



ESCOLA DE GESTÃO DO PORTO  
Universidade do Porto

# **Planeamento de rotas para a distribuição farmacêutica**

**José Miguel Fernandes de Magalhães**

**Janeiro, 2004**





# **Planeamento de rotas para a distribuição farmacêutica**

**José Miguel Fernandes de Magalhães**

**Coordenador: Professor Doutor Jorge Pinho de Sousa**

**Dissertação para obtenção do grau de mestre em  
Métodos Quantitativos em Gestão**

**Janeiro, 2004**

*à Teresa*

## Resumo

---

Nos últimos anos, o sector farmacêutico tem sofrido grandes alterações, com o envelhecimento da população e o aumento dos custos associados à prestação de serviços de saúde. Com margens progressivamente mais pequenas, o problema da distribuição dos medicamentos às farmácias passou a ter uma grande relevância para as empresas do sector, sendo naturalmente mais crítico nas áreas metropolitanas.

O facto de as farmácias exigirem tempos de entrega cada vez menores aumenta, significativamente, a dificuldade dos distribuidores em planearem as suas rotas, já que, em geral, o sistema tradicional de rotas fixas nem satisfaz as exigências das farmácias, nem garante, aos distribuidores, níveis satisfatórios de eficiência.

Neste trabalho, foi caracterizado um caso de estudo, para o qual se propõe uma alteração da política de distribuição, que passa por adoptar um sistema de rotas variáveis, elaboradas dinamicamente, em função das encomendas que vão chegando ao longo do dia.

O algoritmo proposto, corrido várias vezes ao dia, tem quatro fases: a primeira, em que é efectuada a *clusterização* das encomendas; a segunda, onde são construídas várias rotas potenciais; a terceira, onde é decidida qual a rota que vai ser efectuada e, por último; a quarta, onde a rota seleccionada é melhorada. O algoritmo foi testado no caso de estudo, pela simulação de uma semana de operação, tendo como termo de comparação o plano construído e executado da forma tradicional.

Os resultados mostram que a estratégia adoptada conduz, no caso de estudo, a melhorias significativas na qualidade das soluções. Assim, obteve-se mais de 8% para a qualidade de serviço, associada aos tempos de entrega, com uma diminuição da ordem dos 2% para a distância a percorrer por encomenda.

Refira-se finalmente que o modelo proposto pode ainda constituir um interessante instrumento para a realização de estudos de carácter estratégico, através da simulação de regras e cenários de operação alternativos.

**Palavras chave:** Problema Dinâmico de Rotas de Veículos; Planeamento Dinâmico de Rotas; Heurísticas; Distribuição Farmacêutica.

In recent years, the pharmaceutical sector has gone through deep changes, partially due to the ageing of the population and to the increase of costs in health care services. With margins that are getting lower and lower, the drugs distribution problem to pharmacies became much more important, particularly in large metropolitan areas.

As pharmacies demand shorter delivery times, vehicle routing and scheduling problems become harder for distributors. It is recognized that the traditional system based on fixed routes does not fulfil the expectations of pharmacies and may, in some cases, be quite inefficient for distributors.

In this work, a case study has been characterized, for which a change of this traditional approach is proposed, by adopting a system of variable routes that are dynamically designed, based on orders that are constantly arriving along the day.

A dynamic algorithm is therefore proposed, meant to be run several times a day. It has four phases: first, a clustering of the orders is performed; second, potential routes are constructed; third, a route is selected for operation; and finally, that route is subject to an improvement process. The algorithm has been tested in the case study, by simulating one week of operation, and by comparing the results with the plan produced by the traditional way.

The results show that, in the case study, the adopted strategy leads to significant improvements in the quality of solutions. These improvements are higher than 8% for the quality of service, associated to delivery times, with a decrease of around 2% in the size of the routes.

It should be noted that the proposed model might be additionally used as an interesting tool to perform studies of a more strategic character, through simulation of alternative operation rules and scenarios.

**Keywords:** Dynamic Vehicle Routing Problem; Dynamic Routing Planning; Heuristics; Pharmaceutical Distribution.

## Agradecimentos

---

Quero expressar a minha gratidão a um conjunto de pessoas que contribuíram para a realização desta tese:

Ao Professor Doutor Jorge Pinho de Sousa, pelo modo como orientou este trabalho e pela disponibilidade e amabilidade demonstrada. As suas sugestões e críticas contribuíram para melhorar este trabalho e para o meu desenvolvimento científico.

Aos docentes do Curso de Mestrado em Métodos Quantitativos em Gestão por todos os ensinamentos ministrados.

À Cofanor, Cooperativa dos Farmacêuticos do Norte, CRL, especialmente nas pessoas da Dr.<sup>a</sup> Alexandra Pacheco, membro da Direcção, do Dr. Luís Miguel Figueiredo, Director-Geral, do Eng.<sup>o</sup> Paulo Romualdo, da Dr.<sup>a</sup> Maria José Marramaque e do Dr. João Paulo Carneiro, directores de serviço e, ainda, do Eng.<sup>o</sup> Pessoa pela disponibilidade e contribuição prestada.

Ao Professor Doutor António Morão Dias por todo o incentivo e amizade.

Ao Professor Doutor Cristóvão Silva por todas as discussões que tivemos e pela sua preciosa ajuda na revisão deste texto.

Ao João Teixeira pelas “sessões” de *brain storming* que em muito me ajudaram, além da amizade demonstrada.

A todos os colegas e amigos, que não enumero por recear esquecer algum, que de várias formas contribuíram para a realização deste trabalho.

Ao meu irmão João Pedro, pelas ideias sempre certas que em muito ajudaram a definir este trabalho.

A toda a minha família, pelo incentivo, amizade e carinho, em especial aos meus pais, por tudo o que fizeram por mim.

Por último, uma palavra de agradecimento muito especial para a Teresa, por toda a ajuda, incentivo, paciência, amor e por saber animar-me nos momentos mais difíceis.

# Índice

---

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| 1 – Introdução.....                                           | 1  |
| 1.1 – Âmbito e Tema da Dissertação.....                       | 2  |
| 1.2 – Estrutura.....                                          | 4  |
| 2 – Caso de estudo.....                                       | 6  |
| 2.1 – O Sector Farmacêutico.....                              | 6  |
| 2.1.1 – O papel do distribuidor.....                          | 8  |
| 2.1.2 – O perfil do mercado em Portugal.....                  | 9  |
| 2.1.3 – O mercado único e os distribuidores pan-europeus..... | 10 |
| 2.1.4 – Os grandes compradores.....                           | 13 |
| 2.1.5 – O <i>outsourcing</i> .....                            | 14 |
| 2.1.6 – O comércio electrónico.....                           | 16 |
| 2.2 – A empresa e o mercado.....                              | 16 |
| 2.3 – O modelo de actividade.....                             | 18 |
| 2.3.1. – A colocação do pedido.....                           | 19 |
| 2.3.2. – O aviamento do pedido.....                           | 20 |
| 2.3.3 – A entrega do pedido.....                              | 24 |
| 2.4 – Análise da situação actual e âmbito do estudo.....      | 25 |
| 3 – VRP – modelos e técnicas.....                             | 27 |
| 3.1 – Problemas de rotas de veículos.....                     | 27 |
| 3.2 – O Problema de rotas de veículos clássico.....           | 28 |
| 3.2.1 – Variantes ao VRP clássico.....                        | 29 |
| 3.3 – Técnicas de resolução do VRP clássico.....              | 31 |
| 3.3.1 – Heurísticas clássicas.....                            | 31 |
| 3.3.2 – Meta-heurísticas.....                                 | 32 |
| 3.4 – O problema dinâmico de rotas de veículos – DVRP.....    | 32 |
| 3.4.1 – A importância do DVRP.....                            | 37 |
| 3.4.2 – Exemplos de problemas dinâmicos.....                  | 38 |
| 3.5 – Metodologias de resolução.....                          | 40 |
| 3.5.1 – Métodos <i>a priori</i> .....                         | 41 |

|                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------|-----|
| 3.5.2 – Métodos em tempo real.....                            | 44  |
| 4 – Modelo e algoritmos.....                                  | 57  |
| 4.1 – O problema.....                                         | 57  |
| 4.2 – Abordagem adoptada.....                                 | 58  |
| 4.3 – Heurísticas.....                                        | 60  |
| 4.3.1 – Fase 1 – <i>Clusterização</i> .....                   | 60  |
| 4.3.2 – Fase 2 – Construção das rotas.....                    | 66  |
| 4.3.3 – Fase 3 – Escolha da rota a efectuar.....              | 68  |
| 4.3.4 – Fase 4 – Heurística de melhoramentos.....             | 70  |
| 5 – Teste da abordagem e resultados.....                      | 73  |
| 5.1 – Âmbito do estudo e dados utilizados.....                | 73  |
| 5.1.1 – Farmácias incluídas no estudo.....                    | 74  |
| 5.1.2 – Horário de funcionamento.....                         | 75  |
| 5.1.3 – Distâncias.....                                       | 75  |
| 5.1.4 – Outros dados.....                                     | 76  |
| 5.2 – Critérios de avaliação.....                             | 80  |
| 5.3 – Cenário actual.....                                     | 81  |
| 5.3.1 – Dados e hipóteses assumidas.....                      | 81  |
| 5.3.2 – Resultados.....                                       | 82  |
| 5.4 – Algoritmo proposto.....                                 | 84  |
| 5.4.1 – Valor do ângulo limite.....                           | 84  |
| 5.4.2 – Tempo de espera.....                                  | 86  |
| 5.4.3 – Resultados.....                                       | 87  |
| 5.5– Comparação dos resultados.....                           | 89  |
| 5.6– Discussão dos resultados.....                            | 94  |
| 5.6.1 – Síntese dos resultados.....                           | 94  |
| 5.6.2 – Opinião da Cofanor quanto aos resultados obtidos..... | 95  |
| 6 – Conclusões e desenvolvimentos futuros.....                | 96  |
| 6.1 – Síntese e conclusões.....                               | 96  |
| 6.2 – Futuros desenvolvimentos.....                           | 98  |
| 6.2.1 – Implementação prática do algoritmo.....               | 98  |
| 6.2.1 – Estudos complementares.....                           | 100 |
| 7 – Referências.....                                          | 104 |

## Índice de Figuras

---

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 2.1 – Percentagem da facturação por distrito.....           | 17 |
| Figura 2.2 – Quota de mercado no distrito do Porto.....            | 18 |
| Figura 2.3 – Quotas de mercado da Cofanor por distrito.....        | 18 |
| Figura 2.4 – Fluxo da informação para um pedido.....               | 20 |
| Figura 2.5 – Autómato da zona Automática (SDA).....                | 22 |
| Figura 2.6 – Terminal de um operador (MPS).....                    | 22 |
| Figura 2.7 – Veículo carregado com encomendas (“banheiras”).....   | 23 |
| Figura 2.8 – Cais de expedição.....                                | 24 |
| Figura 3.1 – TSP probabilístico.....                               | 41 |
| Figura 3.2 – VRP probabilístico.....                               | 43 |
| Figura 3.3 – Estratégia para o mod TSP.....                        | 46 |
| Figura 3.4 – Estratégia PART.....                                  | 46 |
| Figura 3.5 – Estratégia GEN.....                                   | 47 |
| Figura 3.6 – Estratégia SFC.....                                   | 47 |
| Figura 3.7 – Modelo reactivo.....                                  | 50 |
| Figura 4.1 – Modelo proposto.....                                  | 59 |
| Figura 4.2 – Criação de <i>clusters</i> .....                      | 61 |
| Figura 4.3 – Rotas indesejáveis.....                               | 62 |
| Figura 4.4 – Construção inicial dos <i>clusters</i> .....          | 63 |
| Figura 4.5 – Reafecção das farmácias.....                          | 64 |
| Figura 4.6 – Cálculo do ângulo $\theta$ para a farmácia $i$ .....  | 64 |
| Figura 4.7 – Inicialização da construção dos <i>clusters</i> ..... | 66 |
| Figura 4.8 – Inserção pelo critério de menor custo.....            | 67 |
| Figura 4.9 – Visualização da rota da tabela 4.5.....               | 69 |
| Figura 4.10 – Troca entre dois arcos.....                          | 70 |
| Figura 4.11 – Visualização da rota da tabela 4.8.....              | 72 |
| Figura 5.1 – Localização das farmácias do estudo.....              | 74 |
| Figura 5.2 – Excerto de um “diário de bordo”.....                  | 79 |

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 5.3 – Valores acumulados de encomendas por tempo de entrega<br>(cenário actual).....     | 83 |
| Figura 5.4 – Valores da tabela 5.7.....                                                         | 85 |
| Figura 5.5 – Valores da tabela 5.8.....                                                         | 87 |
| Figura 5.6 – Valores acumulados de encomendas por tempo de entrega<br>(algoritmo proposto)..... | 88 |
| Figura 5.7 – Comparação dos valores acumulados do número de entregas.....                       | 92 |
| Figura 5.8 – Comparação dos valores acumulados do número de entregas<br>(absoluto).....         | 93 |

## Índice de Tabelas

---

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 2.1 – Presença dos distribuidores pan-europeus no mercado europeu.....                    | 12 |
| Tabela 3.1 – Comparação dos métodos heurísticos.....                                             | 31 |
| Tabela 3.2 – Definição do VRP estático.....                                                      | 34 |
| Tabela 3.3 – Definição do VRP dinâmico.....                                                      | 34 |
| Tabela 3.4 – Referências ao DVRP encontradas na literatura.....                                  | 44 |
| Tabela 3.5 – Simulações efectuadas por Punakivi e Saranen [28].....                              | 52 |
| Tabela 4.1 – Procedimento para efectuar a construção inicial dos <i>clusters</i> .....           | 63 |
| Tabela 4.2 – Procedimento para calcular os centros dos <i>clusters</i> .....                     | 65 |
| Tabela 4.3 – Procedimento para reafectar as farmácias aos <i>clusters</i> .....                  | 65 |
| Tabela 4.4 – Heurística de construção das rotas.....                                             | 67 |
| Tabela 4.5 – Exemplo de rota.....                                                                | 69 |
| Tabela 4.6 – Valores agregados para a rota da tabela 4.5.....                                    | 69 |
| Tabela 4.7 – Heurística 2-opt.....                                                               | 71 |
| Tabela 4.8 – Relatório de uma rota.....                                                          | 72 |
| Tabela 5.1 – Exemplo dos dados relativos às encomendas.....                                      | 76 |
| Tabela 5.2 – Exemplo do quadro de coordenadas das farmácias.....                                 | 78 |
| Tabela 5.3 – Exemplo do quadro de disponibilidade de viaturas.....                               | 78 |
| Tabela 5.4 – Resultados da simulação do cenário actual.....                                      | 82 |
| Tabela 5.5 – Entregas acumuladas em função do tempo de entrega.....                              | 83 |
| Tabela 5.6 – Encomendas entregues no próprio dia e no dia seguinte<br>(cenário actual).....      | 84 |
| Tabela 5.7 – Valores da simulação em função do ângulo limite.....                                | 85 |
| Tabela 5.8 – Valores da simulação em função do tempo de espera.....                              | 86 |
| Tabela 5.9 – Resultados da simulação do algoritmo proposto.....                                  | 88 |
| Tabela 5.10 – Entregas acumuladas em função do tempo de entrega.....                             | 89 |
| Tabela 5.11 – Encomendas entregues no próprio dia e no dia seguinte<br>(algoritmo proposto)..... | 89 |
| Tabela 5.12 – Comparação dos valores de distância.....                                           | 90 |
| Tabela 5.13 – Comparação dos valores de tempo de serviço.....                                    | 90 |

|                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 5.14 – Comparação da percentagem acumulada de encomendas.....                     | 91  |
| Tabela 5.15 – Comparação dos valores acumulados do número de entregas<br>(absoluto)..... | 92  |
| Tabela 5.16 – Comparação dos valores das encomendas entregues no dia<br>seguinte.....    | 93  |
| Tabela 6.1 – Possíveis cenários para estudo.....                                         | 100 |

## Capítulo 1 – Introdução

---

O sector dos transportes e distribuição é responsável por uma parte significativa do Produto Interno Bruto (PIB) da maioria dos países desenvolvidos. A título de exemplo, Fisher [1] refere que um estudo efectuado em 1978 pelo Conselho Nacional da Distribuição Física estimou que esse peso era de 15% do PIB nos Estados Unidos da América. Mais recentemente, Larsen [2] refere que este valor está compreendido entre os 10 e os 15% para um vasto número de países. Esta importância económica tem levado a um recurso crescente a técnicas no âmbito da Investigação Operacional para aumentar a eficiência da distribuição de pessoas e bens.

O interesse por estes problemas foi potenciado por desenvolvimentos noutras áreas, nomeadamente, o aumento da capacidade de cálculo dos computadores. Na prática, estes problemas envolvem, normalmente, a especificação de quais os clientes que deverão ser servidos e por que veículo, de forma a minimizar o custo total, sujeito a várias restrições em relação à capacidade do veículo ou a janelas temporais de entrega.

Nos últimos anos, a questão do tempo de serviço tem vindo a aumentar de importância. As empresas têm vindo não só a cortar nos seus custos logísticos, mas, também, a competir pela diferenciação no serviço. Além disso, tem sido crescente o interesse na logística em ambientes *just-in-time*. A dimensão temporal é, então, incorporada nestes problemas, quer em termos de janelas temporais de entrega impostas pelos clientes, quer em termos de tempo de serviço máximos garantidos pelo distribuidor.

Grande parte da investigação tem sido feita assumindo ambientes estáticos. Isto significa que a resolução é efectuada *a priori*, com informação estática. Contudo, numa grande parte dos casos, estes pressupostos não se verificam, nomeadamente a disponibilidade de toda a informação relevante no início do horizonte de planeamento, o que confere um estatuto de dinamismo a estes problemas.

Um grande número de problemas dinâmicos tem sido modelado e resolvido como sendo estáticos, com base em informação estocástica. No entanto, em alguns casos,

algumas rotas definidas *a priori* podem ser destituídas de sentido, se não se verificarem os pressupostos iniciais. Por este motivo, abordagens dinâmicas tornam-se cada vez mais necessárias para resolver este tipo de problemas.

## 1.1 – Âmbito e tema da dissertação

### Contexto

Num contexto onde, cada vez mais, os problemas tendem a ser dinâmicos, a distribuição farmacêutica tem particular interesse, uma vez que a gestão dos *stocks* nas farmácias é efectuada numa filosofia muito análoga ao *just-in-time*. Em áreas urbanas, as farmácias tendem a ocupar lojas cada vez menores. Aliado a este facto, o aumento do número de referências que manuseiam e o custo do capital investido em *stocks*, leva a que sejam efectuadas muitas encomendas de pequenas quantidades, relegando para os distribuidores a função de armazenamento de mercadorias. Este facto obriga a que os distribuidores sejam capazes de dar uma resposta eficaz às farmácias, no que respeita à disponibilidade dos produtos e no que respeita à entrega das encomendas em tempo útil.

Esta pressão para uma boa qualidade de serviço é cada vez maior e sempre que um distribuidor não consegue cumprir com as exigências da farmácia, fica sujeito a um custo de oportunidade elevado. Para além de perder aquela encomenda, poderá perder, também, encomendas futuras. A acrescer a este facto, a concorrência entre distribuidores é bastante elevada, levando a que, se um distribuidor não conseguir preencher os requisitos de uma farmácia, haverá outro que, com grande probabilidade, o conseguirá. As farmácias sentem, por isso, que detêm um enorme poder negocial.

O sector farmacêutico é um sector onde, tradicionalmente, as margens eram elevadas o que deixava para segundo plano qualquer investimento numa gestão eficiente da cadeia logística. No entanto, ineficiências nesta área podem, além de aumentar os custos, levar a perda de oportunidades, já referidas. Além disso, a crescente pressão dos governos para reduzir os custos com a saúde, a introdução dos medicamentos

genéricos ou a redução das comparticipações dos sistemas públicos de saúde, levam a que as companhias farmacêuticas sejam obrigadas a baixar os preços e, consequentemente, as margens para todo o sector.

Neste âmbito, é natural a preocupação dos distribuidores adoptarem sistemas de distribuição eficazes. Assim, o trabalho descrito nesta dissertação tem como objectivo o planeamento de rotas de veículos para a entrega de medicamentos na distribuição farmacêutica em áreas urbanas.

### **Objectivos e enquadramento do trabalho**

O trabalho enquadra-se na operação de uma empresa de distribuição farmacêutica, a Cofanor, Cooperativa dos Farmacêuticos do Norte, CRL. A Cofanor opera na zona Norte e na zona Centro Norte de Portugal que compreende os distritos de Aveiro, Braga, Bragança, Coimbra, Porto, Viana do Castelo, Vila Real e Viseu. Contudo, o presente estudo tem o seu âmbito limitado à zona do Grande Porto, uma vez que se pretende actuar apenas na distribuição de zonas urbanas. Apesar da Cofanor operar noutros núcleos urbanos, uma vez que apenas possui um depósito central no Porto, esses núcleos são encarados de maneira distinta.

**Assim, o objectivo principal do trabalho descrito nesta dissertação é tentar diminuir o tempo de entrega às farmácias, isto é, melhorar a qualidade de serviço, sem deteriorar significativamente o custo global de operação, o que significa manter sensivelmente o mesmo número de quilómetros percorridos com as mesmas viaturas disponíveis.**

No âmbito deste trabalho foi efectuada uma análise crítica do problema que revelou que poderia ser vantajosa uma alteração do procedimento de distribuição, baseado em rotas fixas, passando a empresa a operar num ambiente dinâmico, onde as rotas são construídas à medida que são conhecidas as encomendas. Para tal, desenvolveu-se um pequeno programa de computador com o objectivo único de permitir simular os efeitos da alteração da política de distribuição e compará-la com a situação actual. Neste momento, encontra-se em fase de discussão com a empresa o desenvolvimento do software que permita implementar a metodologia proposta. Esta dissertação encontra-se, portanto, incluída num trabalho em curso, cujos desenvolvimentos futuros se apresentam no capítulo final de conclusões e desenvolvimentos futuros.

