intervalo de tempo da janela temporal considerada na figura 4.1.

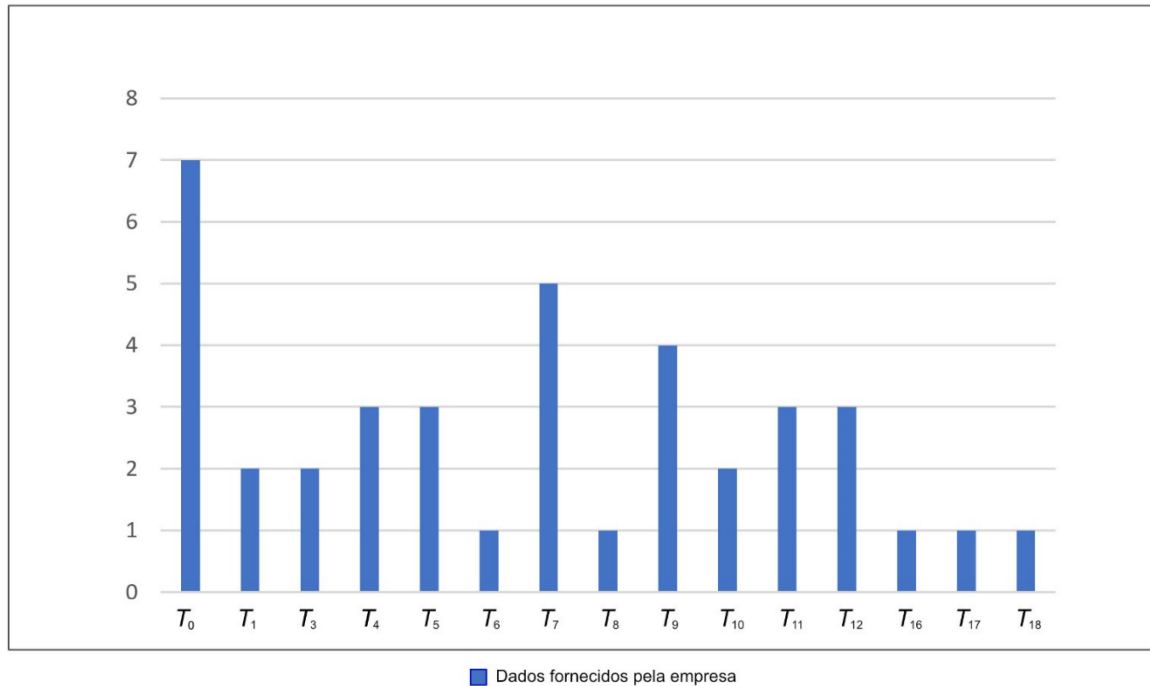


Figura 5.1 – Informação sobre a distribuição dos pedidos imediatos fornecida pela empresa

A maioria dos pedidos, precisamente 29 dos 39 pedidos imediatos, são recebidos até ao final do intervalo  $T_{10}$ , ou seja até às 14 horas. O maior volume de pedidos agendados encontra-se no intervalo  $T_0$ , que corresponde aos pedidos que não foram atendidos assim como aos agendados após as 21:00 do dia anterior.

Nas tabelas 5.3 e 5.4 consta a informação sobre as soluções admissíveis obtidas, utilizando o método apresentado, a partir dos cenários *A* e *B*, respetivamente. Da mesma forma que nas tabelas 5.1 e 5.2, a coluna tempo de viagem considera a pausa para o almoço.

No cenário *A* (tabela 5.3), o técnico que realiza o maior número de horas de trabalho e satisfaz o maior número de clientes é o técnico 5 (11h41m e 19 pedidos). No entanto o técnico 4 percorre a maior distância (536,87km), satisfazendo apenas 9 pedidos. Isto resulta do facto do técnico 4 satisfazer pedidos que não estão próximos uns dos outros, obrigando a percorrer uma maior distância entre eles. O técnico 10, por sua vez, satisfaz 15 pedidos e possui o menor tempo total de rota (7h50m).

Tabela 5.3 – Informação dos resultados finais obtidos pelo cenário A.