**Abordagem adoptada**

A abordagem seguida para a resolução do problema proposto contempla dois níveis de resolução:

- o primeiro, de afectação, ou de *clusterização*, onde as farmácias são agrupadas;
- o segundo, de sequenciamento, ou construção de rotas, onde, para cada um dos grupos criado anteriormente, é elaborada a sequência de clientes a visitar.

A metodologia desenvolvida separa o problema em vários níveis de decisão, definindo quatro etapas de resolução. A primeira onde é efectuada a *clusterização* das encomendas, a segunda onde é elaborada uma primeira versão das rotas para cada *cluster*, a terceira onde é decidida a rota a efectuar, de entre as rotas anteriormente construídas, e a quarta onde a rota escolhida é sujeita a um procedimento de melhoramento.

**1.2 – Estrutura**

Este texto encontra-se dividido em 6 capítulos. No presente capítulo, encontra-se uma breve referência ao tema e âmbito desta dissertação.

No capítulo 2, faz-se referência ao sector farmacêutico e à empresa que deu origem ao caso de estudo. Descreve-se o sector farmacêutico, enquadrando-o no sector da saúde, referindo as suas principais tendências para o futuro, nomeadamente os movimentos de fusão e aquisição, a criação de grupos de compras, o surgimento de novos produtos e o *outsourcing* de algumas actividades da cadeia logística. Posteriormente descreve-se o modelo de actividade da empresa que serviu de caso de estudo e o sistema de informação que o suporta. No final, define-se o problema estudado, referindo-se os objectivos e as principais restrições consideradas.

No capítulo 3, referem-se os principais modelos e técnicas de problemas de rotas de veículos encontrados na literatura da área de Investigação Operacional, realçando-se as principais diferenças entre as vertentes estática e dinâmica do problema.

Posteriormente, são referidos alguns problemas dinâmicos e as principais técnicas que têm sido usadas para os resolver.

No capítulo 4, é apresentada a abordagem seguida para a resolução do problema proposto, sendo descritas as quatro fases de resolução. Em cada uma das fases são descritas as heurísticas desenvolvidas.

No capítulo 5, descrevem-se os dados necessários à resolução do problema e a forma como foram obtidos e calculados. Posteriormente, são explicados quais os indicadores que serviram de base à avaliação dos resultados. Os indicadores têm a ver com a distância percorrida e com a qualidade de serviço, ou seja, o tempo de entrega das encomendas. São apresentados os valores dos indicadores anteriormente definidos para o cenário actual e para o algoritmo proposto. No final é feita uma comparação destes valores e é relatada a opinião da empresa acerca dos resultados obtidos.

Por fim, no capítulo 6, são apresentadas as conclusões do estudo. Faz-se uma pequena síntese e conclusão do trabalho desenvolvido e propõe-se uma forma de implementar este algoritmo na prática, a partir das especificações que um Sistema de Apoio à Decisão, construído para o efeito, deverá contemplar. No final, são apresentadas algumas linhas de orientação para investigação futura, quer em termos de possíveis melhorias dos algoritmos, quer em termos de possíveis alterações à forma de operar da própria empresa.

## Capítulo 2 – Caso de Estudo

---

Neste capítulo, descreve-se o caso de estudo que deu origem a esta dissertação e que se refere à distribuição de medicamentos às farmácias efectuada pela Cofanor, Cooperativa dos Farmacêuticos do Norte, CRL.

Começa por se dar uma visão do sector farmacêutico, referindo as suas características e modo de inserção no sector da saúde. Descreve-se, também, qual o papel do distribuidor num mercado fortemente segmentado, quer na parte dos fornecedores, quer na parte dos clientes. Apresentam-se, também, as principais tendências para o sector, no que diz respeito à fusão e aquisição de empresas distribuidoras, à criação de grupos de farmácias, ao aparecimento de novos produtos e serviços e à subcontratação de algumas actividades da cadeia de abastecimento.

De seguida, procura fazer-se uma breve descrição da empresa e do mercado em que está inserida. Descreve-se o modelo de actividade e o sistema de informação que a suporta. Finalmente, analisa-se a situação actual das rotas, referindo algumas das preocupações da empresa.

Depois de caracterizado o sistema e analisada a situação actual, definem-se os objectivos e o âmbito de aplicação deste estudo, com vista à obtenção de melhorias no planeamento das rotas da empresa.

### 2.1 – O Sector Farmacêutico e da saúde

Segundo Ward e Mills [3], o sector da saúde está a sofrer alterações sem precedentes que afectam todo o sistema, desde a produção, passando pela distribuição, até ao cliente final. Estes autores referem alguns factores que têm orientado as referidas alterações:

- o envelhecimento da população, que leva a um aumento da necessidade de cuidados de saúde e dos meios de diagnóstico e tratamento;

- a enorme pressão que existe por parte dos governos em diminuir os custos neste sector;
- um interesse cada vez maior na utilização de tecnologias de informação e comunicação;
- a possibilidade de se criarem novos canais de distribuição como, por exemplo, a distribuição por correio, a compra *on-line* com entrega ao domicílio e a venda em grandes superfícies.

Estas alterações têm conduzido a um aumento do poder do lado das farmácias em detrimento do fornecedor.

Um artigo publicado na Logistics Europe [4] refere que as companhias farmacêuticas estão fortemente envolvidas na investigação de novos produtos, constituindo a gestão da cadeia logística uma preocupação menor. Nesse artigo Ron Kubera, vice-presidente da Manugistics no Norte da Europa, afirma que os custos directos da gestão da cadeia logística nunca serão uma grande preocupação numa indústria que fabrica produtos com margens elevadas mas, considera que é bastante importante manter uma cadeia de abastecimento eficiente, não por causa do custo mas, sim, pela potencial perda de oportunidades. Crê ainda que, com o crescimento dos medicamentos genéricos, a cadeia logística deixará de ser encarada apenas na vertente de qualidade de serviço. Ou seja, se a remuneração por estes medicamentos passa a ser menor, o esforço no sentido de baixar os custos da cadeia de abastecimento torna-se cada vez mais importante.

Para fazer face a uma pressão na diminuição dos custos, as companhias farmacêuticas têm vindo a centralizar a produção. Uma fábrica, por exemplo, pode ser responsável pela produção de um medicamento para toda a Europa. A título de exemplo, uma das maiores companhias britânicas fechou duas das seis fábricas que detinha na Grã-bretanha e vendeu outra nos últimos anos, transferindo a produção para outras fábricas na Europa. No entanto, a transferência de fábricas para países com mão-de-obra mais barata não tem sido adoptada, pela necessidade de se manterem elevados padrões de segurança e qualidade.

De acordo com Phil Mahoney, Director da AspenTech na Europa, os níveis de serviço na indústria farmacêutica não são ideais. O autor afirma que, acima de tudo, são necessários, nesta área, melhores Sistemas de Apoio à Decisão.

### 2.1.1 – O papel do distribuidor

Ward e Mills [3], afirmam que a distribuição farmacêutica é um negócio extremamente complexo que envolve o armazenamento e movimentação de milhares de referências, entre um mercado altamente fragmentado de fornecedores, isto é, companhias farmacêuticas, e um, ainda mais fragmentado, mercado de vendedores, ou seja, farmácias. Em vários países da Europa, como é o caso da Alemanha, é comum que um distribuidor tenha mais de 100 000 referências diferentes. Com a proliferação dos medicamentos genéricos, estes números podem ser ainda maiores.

Na Europa, os distribuidores fazem, normalmente, duas entregas por dia a cada farmácia. Em algumas áreas urbanas este número pode chegar às cinco por dia. As encomendas são, geralmente, entregues em menos de duas horas, contadas a partir da recepção do pedido de encomenda. Para satisfazer estes requisitos, os distribuidores têm vindo a modernizar e automatizar os seus armazéns. Em países como a França, a rede de distribuição contém entre 40 a 50 armazéns de forma a cobrir todo o território. Cada um destes armazéns recebe pedidos de 300 a 500 farmácias através de vários meios electrónicos como o *modem*, o *Electronic Data Interchange – EDI* e a *internet*.

A acrescentar a esta função, os distribuidores fornecem, também, um conjunto de outros serviços de valor acrescentado, como programas de computador destinados a gerir as farmácias, serviços informativos, apoio financeiro e uma grande panóplia de ferramentas de promoção e *marketing*.

Nalguns países, os governos aperceberam-se que as farmácias, devido à sua localização privilegiada, podem desempenhar um papel importante na prestação de conselhos de saúde enquanto vendem medicamentos. As farmácias deixam assim de ser meros vendedores de medicamentos para passar a ser conselheiros de saúde. Os distribuidores passam a ser fornecedores, não só de medicamentos, mas também de informação sobre novos produtos e novas terapêuticas.

Segundo o artigo da Logistics Europe [4], o distribuidor presta um importante serviço ao abastecer pequenas farmácias, muitas vezes localizadas em áreas remotas, com pequenas quantidades de medicamentos. No entanto, o aumento de pontos de

distribuição, criados pela introdução dessas farmácias, torna a cadeia de abastecimento ineficiente e com um desempenho difícil de prever.

Na Europa, as farmácias individuais são o ponto de contacto dos pacientes, que procuram um determinado medicamento, com os fabricantes. Os distribuidores representam um elo da cadeia, essencial para este mercado altamente fragmentado, sem o qual as farmácias não conseguiriam funcionar. O distribuidor é, neste caso, responsável por, virtualmente, assegurar que o paciente tenha acesso instantâneo aos medicamentos de que precisa.

### **2.1.2 – O perfil do mercado em Portugal**

Alguns estudos referem que o mercado em Portugal continua altamente fragmentado. Segundo MacArthur [5] existiam, em 1993, cerca de 80 distribuidores e 469 depósitos (armazéns de distribuidores). De acordo com o estudo de Martin [6], em 1998 já existiam cerca de 90 distribuidores, dos quais cerca de 40 controlavam 95% do mercado. Os principais distribuidores são a Alliance UniChem, a Codifar, a União dos Farmacêuticos, a OCP/Gehe, a Soquifa, a Cofanor, o Botelho & Rodrigues e a Farbeira.

A criação de grupos, como a Alliance UniChem ou a OCP, foi efectuada através da aquisição de vários distribuidores a nível nacional. Entre os maiores distribuidores encontram-se algumas cooperativas de distribuição como são o caso da Codifar, da União dos Farmacêuticos, da Cofanor e da Farbeira.

Em Portugal, a regulação no que diz respeito à propriedade de farmácias e a quem pode vender medicamentos que necessitam de prescrição médica é bastante rígida. Cada farmacêutico só pode ter uma farmácia e apenas os farmacêuticos qualificados podem fornecer medicamentos. Os médicos estão proibidos de o fazer. No entanto, têm-se vindo a discutir a possibilidade de liberalizar o sector, quer no que diz respeito à pertença de farmácias, quer na possibilidade de venda de alguns medicamentos noutros pontos como os supermercados, por exemplo. No ano de 2000 havia cerca de 2 500 farmácias em Portugal.

Em 1998, as margens brutas para as farmácias eram de 18% do preço de venda ao público. Para o distribuidor, essas margens eram de 11,1% sobre o preço de fábrica, correspondendo a 8% do preço de venda ao público. Contudo, devido a pressões de mercado, os distribuidores são obrigados a passar parte dessa margem para as farmácias, normalmente sob a forma de descontos de quantidade ou financeiros. No entanto, e apesar destas margens, o atraso no pagamento das participações do estado às farmácias tem originado alguns problemas no sector.

### **2.1.3 – O mercado único e os distribuidores pan-europeus**

Martin [6] refere a visão de Raymond Gilmartin, presidente da Merck & Co, sobre a criação de um mercado único europeu para todos os medicamentos aprovados, a livre circulação de bens e a participação dos consumidores nas decisões do sector da saúde. Existem, por isso, três factores que contribuirão para uma maior equidade do sector:

- harmonização da regulamentação – a tendência dos fabricantes concentrarem a produção necessita de uma maior clarificação no que respeita às questões legais na produção, diferentes nos diversos países da Europa;
- convergência de preços – os preços deverão convergir para diminuir as assimetrias;
- harmonização nas gamas de produtos – a clarificação do que é ou não produto farmacêutico para que o mercado seja igual em todos os países.

Naturalmente que um mercado único pode trazer vantagens adicionais às companhias farmacêuticas no que diz respeito ao transporte de mercadorias.

De acordo com um artigo publicado na revista Logística Hoje [7] sobre o congresso Pharnalog 2003, a indústria farmacêutica é uma indústria em mudança. A necessidade das empresas reverem em baixa os seus lucros leva a que se procurem novos modelos organizativos. As fusões e aquisições, as reorganizações internas e a diminuição dos recursos próprios têm sido instrumentos usados para fazer face ao, já referido, esmagamento das margens brutas.

Martin [6] afirma que, com a gradual integração do mercado europeu, o pré-armazenamento começará a ser uma realidade cada vez maior, concentrando os pontos físicos de contacto entre produtores e distribuidores pan-europeus. Esta cooperação entre distribuidores e fabricantes poderá levar a que os distribuidores comecem a prestar novos serviços aos fabricantes como, por exemplo, a embalagem, a etiquetagem e a facturação.

Apesar de já terem surgido alguns distribuidores pan-europeus, ainda existe muito pouca distribuição entre fronteiras. A principal razão prende-se com a inexistência de um verdadeiro mercado europeu. De acordo com o estudo de Martin [6], os três grandes grupos de distribuição, a Gehe, a Alliance Unichem e a Phoenix, controlavam cerca de 50% do mercado europeu em 1999, prevendo-se que esta percentagem suba para os 66% até 2004. Segundo Ward e Mills [3] esta subida será ainda mais significativa. Todos os distribuidores controlam cerca de 80% do mercado, sendo o restante assegurado directamente pelos produtores.

Na Europa, têm vindo a repetir-se movimentações a nível da criação de grandes grupos de distribuição, desde a criação do mercado único europeu no ano de 1992. A criação dos grupos tem sido feita pela aquisição de distribuidores locais, de menor dimensão. Os distribuidores franceses foram os primeiros a adquirir distribuidores locais em Itália, Portugal e Espanha. As maiores fusões neste sector foram a compra da OCP (França) em 1993 e da AAH (Reino Unido) em 1995, pela Gehe e a fusão da UniChem (Reino Unido) com a Alliance Santé (França) em 1997. Ward e Mills [3], referem que os recentes acordos entre a Cardinal Health, Inc. e a Bindley Western e entre a AmeriSource Health e a Bergen Brunswick, nos Estados Unidos da América, significam que os três maiores grupos de distribuição farmacêutica controlam cerca de 90% do mercado norte americano.

Em Portugal, estes movimentos foram iniciados com a aquisição de vários distribuidores por parte dos seguintes grupos:

- Alliance Santé (actualmente Alliance UniChem) – Eulália, Magalhães e Ramalho;
- UniChem (actualmente Alliance UniChem) – Manso Preto & Martins e Machado e Bilelo;
- OCP (Adquirida pela Gehe) – J C Crespo e Drogaria Castilho.

A tabela 2.1 sintetiza a presença dos cinco maiores distribuidores no mercado europeu.

| País              | Alliance<br>UniChem<br>(R.Unido) | Gehe<br>(Alemanha) | OPG<br>(Holanda) | Phoenix<br>(Alemanha) | Tamro<br>(Finlândia) |
|-------------------|----------------------------------|--------------------|------------------|-----------------------|----------------------|
| Alemanha          |                                  | X                  | X                | X                     |                      |
| Áustria           |                                  | X                  |                  | X                     |                      |
| Bélgica           |                                  | X                  | X                |                       |                      |
| Dinamarca         |                                  |                    |                  |                       | X                    |
| Eslováquia        |                                  |                    |                  |                       |                      |
| Espanha           | X                                |                    |                  |                       |                      |
| Finlândia         |                                  |                    |                  |                       | X                    |
| França            |                                  | X                  |                  | X                     |                      |
| Grécia            | X                                |                    |                  |                       |                      |
| Hungria           |                                  |                    |                  | X                     |                      |
| Irlanda           |                                  | X                  |                  |                       |                      |
| Itália            | X                                |                    |                  | X                     |                      |
| Luxemburgo        |                                  |                    |                  |                       |                      |
| Holanda           |                                  |                    | X                | X                     |                      |
| Noruega           |                                  |                    | X                |                       | X                    |
| Países do Báltico |                                  |                    |                  |                       | X                    |
| Polónia           |                                  |                    | X                | X                     |                      |
| Portugal          | X                                | X                  |                  |                       |                      |
| Reino Unido       | X                                | X                  |                  | X                     |                      |
| República Checa   | X                                | X                  |                  | X                     |                      |
| Rússia            |                                  |                    |                  |                       | X                    |
| Suécia            |                                  |                    |                  |                       | X                    |
| Suiça             | X                                |                    |                  |                       |                      |

Tabela 2.1 – Presença dos distribuidores pan-europeus no mercado europeu.

Martin [6] prevê que as actividades de aquisição e fusão de distribuidores pan-europeus continuem devido a:

- oportunidade para partilhar eficazmente activos e a necessidade de aumentar o lucro, uma vez que o mercado continuará a receber fortes pressões para diminuir as margens;
- possibilidade de aumentar o volume de vendas pela presença noutros mercados – especialmente os distribuidores que já não conseguem aumentar a sua quota no mercado nacional;
- concentração da produção leva a que os distribuidores tenham que ir ao encontro das necessidades dos fabricantes;
- aproveitamento de sinergias relativamente às tecnologias de informação, ao *marketing* e ao armazenamento;
- defesa contra a entrada de novos distribuidores ou de grupos de compra, como por exemplo cadeias de farmácias;
- aumento de poder negocial junto dos fabricantes;
- melhorias na eficiência e no leque de serviços oferecidos pelos distribuidores.

Em Portugal, alguns analistas pensam que haverá espaço para 3 distribuidores a nível nacional. Dois deles já operam no nosso país (Alliance UniChem e grupo OCP) sendo previsível que o terceiro apareça da fusão de algumas das cooperativas actuais.

#### **2.1.4 – Os grandes compradores**

Tradicionalmente, os grandes compradores, como o sector hospitalar, são fornecidos directamente pelos fabricantes, beneficiando dos mesmos benefícios dos distribuidores. No entanto, nos últimos anos, os distribuidores têm vindo a aumentar o seu peso neste sector, com os fabricantes a privilegiarem a sua relação com o cliente final.

No seu relacionamento com os hospitais, os fabricantes têm de fazer face a uma complicada estrutura de preços e de procedimentos de compra. Por outro lado, em Portugal, alguns distribuidores têm revelado menos interesse nos fornecimentos aos hospitais, por causa dos atrasos no pagamento. Para fazer face a este problema, os distribuidores desenvolveram políticas de facturação complexas que permitem aos

fabricantes facturar directamente aos hospitais, enquanto que as entregas são efectuadas pelo distribuidor. Dentro deste grupo podem também considerar-se as companhias de seguros, que agem de modo semelhante aos hospitais.

É com esta orientação que se têm vindo a criar grupos de farmácias, por forma a aumentar o seu poder negocial junto dos fabricantes. No Reino Unido, os maiores grupos de farmácias já representam cerca de 50% do mercado. Contudo, esta possibilidade ainda está vedada legalmente em países como a Alemanha, a Espanha, a França, ou Portugal.

Os maiores distribuidores pan-europeus investiram já em alguns destes grupos. Com o aumento da desregulação é espectável que os distribuidores e os grandes grupos de farmácias invistam em conjunto, criando grupos de distribuição e venda de medicamentos. Uma aproximação a este tipo de associação são as cooperativas de distribuição existentes em Portugal, que, no entanto, diferem das anteriormente referidas por seres instituições sem fins lucrativos.

Outra possibilidade é o aparecimento de cadeias de farmácias em sistema de *franchising*, a exemplo do que já acontece na Dinamarca com a Apotek.

### **2.1.5 – O outsourcing**

As empresas da indústria farmacêutica tendem a controlar directamente uma grande parte das actividades da cadeia de abastecimento, num grau muito superior ao de outros sectores de actividade. Este controlo envolve, por exemplo, a armazenagem e, em alguns casos, o transporte.

Segundo a Logistics Europe [4], não existe uma razão coerente para que um operador logístico não possa efectuar algumas das operações. Se isso pode ser feito na indústria alimentar que é, também, uma indústria sensível, porque não o pode ser na farmacêutica?

Manuel de Oliveira, da Sofarimex, referiu no congresso Pharmalog 2003, segundo as revistas Logística Hoje [7] e a Farmácia Distribuição [8], que “o negócio farmacêutico está em mudança” mas que “a indústria ainda se escuda na

regulamentação que cria barreiras à transferência de competências”. Esta é, segundo Manuel de Oliveira, a principal razão para a inércia que se vive neste campo.

Nas mesmas revistas, Rui dos Santos, director geral da Logifarma, afirma que “quando uma determinada área da cadeia de abastecimento não é uma competência interna específica ou vantagem inequívoca, então o melhor é externizá-la, a maior dificuldade é definir essa competência específica”. Afirma, também, que “se manter competências internas significa custos adicionais, garante também menores riscos e facilidades de reverter a situação” e que “não é possível recorrer ao *outsourcing* se não existirem parceiros com *know-how* necessário, se existir uma preocupação ou risco relativamente à dependência, ou não for possível identificar reduções de custos”. Apesar das vantagens, a indústria farmacêutica ainda não recorre massivamente à subcontratação de competências. Alguns motivos para essa situação podem estar na falta de qualidade da oferta por parte dos operadores logísticos, na capacidade disponível, na regulamentação ainda em construção e na falta de massa crítica, ou seja, na existência de poucas empresas que subcontratam algumas actividades.