ID	Hora de Entrada	Tempo de viagem	Tempo dos serviços a realizar	Hora de almoço	Hora de chegada	Tempo total de rota	Distancia percorrida (Km)	Pedidos Totais
1	8:00	6h07m	3h16m	14:46	17:23	9h23m	311.17	12
2	8:00	6h50m	2h40m	14:12	17:30	9h30m	481.64	9
3	8:00	3h45m	5h25m	14:29	17:10	9h10m	153.55	14
4	10:30	7h34m	2h15m	14:00	20:19	9h49m	536.87	9
5	8:00	8h20m	3h21	14:06	19:41	11h41m	497.61	19
6	11:00	5h18m	2h50m	14:24	19:08	8h08m	278.4	9
7	11:00	5h00m	3h03m	14:21	19:03	8h03m	269.71	14
8	11:00	6h15m	2h25m	14:39	19:40	8h40m	378.85	9
9	8:00	6h05m	3h25m	14:28	17:30	9h30m	290.85	12
10	11:00	3h42m	4h08m	14h14	18:50	7h50m	83.78	15
<b>Total</b>						<b>91h44m</b>	<b>3282.43</b>	<b>122</b>

Foi possível inserir todos os pedidos imediatos, acabando com um tempo total de 91 horas e 44 minutos e com uma distância total percorrida de 3282,43km.

Tabela 5.4 – Informação dos resultados finais obtidos pelo cenário B.

ID	Hora de Entrada	Tempo de viagem	Tempo dos serviços a realizar	Hora de almoço	Hora de chegada	Tempo total de rota	Distancia percorrida (Km)	Pedidos Totais
1	8:00	7h05m	2h35m	14:18	17:40	9h40m	426.07	9
2	8:00	5h28m	3h30m	14:37	16:58	8h58m	235.12	10
3	8:00	6h06m	2h40m	14:06	16:46	8h46m	408.92	9
4	10:30	5h42m	3h45m	14:08	19:57	9h27m	289.78	12
5	8:00	5h34m	3h33m	14:06	17:07	9h07m	316.85	13
6	11:00	6h15m	2h35m	14:36	19:50	8h50m	353.06	11
7	11:00	6h41m	2h20m	14:41	20:01	9h01m	435.96	11
8	11:00	5h14m	3h55m	14:09	21:09	9h09m	226.01	16
9	8:00	4h44m	3h51m	14:04	16:35	8h35m	227.03	14
10	11:00	6h34	3h09m	14:49	20:43	9h43m	397.94	14
<b>Total</b>						<b>91h16m</b>	<b>3316.74</b>	<b>119</b>

No que diz respeito ao cenário B (tabela 5.4), é possível verificar que três dos 39 pedidos imediatos não foram incorporados nas rotas dos técnicos. Estes pedidos tinham um *rank* 1 e a razão para não serem satisfeitos está relacionada com a sua localização: encontram-se bastante distantes da maioria dos pedidos imediatos recebidos e, portanto, incluí-los em qualquer rota ultrapassaria o limite de 10 horas

estabelecido, tornando inviável a sua inserção. Esses pedidos serão alocados nas rotas de dias posteriores.

O técnico 8 corresponde ao técnico que executa mais pedidos e que percorre a menor distância, atendendo a 16 pedidos e percorrendo 226,01 km, enquanto que os técnicos 1 e 3 satisfazem o menor número de pedidos (9 pedidos) porém percorrem uma distância maior para os realizar 426,07 km e 408,92 km, respectivamente.

Em relação aos tempos das rotas dos técnicos, eles estão equilibrados, tal como os tempos das rotas iniciais apresentados na tabela 5.2, sendo que estes valores variam entre 8 horas e 35 minutos e 9 horas e 43 minutos. O tempo total obtido no cenário *B* é menor que o tempo total do cenário *A* (91h16m e 91h44m respectivamente), ao contrário do que acontece com a distância total (3316,74km e 3282,43km, respectivamente). No entanto no cenário *B*, não foi possível satisfazer três dos pedidos.

#### **5.4 Descrição da experiência**

Como foi mencionado neste capítulo, no que concerne à distribuição da chegada dos pedidos imediatos das rotas iniciais fornecidas pela empresa, a maioria destes ocorre entre antes das 8:00 e as 14:00.