Contudo, alguns distribuidores já subcontratam algumas actividades. As entregas em zonas afastadas dos depósitos são, por vezes, efectuada por distribuidores locais. Por exemplo: o distribuidor recebe as encomendas e processa-as; posteriormente, transporta-as num veículo de grande capacidade até um armazém de trans-expedição onde estas são distribuídas localmente em várias viaturas mais pequenas.

Há quem se questione sobre a importância do papel do distribuidor num canal de distribuição muito próprio como é o desta indústria, sobretudo se se pensar que algo pode mudar quando as grandes superfícies (hipermercados) começarem a vender produtos farmacêuticos.

Rui dos Santos prevê que o aumento da subcontratação neste sector deverá começar pelas tarefas de armazenamento e passar, progressivamente, para a distribuição e para a venda. Os grandes desafios serão o grande número de produtos e de clientes, operando em relações de curto prazo. Para Martin [6] ao nível da pré-distribuição, a operação poderá ser efectuada integralmente por operadores logísticos subcontratados.

### 2.1.6 – O comércio electrónico

O comércio electrónico surge, naturalmente, como uma das áreas onde se esperam desenvolvimentos com grande impacto no sector, sendo já uma realidade, nomeadamente na perspectiva *business-to-business*. Existem, porém, oportunidades para uma melhoria na relação entre os diversos elos da cadeia de distribuição, nomeadamente no serviço ao cliente, no controlo de qualidade e na comunicação. É, precisamente, com uma melhoria da comunicação entre os diferentes intervenientes que se poderão atingir reduções de *stocks* e do tempo de ciclo dos produtos. Na vertente *business-to-consumer*, não se prevê que haja desenvolvimentos significativos, uma vez que a venda directa de medicamentos com prescrição é limitada às farmácias. No entanto, as farmácias poderão vir a adoptar um serviço de venda por *internet* com entrega ao domicílio.

## 2.2 – A empresa e o mercado

“A Cofanor, Cooperativa dos Farmacêuticos do Norte, CRL, foi criada em 1967 por 40 farmacêuticos, aos quais de imediato se associaram vários outros. Em Janeiro de 1968 a Cofanor inicia a sua actividade com um armazém na Praça do Marquês de Pombal, no Porto, tendo-se transferido para a Travessa de S. Dinis, em Março de 1975. Desde Setembro de 1990, tem a sua sede e armazém na Rua das Palmeiras, no Porto, ocupando uma área de 13 000m<sup>2</sup>. Estas instalações têm sofrido melhoramentos significativos...

Desde 1995 a Cofanor tem tido uma crescente preocupação com a área da formação contínua, realizando Cursos, Palestras, Seminários e Jornadas, com temas relevantes e com a divulgação de conhecimentos *estado-da-arte* no seu domínio de actividade.” [9].

Uma das principais preocupações da Cofanor diz, naturalmente, respeito à distribuição dos produtos farmacêuticos, procurando garantir que todos os produtos

são aviados e transportados para as farmácias, em condições de embalagem e temperatura adequadas, por forma a manterem todas as suas características.

O mercado onde a Cofanor opera é, essencialmente, a zona Norte (distritos de Viana do Castelo, Braga, Porto, Vila Real e Bragança) e a zona Centro Norte (distritos de Aveiro, Coimbra e Viseu).

No ano de 2001, o distrito do Porto representou cerca de 52% dos 139 milhões de euros facturados pela empresa. Por outro lado, este distrito representou 40% do total do mercado em que a Cofanor opera. A quota de mercado da Cofanor neste distrito foi de cerca de 26%, quota apenas superada por um dos seus concorrentes em cerca de 3%.

A figura 2.1 ilustra o peso relativo dos distritos onde a Cofanor opera na sua facturação; a figura 2.2 a quota de mercado no distrito do Porto; e a figura 2.3 as quotas de mercado da Cofanor nos diferentes distritos onde opera. Estes valores foram retirados de estudos de mercado elaborados pela IMS Health no ano de 2001. De referir que o volume de facturação da Cofanor tem vindo a aumentar, atingindo os 153 milhões de euros em 2002, prevendo-se atingir cerca de 160 milhões de euros em 2003 [10].

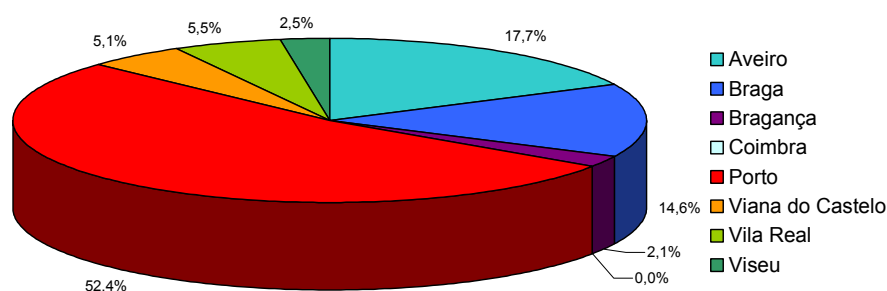


Figura 2.1 – Percentagem da facturação por distrito.

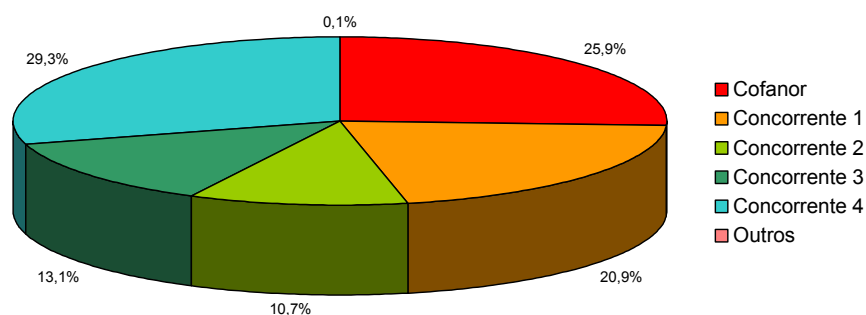


Figura 2.2 – Quota de mercado no distrito do Porto.

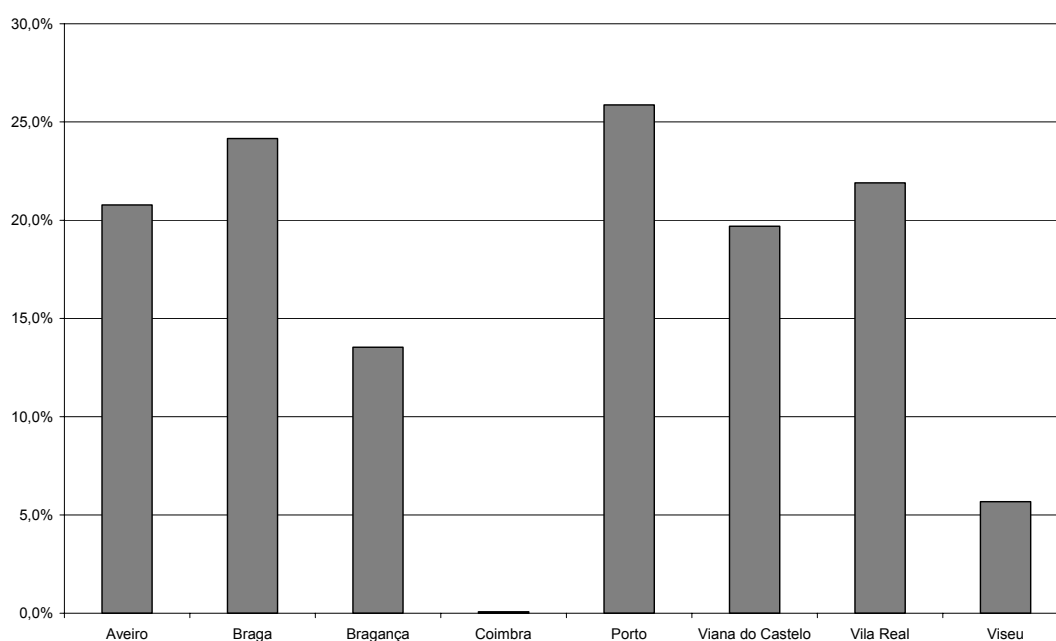


Figura 2.3 – Quotas de mercado da Cofanor por distrito.

## 2.3 – O modelo de actividade

Nesta secção, descreve-se o modelo de actividade, ou seja, o processo de satisfação de uma encomenda, desde o momento em que esta é colocada pelo cliente (farmácia) até ao momento em que a recebe. Descreve-se, também, a estrutura do sistema informático que o suporta.

O circuito seguido por cada pedido pode ser dividido em três etapas:

- a colocação do pedido;
- o aviamento do pedido;
- a entrega do pedido.

### **2.3.1. – A colocação do pedido**

As farmácias possuem sistemas informáticos, que lhes permitem colocar encomendas directamente no sistema informático da Cofanor, através de *modem*. Adicionalmente, recorrem ao telefone que, em geral, é apenas utilizado para colocar pequenas encomendas (encomendas com poucas linhas) e que constituem, normalmente, acréscimos a encomendas já colocadas via *modem*.

Uma vez no sistema, as encomendas são confirmadas por uma operadora que, na maioria dos casos, contacta a farmácia por telefone, para verificar se não há necessidade de mais nenhum item ou para informar de possíveis promoções dos produtos encomendados (por exemplo, a farmácia encomendou 5 unidades e se encomendar 7, tem direito a uma unidade grátis).

O tempo que decorre entre o instante em que a farmácia coloca o pedido e o instante em que este é confirmado é muito variável, uma vez que este procedimento tem uma forte intervenção humana.

Uma vez confirmado o pedido, o Sistema Informático (Sistema de Gestão Global, adiante referido por SGG) grava-o num registo, que vai sofrendo alterações ao longo do processo de aviamento, como se pode ver na figura 2.4. De referir, ainda, que nos casos de rotura de *stock*, os pedidos não geram entregas, ou seja, são cancelados pelo sistema informado.

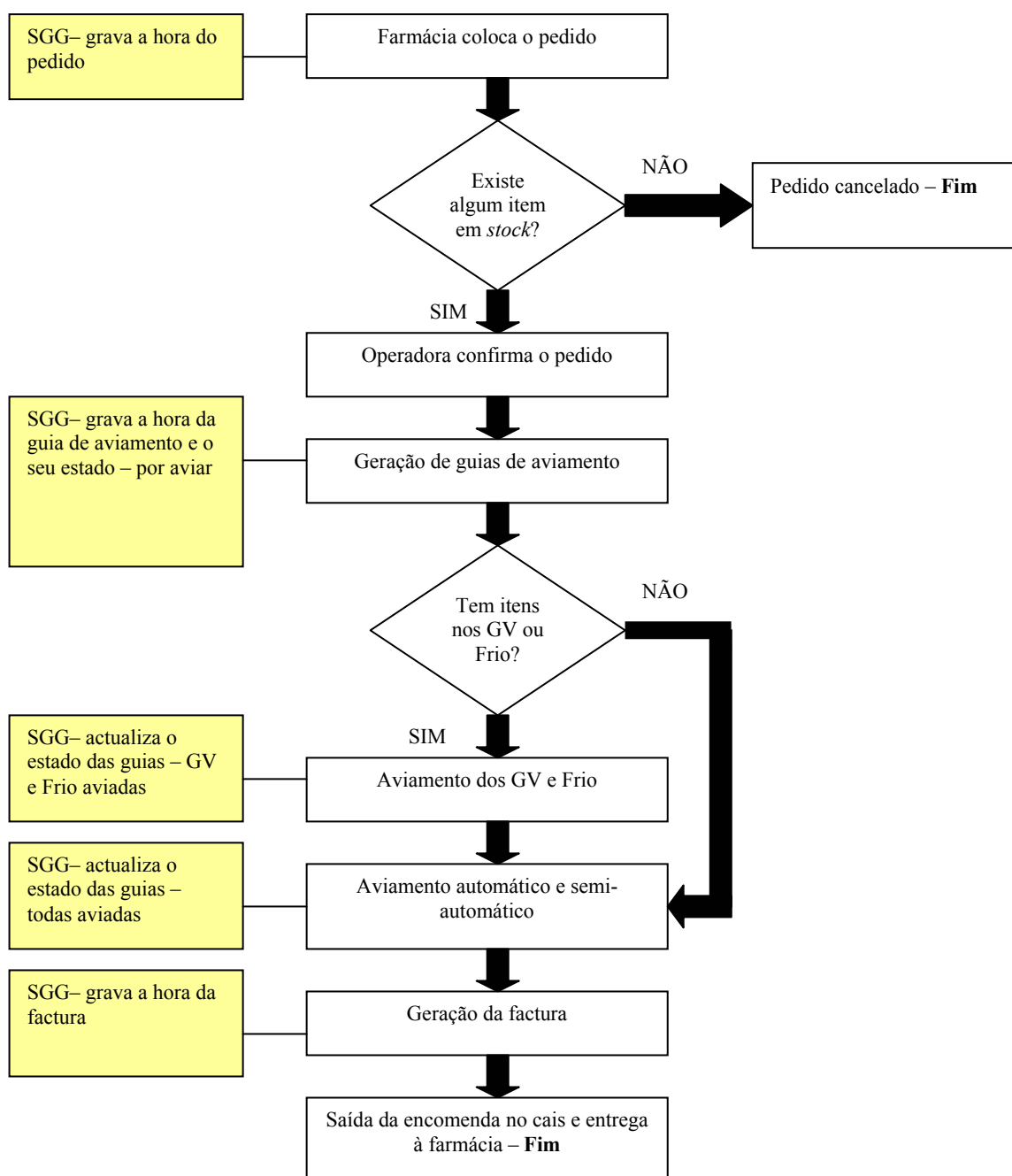


Figura 2.4 – Fluxo da informação para um pedido.

### 2.3.2. – O aviamento do pedido

Antes de descrever o processo de aviamento de pedido é fundamental perceber como é que o armazém está dividido e como é que os produtos são embalados para envio às farmácias.

### **Organização do armazém e do processo de embalagem**

Os produtos que a Cofanor distribui estão armazenados em quatro zonas de aviamento: Automático, Frio, Psicotrópicos e Grandes Volumes (GV).

Na zona dos Grandes Volumes estão armazenados os itens de veterinária, os de cosmética, os químicos e, ainda, os que, devido às suas características, não podem ser colocados nas áreas automáticas, como, por exemplo, os produtos de grandes dimensões ou os frascos de vidro, entre outros. Nesta área, além de serem aviados estes itens, são, também, aviadas as encomendas de grandes quantidades.

Os produtos que necessitam de ser conservados em frigoríficos encontram-se na área chamada Frio.

Os produtos psicotrópicos, bem como outros de quantidade controlada, são armazenados numa estação de acesso reservado, de acordo com a legislação em vigor.

Nestas três áreas, o aviamento é feito manualmente em embalagens não uniformizadas que podem ser caixas de cartão, sacos de plástico ou, mais raramente, contentores de plástico. As dimensões destas embalagens são bastante variáveis.

Todos os outros produtos estão armazenados na zona Automática e Semi-automática do armazém, sendo que a primeira alberga os produtos de maior rotatividade, representando cerca de 60% do volume de facturação da Cofanor. Estas duas zonas são chamadas de SDA (*Schnelldrehaautomat – fast mover autopicker*) e MPS (*Manual Picking System*), respectivamente. Estes produtos são aviados em contentores de plástico normalizados com capacidade de 30 litros, normalmente designados como “banheiras”. As figuras 2.5 e 2.6 mostram o autómato da zona Automática (SDA) e o terminal de um operador junto às estações de recolha da zona Semi-automática (MPS).



Figura 2.5 – Autômato da zona Automática (SDA) (fonte [10]).



Figura 2.6 – Terminal de um operador (MPS) (fonte [10]).

### **Processamento de um pedido**

Após a sua confirmação, o pedido gera uma guia de aviamento. Estas guias são compostas por uma ou mais folhas, tendo em conta o número de itens e o local em que os mesmos irão ser aviados (ver figura 2.4).

São geradas folhas separadas para os itens da classe Grandes Volumes e Frio. No caso das áreas Automáticas e Semi-automáticas, cada “banheira” a ser aviada

corresponde a uma folha da respectiva guia. O SGG identifica as guias com um número comum e com um código adicional por cada folha que tem associado o local de aviamento. O SGG regista a hora de emissão da guia e permite saber, a cada momento, quais as folhas que já estão aviadas. Só quando os itens dos Grandes Volumes e do Frio estiverem aviados é que se inicia o processo nas áreas Automática e Semi-Automática.

Uma vez concluído todo o aviamento, a guia dá origem à respectiva factura. Neste momento a encomenda é direccionada para o cais onde irá ser expedida. O SGG regista a data e hora a que cada factura é impressa, ou seja, a altura em que a encomenda foi aviada.

No cais, existem 22 rampas onde as “banheiras” vão sendo agrupadas de acordo com as rotas de distribuição. Os Grandes Volumes saem numa rampa única e dedicada onde, posteriormente, um operador (muitas vezes, o próprio motorista) os vai recolher e colocar junto à rampa onde estão as “banheiras” da mesma rota. Os produtos de Frio são colocados num frigorífico onde são recolhidos pelo motorista que os coloca, de seguida, numa arca frigorífica existente no veículo. Nas figuras 2.7 e 2.8 podem-se visualizar uma das carrinhas, carregada com encomendas e o cais de expedição, respectivamente.



Figura 2.7 – Veículo carregado com encomendas (“banheiras”).



Figura 2.8 – Cais de expedição (fonte [10]).

### 2.3.3 – A entrega do pedido

Os produtos referentes aos vários pedidos são distribuídos às farmácias, em veículos próprios e em veículos subcontratados. Todos os veículos têm rotas pré-determinadas de acordo com o dia da semana e com a periodicidade de recepção, definida para cada farmácia.

A frota própria é constituída por viaturas com 4 capacidade distintas:

- carrinhas com capacidade para 75 “banheiras”;
- carrinhas com capacidade para 50 “banheiras”;
- carrinhas com capacidade para 35 “banheiras”;
- motos com capacidade para 2 “banheiras”.

A distribuição é feita com base num sistema de rotas, constituídas para cada dia da semana, permitindo que a maioria das farmácias receba encomendas mais do que uma vez por dia. Estas rotas foram definidas através de um estudo inicial e, ao longo do tempo, foram alvo de ajustes sucessivos.

A principal estratégia de redefinição de rotas tem consistido na sua subdivisão em duas, quando surgem problemas de “sobrecargas”. Estes podem surgir em duas situações:

- falta de capacidade dos veículos;
- entregas tardias às farmácias.

Normalmente, estes problemas são identificados quando as farmácias apresentam reclamações à Cofanor.

Neste momento, e na operação global da empresa, existem 110 rotas, divididas em 4 tipos:

- tipo 1 – engloba 19 rotas cujos pedidos são carregados e distribuídos ao Domingo, e no caso de um algumas farmácias, à Segunda-feira de manhã;
- tipo 3 – abrange 41 rotas que se efectuam de Segunda-feira a Sexta-feira;
- tipo 4 – engloba 8 rotas que só se efectuam ao Sábado;
- tipo 8 – engloba 42 rotas, efectuadas de Segunda-feira a Sábado.

Embora tal não esteja especificado formalmente, existe também a divisão entre “rotas urbanas” e “rotas rurais”. As “rotas urbanas” são as que se realizam no Grande Porto, representando 35 do total de 110 rotas, sendo as restantes “classificadas” como “rurais”.

## **2.4 – Análise da situação actual e âmbito do estudo**

Quer a Direcção quer os colaboradores da empresa acreditam que as rotas para fora do grande Porto (“rotas rurais”) são, em geral, adequadas, podendo, por isso, aceitar-se como estáveis, e não necessitando de grandes intervenções. Tal não se passa com as “rotas urbanas” que são, muitas vezes, consideradas de fraca qualidade.

A fraca qualidade das rotas do Grande Porto deve-se, essencialmente, a uma certa “desorganização” associada às entregas nesta área. Frequentemente, verifica-se que as rotas predefinidas não são cumpridas e os motoristas saem do armazém para entregar apenas uma ou duas encomendas.

Existe, também, a percepção de que os “clientes urbanos” são menos “disciplinados” do que os “clientes rurais”, nomeadamente no que se refere ao respeito pela hora de colocação dos pedidos à empresa. Esta “indisciplina” poderá resultar de diversos factores:

- os “clientes urbanos” têm mais entregas por dia do que os “clientes rurais”, o que leva a que possam adiar a colocação de encomendas;
- o cliente está mais próximo do depósito, não sentindo tanta necessidade de colocar o pedido a tempo, uma vez que pode, sempre, pedir uma entrega urgente;
- a presença de outros distribuidores, eventualmente com horas de entrega distintas, permite o recurso a outra empresa caso a encomenda não seja efectuada a horas à Cofanor.

Assim, com base na análise efectuada e tendo em conta os aspectos referidos, define-se o Grande Porto como a área de estudo, já que nesta área o potencial de melhorias é maior. Por outro lado, tendo esta área um maior mercado, maior é o possível impacto nas operações da empresa.

Simultaneamente, uma estratégia de intervenção nas rotas que abandone o actual sistema de rotas fixas só é possível se os motoristas conhecerem bem a localização das farmácias, o que leva a que esta metodologia só possa ser aplicada no Grande Porto.

O principal objectivo do trabalho realizado foi, então, desenvolver um procedimento de definição de rotas para diminuir o tempo de entrega às farmácias sem aumentar significativamente os custos com a distribuição (número de quilómetros percorridos e número de viaturas disponível).

## Capítulo 3 – VRP – Modelos e técnicas

---

Tendo como referência o caso de estudo atrás descrito, procura-se, neste capítulo, sintetizar um vasto conjunto de ideias referentes às temáticas fundamentais para o trabalho.

Assim, é feita uma breve revisão bibliográfica na área da Investigação Operacional sobre o problema de rotas de veículos. Introduce-se o tema e define-se o problema de rotas de veículos clássico, referindo algumas das suas variantes mais conhecidas e algumas técnicas para sua resolução.