Foi desenvolvida uma experiência para redistribuir os pedidos imediatos dentro da janela temporal considerada, entre as 8:00 e as 21:00. Nos 26 intervalos de tempo correspondentes, procedeu-se a uma distribuição aleatória dos 39 pedidos imediatos para os primeiros 24 intervalos. Isso porque os dois últimos intervalos não ofereceriam disponibilidade aos técnicos para atenderem esses pedidos, sendo que apenas os técnicos que iniciam o trabalho a partir das 10:00 conseguem satisfazer pedidos que chegam mais tarde, entre as 19:00 e as 20:00. Após a atribuição de cada pedido a um intervalo de tempo, procedeu-se novamente a uma distribuição aleatória para determinar em que preciso minuto cada pedido é recebido.

Esta experiência foi realizada utilizando o *Microsoft Excel*. Para a alocação de cada pedido a um intervalo de tempo, bem como determinar o minuto exato de chegada, foi usada uma função com o nome de *randbetween*. Essa função permite inserir um intervalo de números inteiros e a função irá devolver um número inteiro dentro desse intervalo. Na figura 5.2, consta a informação do número de pedidos associados a cada intervalo de tempo.

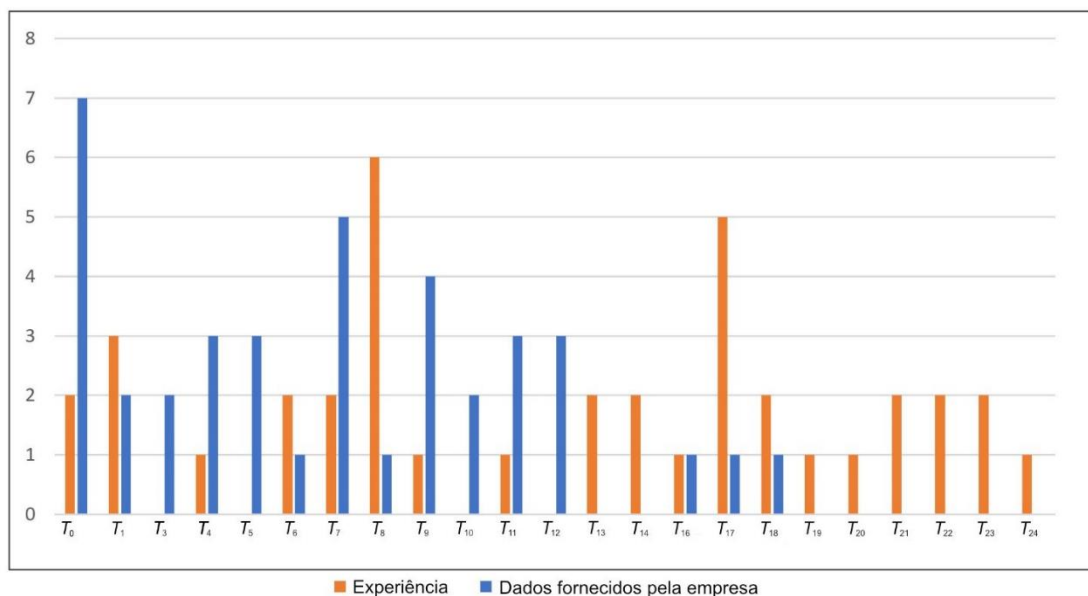


Figura 5.2 – Informação sobre a distribuição dos pedidos imediatos, resultantes da experiência e a distribuição dos pedidos imediatos fornecidas pela empresa

Existem vários intervalos de tempo com apenas um pedido registrado, assim como intervalos nos quais não há nenhum pedido. Os intervalos  $T_8$  e  $T_{17}$  destacam-se como os intervalos com maior número de pedidos imediatos, com seis e cinco pedidos a serem realizados, respectivamente.

### 5.4.1 Resultados

Nesta secção, serão apresentados os resultados obtidos através da aplicação da experiência descrita anteriormente. Os resultados são designados por cenários  $A^1$  (que consiste no cenário  $A$  com a distribuição dos pedidos da experiência) e  $B^1$  (que consiste no cenário  $B$  com a nova distribuição dos pedidos da experiência). As tabelas 5.5 e 5.6 contêm os resultados obtidos para cada cenário.