Posteriormente, refere-se a variante dinâmica do problema anterior. Esta é apresentada comparando-a ao modelo clássico. É referida a relevância deste problema em diversos contextos práticos.

No final do capítulo, são descritas algumas metodologias que têm sido usadas para resolver este problema, nomeadamente abordagens com base em soluções definidas previamente (*a priori*) e em “tempo real”.

### 3.1 – Problemas de rotas de veículos

Os problemas reais que podem ser modelados como problemas de rotas de veículos são inúmeros e incluem a distribuição e a recolha de bens e serviços a clientes, o escalonamento de veículos e tripulações, a definição de uma frota, quer em termos de dimensão, quer em termos de composição (Ball et al [11], Bodin et al [12]).

Dada a sua variedade, estes problemas podem ser classificados de várias maneiras, tendo em conta as suas características e especificidades (Teixeira [13]).

Se o problema consistir na definição de rotas é designado por VRP (*Vehicle Routing Problem*). Se o problema for o escalonamento (no tempo) das rotas é designado por VSP (*Vehicle Scheduling Problem*). Os problemas que envolvem, simultaneamente

as componentes de definição de rotas e o seu escalonamento são conhecidos por VRSP (*Vehicle Routing and Scheduling Problem*). Um exemplo deste tipo de problemas é o VRP, em que são definidas janelas temporais no acesso aos clientes a visitar (VRPTW).

Definindo o VRP com base numa rede (conjunto de arcos e nós), pode-se dividir este problema em dois tipos, consoante o serviço é feito nos nós (*node routing*) ou nos arcos (*arc routing*). Um exemplo dos problemas de serviço nos arcos é o do Carteiro Rural (*Rural Postman Problem*). Devido à natureza do caso em estudo, apenas irão ser apresentadas ideias referentes a problemas com serviços nos nós.

Como é natural, os dados disponíveis desempenham um papel importante na classificação deste tipo de problemas. A incerteza na informação e a variabilidade da mesma ao longo do horizonte de planeamento são características fundamentais. Se não existir incerteza em relação aos dados, os problemas classificam-se como determinísticos, caso contrário, denominam-se estocásticos. Se a informação for toda conhecida antes do planeamento, os problemas designam-se como estáticos. Se, por outro lado, a informação variar ao longo do tempo, são dinâmicos [13]. O problema tratado neste trabalho insere-se na categoria dos problemas dinâmicos.

Kindervater e Savelsbergh [14] propõem, ainda, uma divisão dos problemas de veículos em três níveis: estratégico, tático e operacional. Problemas como os de localização dos depósitos podem ser vistos como estratégicos, problemas de definição do tamanho e composição das rotas como táticos e problemas de definição e escalonamento de rotas de veículos como operacionais. Neste quadro, o caso em estudo é de índole operacional, com a possibilidade de se efectuarem análises de cenários do tipo *what-if* para poder proceder a alterações à política de rotas, composição da frota, entre outros, isto é, decisões de carácter tático.

### 3.2 – O problema de rotas de veículos clássico

O VRP básico, apresentado por Fisher [1], consiste em servir um conjunto de  $n$  clientes, a partir de um depósito central com uma frota de  $m$  veículos idênticos de

capacidade  $Q$ . O objectivo é definir uma rota para cada veículo que minimize o custo total de transporte. Cada rota começa e acaba no depósito central, servindo um conjunto de clientes, por uma determinada ordem. Todos os clientes têm que ser servidos e só o podem ser uma única vez. As rotas têm uma duração máxima de  $h$  horas, que é o turno de trabalho (embora esta restrição nem sempre seja considerada). Os custos de viagem entre dois nós ( $c_{ij}$ ) são, normalmente, simétricos, isto é,  $c_{ij}=c_{ji}$ , quaisquer que sejam  $i$  e  $j$ . Estes custos são, em geral, distâncias, tempos ou outros que dependem de ambos. Os veículos são iguais em termos de capacidade, custos operacionais e velocidade de circulação.

O VRP é definido num grafo  $G=(V,E)$ , onde  $V=\{v_0, v_1, \dots, v_n\}$  é o conjunto de nós e  $E=\{(i,j) \mid i,j \in V; i < j\}$  o conjunto de arcos. Ao nó  $v_0$  corresponde o depósito e aos outros nós correspondem os clientes a visitar, aos quais está associada uma procura  $q_i$ . A cada arco está associado um custo não negativo  $c_{ij}$ . Para efeitos de modelação, consideram-se variáveis de decisão binárias  $x_{ijk}$ , que tomam o valor 1 se os nós  $i$  e  $j$  são visitados pelo veículo  $k$ , deslocando-se directamente de  $i$  para  $j$ .

Deste tipo de problemas, o mais fundamental e estudado é, sem dúvida, o do Caixeiro Viajante (*Traveling Salesman Problem* ou *Traveling Salesperson Problem* - TSP), cujo objectivo é minimizar a distância total percorrida pelo vendedor, tendo este que percorrer um conjunto de clientes, que visita uma única vez, e voltar ao ponto de partida.

O problema de rotas de veículos (*Vehicle Routing Problem* - VRP) é uma generalização do TSP, considerando vários “caixeiros-viajantes” com capacidades limitadas e procura diferenciada.

### 3.2.1 – Variantes ao VRP clássico

Na grande maioria dos casos reais, a introdução de restrições adicionais complica o modelo e os algoritmos para a sua resolução. Diferentes variantes a este problema foram sendo estudadas por vários autores, no que respeita à função objectivo, a restrições de vários tipos ou, ainda, à disponibilidade (ou não) de toda a informação no início do planeamento [13].

Beasley [15] propõe várias alterações em relação à função objectivo. Esta pode conter três objectivos, consoante se queira minimizar os custos variáveis (custo total de viagem ou distância), os custos fixos (número de veículos utilizados), ou os custos totais (combinação de custos de viagem e número de veículos).

Em relação às restrições, autores como Bodin et al [12][16] e Beasley [15] relatam diferentes variantes decorrentes das características dos veículos, do tipo de operação ou dos clientes.

Questões como diferentes capacidades, custos de operação ou velocidades de circulação diferentes, de veículo para veículo, tornam este problema “heterogéneo” (HVRP). Tempos máximos para cumprir a rota, obrigatoriedade de efectuar paragens, necessidade de cumprir horas de saída ou chegada ao depósito assim como a possibilidade de efectuar recolhas de bens para entregar no depósito (*backhauling*), são outras das restrições adicionais ao VRP básico, no que diz respeito aos veículos.

Uma restrição frequente, relativa ao tipo de operação, é a possibilidade do mesmo veículo efectuar várias viagens num dia, retornando ao depósito no final de cada viagem (*multitrip* VRP – MVRP). A existência de depósitos múltiplos (MDVRP) e a periodicidade obrigatória das entregas devido à procura distribuída ao longo dos dias (VRP periódico –PVRP e reposição de *stock* – IVRP) são outras das restrições que se podem considerar.

Por outro lado, existem frequentemente restrições associadas aos clientes. Determinados clientes podem impor janelas temporais (*time windows*) para entrega das encomendas (VRPTW). Outros, por razões físicas, não podem ser servidos por determinados veículos. A necessidade de entregar e recolher (*pick-up and delivery*) bens ou serviços (PDVRP), a necessidade de satisfazer um determinado tempo de serviço ou a possibilidade de fazer entregas parciais de uma encomenda são características adicionais eventualmente a considerar. A procura de alguns clientes pode ser estocástica (SVRP) ou a colocação ou não de uma encomenda por parte de um cliente pode ser conhecida com uma probabilidade  $p$  (VRP probabilístico – pVRP).

Finalmente, refira-se que a informação pode variar ao longo do horizonte de planeamento. A esta classe de problemas chama-se problema dinâmico de rotas de

veículos (*Dynamic Vehicle Routing Problem* – DVRP), sendo deste tipo o problema tratado neste trabalho.

### 3.3 – Técnicas de resolução do VRP clássico

O VRP é um problema combinatório NP-Difícil (Lenstra e Rinnooy Kan [17]). Existem na literatura diversos métodos optimizantes e heurísticos para a resolução deste problema. Este trabalho limita-se apenas a apresentar os métodos heurísticos que são, naturalmente, e quase exclusivamente, os utilizados na prática.

Para facilitar a análise, classificam-se aqui os métodos heurísticos em heurísticas clássicas e meta-heurísticas. Na tabela 3.1, Teixeira [13] apresenta uma comparação, definida por Laporte et al [18], destes tipos de métodos, para o caso dos problemas de rotas de veículos.

| Heurísticas Clássicas (até 1990)                        | Meta-heurísticas (após 1990)                                                                                      |
|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Procedimentos de construção de rotas e melhoria         | A exploração intensiva de soluções em regiões mais promissoras tem maior realce                                   |
| Exploração limitada do espaço de soluções               | Técnicas mais sofisticadas de pesquisa na vizinhança, estruturas de memória adaptativa e recombinação de soluções |
| Soluções de boa qualidade com tempo de cálculo reduzido | Melhores soluções com um tempo de cálculo elevado                                                                 |

Tabela 3.1 – Comparação dos métodos heurísticos.

#### 3.3.1 – Heurísticas clássicas

Cada variante do VRP exige um tratamento especializado que conduz, em muitos casos, a um aumento da complexidade. Kindervater e Savelsbergh [14] afirmam que

o VRP pode considerar-se um problema derivado do TSP, com dois níveis de decisão:

- **afecção** – determinar quais os clientes que irão ser visitados pelo veículo  $k$ ;
- **sequenciamento** – determinar por que ordem irão ser visitados esses clientes.

Christofides [19] já tinha caracterizado esta abordagem em duas fases, identificando dois tipos principais:

- **Clusterização em primeiro; rota em segundo** – os clientes são agrupados em *clusters* e, posteriormente, para cada *cluster*, é efectuado o sequenciamento dos clientes. A heurística *sweep* de Gillet e Miller e a *gap* de Fisher e Jaikumar são exemplos deste tipo.
- **Rota em primeiro, clusterização em segundo** – é definida a rota em primeiro lugar e só depois é que essa rota é seccionada em vários segmentos (compatíveis com as restrições do problema).

Bodin et al[12], Fisher [1], Laporte et al [18] e Taillard et al [20] complementam esta classificação com novas classes de algoritmos:

- **Heurísticas construtivas** – partem de uma solução não admissível, normalmente vazia e vão adicionando nós à rota por um critério “guloso” (*greedy*). A heurística das poupanças de Clark e Wriqth é uma delas.
- **Heurísticas de pesquisa local** – partindo de uma solução admissível tentam melhorar as rotas iterativamente, através de operações de trocas de arcos e nós dentro das rotas (*k-opt*) ou entre rotas (*k-interchange*).
- **Heurísticas baseadas em algoritmos optimizantes** – relaxam o problema, tornando-o mais simples e posteriormente utilizam métodos exactos para a sua resolução. A já referida heurística *gap* é um dos exemplos deste tipo de heurísticas.

De referir que algumas implementações combinam vários tipos de heurísticas aqui apresentadas.

### 3.3.2 – Meta-heurísticas

As meta-heurísticas, enquanto generalização das heurísticas de pesquisa local, procuram melhorar as soluções, operando trocas, mas admitindo uma degradação momentânea da qualidade da solução. Esta degradação permite uma maior exploração do espaço de soluções, diminuindo a probabilidade de o algoritmo ficar “encurralado” em ótimos locais. Estas estratégias podem ser, por exemplo, a Pesquisa Tabu, o *Simulated Annealing*, os Algoritmos Genéticos ou as *Ant Colonies*. Estes métodos conheceram uma enorme expansão na década de 90, devido, em parte, ao aumento da velocidade dos computadores pessoais, mas também à sua enorme flexibilidade e robustez.

### 3.4 – O problema dinâmico de rotas de veículos – DVRP

Psaraftis [21] define o VRP clássico por comparação com o problema dinâmico (DVRP) da seguinte forma: o VRP é estático, ou clássico, “se o resultado de uma determinada formulação for um conjunto de rotas predefinidas que não são reotimizadas nem calculadas com dados que se alteram ao longo do tempo”, enquanto que o problema é dinâmico “se o resultado não é um conjunto de rotas, mas, antes, uma política de como as rotas deverão ser construídas em função dos dados que se vão alterando ao longo do tempo”. Nesta classificação o factor tempo desempenha uma função importante para a classificação dos problemas.

Larsen [2] propõe uma definição para estes dois problemas conforme se pode ver nas tabelas 3.2 e 3.3.

## VRP estático

- 1- Toda a informação relevante para o planeamento das rotas é conhecida (ou supostamente conhecida) pelo planeador antes do início do processo de planeamento.
- 2- Informação relevante para construir as rotas não se altera depois das rotas estarem construídas.

Tabela 3.2 – Definição do VRP estático.

## VRP dinâmico

- 1- Nem toda a informação relevante para o planeamento das rotas é conhecida pelo planeador antes do início do processo de planeamento.
- 2- Informação relevante para construir as rotas pode-se alterar depois das rotas iniciais estarem construídas.

Tabela 3.3 – Definição do VRP dinâmico.

Esta definição é complementada por Bianchi [22] que afirma que um problema não é dinâmico se, apesar da informação variar ao longo do tempo, essa variação for perfeitamente conhecida pelo agente de decisão. Mesmo que a informação não seja determinística, se o problema puder ser resolvido recorrendo a pressupostos probabilísticos, este também não é considerado dinâmico.

É claro que o DVRP é um problema mais complexo que o VRP clássico. Assim, pode dizer-se que o VRP clássico está contido na classe dos problemas DVRP.

Ainda, segundo Larsen [2], como o VRP estático pertence à classe dos problemas NP-difíceis, não é possível, na prática, encontrar soluções óptimas para problemas de dimensão real, com um esforço computacional aceitável. Isto implica que o DVRP está também na classe dos problemas NP-difíceis.

Resumem-se, de seguida, as principais características do DVRP que o distinguem do VRP (Psaraftis [21] e Bianchi [22]):

- **Tempo** – Numa instância do DVRP o tempo é, invariavelmente, parte integrante da sua definição. Os decisores podem, por exemplo, necessitar de saber, em cada momento, a localização de cada veículo sempre que um novo pedido tenha que ser satisfeito.
- **Limite Temporal do Problema** – O problema pode não ter limite temporal, ou seja, o horizonte de planeamento pode não estar definido. Normalmente, estes problemas são resolvidos com base no pressuposto de que o sistema alcança o equilíbrio e que a função objectivo ronda um determinado valor. Neste caso, considerações acerca do tempo de espera tornam-se importantes.
- **A informação futura pode ser imprecisa ou desconhecida** – A informação sobre o futuro (em particular no que se refere à procura) pode ser completamente desconhecida ou, apenas, parcialmente conhecida, baseando-se em pressupostos probabilísticos.
- **Os eventos mais próximos são mais importantes** – Em ambientes dinâmicos, alocar recursos para satisfazer a procura de longo prazo, isto é, que não necessita de ser atendida no imediato, não parece sensato, uma vez que, até lá, as mudanças podem ser significativas. Assim, o agente de decisão deve concentrar-se nos eventos de curto prazo.
- **Mecanismos de actualização da informação são essenciais** – Uma grande parte dos dados do problema dinâmico sofre alterações ao longo do dia. Assim, torna-se essencial a existência de mecanismos de actualização dos dados, integrados na resolução do problema.
- **Ajustes às rotas ou à afectação devem estar garantidos** – Em alguns tipos de problema, novos dados podem implicar a necessidade de reajustar uma rota ou mesmo proceder à reafectação dos veículos.
- **Tempos de cálculo mais rápidos são necessários** – Enquanto que nos problemas estáticos o agente de decisão pode dar-se ao luxo de esperar, quase sempre, o tempo que for preciso para encontrar uma solução, em ambientes dinâmicos o resultado tem de ser obtido em poucos segundos. Como tal, computadores e métodos optimizantes mais rápidos tornam-se fulcrais neste processo. Nestes casos, heurísticas de inserção ou de k-trocas revelam-se, em geral, adequadas.

- **Mecanismos de deferimento são essenciais** – O deferimento significa que se pode adiar o atendimento de um determinado pedido. Tal deverá ocorrer se as condições para servir esse pedido forem desfavoráveis, como por exemplo, o caso de um cliente colocado numa área geográfica afastada, ou se o tempo que ainda resta para entregar o pedido for suficiente para permitir o referido deferimento, tentando assim minorar-se os custos.
- **A função objectivo pode ser diferente e pode mudar ao longo do horizonte de planeamento** – Os objectivos tradicionais do VRP estático, como a minimização da distância total, podem não fazer sentido num ambiente onde a informação futura não está disponível. A própria definição dos objectivos não é uma tarefa trivial, uma vez que existem várias opções a considerar no que se refere a incluir a informação futura na função objectivo. Muitas vezes os próprios agentes de decisão não têm claros os objectivos que deverão considerar. Assim, o recurso a técnicas multi-critério pode desempenhar um papel importante.
- **As restrições temporais podem ser diferentes** – As restrições temporais, como janelas de tempo de entrega, tendem a ser menos restritivas (“*soft*”) do que nos problemas estáticos. Recusar uma entrega porque não se consegue cumprir uma janela de entrega é, em geral, menos atractivo do que entregar não cumprindo essa restrição.
- **Flexibilidade na frota é menor** – No VRP estático o tempo que medeia entre a elaboração da rota e a sua execução permite, normalmente, que o agente de decisão efectue ajustes no tamanho e na composição da frota. No DVRP o agente de decisão pode não ter acesso a veículos de reserva, o que poderá levar a degradações na qualidade de serviço.
- **A teoria das filas de espera pode ser importante** – Se a taxa de procura exceder um determinado valor o sistema pode ficar sobrecarregado e os algoritmos elaboram rotas com pouco sentido prático. Parece, por isso, haver um grande potencial na integração de resultados da área do VRP com resultados da teoria das filas de espera. No entanto, o esforço para fazer essa integração tem sido escasso.

### 3.4.1 – A importância do DVRP

Larsen [2] refere que, ao longo dos últimos tempos, o crescente interesse na logística em ambientes *just-in-time* e os progressos a nível das tecnologias de informação e comunicação, possibilitaram a utilização de enormes quantidades de informação em tempo real.

Rotas de veículos desenvolvidas de uma forma eficiente podem desempenhar um papel importante para um leque extenso de sectores industriais. Como os custos de distribuição estão, em vários países, entre 10 e 15% do Produto Interno Bruto, mesmo uma pequena melhoria pode trazer ganhos significativos para as empresas.

De referir que, na prática, um grande número de problemas de rotas são modelados como estáticos quando, na verdade, contêm componentes dinâmicas. Isto implica que rotas definidas *a priori* podem perder o sentido se alguns dos pressupostos adoptados não se verificarem. O que parecia ser uma solução óptima, ou pelo menos satisfatória, pode revelar-se, afinal, como uma solução de fraca qualidade.

Segundo Bianchi [22], as experiências reais mostram a necessidade de encontrar resposta para os problemas seguintes:

- a importância da elaboração de rotas eficientes torna-se mais importante à medida que os mercados tendem a liberalizar-se;
- os benefícios que se podem retirar de uma gestão eficiente são bastante significativos;
- os cenários onde a informação é revelada dinamicamente ao agente de decisão são cada vez mais comuns;
- o processamento da informação em tempo real tem sido, cada vez mais, acessível à medida que os sistemas de informação se têm vindo a desenvolver.

A resposta aos dois primeiros problemas leva à utilização de métodos clássicos de resolução de VRPs, enquanto que as restantes justificam a opção por modelos dinâmicos.

Sob o ponto de vista conceptual, os problemas dinâmicos são mais interessantes que os estáticos, uma vez que diferem destes em diversos aspectos fundamentais, tais como o conhecimento, *a priori*, de toda a informação relevante para a sua resolução. As metodologias para resolver estes problemas requerem, por isso, adaptações aos métodos para os problemas estáticos e o desenvolvimento de novas ideias.

### 3.4.2 – Exemplos de problemas dinâmicos

Nesta secção referem-se, sucintamente, alguns exemplos de problemas dinâmicos que se podem encontrar em situações reais.

#### **Problema dinâmico do técnico de reparação (*Dynamic Traveling Repairman Problem - DTRP*)**

Este é, provavelmente, o problema dinâmico mais bem estudado. Considere-se um técnico de reparação de uma companhia de gás, electricidade ou de máquinas Multibanco, que tem de se deslocar de casa em casa, ou de banco em banco, para fazer reparações. Uma vez iniciado o dia, novos pedidos de intervenção podem surgir. A rota a estabelecer pelo técnico pode ser determinada por critérios de distância, de gravidade da avaria em questão ou por outras questões de serviço como, por exemplo, o isolamento físico do equipamento a visitar [23][24][25].

#### **Correio expresso**

As companhias de correio expresso oferecem um serviço, a nível global, de recolha de encomendas num ponto e entrega noutro. As encomendas podem ser expedidas para um depósito intermédio e depois distribuídas em camiões para os destinos. As entregas são tratadas como problemas estáticos, uma vez que todos os destinatários são conhecidos pelo motorista. No entanto, as recolhas são tratadas dinamicamente, uma vez que nem o motorista, nem o expedidor, têm conhecimento das mesmas antes de efectuar a rota [2].

### **Distribuição de combustível para aquecimento**

O planeamento da distribuição de combustível para aquecimento a clientes residenciais é, em geral, baseado numa medida acumulada da temperatura exterior, ao longo dos dias. As companhias de distribuição utilizam essa medida para estimar qual o consumo de cada cliente. Sempre que a base de dados indica que um cliente está, provavelmente, a ficar sem combustível, esse cliente entra para um grupo que fica à espera para ser servido. Estes clientes podem ser vistos como estáticos, para o planeamento das rotas. No entanto, a experiência revela que cerca de 20% dos clientes visitados em cada dia têm um comportamento que sai fora dos padrões estabelecidos e cujo comportamento não pode ser previsto com base na medida acumulada da temperatura, devido a razões excepcionais (diminuição súbita da temperatura, aumento inesperado de utilização de certas áreas da habitação,...) [2].

### **Ligar para pedir um transporte (*Dial-a-ride*)**

Os sistemas *dial-a-ride* são um caso particular do problema de recolha e entrega de bens. Um exemplo destes sistemas é o transporte de pessoas com incapacidades físicas. Os clientes que necessitam de um transporte especial podem requisitá-lo a qualquer altura. São exemplos destes casos o transporte de feridos em ambulâncias e o transporte de deficientes físicos em transportes públicos especiais. Alguns sistemas de serviços de táxi são deste tipo.

### **Táxi**

Existem, porém, outros casos em que os sistemas de táxi não se comportam como um sistema *dial-a-ride* tradicional. Os táxis podem ter dois estados – livre ou ocupado. Quando o táxi está livre, faz parte de uma lista de espera num determinado local, geralmente numa praça de táxis. Se está ocupado, estará livre, no destino, dentro de algum tempo ou mais tarde numa praça de táxis. O planeador, quando recebe uma chamada telefónica, atribui um determinado cliente ao táxi mais próximo e em primeiro lugar na lista de espera. Existe, porém, uma ligeira alteração a esta política no caso de companhias que partilham a mesma central telefónica. Neste caso a atribuição não é feita unicamente pelo critério de proximidade e espera mas, também, pelo peso que cada companhia tem na central. Por exemplo, se uma companhia

dispõe de 20 táxis e outra apenas de 10, a central deverá atribuir o dobro dos clientes à primeira empresa relativamente à segunda [2].

### **Serviços de emergência**

O problema dos serviços de emergência (polícia, bombeiros, ambulâncias) cabe neste tipo de problemas, uma vez que os pedidos chegam em tempo real. O sistema é composto por uma fila de espera baseada em critérios geográficos. Na maior parte das situações não são formadas rotas, uma vez que um novo pedido só acontece quando o anterior já foi atendido. Estes problemas têm sido estudados como problemas de localização de veículos e tripulações [26][27].

### **Entregas ao domicílio**

Na distribuição de bens ao domicílio, o cliente e o fornecedor estabelecem um acordo que define uma janela temporal para a entrega da mercadoria. Tem sido prática comum os fornecedores porem à disposição dos clientes várias janelas de entrega. Os fornecedores aceitam os clientes por ordem de chegada em cada uma das janelas propostas. Sempre que o número de clientes chegar ao limite de uma determinada janela, esta deixa de estar disponível para o cliente seguinte. É exemplo deste problema a entrega de bens de supermercado [28][29][30].

## **3.5 – Metodologias de resolução**

Existem duas grandes linhas de resolução para este tipo de problemas. Uma que os resolve com base em soluções definidas previamente (*a priori*) e outra em que as rotas vão sendo construídas ao longo do horizonte de planeamento, dando origem aos métodos aqui designados por “em tempo real”.

### 3.5.1 – Métodos *a priori*

Uma das formas de abordar os problemas de rotas em que existe uma incerteza significativa relativamente à informação futura é determinar uma solução *a priori*, baseada em informação probabilística quanto aos eventos futuros. Estes dados podem ser relativos à colocação de uma encomenda por um cliente, à dimensão da encomenda do cliente, aos tempos de viagem, entre outros.

Neste grupo de problemas referem-se os problemas probabilísticos do Caixeiro Viajante (PTSP) e de Rotas de Veículos (PVRP), assim como o problema estocástico de rotas em veículos (SVRP).

#### TSP probabilístico (PTSP)

O Problema probabilístico do Caixeiro Viajante foi introduzido por Jaillet [31] em 1985. Este problema é definido num grafo  $G=(N,A)$ , onde  $N$  é um conjunto de nós e  $A$  é um conjunto de arcos. Cada nó tem uma probabilidade  $p_i$ , associada à existência de procura nesse nó. A cada arco é associada uma distância (ou custo)  $c_{ij}$ . Resolver o problema consiste em encontrar a rota com a menor distância percorrida. Na altura em que a rota estiver para ser efectuada os nós que não necessitarem de ser visitados, são simplesmente ignorados na rota. Um exemplo simples pode ser visto na figura 3.1.

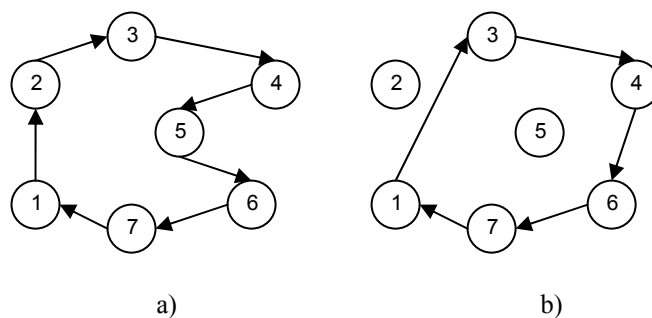


Figura 3.1 – a) rota *a priori* b) rota quando os nós 2 e 5 não necessitam de ser visitados.

Este modelo pode ser aplicado em contextos onde um conjunto de clientes com distribuição diária não necessita de ser servido todos os dias.

Bartholdi et al. [32] descreve como implementou um sistema para efectuar as rotas para a entrega de refeições ao domicílio a pessoas idosas. Para cada cliente é calculado o ângulo que faz o segmento de recta que une esse cliente ao depósito. A rota é construída ordenando os clientes pelo valor do referido ângulo.

Jaillet [31] formula este problema como não linear e transforma-o depois num problema linear, resolvendo-o com um algoritmo de *branch-and-bound*. O mesmo autor refere algoritmos de partição onde a ideia principal é dividir a área do problema em várias zonas mais pequenas e resolver um PTSP em cada uma delas. Conclui, ainda, que algumas heurísticas para construção de rotas parecem promissoras, sendo especialmente úteis no caso de o esforço computacional ser crítico.

### **VRP probabilístico (PVRP)**

Bersitmas et al. [33] descreve o PVRP como um VRP clássico cuja procura é probabilística, propondo duas estratégias para o resolver. Na primeira estratégia, o veículo visita todos os clientes pela ordem definida na solução obtida *a priori* para um PTSP (figura 3.2.a). Depois, apenas os clientes com procura nesse dia são servidos. A distância total esperada é igual à distância total da solução *a priori*, acrescida das eventuais idas ao depósito, quando a capacidade do veículo é excedida. A figura 3.2.b ilustra essa estratégia. Na segunda abordagem, os clientes que não têm procura não são visitados. A figura 3.2.c ilustra este caso. Bersitmas e Simchi-Levi [34] referem-se a estas duas estratégias, dizendo que a primeira é aplicável a contextos onde a procura só é conhecida quando o veículo chega ao cliente, o que não acontece na segunda, onde a procura é conhecida antes do veículo deixar o depósito.

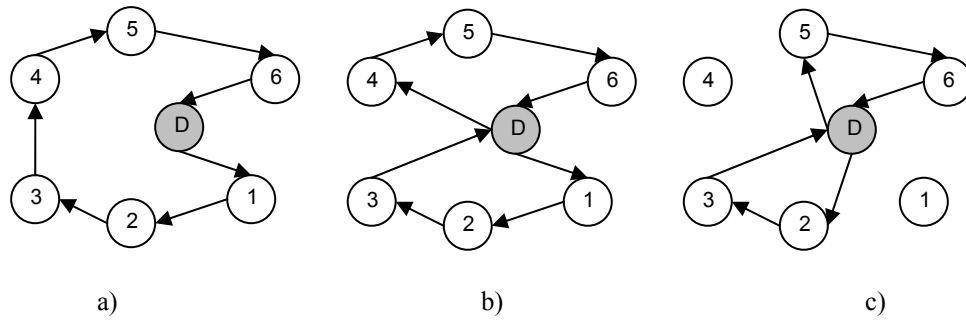


Figura 3.2 – a) solução *a priori* (PTSP); b) primeira abordagem; c) segunda abordagem.

### VRP estocástico (SVRP)

Este problema ocorre quando alguns dos dados são estocásticos. Gendreau *et al.* [35] descreve uma metodologia baseada em duas fases recursivas para o caso do VRP com procura estocástica. Na primeira fase a solução consiste em  $m$  rotas que visitam cada cliente apenas uma vez. É, posteriormente, considerada a procura de cada cliente que pode levar a que a capacidade de algum veículo seja excedida, forçando, numa segunda fase, a que o veículo retorne ao depósito para voltar a efectuar o resto da rota.

Os mesmos autores classificam este tipo de problemas em seis categorias:

- **TSP com Clientes Estocásticos (TSPSC)** – Os clientes têm uma dada probabilidade de “existirem”. Este problema é o PTSP já apresentado.
- **TSP com Tempos de Viagem Estocásticos (TSPST)** – Neste problema os clientes são conhecidos mas o comprimento (ou o custo) dos arcos pode variar, ou seja, o valor de  $c_{ij}$  é uma variável aleatória.
- **m-TSP com Tempos de Viagem Estocásticos (m-TSPST)** – É idêntico ao problema anterior, diferindo apenas no facto de existirem  $m$  problemas e a cada veículo ser associado um custo, de forma a minimizar o número total de veículos.
- **VRP com Procura Estocástica (VRPSD)** – A procura de cada cliente é uma variável aleatória. De acordo com o autor, este é o subtipo de problemas mais estudado.

- **VRP com Clientes Estocásticos (VRPSC)** – É uma extensão do TSPSC ou PTSP. Os clientes têm uma certa probabilidade de colocarem encomendas mas a dimensão destas é conhecida.
- **VRP com Procura e Clientes Estocásticos (VRPSCD)** – É uma combinação dos dois problemas anteriores. Este problema também é conhecido como PVRP, já descrito.

### 3.5.1 – Métodos em tempo real

Na secção anterior, procedeu-se a uma breve descrição de métodos de resolução *a priori*, onde a informação futura era considerada de uma forma estocástica. Nesse pressuposto as rotas eram planeadas antes dos veículos deixarem o depósito, no início do dia. Nesta secção, apresentam-se métodos que constroem, ou alteram rotas, ao longo do dia, inclusivamente quando o veículo já deixou o depósito.

Para cada versão do VRP clássico pode existir uma versão dinâmica. Como tal, o número de versões possíveis são as combinações de todos os parâmetros dinâmicos. No entanto, só algumas dessas combinações têm interesse prático. A tabela 3.4 sintetiza as referências aos problemas dinâmicos encontrados na literatura, referentes ao DVRP com um único depósito.

| Problema  | Informação estática    | Informação dinâmica                                                   | Referências  |
|-----------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------|--------------|
| DTRP      | Veículos e capacidades | Localização de novos pedidos                                          | [23][24][25] |
| DVRPTW    | Veículos e capacidades | Localização e janela de entrega de novos pedidos                      | [36]         |
| DVRPTWP&D | Veículos e capacidades | Localização e janela de entrega e recolha de novos pedidos            | [37]         |
| RTDVRP    | Veículos e capacidades | Localização de novos pedidos, condições de tráfego                    | [40]         |
| HD        | Veículos e capacidades | Localização de novos pedidos, janela de entrega e resposta ao cliente | [28][29][30] |

Tabela 3.4 – Referências ao DVRP encontradas na literatura.

**Problema dinâmico do técnico de reparação (*Dynamic Traveling Repairman Problem - DTRP*)**

Um dos problemas que tem servido de base para o estudo de estratégias é o DTRP. Este problema foi introduzido por Bertsimas e Van Ryzin [23] e posteriormente estudado em maior profundidade pelos mesmos autores [24] e por Papastavrou [25]. A medida de desempenho utilizada é, normalmente, o tempo do cliente no sistema, isto é, o tempo que vai desde o momento em que o cliente coloca o pedido até àquele em que este é satisfeito. Nestes artigos várias estratégias são propostas e comparadas, mediante diferentes condições do problema.

- **Ordem de chegada (*First come first served – FCFS*)** – Os clientes são atendidos por ordem de chegada.
- **Veículo ao centro (*Stochastic queue median – SQM*)** – É uma variante do exemplo anterior. O veículo é localizado no centro da região e os clientes são atendidos por ordem de chegada. O veículo retorna ao centro ficando a aguardar o próximo pedido.
- **Caixeiro viajante (*Traveling Salesman Problem – TSP*)** – A procura é agrupada em grupos de  $n$  clientes. À medida que estes grupos vão sendo completados, executa-se um TSP pelo primeiro veículo disponível. Se existir mais do que um grupo, executa-se o primeiro a ter ficado completo.
- **Caixeiro viajante modificado (*modified TSP – mod TSP*)** – Esta estratégia difere da anterior na medida em que cada região é dividida em  $k$  sub-regiões.

Em cada sub-região forma-se um grupo de  $\frac{n}{k}$  clientes. À medida que estes grupos forem sendo completados, procede-se à distribuição recorrendo ao primeiro veículo disponível. Na figura 3.3 ilustra-se esta estratégia.

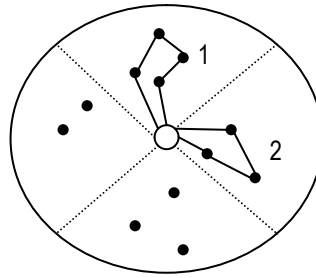


Figura 3.3 – Estratégia para o mod TSP.

- **Vizinho mais próximo (*Nearest neighbor* – NN)** – Os primeiros  $m$  pedidos são servidos pelos primeiros  $m$  veículos. Assim que um veículo termina um serviço, dirige-se para o cliente mais próximo que esteja à espera para ser atendido.
- **Divisão (*Partitioning policy* – PART)** – A região é dividida em  $m^2$  regiões mais pequenas. Cada sub-região é visitada pelo veículo numa determinada ordem, passando de uma sub-região para uma outra adjacente. Dentro de cada região os clientes são atendidos por ordem de chegada. Este procedimento é repetido até todos os pedidos serem atendidos. Na figura 3.4 ilustra-se esta estratégia. Esta estratégia tem sido aplicada ao DTRP com um único veículo.

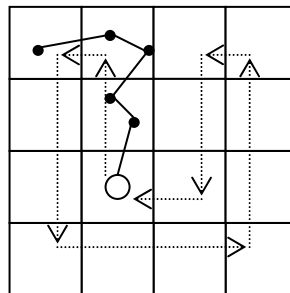


Figura 3.4 – Estratégia PART.

- **Gerações (*Generation* – GEN)** – Esta estratégia divide-se em três etapas. Primeiro, posiciona-se o veículo no centro da região a servir (1). Assim que chega um pedido, o veículo move-se directamente para esse ponto a fim de o

atender imediatamente (primeira geração) (2). Ao completar o serviço, se não houver mais nenhum cliente volta-se ao centro da região (etapa 1) (3). Se existirem pedidos para serem atendidos, resolve-se um TSP com os pedidos não atendidos (nova geração) e após satisfeitos esses pedidos, volta-se ao início da etapa 3. Na figura 3.5 está representado um exemplo desta estratégia de resolução.

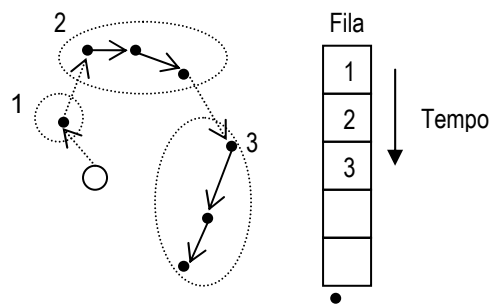


Figura 3.5 – Estratégia GEN.

- **Sector circular (*Space filling curve* – SFC)** – A região a ser servida é uma circunferência com centro no depósito. Os clientes são atendidos à medida que forem sendo encontrados por um raio dessa circunferência que se move sempre no mesmo sentido. Na figura 3.6 pode-se visualizar esta estratégia.

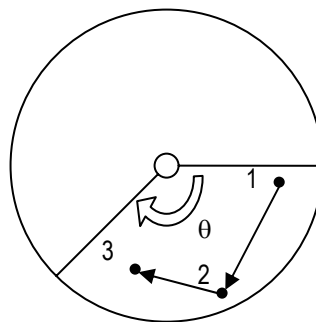


Figura 3.6 – Estratégia SFC.

Os estudos efectuados com estas estratégias demonstram que, em situações de trânsito não congestionado, a estratégia SQM mostrou ser a melhor. Em condições de trânsito intenso, todas as estratégias tiveram um desempenho semelhante. As conclusões dos testes de simulação sugerem que as estratégias NN e SFC são eficientes em diferentes condições de trânsito, congestionado ou não.

### **DVRPs com janelas temporais (DVRPTW e DVRPTWP&D)**

Os problemas estudados neste domínio por Gendreau et al. [36][37] são o DVRP com janelas temporais de entrega (*Dynamic Vehicle Routing Problem with Time Windows* –DVRPTW) e o DVRP com janelas temporais de entrega com distribuição e recolha (*Dynamic Vehicle Routing Problem with Time Windows with Pick-up and Deliveries* – DVRPTWP&D). Estes trabalhos testam diferentes heurísticas para uma mesma estratégia de resolução simples e que, implica que, cada vez que se alteram os dados, uma série de problemas estáticos é resolvido (*Single Event Optimization* – SEO). Um evento pode ser um novo cliente que chega ao sistema para ser servido ou um cliente que acabou de ser servido e por isso liberta um veículo.

Nestes trabalhos, os autores testam uma meta-heurística, a Pesquisa Tabu Adaptativa (*Adaptative Tabu Search* – ATS), em que a principal diferença em relação à pesquisa tabu tradicional reside na estrutura de vizinhança. As principais características da ATS são:

- memória adaptativa (diversificação);
- procedimento de decomposição / reconstrução (intensificação);
- vizinhança baseada em trocas de cadeias de cliente;
- implementação paralela.

Esta meta-heurística foi comparada com outros algoritmos de optimização:

- inserção – O novo cliente era inserido na posição menos dispendiosa;
- construção – Uma nova solução era construída;
- inserção seguida de um procedimento de pesquisa local;
- construção seguida de um procedimento de pesquisa local;

- Pesquisa Local Descendente Adaptativa (ALD) – O procedimento ATS para quando encontra o primeiro mínimo local.

As simulações sugerem que as heurísticas adaptativas (ALD e ATS) dão melhores resultados que as outras quando existe um maior número de clientes servidos, um menor tempo dispendido nas deslocações e um menor tempo de espera por parte dos clientes.

Mais recentemente, têm sido utilizadas outras meta-heurísticas para este tipo de problemas baseadas em *Ant Colonies*. Montemanni et al.[38] propõem um algoritmo deste tipo para resolver o DVRP. A estratégia adoptada considera, em cada momento, um conjunto de problemas estáticos a resolver. A este conjunto de problemas é então aplicada uma meta-heurística, baseada em *Ant Colonies*, cujo objectivo é minimizar a distância total em cada um dos conjuntos de problemas (soma das distâncias nas várias soluções).

A metodologia apresentada assenta na utilização de um gestor de eventos. Este gestor de eventos vai aceitando as encomendas até um determinado momento. Este momento é o tempo limite de aceitação de encomendas  $t_{le}$ . Todas as encomendas que chegarem depois são entregues no dia seguinte. O dia de trabalho, que vai desde o início do dia até ao referido  $t_{le}$ , é dividido em  $n$  intervalos com duração igual a  $\frac{t_{le}}{n}$ .

Cada encomenda que chegue dentro de um determinado intervalo é aceite e no final desse intervalo é efectuado um VRP estático. Este conceito de intervalo é introduzido por forma a limitar o âmbito temporal de cada conjunto de problemas estáticos. Um conceito de intervalo já tinha sido introduzido por Kilby et al.[39]. Na prática, o veículo irá esperar até ao final do intervalo de tempo para iniciar a rota.

### **DVRP em tempo real (Real Time DVRP - RTDVRP)**

Na resolução do RTDVRP, Zhu e Ong [40] recorrem a um modelo reactivo para a resolução do problema.

A arquitectura adoptada utiliza um registo de ocorrências, um *solver* de rotas e um número de agentes que interagem entre si (ver figura 3.7).

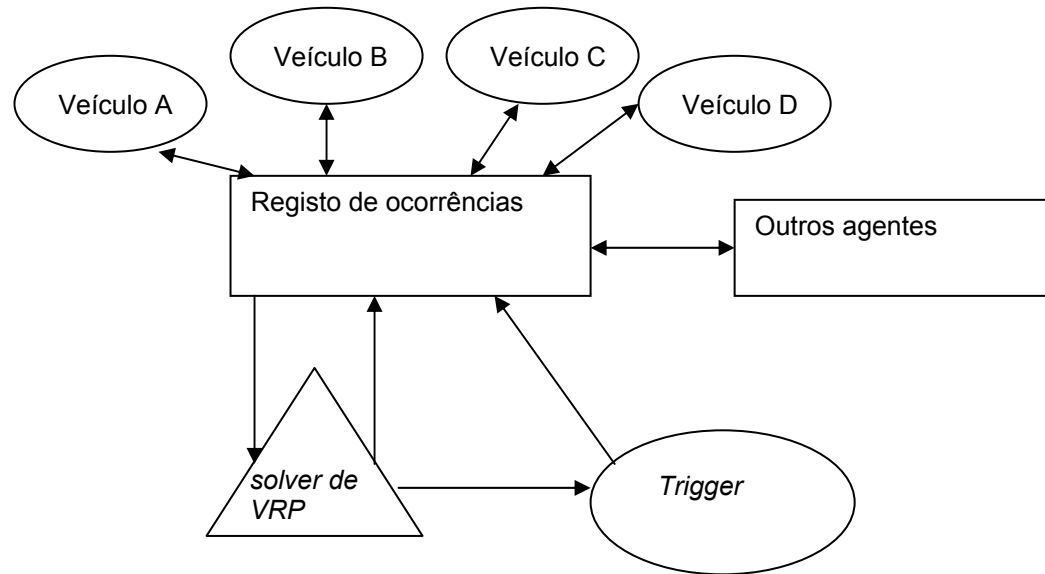


Figura 3.7 – Modelo reactivo.