Para o cenário  $A^1$  (tabela 5.5), de um total de 39 pedidos imediatos, dois não foram satisfeitos. Ambos os pedidos tinham prioridade de *rank* 1 e situavam-se nos intervalos  $T_{23}$  e  $T_{19}$ . O pedido do intervalo  $T_{23}$ , não pôde ser atendido devido à sua receção tardia, às 19:20, o que só permitiria a sua execução pelos técnicos que iniciam o trabalho após as 10:00. Em relação ao pedido do intervalo  $T_{19}$ , o motivo para este não ter sido satisfeito está relacionado com a sua localização, e o mesmo se aplica em relação a três dos pedidos da tabela 5.4. Em ambos os casos, a inserção desses pedidos significaria exceder o limite de horas imposto, o que torna inviável a sua incorporação nas rotas.

Tabela 5.5 – Resultados finais da experiência no cenário A<sup>1</sup>.

ID	Hora de Entrada	Tempo de viagem	Tempo dos serviços a realizar	Hora de almoço	Hora de chegada	Tempo total de rota	Distancia percorrida (Km)	Pedidos Totais
1	8:00	6h27m	3h16m	14:02	17:43	9h43m	340.7	12
2	8:00	6h56m	1h55m	14:08	16:51	8h51m	504.89	6
3	8:00	3h45m	5h25m	14:29	17:10	9h10m	153.55	14
4	10:30	6h25m	2h45m	14:35	19:40	9h10m	344.28	11
5	8:00	8h20m	3h21m	14:06	19:41	11h41m	497.61	19
6	11:00	7h13m	1h45m	14:37	19:58	8h58m	478.3	8
7	11:00	5h17m	3h23m	14:41	19:40	8h40m	311.66	13
8	11:00	5h47m	3h25m	14:20	20:12	9h12m	336.58	11
9	8:00	5h27m	3h15m	14:07	16:42	8h42m	305.08	11
10	11:00	5h38m	3h53m	14:05	20:31	9h31m	295.53	15
<b>Total</b>						<b>93h38m</b>	<b>3568.18</b>	<b>120</b>

Comparativamente aos resultados do cenário A (tabela 5.3), tanto o tempo como a distância total percorrida pelas rotas do cenário A<sup>1</sup> aumentaram. Apesar de não terem sido satisfeitos dois dos pedidos imediatos, houve um aumento de 2,8% em relação ao tempo (91h44m e 93h38, respetivamente) e de 8,7% em relação à distância (3282,43 e 3568,18, respetivamente).

O técnico 2 é aquele que atende o menor número de pedidos, embora percorra uma distância maior durante a sua rota, totalizando seis pedidos e percorrendo 504.89 km.

Tabela 5.6 – Resultados finais da experiência no cenário B<sup>1</sup>.

ID	Hora de Entrada	Tempo de viagem	Tempo dos serviços a realizar	Hora de almoço	Hora de chegada	Tempo total de rota	Distancia percorrida (Km)	Pedidos Totais
1	8:00	6h18m	2h50m	14:21	17:08	9h08m	385.45	9
2	8:00	6h33m	3h15m	14:34	17:48	9h48m	338.53	9
3	8:00	6h29m	2h15m	14:05	16:44	8h44m	439.04	8
4	10:30	5h49m	3h30m	14:07	19:49	9h19m	288.92	11
5	8:00	6h15m	2h53m	14:00	17:08	9h08m	401.93	11
6	11:00	6h29m	2h50m	14:01	20:19	9h19m	348.85	11
7	11:00	7h19m	2h20m	14:02	20:39	9h39m	496.35	12
8	11:00	5h54m	3h40m	14:38	20:34	9h34m	272.21	15
9	8:00	5h11m	4h01m	14:27	17:12	9h12m	261.91	15
10	11:00	6h	3h04m	14:57	20:04	9h04m	349.13	14
<b>Total</b>						<b>92h52m</b>	<b>3582.32</b>	<b>115</b>

Em relação ao cenário  $B^1$  (tabela 5.6), a solução apresentada é a que mostra maior equilíbrio em termos de tempo total de rota, de todos os resultados apresentados neste capítulo. No entanto, esta é a solução onde foram realizados o menor número de pedidos (115 num total de 122). Isto deve-se ao facto de existirem alguns pedidos feitos no final do dia, com localizações dispare, o que torna inexecutável a sua concretização e obriga a que estes sejam incorporados nas rotas do dia seguinte.