No contexto do RTDVRP, os veículos podem ser vistos como agentes em tempo real, distribuídos geograficamente. Cada agente tem capacidade para executar um certo número de tarefas. Esta capacidade consiste num pequeno número de procedimentos que são chamados “reagentes”, uma vez que reagem a eventos e executam a tarefa correspondente. Os veículos são agentes independentes uns dos outros e apenas seguem a rota planeada pelo planeador e pelo seu próprio “reagente” no caso de alterações no trânsito, por exemplo.

O registo de ocorrências tem as seguintes características:

- controla os acessos simultâneos;
- serve de tradutor entre a linguagem dos agentes e a linguagem do *solver*;
- coordena os pedidos e coloca-os numa fila, de acordo com a política de prioridades adoptada;
- mantém uma fila de espera dos pedidos não satisfeitos;
- tem um mecanismo para despoletar acções (*trigger*) que reavalia a situação do sistema quando um determinado agente não dá informação num determinado intervalo.

O *solver* de rotas processa um VRP de cada vez. Este *solver* inclui, também, uma base de dados que mantém a informação sobre a localização dos veículos, condições de trânsito e outras restrições, sempre actualizada. O *solver* adopta um procedimento de optimização incremental local similar ao apresentado por Caseau [41] e que inclui os seguintes passos:

1. todos os clientes são colocados numa lista;
2. os clientes são servidos por ordem de chegada, por forma a construir as rotas incrementalmente;
3. o cliente é colocado na melhor posição possível por forma a minimizar a distância total percorrida e o número de veículos;
4. procedimento de optimização que inclui trocas dentro das rotas e entre rotas;
5. retorno ao ponto 3 enquanto a lista não estiver vazia.

### **Entrega ao domicílio (Home Delivery – HD)**

Um outro tipo de problemas interessante é o da entrega ao domicílio de bens de mercearia adquiridos pela *internet*. Devido à semelhança com o caso de estudo, o nível com que se detalha este problema é superior aos restantes.

Punakivi e Saranen [28] consideram que um dos obstáculos ao crescimento deste sector é a falta de um sistema logístico adequado às suas necessidades. Os sistemas tradicionais de entregas ao domicílio do tipo correio, quer normal, quer expresso, não estão adaptados às necessidades deste sector. Por outro lado, segundo Yrjölä e Tanskanen [29], algumas empresas criam uma cadeia de abastecimento de raiz o que envolve grandes investimentos e riscos. Nos Estados Unidos da América, empresas como a Peapod ou a Streamline, têm vindo a reportar perdas operacionais de alguns milhões de dólares.

Em Punakivi e Saranen [28] são simulados quatro tipos de estratégias usadas por companhias de entrega de bens ao domicílio e comparados com a forma tradicional de efectuar compras (visitar a loja). Os cenários estão descritos na tabela 3.5.

| Caso | Encomenda    | Entrega                        | Tipo de recepção | Janela temporal de entrega                              | Exemplo                                                                                |
|------|--------------|--------------------------------|------------------|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1    | Até às 10h00 | No próprio dia                 | Presencial       | 3 janelas de 2 horas:<br>17h-19h; 18h-20h;<br>19h-21h   | Matomera – Suécia<br>Ruok@net – Finlândia                                              |
| 2    | Até às 24h00 | No dia seguinte                | Presencial       | Janelas temporais de 1 hora das 12h às 21h.             | Ykköshalli – Finlândia<br>Eurospar - Finlândia<br>WebVan (1/2 h)- EUA<br>Tesco (2h)-RU |
| 3    | Até às 24h00 | No dia seguinte                | Em receptáculos  | Entrega entre as 8h e as 18h                            | Streamline – EUA<br>S-Kanava – Finlândia                                               |
| 4    | Até às 24h00 | No dia seguinte (num dia fixo) | Em receptáculos  | Entrega entre as 8h e as 18h, uma vez por semana        | Caso óptimo no conceito de entrega em receptáculos                                     |
| 5    |              |                                |                  | Todas as encomendas são recolhidas pelo cliente na loja | Sistema tradicional                                                                    |

Tabela 3.5 – Simulações efectuadas por Punakivi e Saranen [28].

As principais conclusões sugerem que sistemas de entrega ao domicílio podem ser mais baratos que o sistema tradicional do cliente que vai ao supermercado fazer as suas compras. De acordo com este estudo, a duração do intervalo de entrega e se esta pode ser efectuada num receptáculo ou não, justificam as diferenças no custo. Em relação à duração do intervalo constatou-se que intervalos de uma hora (caso 2) levam a um custo superior em 54% ao custo de utilizar intervalos de duas horas (caso 1). O caso 1 leva a um custo sensivelmente igual ao do obtido pelo sistema tradicional (caso 5). Já no que diz respeito à possibilidade das entregas serem efectuadas num receptáculo, sem a presença física do destinatário, os custos baixam significativamente para cerca de 73% e 57% para os casos 3 e 4 respectivamente quando comparados com os custos do caso 5.

Campbell e Savelsbergh [30] afirmam que é prática comum, nestes modelos, que o cliente e o retalhista acordem, entre si, um intervalo de entrega dos bens no domicílio. Tipicamente, os retalhistas aceitam as encomendas para cada intervalo por ordem de chegada dos pedidos. Cada intervalo tem um número limite de encomendas que podem ser entregues e sempre que esse número é atingido, deixa de ser possível

ao próximo cliente escolhê-lo. Desta estratégia os autores retiram duas conclusões importantes que servem de base ao algoritmo que propõem:

- quanto mais próximas estiverem as localizações dos pedidos, num determinado intervalo, mais fácil será efectuar a rota e mais barato será efectua-la;
- quanto mais próximas estiverem as entregas, um maior número de encomendas pode ser aceite nesse intervalo de tempo.

A metodologia proposta baseia-se em construir um conjunto de rotas para um determinado dia. Os pedidos para esse dia chegam em tempo real e são considerados até um determinado momento que antecede a execução da rota  $t_{co}$ . Cada pedido é aceite ou rejeitado, à medida que chega. É assumido que cada pedido, se aceite, consome uma parte da capacidade disponível e contribui com uma certa “remuneração”. Existe um conjunto homogéneo de veículos com uma certa capacidade para servir os pedidos aceites. Em cada momento ( $t$ ) é conhecida uma probabilidade de um determinado cliente  $i$  colocar uma encomenda  $p_i(t)$  até ao momento  $t_{co}$ . O objectivo é maximizar o lucro, ou seja, o total das remunerações menos o total dos custos. Para aumentar o nível de serviço, foram criados intervalos de entrega de uma hora. A cada encomenda está associado um ou vários intervalos em que é aceitável efectuar a encomenda.

Para resolver este problema, os autores desenvolveram uma heurística de inserção em duas fases. Na primeira fase todas as encomendas aceites são inseridas com base no seguinte critério (quando se procura inserir o cliente  $j$  entre os clientes  $i-1$  e  $i$ ):

$$r_j - (c_{i-1,j} + c_{j,i} - c_{i-1,i}) \quad (3.1)$$

onde  $r_j$  é a retribuição obtida pelo pedido do cliente  $j$  e  $c_{ij}$  representa o custo de viagem entre os pontos  $i$  e  $j$ . Na segunda fase avalia-se a possibilidade de inserir a encomenda em questão numa dessas rotas já parcialmente construída e num dos intervalos de tempo aceitáveis para essa encomenda. A ordem pela qual são efectuadas as inserções é importante, porque tem que se garantir que a encomenda a considerar não leve a que uma das encomendas já aceites seja entregue fora do intervalo de tempo que lhe está já associado.

Posteriormente, esta heurística foi, então, refinada, uma vez que a inserção de uma nova encomenda numa rota parcialmente construída ignorava o facto de novos

pedidos, mais proveitosos, poderem chegar. Esses pedidos podiam gerar uma retribuição maior ou podiam ser incorporados com um custo menor em virtude da sua localização.

Quando uma nova encomenda chega é necessário decidir se se aceita essa encomenda ou não e, se for aceite, dentro dos intervalos de tempo possíveis para a mesma, há que definir o que vai ser escolhido. Para considerar a informação futura nas decisões a tomar, é necessário calcular o lucro total esperado se a encomenda for recusada e calcular o lucro total se a encomenda for aceite, em cada um dos intervalos de tempo possíveis para essa encomenda. Com esta informação, se o lucro total esperado sem considerar a encomenda for superior ao lucro total esperado considerando a encomenda, então a encomenda é rejeitada. Caso contrário aceita-se a encomenda no intervalo de tempo que tiver o maior lucro total esperado.

O objectivo é maximizar o lucro total, no pressuposto de que nem todas os pedidos de encomenda têm de ser servidos, o que difere da abordagem tradicional deste tipo de problemas.

Os autores testaram quatro variantes à heurística proposta. Em todas elas, a primeira fase é igual à descrita, sendo as encomendas inseridas segundo o critério referido na expressão (3.1). Para a segunda fase, os clientes que restam são inseridos até deixar de existir capacidade disponível. A capacidade que cada encomenda ocupa é ponderada pela probabilidade do pedido se tornar efectivo ou não, ou seja, é igual a  $p_i(t)d_i$ , para o pedido  $i$  no intervalo de tempo  $t$ . Nesta fase, foram, então, testados os seguintes critérios:

1. Para ter em linha de conta pedidos futuros, usa-se o lucro esperado calculado pela expressão seguinte

$$p_j(t)r_j - (c_{i-1,j} + c_{j,i} - c_{i-1,i}) \quad (3.2)$$

em que  $p_j(t)$  é a probabilidade do cliente  $j$  colocar um pedido no intervalo de tempo  $t$ . Este critério direcciona a heurística para a entrega de encomendas com probabilidades mais elevadas de colocação de pedidos.

2. Ao calcular o custo de inserção pelo critério descrito acima, o facto de existirem vizinhos próximos é desprezado. Poderá ser vantajoso calcular o custo de inserção relativo a dois pedidos já aceites, por exemplo  $u$  e  $v$ . O

comprimento esperado do caminho entre  $u$  e  $v$  pode ser calculado pela expressão seguinte

$$\sum_{j=u}^{v-1} \sum_{k=u+1}^v d_{jk} p_j(t) p_k(t) \prod_{l=j+1}^{k-1} (1 - p_l(t)) \quad (3.3)$$

Calcula-se, então, a distância esperada com e sem o pedido  $j$ , como parte do caminho entre  $u$  e  $v$ . A diferença entre estes dois valores é o custo de inserção do pedido  $j$ . O lucro esperado é obtido subtraindo este custo à remuneração esperada  $p_j(t)r_j$ .

3. Outro critério, que pode ser visto como uma simplificação do anterior, consiste em considerar dois custos de inserção, um num cenário optimista e outro num cenário pessimista,  $v_1$  e  $v_2$  respectivamente. O primeiro,  $v_1$ , é baseado no conjunto de rotas já construídas, avaliando a inserção do cliente  $j$  entre os clientes  $i-1$  e  $i$ .

$$v_1 = (c_{i-1,j} + c_{j,i} - c_{i-1,i}) \quad (3.4)$$

O segundo valor,  $v_2$ , é obtido avaliando a inserção do cliente  $j$  entre os clientes  $k-1$  e  $k$ , considerando apenas os clientes com encomendas aceites.

$$v_2 = (c_{k-1,j} + c_{j,k} - c_{k-1,k}) \quad (3.5)$$

O valor do critério de inserção é calculado pela expressão

$$p_j(t)r_j - (v_2 - p_{i-1}(t)p_i(t)(v_2 - v_1)) \quad (3.6)$$

4. Os três critérios anteriores ignoram os efeitos sinérgicos que podem ocorrer devido à proximidade dos pedidos que ainda não foram colocados. Este critério tenta captar esse efeito ao calcular, para cada pedido  $j$ , a expressão seguinte:

$$\sum_{k \in R(j)} p_k(t)r_k - (c_{i-1,j} + c_{j,i} - c_{i-1,i}) \quad (3.7)$$

em que  $R(j)$  é uma região próxima de  $j$ .

Das simulações efectuadas, os autores retiram as seguintes conclusões:

- avaliar a exequibilidade de uma entrega em vez de aceitar um número fixo de entregas por intervalo de tempo pode aumentar o lucro e reduzir o risco;

- quanto menos densa for a área, maior será o valor de estratégias mais sofisticadas;
- o tamanho e o número de intervalos de tempo têm uma grande importância, mesmo em áreas muito densas;
- os critérios 2 e 4 são melhores em áreas densas, enquanto que os outros dois critérios, apesar de um pouco piores, necessitam de um menor esforço computacional.

## Capítulo 4 – Modelo e algoritmos

---

Neste capítulo começa por enunciar-se o problema associado ao caso de estudo e por definir os objectivos a atingir e as restrições a considerar.

É proposta uma abordagem para o problema que assenta na sua divisão em vários níveis de decisão, o que leva a uma decomposição, em várias fases, do processo de resolução.

Para cada uma destas fases, foram desenvolvidas heurísticas que se descrevem sucintamente.

No final do capítulo, é apresentada uma proposta quanto à forma como deverá ser comunicada a resposta ao agente de decisão.

### 4.1 – O problema

Para efeitos de modelação, considerou-se uma empresa de distribuição farmacêutica, a Cofanor, com uma frota de  $m$  veículos com capacidades distintas, com os quais vai satisfazer uma série de encomendas que só vão sendo conhecidas ao longo do dia. Uma vez que a Cofanor é uma cooperativa, não pode rejeitar nenhum pedido dos seus associados, salvo ruptura de *stock*. Depois de deixar o depósito, o veículo faz a rota completa e retorna ao armazém. Não existe a possibilidade de alterar a rota a meio da mesma.

Em termos gerais, o objectivo da empresa é, sem alterar significativamente a actual estrutura de custos, medida pela distância total percorrida, melhorar a qualidade de serviço aos clientes, isto é, diminuir o tempo de entrega das encomendas.

No fundo, o problema que se coloca ao agente de decisão é, mediante um conjunto de encomendas e um conjunto de veículos disponíveis, determinar:

- quais as encomendas que vão ser entregues;

- quando vão ser entregues;
- por que veículo vão ser entregues e por que ordem.

Para um determinado conjunto de encomendas aviadas e veículos disponíveis, o algoritmo deverá decidir se um dado veículo sai imediatamente para efectuar uma rota ou, então, se é preferível que os veículos disponíveis esperem algum tempo pela chegada de novas encomendas, por forma a melhorar as rotas obtidas. No caso de decidir que um veículo efectua uma dada rota, o algoritmo indicará, também, que encomendas devem ser entregues e por que ordem.

## 4.2 – Abordagem adoptada

Com base nas ideias apresentadas na secção 3.3.1, o caso de estudo pode ser abordado como um problema de rotas de veículos, com dois níveis. O primeiro, de afectação, ou de *clusterização*, onde os clientes a ser servidos irão ser agrupados, e o segundo, de sequenciamento, ou de construção das rotas, onde, para cada grupo anteriormente criado, é elaborada a sequência dos clientes a visitar, ou seja, é construída a rota a efectuar.

Conforme já foi referido no capítulo 2, apenas uma pequena parte da informação relativa às encomendas a entregar num determinado dia está disponível no início do mesmo. Os pedidos vão chegando à medida que o dia decorre. Cada vez que o planeador tem que tomar uma decisão, só dispõe de informação sobre as encomendas prontas a entregar ou em processo de aviamento. Neste cenário, pode ser vantajoso utilizar mecanismos de diferimento, ou seja, esperar pela chegada de mais encomendas, ao invés de efectuar logo a rota (ver secção 3.4).

A metodologia seguida divide o problema em vários níveis de decisão, definindo um procedimento de resolução constituído por várias etapas, coerentes com o modelo de gestão de operações da empresa. Esta partição do problema está na base de um algoritmo, corrido várias vezes ao dia, que está estruturado em quatro fases: a primeira, em que é efectuada a *clusterização* das encomendas; a segunda, onde são construídas várias rotas potenciais; a terceira, onde é decidida qual a rota que vai ser

efectuada; por último, a quarta, onde a rota seleccionada é objecto de uma heurística de melhoramentos. O esquema deste algoritmo em quatro fases, bem como as decisões a tomar ao longo do mesmo, é ilustrado na figura 4.1.

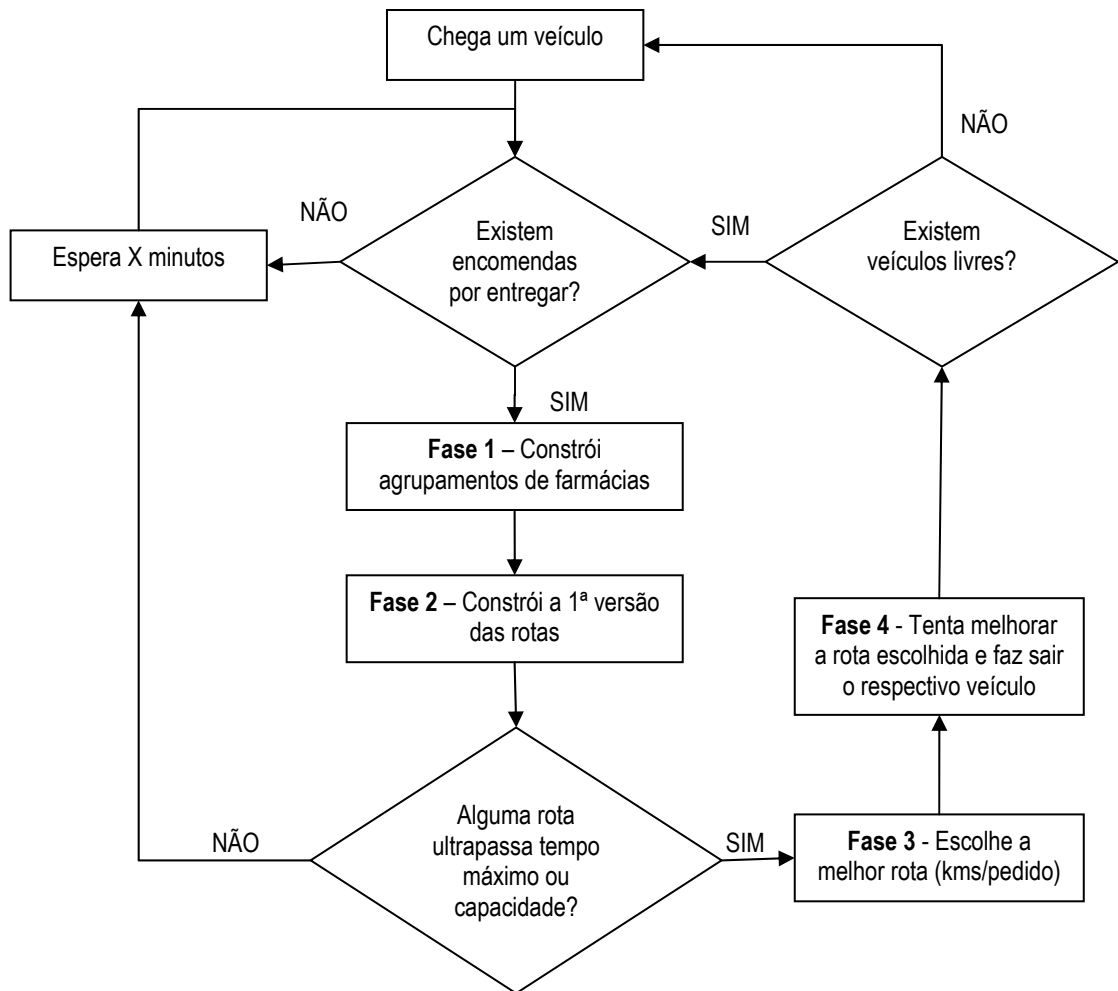


Figura 4.1 – Modelo proposto.

Uma vez que cada farmácia poderá ter mais do que uma encomenda para entregar durante um determinado período de tempo, convém esclarecer que a referência a uma farmácia diz respeito a todas as encomendas não entregues, nesse período, relativas a essa farmácia.

### 4.3 – Heurísticas

Conforme referido em 3.4, o problema proposto é NP-difícil. Uma abordagem heurística, em detrimento de métodos exactos, parece ser, portanto, a melhor forma de abordar este problema.

De seguida, descrevem-se as heurísticas desenvolvidas para a resolução de cada uma das fases.

#### 4.3.1 – Fase 1 – *Clusterização*

O objectivo desta etapa é criar agrupamentos de farmácias (*clusters*) que possam formar rotas de qualidade. A criação destes grupos tenta responder a duas questões: a primeira diz respeito à carga total de cada *cluster* e a segunda à dispersão geográfica do mesmo. Em termos gerais, os *clusters* estão associados à ideia de “homogeneidade” entre os seus elementos. No problema em estudo, é natural considerar a distância entre entidades (farmácias) como a medida a adoptar (pretendendo-se “juntar” farmácias que estejam próximas).

Na vasta literatura existente sobre análise de *clusters* são propostas várias técnicas de resolução, sendo a k-médias (*k-means*) uma das mais conhecidas (ver, por exemplo Reis [42] e Hair Jr *et al* [43]).

Este procedimento baseia-se na minimização da soma do desvio de cada elemento relativamente à média do grupo em que está inserido. O algoritmo parte de um número pré determinado de grupos ( $k$ ), podendo ser descrito nos seguintes passos:

1. escolher uma divisão inicial em  $k$  *clusters*;
2. calcular os centros de cada *cluster* (média aritmética das coordenadas dos elementos);
3. se algum centro mudou em relação à iteração anterior, calcular, para cada elemento, a distância euclidiana ao centro de cada *cluster* e afectá-lo ao *cluster* mais próximo. Voltar ao ponto 2;

4. se nenhum centro mudou, chegou-se à *clusterização* final (solução do problema).

O esquema deste algoritmo está representado na figura 4.2.

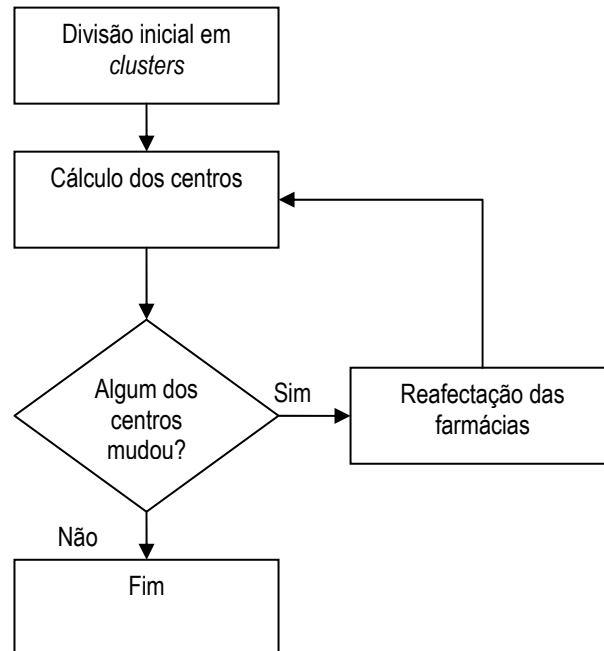


Figura 4.2 – Criação de *clusters*.

A divisão inicial pode ser obtida a partir de diferentes procedimentos, como, por exemplo, os seguintes:

- os elementos são afectados aos *clusters* aleatoriamente;
- o utilizador especifica o centro dos *clusters*;
- os *clusters* iniciais são obtidos por outro algoritmo construtivo.

Como foi referido, cada *cluster* não pode ter mais carga do que a capacidade do veículo, nem pode ter uma grande dispersão geográfica. Por razões normalmente de carácter operacional (incluindo a facilidade de controlo), soluções que apresentem rotas que se cruzam ou que estejam interiores a outras não são desejáveis. A figura 4.3 apresenta exemplos desse tipo de rotas.

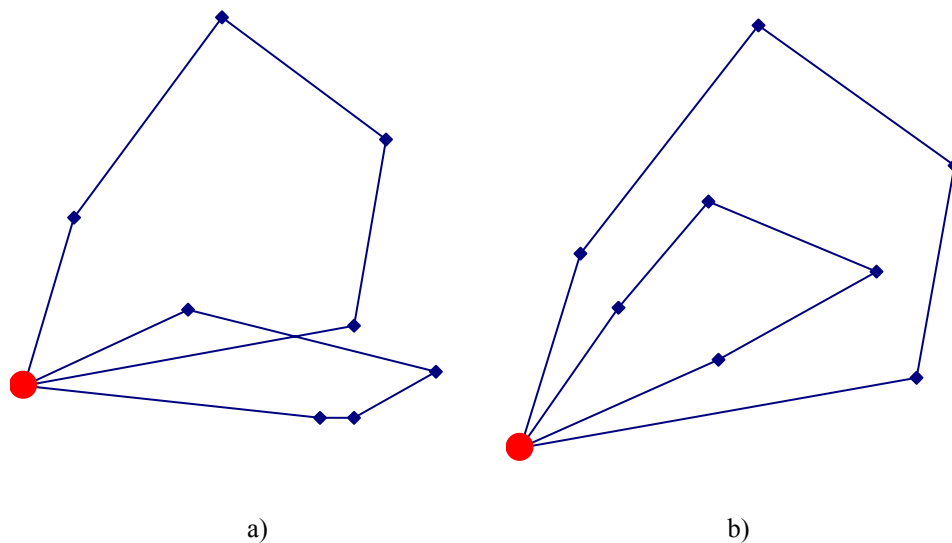


Figura 4.3 – Rotas indesejáveis: a) rotas “cruzadas”; b) rotas “interiores”.

Por estas razões o método k-médias não pode ser utilizado na sua versão tradicional. As adaptações propostas incidem na inicialização dos *clusters*, que não pode ser efectuada aleatoriamente, e no cálculo do centro dos *clusters*, que deverá ser efectuada com base noutro critério.

Assim, a primeira divisão será efectuada recorrendo a um procedimento construtivo. Esse procedimento tem por base a ideia proposta na secção 3.5.1 (*space filling curve*), conduzindo ao seccionamento da área total de intervenção. A construção destes sectores está limitada pela capacidade do veículo assim como pelo ângulo máximo de cada sector. A figura 4.4 exemplifica a criação deste tipo de agrupamentos. Como se pode verificar, começando pela farmácia de um dos extremos (associada, por exemplo, a uma fronteira natural para a região, como o rio), o *cluster* 1 foi agrupando as farmácias até ser atingida a capacidade do veículo após a afectação da terceira farmácia. Uma vez que essa capacidade foi atingida, construiu-se o *cluster* 2 até atingir o ângulo limite para a *clusterização*, uma vez que a capacidade do veículo não foi atingida. Por fim, construiu-se o *cluster* 3 até ao final da área geográfica em questão.

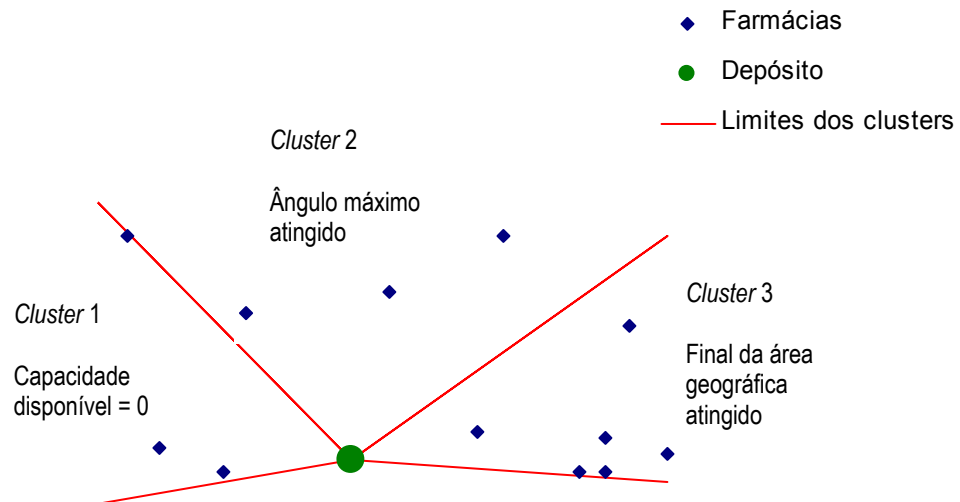


Figura 4.4 – Construção inicial de *clusters*.

O algoritmo para a inicialização dos clusters é descrito, em linguagem natural, na tabela 4.1.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Ordenar, por ordem crescente, as farmácias pelo ângulo que formam com o depósito</p> <p>ângulo mínimo = 0</p> <p>capacidade disponível = capacidade do veículo</p> <p>cluster actual = 1</p> <p><b>Enquanto</b> <math>i \leq \text{número de farmácias}</math></p> <p>    <b>Se</b> capacidade disponível – volume das encomendas da farmácia <math>i \leq 0</math> ou</p> <p>    ângulo <math>i</math> – ângulo mínimo <math>\geq</math> limite</p> <p>        cluster actual = cluster actual + 1</p> <p>        cluster (<math>i</math>) = cluster actual</p> <p>        capacidade disponível = capacidade do veículo – volume das encomendas da farmácia <math>i</math></p> <p>        ângulo mínimo = ângulo <math>i</math></p> <p>    <b>Senão</b></p> <p>        cluster (<math>i</math>) = cluster actual</p> <p>        capacidade disponível = capacidade do veículo – volume das encomendas da farmácia <math>i</math></p> <p>    <b>Fim Se</b></p> <p>    <math>i = i + 1</math></p> <p><b>Fim Enquanto</b></p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Tabela 4.1 – Procedimento para efectuar a construção inicial dos *clusters*.

A ideia que sustenta o método k-médias prende-se com o princípio de que, uma vez efectuada a primeira versão do agrupamento, é possível que, para os clientes que estejam perto da fronteira entre *clusters* seja mais vantajoso passá-los para o *cluster* adjacente. A figura 4.5 ilustra esta hipótese.

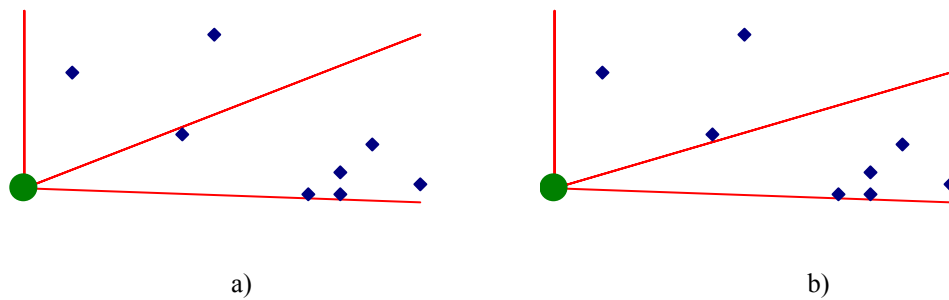


Figura 4.5 – Reafecção das farmácias a) primeira versão; b) após a reafecção.

Tendo em conta as condições impostas para a construção das rotas, nomeadamente as respeitantes ao tipo de rotas indesejáveis (as já referidas rotas “cruzadas” e “interiores”), o cálculo do centro do *cluster* não deve ser efectuado da forma tradicional (média das coordenadas dos elementos). Optou-se por calcular, não a média aritmética das coordenadas mas, sim, a média dos ângulos que as farmácias formam em relação ao depósito. Considera-se o ângulo 0 como o ângulo formado por um dos extremos da região a servir. Na figura 4.6 está um exemplo de como é calculado o ângulo.

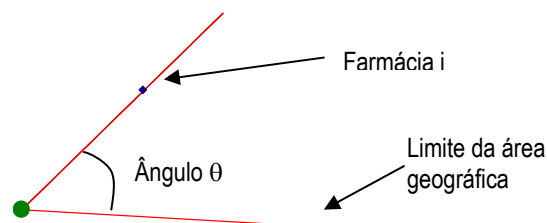


Figura 4.6 – Cálculo do ângulo  $\theta$  para a farmácia i.

O procedimento para calcular o centro dos *clusters* e para fazer a reafecção das farmácias aos *clusters* está apresentado, em linguagem natural, nas tabelas 4.2 e 4.3.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Ordenar, por ordem crescente, as farmácias de acordo com o ângulo que formam com o depósito</p> <p><b>Enquanto</b> <math>i \leq</math> número de farmácias</p> <p style="padding-left: 40px;">número farmácias (cluster (i)) = número de farmácias (cluster (i)) + 1</p> <p style="padding-left: 40px;">centro (cluster (i)) = centro (cluster (i)) + ângulo (i)</p> <p style="padding-left: 40px;"><math>i = i + 1</math></p> <p><b>Fim Enquanto</b></p> <p><b>Para</b> j de 1 até número de clusters</p> <p style="padding-left: 40px;">centro (cluster (j)) = centro (cluster (j)) / número encomendas (cluster (i))</p> <p><b>Fim Para</b></p> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Tabela 4.2 – Procedimento para calcular os centros dos *clusters*.

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>Ordenar, por ordem crescente, as farmácias de acordo com o ângulo que formam com o depósito</p> <p><b>Enquanto</b> <math>i \leq</math> número de farmácias</p> <p style="padding-left: 40px;">novo cluster = cluster do centro mais próximo</p> <p style="padding-left: 40px;"><b>Se</b> novo cluster <math>\neq</math> cluster (i)</p> <p style="padding-left: 80px;"><b>Se</b> capacidade disponível (novo cluster) &lt; volume das encomendas da farmácia (i)</p> <p style="padding-left: 120px;">cluster (i) = novo cluster</p> <p style="padding-left: 120px;">capacidade disponível (novo cluster) = capacidade disponível (novo cluster) - volume das encomendas da farmácia (i)</p> <p style="padding-left: 80px;"><b>Fim Se</b></p> <p style="padding-left: 40px;"><b>Fim Se</b></p> <p><b>Fim Enquanto</b></p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Tabela 4.3 – Procedimento para reafectar as farmácias aos *clusters*.

Segundo Hair Jr et al [43], o resultado final de um processo de *clusterização* está bastante dependente da inicialização. De forma a minorar este efeito, o procedimento é repetido inicializando-se de duas formas distintas. Parte-se de uma dada farmácia, considerada situada no limite da área (este limite poderá estar associado a alguma

“fronteira natural” como o rio ou o mar). Percorre-se depois a área, primeiro no sentido dos ponteiros do relógio e, segundo, em sentido contrário. Note-se que o limite geográfico considerado (início do processo) pode não ser o mesmo nos dois casos. A figura 4.7 ilustra as formas de inicialização.

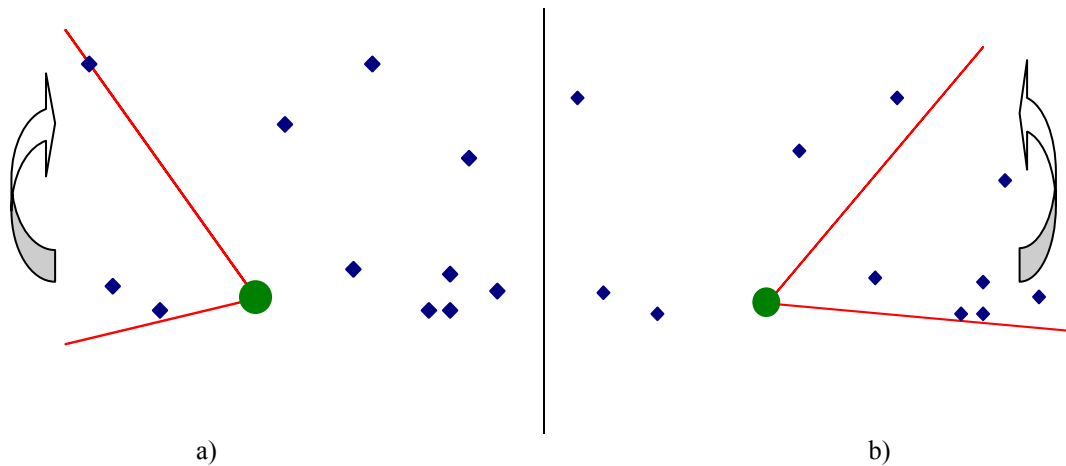


Figura 4.7 – Inicialização da construção dos *clusters*: a) a partir de um limite; b) a partir do outro.

#### 4.3.2 – Fase 2 – Construção das rotas

Depois de criados os *clusters*, os clientes afectados a cada *cluster* são sequenciados. Essa sequência representa a ordem pela qual irão ser visitados, ou seja, qual a rota que o veículo vai efectuar. O algoritmo utiliza o menor custo de inserção como critério para a construção da rota. O primeiro ponto a inserir na rota corresponde ao cliente cujo ângulo esteja mais próximo do centro do cluster, calculado anteriormente.

Este critério de inserção pode ser visualizado na figura 4.8 (a linha a tracejado representa o centro do *cluster*).

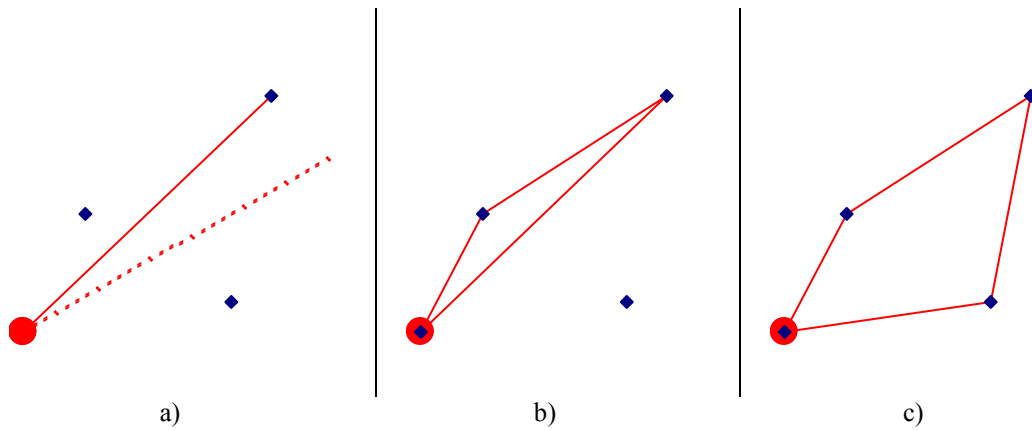


Figura 4.8 – Inserção pelo critério de menor custo, na sequência a) b) c).

Na tabela 4.4 apresenta-se o procedimento para construção das rotas.

```

Para j de 1 até ao número de clusters
  Enquanto farmácias no cluster  $\neq 0$ 
    custo de inserção mínimo = majorante
    Para k de 1 até ao número de farmácias no cluster j
      Para m de 1 até número de farmácias na rota
        calcula custo de inserção entre m e m + 1 (custo m)
        custo m =  $d_{m,k} + d_{k,m+1} - d_{m,m+1}$ 
        Se custo m < custo de inserção mínimo
          custo de inserção mínimo = custo m
          x = k
          y = m
        Fim Se
      Fim (Para m)
    Fim (Para k)
    Insere a farmácia x na posição y
  Fim Enquanto
Fim (Para j)
  
```

Tabela 4.4 – Heurística de construção das rotas.

### 4.3.3 – Fase 3 – Escolha da rota a efectuar

Uma vez construídas as rotas, para cada encomenda, já sequenciada, são calculados os seguintes parâmetros:

- **Distância à farmácia da encomenda  $j$ , imediatamente anterior ( $d_{ji}$ )** – esta distância pode ser obtida de duas maneiras: ou se obtém de uma matriz de distâncias previamente calculada ou se calcula com base na distância euclidiana, a partir das coordenadas dos locais.
- **Instante de chegada à farmácia ( $tc_i$ )** – este valor é obtido adicionando a duração da viagem ao instante de saída da farmácia anterior. A duração da viagem pode, no entanto, ser calculada de duas formas distintas: na primeira, obtém-se directamente de uma matriz de tempos de viagem previamente calculados e, na segunda, considera-se uma velocidade média e multiplica-se pela distância já calculada.
- **Instante de saída da farmácia ( $ts_i$ )** – é calculado adicionando o tempo de descarga ao instante de chegada à farmácia.
- **Tempo de entrega ( $te_i$ )** – o tempo de entrega é o intervalo de tempo que medeia entre a colocação do pedido por parte da farmácia e a sua recepção.

No final, são calculados valores globais para a rota. Estes valores dizem respeito:

- à distância total percorrida;
- à média dos tempos de entrega;
- ao máximo tempo de entrega;
- ao número de encomendas entregues;
- ao rácio entre a distância total percorrida e o número de encomendas entregues.

Nas tabelas 4.5 e 4.6 encontra-se representado um exemplo de rota e respectivos valores. Na figura 4.9 está representada a mesma rota, desta vez na forma gráfica.

| Encomenda | hora pedido | Ponto    | Coord. X | Coord. Y | $d_{ij}$ | $tc_i$ | $ts_i$ | $te_i$ |
|-----------|-------------|----------|----------|----------|----------|--------|--------|--------|
|           |             | Depósito | 0        | 0        |          |        | 10:00  |        |
| 1         | 9:15        | Farm. A  | 300      | 1500     | 1530     | 10:06  | 10:09  | 0:51   |
| 2         | 9:25        | Farm. B  | 1200     | 2000     | 1030     | 10:13  | 10:13  | 0:48   |
| 3         | 9:45        | Farm. B  | 1200     | 2000     | 0        | 10:13  | 10:16  | 0:28   |
| 4         | 9:00        | Farm. C  | 2200     | 1200     | 1281     | 10:21  | 10:24  | 1:21   |
| 5         | 8:55        | Farm. D  | 1000     | 250      | 1531     | 10:30  | 10:33  | 1:35   |
|           |             | Depósito | 0        | 0        | 1031     | 10:37  |        |        |

Tabela 4.5 – Exemplo de rota.

| Dados Agregados                     | Valor  |
|-------------------------------------|--------|
| Distância Percorrida (metros)       | 6401   |
| Média dos tempos de entrega (h:mm)  | 1:00   |
| Máximo dos tempos de entrega (h:mm) | 1:35   |
| Número de encomendas                | 5      |
| Distância por encomenda (metros)    | 1280,2 |
| Carga do veículo (banheiras)        | 39     |
| Capacidade do veículo (banheiras)   | 50     |

Tabela 4.6 – Valores agregados para a rota da tabela 4.5.

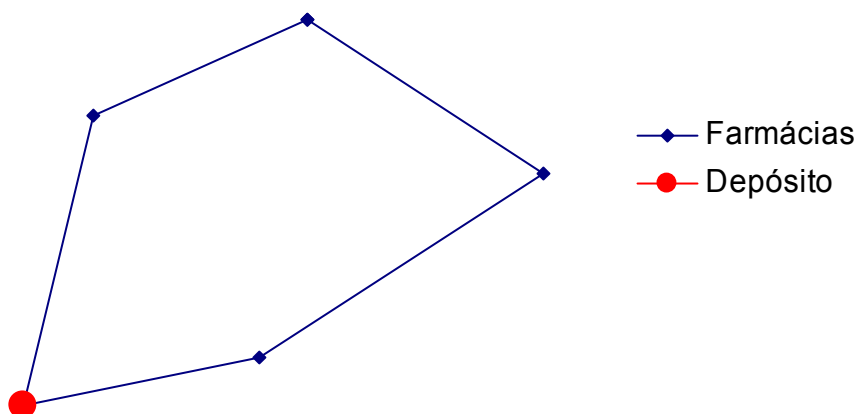


Figura 4.9 – Visualização da rota da tabela 4.5.