Ao considerar uma janela temporal mais ampla para os pedidos imediatos que estavam mais concentrados entre os intervalos  $T_0$  e  $T_{10}$ , verifica-se que para os cenários  $A^1$  e  $B^1$  os tempos totais (93h38 e 92h52, respetivamente), assim como a distância total percorrida pelos técnicos (3562,18km e 3582,32km, respetivamente), aumentaram comparativamente com os cenários  $A$  (91h44m e 3282.43km) e  $B$  (91h16m e 3316.74km). O cenário  $B^1$  foi aquele em que se verificou menor número de pedidos imediatos incorporados, não tendo sido possível satisfazer sete dos 39 pedidos.





## Capítulo 6

### Conclusões e Limitações

Neste capítulo são delineadas as principais conclusões derivadas desta investigação. Serão também destacadas as limitações identificadas durante o estudo, acompanhadas por sugestões para orientar pesquisas futuras.

#### 6.1 Conclusões

O propósito desta investigação foi, não só obter soluções admissíveis para o *Dynamic Vehicle Routing Problem* que tivessem em consideração as horas de trabalho equitativas para todos os técnicos da empresa, mas também fornecer resposta às questões de investigação apresentada no início da dissertação.

Apesar de os resultados revelarem um aumento no tempo total e na distância percorrida pelas rotas, os intervalos de tempo das rotas dos técnicos exibiram notável aprimoramento em termos de equidade nos horários de trabalho individuais, proporcionando uma distribuição justa na satisfação dos pedidos. A melhoria mais significativa ocorreu nos cenários derivados das rotas otimizadas inicialmente pelo método, especificamente nos cenários  $B$  e  $B^1$ . Entretanto, é importante observar que, nesses cenários, não se conseguiu atender a todos os pedidos imediatos.

É possível que não seja vantajoso, do ponto de vista financeiro, para a empresa escolher atender aos pedidos imediatos por meio desse método, uma vez que isso implicaria alocar uma quantia substancial de recursos financeiros adicionais.

Uma possível solução para enfrentar o problema de não conseguir atender à totalidade dos pedidos imediatos no dia do caso de estudo, seria estender a jornada de trabalho dos técnicos de 10 para 11 horas. No entanto, para implementar esta medida, a empresa teria de pagar horas extra à maioria dos técnicos disponíveis nesse dia.

A empresa enfrentará uma decisão entre duas opções no que diz respeito ao planeamento das rotas e à satisfação dos pedidos:

- Criar rotas nas quais cada técnico trabalhe um número fixo de horas, com um limite máximo de trabalho, semelhante às rotas elaboradas neste estudo.
- Criar rotas nas quais cada técnico possa trabalhar a quantidade de horas necessárias, tendo possibilidade de fazer horas extraordinárias para realizar todos os pedidos para o dia em estudo.

#### 6.2 Limitações

As limitações estão relacionadas com algumas dificuldades encontradas ao longo da investigação, tanto em relação ao método como em relação aos dados disponibilizados para análise.

Duas das limitações podem ser destacadas:

1. A classificação por *Rank*: este parâmetro é um valor associado aos pedidos imediatos que indica a importância de cada pedido em relação ao conjunto total de pedidos. Durante a implementação do método, este valor não está a ser usado para decidir se o pedido é inserido numa dada rota.
2. A quantidade de dados fornecidos: o tamanho das rotas e o número reduzido de pedidos imediatos agendados durante o dia em estudo, impossibilita a avaliação do impacto da heurística de melhoramento local sobre os resultados obtidos pela heurística de inserção de menor custo.

Estas limitações representam aspetos a serem considerados para futuras pesquisas e melhoramentos ao método.

### 6.3 Trabalhos futuros

No âmbito de trabalhos futuros, destaca-se a necessidade de superar as limitações que foram encontradas no percurso deste estudo e aperfeiçoar ainda mais o método de forma a solucionar os problemas.

A primeira abordagem será a implementação de métodos que incorporem o *ranking* dos pedidos imediatos, a fim de que possam ser tomadas decisões mais informadas sobre a alteração de rotas. Como foi referido, o método atual não considera o *ranking* dos pedidos, e é sugerido que essa lacuna seja preenchida para aprofundar o processo de otimização do problema. Para atingir esse objetivo, uma sugestão será aplicar uma condição pela qual, entre o agendamento de um pedido de *rank* 1 e outro de *rank* 2 numa rota onde apenas um dos dois pedidos possa ser inserido, o método possa ser capaz de selecionar o pedido com maior *rank*. Essa abordagem pode ser refinada de maneira mais eficiente: por exemplo, se um pedido de *rank* 1 não puder ser satisfeito devido à falta de disponibilidade de técnicos ou de tempo, ele poderá ser trocado com um pedido de *rank* 2 já agendado numa rota diferente. Após a troca, o pedido de *rank* 1 ocuparia a posição do pedido de *rank* 2. Isso atribuiria ao *ranking* uma função central no processo de otimização, o que poderia levar a significativas alterações no desempenho geral do processo.

Numa segunda abordagem, poderá ser explorada a utilização de heurísticas de melhoramento local, de forma a aprimorar ainda mais o processo de inserção de pedidos. O método desenvolvido nesta investigação, particularmente a heurística de melhoramento local, é utilizado após a inserção de um pedido numa determinada rota, realizando várias trocas entre pedidos da mesma rota, a fim de identificar a melhor posição para inserir o pedido. Em trabalhos futuros, propõem-se aperfeiçoar este processo, estendendo essas trocas não apenas à mesma rota, mas a todo o conjunto de rotas. Este facto poderá contribuir para a otimização do método e, conseqüentemente, para a melhoria dos resultados obtidos, tanto em termos de tempo total quanto de distância percorrida em cada rota.

Um outro fator pertinente destaca-se pela importância de trabalhar com uma quantidade mais substancial de dados para a análise. Considerando que os dados atuais apenas representam um único dia

na atividade da empresa, é recomendável expandir o horizonte temporal examinado. O aumento do período a observar ofereceria uma análise mais abrangente dos resultados obtidos, bem como permitiria outra implementação do método, aprofundando os algoritmos empregados no desenvolvimento do mesmo.

Em resumo, ao incorporar o *ranking* dos pedidos, ampliar o espaço temporal dos dados analisados e aperfeiçoar a fase de melhoramento do método, será possível refinar significativamente o método de otimização, tornando-o mais eficiente e relevante na resolução do problema em estudo.



## Referências Bibliográficas

- Adelman, D. (2007). Price-directed control of a closed logistics queueing network. *Operations Research*, 55(6), 1022-1038. <https://doi.org/10.1287/opre.1070.0408>.
- Alhijawi, B., & Awajan, A. (2023). Genetic algorithms: theory, genetic operators, solutions, and applications. *Evolutionary Intelligence*, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s12065-023-00822-6>
- Azi, N., Gendreau, M., & Potvin, J. Y. (2011). A dynamic vehicle routing problem with multiple delivery routes. *Annals of Operations Research*, 199(1), 103-112. <https://doi.org/10.1007/s10479-011-0991-3>
- Bektas, T., Repoussis, P. P., & Tarantilis, C. D. (2014). Dynamic Vehicle Routing Problems. Em *Vehicle Routing: Problems, Methods and Applications (2ª Edição)*, (pp. 299-336). Society for Industrial and Applied Mathematics. <https://doi.org/10.1137/1.9781611973594.ch11>
- Berahhou, A., Benadada, Y., & Bouanane, K. (2022). Memetic algorithm for the dynamic vehicle routing problem with simultaneous delivery and pickup. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 13(4), 587-600. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2022.6.001>
- Blum, C. (2005). Ant colony optimization: Introduction and recent trends. *Physics of Life reviews*, 2(4), 353-373. <https://doi.org/10.1016/j.pprev.2005.10.001>
- Braekers, K., Ramaekers, K., & Van Nieuwenhuysse, I. (2016). The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers & Industrial Engineering*, 99, 300-313. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.12.007>
- Braver, M. W., & Braver, S. L. (1988). Statistical treatment of the Solomon four-group design: A meta-analytic approach. *Psychological Bulletin*, 104(1), 150-154. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.104.1.150>
- Croes, G. A. (1958). A method for solving traveling-salesman problems. *Operations Research*, 6(6), 791-812. <https://doi.org/10.1287/opre.6.6.791>
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, 6(1), 80-91. <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80>
- Farias, D. P., & Roy, B. V. (2003). The linear programming approach to approximate dynamic programming. *Operational Research*, 51(6), 850-865.
- Ferreira, A. B. (2021). *Planeamento de rotas dinâmicas para a prestação de cuidados domiciliários*. Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. <http://hdl.handle.net/10451/53647>
- Gabinete do Secretário de Estado Adjunto e da Saúde. *Despacho n.º 7275/2019*. Obtido em Diário da república: <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/despacho/7275-2019-124006818>
- Gendreau, M., Hertz, A., Laporte, G., & Stan, M. (1998). A Generalized Insertion Heuristic for the Traveling Salesman Problem with Time Windows. *Operations Research*, 46(3), 330-335. <https://doi.org/10.1287/opre.46.3.330>
- Golden, B. L., Raghavan, S., & Wasil, E. A. (2008). The vehicle routing problem: latest advances and new challenges. Em *Operations research, computer science* (pp. 206-222). Interface series. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-77778-8>
- Hartigan, J. A., & Wong, M. A. (1979). Algorithm AS 136: A K-Means Clustering Algorithm. *Applied Statistics*, 28(1), 100-108. <https://doi.org/10.2307/2346830>
- Huang, Z., & Geng, K. (2013). Local search for dynamic vehicle routing problem with time windows. Em *2013 2nd International Symposium on Instrumentation and Measurement, Sensor Network and Automation (IMSNA)* (pp. 841-844). IEEE.
- Kaiwartya, O., Kumar, S., Lobiyal, D. K., Tiwari, P. K., Abdullah, A. H., & Hassan, A. N. (2015). Multiobjective dynamic vehicle routing problem and time seed based solution using particle swarm optimization. *Journal of Sensors*, 2015, 1-14. <https://doi.org/10.1155/2015/189832>
- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. *Proceedings of ICNN'95-international conference on neural networks*. (Vol. 4, pp. 1942-1948). IEEE.
- Madsen, O. B., Tosti, K., & Vaelds, J. (1995). A heuristic method for dispatching repair men. *Annals of operations research*, 61(1), 213-226. <https://doi.org/10.1007/BF02098289>
- Messaod, E., Indrissi, A. E., & Alaoui, A. E. (2018). The green dynamic vehicle routing problem in sustainable transport. *2018 4th International Conference on Logistics Operations Management* (pp. 1-6). IEEE.

- Michiels, W., Aarts, E. H., & Korst, J. (2007). *Theoretical aspects of local search* (Vol. 13). Berlin: Springer.
- Mor, A., & Speranza, M. G. (2022). Vehicle routing problems over time: a survey. *Annals of Operations Research*, 314(1), 255-275. <https://doi.org/10.1007/s10479-021-04488-0>
- Moscato, P. (1989). On evolution, search, optimization, genetic algorithms and martial arts: Towards memetic algorithms. *Caltech concurrent Computation Program, C3P Report*, 826(1989), 37. <https://ci.nii.ac.jp/naid/10010438048>
- Pillac, V., Gendreau, M., Guéret, C., & Medaglia, A. (2013). A review of dynamic vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*, 225(1), 1-11.
- Psaraftis, H. N., Wen, M., & Kontovas, C. A. (2016). Dynamic vehicle routing problems: Three decades and counting. *Networks*, 67(1), 3-31. <https://doi.org/10.1002/net.21628>
- Rios, B. H., Xavier, E. C., Miyazawa, F. K., Amorim, P., Curcio, E., & Santos, M. J. (2021). Recent dynamic vehicle routing problems: A survey. *Computers & Industrial Engineering*, 160, 107604. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107604>
- Ropke, S., & Pisinger, D. (2006). An adaptive large neighborhood search heuristic for the pickup and delivery problem with time windows. *Transportation science*, 40(4), 455-472. <https://doi.org/10.1287/trsc.1050.0135>
- Ulder, N. L., Aarts, E. H., Bandelt, H. J., & P.J. Van Laarhoven, E. P. (1991). Genetic local search for traveling salesman problem. In *Lecture Notes in Computer Science* (pp. 106-116). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/bfb0029740>
- Xu, H., Pu, P., & Duan, F. (2018). Dynamic vehicle routing problems with enhanced ant colony optimization. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2018, 1-13. <https://doi.org/10.1155/2018/1295485>
- Yu, G., & Yang, Y. (2019). Dynamic routing with real-time traffic information. *Operational Research*, 19, 1033-1058. <https://doi.org/10.1007/s12351-017-0314-9>
- Zhang, H., Ge, H., Yang, J., & Tong, Y. (2021). Review of vehicle routing problems: Models, classification and solving algorithms. *Archives of Computational Methods in Engineering*, 29(1), 1-27. <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09574-x>