Uma vez calculados os parâmetros para todas as rotas, o agente de decisão, com base nos valores agregados, deverá optar por uma de duas estratégias: ou afecta uma rota ao veículo em questão ou faz esperar o veículo durante algum tempo.

A opção por fazer sair uma determinada rota deve ser efectuada com base em dois critérios aplicados em sequência. De todas as rotas apenas se consideram as que tiverem um máximo tempo de entrega superior a um determinado limite. Se não existirem rotas satisfazendo esta condição, o decisor deve optar por não fazer sair nenhuma e esperar um determinado tempo até voltar a executar o algoritmo. Caso contrário, deverá escolher a rota com um menor rácio entre a distância total percorrida e o número de encomendas entregues.

#### 4.3.4 – Fase 4 – Heurística de melhoramentos

Assim que for escolhida uma rota, efectuar-se-á um processo de optimização local, com vista a tentar melhorar a distância total percorrida pelo veículo. O procedimento adoptado é um método clássico de trocas “2-opt” [20][44]. A figura 4.10 exemplifica as trocas entre dois arcos (no exemplo, os arcos 1,2 e 4,0) e a tabela 4.7 descreve o algoritmo, para este passo.

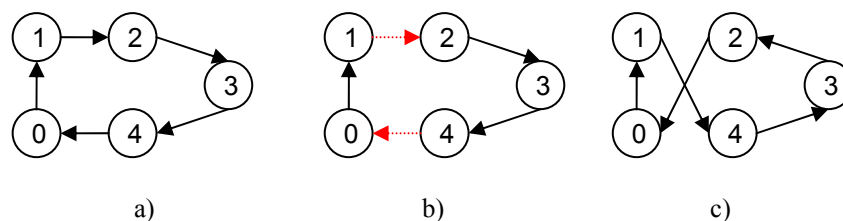


Figura 4.10 – Troca entre dois arcos: a) antes da troca; b) arcos da troca; c) depois da troca.

```

k = número de nós na rota (número de farmácias + 2 pontos correspondentes à saída e
chegada ao depósito)
troca = 1
Enquanto troca = 1

    cr (comprimento da rota) =  $\sum_{i=1}^{k-1} d_{i,i+1}$ 

    Para i de 1 até k-1
        Para j de i+1 até k-1
            (Avalia a rota com a sequência 1 a i, j a i+1 (sentido inverso) e j+1 a k)
            ncr (Novo comprimento da rota) = cr - ( di,i+1 + dj,j+1 ) + ( di,j + di+1,j+1 )
            Se Novo cr < cr
                troca = 1
                Sai dos ciclos (Para i) e (Para J)
            Senão
                troca = 0
            Fim Se
        Fim (Para j)
    Fim (Para i)
Fim Enquanto

```

Tabela 4.7 – Heurística 2-opt.

No final, é elaborado um relatório com a rota a efectuar pelo veículo considerado. Se existirem mais veículos disponíveis volta a efectuar-se o mesmo procedimento com outro veículo. Se não existirem mais veículos no sistema, espera-se pela chegada de um novo veículo e volta a executar-se este procedimento.

A tabela 4.8 ilustra um exemplo de um relatório de uma rota. Neste relatório são listadas as encomendas a entregar, por que ordem e, ainda, uma visualização da mesma. Nessa visualização, ilustrada na figura 4.11, são incluídas as outras farmácias que, embora não estejam incluídas na rota, ainda têm encomendas por receber.

| Ordem de Visita | Código da Farmácia | Farmácia            |
|-----------------|--------------------|---------------------|
|                 | 1                  | DEPÓSITO            |
| 1               | 282                | FARMÁCIA CENTRAL    |
| 2               | 257                | FARMÁCIA SANTA      |
| 3               | 278                | FARMÁCIA CRUZ       |
| 4               | 211                | FARMÁCIA MATOSINHOS |
| 5               | 203                | FARMÁCIA MAGALHÃES  |
|                 | 1                  | DEPÓSITO            |

Tabela 4.8 – Relatório de uma rota.

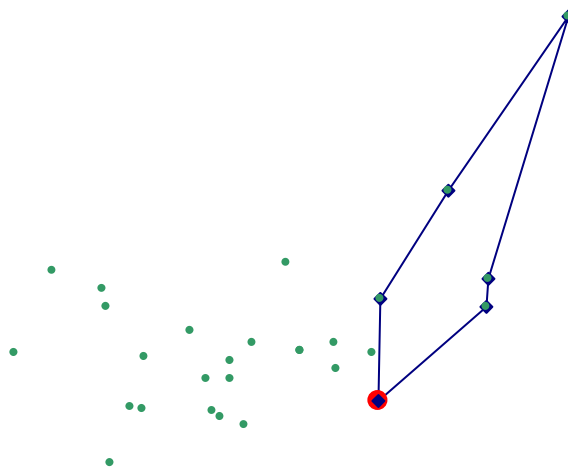


Figura 4.11 – Visualização da rota da tabela 4.8.

## Capítulo 5 – Teste da abordagem e resultados

---

Neste capítulo apresentam-se e discutem-se os resultados obtidos no caso de estudo, pelos algoritmos desenvolvidos.

Descrevem-se as hipóteses assumidas, nomeadamente quanto às farmácias a incluir no estudo, ao seu horário de funcionamento adoptado e aos dados analisados. É, também, referido o processo de cálculo actual, para permitir uma comparação com os resultados gerados pelo sistema desenvolvido.

De seguida, descrevem-se os resultados obtidos pelos dois procedimentos, e propõe-se um conjunto de critérios para avaliar as soluções encontradas.

Finalmente, os resultados são comparados com base nesses critérios e tendo em conta as opiniões de elementos da empresa mais directamente envolvidos no processo.

### 5.1 – Âmbito do estudo e dados utilizados

Tal como referido, este modelo foi desenvolvido para ser aplicado à zona do Grande Porto, procurando-se assim que reflectisse as especificidades das farmácias desta zona, incluindo o horário de funcionamento e a forma de cálculo das distâncias.

Durante este estudo surgiram algumas dificuldades na obtenção de dados, quer pela inexistência ou falta de fiabilidade dos mesmos, quer pela sua existência apenas em papel. Foram, ainda, tomadas algumas opções simplificadoras, no que se refere aos documentos a consultar e acerca do horizonte temporal a considerar para testar os algoritmos propostos.

### 5.1.1 – Farmácias incluídas no estudo

No âmbito deste estudo, pretende-se simular os efeitos de uma mudança na estratégia de planeamento de rotas no Grande Porto, mantendo inalteradas as restantes rotas. Assim, foram consideradas as farmácias que estão incluídas nas rotas actualmente existentes para esta área. Foram excluídas as farmácias localizadas no concelho de Vila Nova de Gaia porque integram rotas comuns a farmácias localizadas em Ovar, Espinho ou mesmo Aveiro. A inclusão dessas farmácias no estudo obrigaria a reformular essas rotas, tornando difícil a comparação dos resultados.

Foram, então, consideradas 141 farmácias localizadas nos concelhos de Gondomar, Maia, Matosinhos, Porto, Santo Tirso, Trofa e Vila do Conde. A figura 5.1 mostra a localização das farmácias consideradas, bem como a localização do armazém da Cofanor.

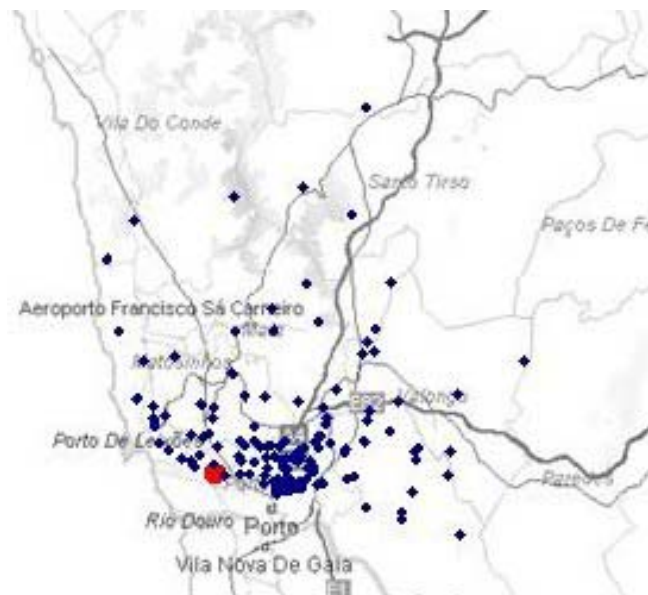


Figura 5.1 – Localização das farmácias do estudo.

### 5.1.2 – Horário de Funcionamento

De um modo geral, as farmácias abrem às 9h00 e encerram às 12h30, voltando a abrir às 14h00 e encerrando às 19h00. Existem, contudo, algumas farmácias que não fecham à hora do almoço ou que, devido à sua localização em zonas comerciais, fecham depois das 19h00. Uma vez que não existem dados actualizados referentes ao horário preciso de funcionamento de cada farmácia, optou-se por considerar um horário comum para todas (9h00-12h30; 14h00-19h00), assumindo que os casos especiais são em número reduzido, não devendo, por isso, pôr em causa os resultados obtidos.

### 5.1.3 – Distâncias

O algoritmo precisa das distâncias entre dois quaisquer pontos da rede de distribuição: entre duas farmácias quaisquer e entre uma qualquer farmácia e o depósito.

Para obter estas distâncias, consideraram-se duas hipóteses: determinar a distância real para todos os pares de pontos possíveis, a guardar numa matriz consultada sempre que necessário; calcular a distância euclidiana entre quaisquer dois pontos à medida que for necessário, através da fórmula 5.1, onde  $x_i$  e  $y_i$  são as coordenadas  $x, y$  do ponto  $i$  e  $x_j$  e  $y_j$  as do ponto  $j$ .

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (5.1)$$

Por razões de eficiência do algoritmo, optou-se por considerar a distância euclidiana em detrimento da distância real. As distorções introduzidas não são significativas e a comparação com a situação actual foi feita com base na mesma forma de calcular a distância.

#### 5.1.4 – Outros dados

A realização dos testes computacionais exige dados referentes a várias áreas de actividade da Cofanor, nomeadamente os relativos a cada farmácia, a cada pedido e respectiva factura, ao depósito, às viaturas e às rotas efectuadas. A seguir apresentam-se as principais dificuldades, neste domínio, e as opções tomadas.

##### Encomendas

Os documentos informáticos gerados pelo SGG (Sistema de Gestão Global), passíveis de serem utilizados pelo sistema, são o pedido, a guia de aviamento e a factura. Como já foi referido, o SGG grava a hora de colocação do pedido e da emissão da factura. No entanto, alguns destes dados só podem ser obtidos em papel e outros podem ser visualizados no ecrã. Assim, e dado o esforço de transcrição exigido, o estudo foi limitado a uma semana (de segunda a sexta-feira).

Conforme descrito no capítulo 2, o momento em que uma encomenda começa a ser aviada na zona Automática e Semi-automática, faz com que o SGG altere o estado das guias de aviamento. No entanto, quando uma guia passa a factura, o SGG muda-lhe o estado e regista, apenas, a hora a que a factura foi emitida, pelo que os dados históricos disponíveis não são suficientes.

Por outro lado, o sistema informático que gere o autómato destas áreas permite retirar a hora a que a encomenda entra no sistema e a hora a que a mesma sai do sistema, ou seja, a hora em que é emitida a factura. Contudo, as horas dos dois sistemas não estão sincronizadas. Por esse facto, foi necessário ajustar as horas retiradas do sistema do autómato. A tabela 5.1 mostra um exemplo dos dados que foram retirados dos dois sistemas, referentes às encomendas da semana em estudo.

| Pedido | Farmácia | Hora do Pedido | Hora de início do aviamento automático | Hora da Factura | GV  | Banheiras |
|--------|----------|----------------|----------------------------------------|-----------------|-----|-----------|
| 113952 | 1096     | 16:19          | 16:24                                  | 16:31           | 2   | 3         |
| 113954 | 1006     | 16:26          | -                                      | 16:47           | 1   | 0         |
| 113955 | 1341     | 16:40          | 16:41                                  | 16:51           | 2   | 3         |
| ...    | ...      | ...            | ...                                    | ...             | ... | ...       |

Tabela 5.1 – Exemplo dos dados relativos às encomendas.

Através do sistema foi, ainda, possível saber quantas folhas da guia de aviamento foram atendidas na zona dos Grandes Volumes, Frio e Psicotrópicos (na coluna “GV” da tabela 5.1) e quantas “banheiras” foram aviadas pelas zonas automáticas (representadas na coluna “Banheiras” da tabela 5.1).

Foi, também, necessário decidir que documento utilizar na construção das rotas: a factura, a guia de aviamento ou o pedido.

Ao utilizar apenas a factura, perder-se-ia a possibilidade de, em cada momento, prever quais as encomendas que estariam prontas em breve, pelo que não se optou pela utilização deste documento.

Ao utilizar um dos outros dois documentos, ganhava-se flexibilidade mas teria que se garantir que, dentro de um curto espaço de tempo, as encomendas, ainda em aviamento, estariam no cais para embarcar. Utilizando o pedido, a encomenda ainda estava a ser aviada nos Grandes Volumes, enquanto que se se utilizasse a guia de aviamento era possível saber se estava a ser aviada na parte Automática e Semi-automática (ver informação detalhada sobre o processo na secção 2.3).

Após uma análise a vários pedidos, verificou-se que o tempo médio de aviamento nos Grandes Volumes era de 12m28, com um desvio padrão de 9m53, tendo sido registados aviamentos superiores a 1 hora. Na mesma análise verificou-se que o aviamento na parte Automática e Semi-automática era efectuado em 8m01, com um desvio padrão de 3m24, sendo de registar um tempo máximo inferior a 20 minutos.

Esta análise sugeriu, assim, o recurso conjunto à factura e à guia de aviamento. Além disso, utilizar o pedido poderia levar a que fossem consideradas encomendas canceladas (caso existisse ruptura de *stock*, por exemplo). A guia de aviamento permite saber a que horas a encomenda começou a ser aviada nas partes Automática e Semi-Automática do armazém. A factura indica a que horas a mesma está pronta para ser entregue. No caso de encomendas que não necessitem de itens aviados nas zonas Automáticas e Semi-automáticas, a factura é o único documento que poderá ser utilizado.

## Farmácias

No que diz respeito às 141 farmácias seleccionadas, foi necessário conhecer qual a sua localização precisa. Os dados disponíveis na empresa são, apenas, as moradas. Com a ajuda do programa de computador Route66®, disponível na empresa, foi possível obter a longitude e latitude de cada farmácia e do armazém. Posteriormente, esses valores foram passados para coordenadas ortogonais. A tabela 5.2 representa um exemplo dos dados obtidos.

| Código | coordenada X (m) | Coordenada Y (m) | Nome               |
|--------|------------------|------------------|--------------------|
| 1      | 5421             | 169              | COFANOR – DEPÓSITO |
| 107    | 5056             | 1644             | FARMACIA BANDEIRA  |
| 128    | 4190             | 2134             | FARMÁCIA CENTRAL   |
| 160    | 4522             | 2765             | FARMÁCIA S.PEDRO   |
| ...    | ...              | ...              | ...                |

Tabela 5.2 – Exemplo do quadro de coordenadas das farmácias.

## Viaturas

Um outro dado importante prende-se com a disponibilidade das viaturas da Cofanor detém efectuar as entregas. Para cada viatura foram determinados os intervalos do dia em que cada viatura esteve disponível para efectuar entregas no Grande Porto. Na tabela 5.3 apresenta-se um exemplo do quadro de disponibilidade de viaturas. Esta informação é complementada com a capacidade (expressa em “banheiras”) de cada veículo. A informação relativa à capacidade foi fornecida por um funcionário do armazém, que trabalha na expedição e carga dos veículos.

| Matricula | Hora de início | Hora de Fim | Capacidade |
|-----------|----------------|-------------|------------|
| 11-11-AA  | 8:30           | 10:30       | 50         |
| 22-22-BB  | 8:30           | 12:00       | 35         |
| 22-22-BB  | 16:00          | 19:00       | 35         |
| 33-33-CC  | 11:00          | 12:15       | 50         |
| ...       | ...            | ...         | ...        |

Tabela 5.3 – Exemplo do quadro de disponibilidade de viaturas.

Esta informação encontra-se num documento em papel, chamado “diário de bordo”, que contém, para cada dia, as encomendas que foram entregues por esse veículo e por que ordem, ou seja, a rota efectuada. A figura 5.2 apresenta um excerto de um desses registos que contém informações referentes à:

- hora de saída do armazém;
- quilometragem à saída do armazém;
- hora de chegada a cada farmácia;
- quilometragem à chegada a cada farmácia;
- hora de chegada ao armazém;
- quilometragem à chegada ao armazém.

Há que ter em consideração que, na grande maioria dos diários de bordo analisados, esta informação se encontra bastante incompleta, nomeadamente no que se refere à hora de entrega e quilometragem à chegada a cada farmácia.

**COFANOR**  
COOPERATIVA DOS FARMACÊUTICOS DO PORTO, CRL

**DIÁRIO DE BORDO** ①

Motorista A. Lima N° Mec. 213

Viatura 79-96-TL Data 11/11/02

Hora Inicio Turno > 8:00 Quilómetros Inicio Turno 47697

| Farmácia / Cofanor | n° de Banheiras | n° de G. Volumes | Obs/Frig. | Hora Chegada | Hora Saída | Quilómetros |
|--------------------|-----------------|------------------|-----------|--------------|------------|-------------|
| JOZEFINA           | 1               | 1                | ⊙         | 8.45         | 8.30       | 704         |
| CUACHA             | 2               | 1                |           | 9.00         |            | 705         |
| SANTA CRUZ         | 3               | 1                |           | 9.10         |            | 711         |
| CUNHEIRO           | 2               | 1                |           | 9.25         |            | 721         |
| COFANOR            |                 |                  |           | 10.00        | 10.20      | 741         |
| SANDE PÉLO         | 1               | 1                | ⊙         | 10.35        |            | 750         |
| SANDE PÉLO         | 1               | 1                | ⊙         | 10.45        |            | 752         |

...

Hora Fim Turno > 18:30 Quilómetros Fim Turno 48063

Figura 5.2 – Excerto de um “diário de bordo”.

## 5.2 – Critérios de avaliação

Nesta secção, comparam-se os resultados obtidos pelo algoritmo proposto com o desempenho dos procedimentos actuais. Como nem todos os dados da situação actual podem ser obtidos e para que a comparação possa ser feita com base nos mesmos pressupostos, alguns dos dados da situação actual tiveram que ser estimados.

Assim, descrevem-se os critérios de avaliação segundo os quais as soluções irão ser comparadas e a forma como foram calculados os dados do cenário actual. Apresentam-se, de seguida, os resultados obtidos para a situação actual e, finalmente, os obtidos pelo algoritmo proposto no capítulo anterior.

A avaliação e validação do algoritmo proposto tem por base a comparação dos resultados obtidos com a solução actual. Esta comparação foi feita utilizando critérios que, por um lado, avaliam a distância percorrida e, por outro, avaliam a qualidade de serviço.

O critério adoptado para avaliar a distância foi o rácio entre o número total de quilómetros percorridos pelas viaturas e o número total de encomendas entregues. No que diz respeito à qualidade de serviço, utilizaram-se os seguintes indicadores, baseados no tempo de serviço das encomendas (este tempo é calculado como a diferença entre a hora a que a farmácia recebe a encomenda e a hora em que o pedido é colocado à Cofanor):

- tempo médio de serviço;
- percentagem de encomendas entregues até 1h00;
- percentagem de encomendas entregues até 2h00;
- percentagem de encomendas entregues até 3h00;
- percentagem de encomendas entregues até 4h00;
- percentagem de encomendas entregues no dia seguinte.

O tempo médio de serviço é a média aritmética de todos tempos de entrega. As percentagens são calculadas sobre o número total de encomendas entregues.

## 5.3 – Cenário actual

### 5.3.1 – Dados e hipóteses assumidas

Como já foi referido, frequentemente os diários de bordo não têm registo dos quilómetros percorridos ou da hora de chegada às farmácias.

Neste caso, é necessário estimar o instante em que o veículo chega a cada uma das farmácias da rota, assim como, o tempo que o motorista demora a descarregar o pedido.

Constatou-se que apenas um dos motoristas registava, simultaneamente, a hora a que chegava à farmácia e a hora a que partia. Este motorista demorava, em média, 3 minutos a descarregar uma encomenda. Assim, e à falta de melhor informação, assumiu-se ser este (3 minutos) o tempo de descarga para todos os motoristas.

A hora a que cada viatura sai da farmácia ( $ts_i$ ) é calculada adicionando 3 minutos do tempo de descarga à hora de chegada à farmácia ( $tc_i$ ). A hora de chegada à farmácia ( $tc_i$ ) é calculada adicionando o tempo de viagem ( $tv_{i-1,i}$ ) à hora de saída da farmácia anterior ( $tc_{i-1}$ ), ou à hora de saída do depósito ( $ts_0$ ), no caso de se tratar da primeira farmácia da rota.

Como já foi referido, não existem valores relativos à velocidade para todas as rotas. Como tal, considerou-se, com base nos dados disponíveis nos diários de bordo, uma velocidade média de 24,6 km/h.

A partir dos mesmos registos, verificou-se que, em média, a distância real entre dois pontos era superior em 1,64 vezes à distância euclidiana. Consequentemente, considerando a utilização de distâncias euclidianas, obtém-se uma velocidade média igual a 15 km/h ( $24,6\text{km/h} / 1,64$ ).

O tempo de viagem entre os pontos  $i-1$  e  $i$  é, então, dado por:

$$tv_{i-1,i} = ts_{i-1} + \frac{d_{i-1,i}}{v_m} \quad (5.2)$$

onde  $ts_{i-1}$  é o instante em que a viatura saiu do ponto  $i-1$ ;  $d_{i-1;i}$  é a distância euclidiana entre os pontos  $i-1$  e  $i$ , calculada com base nas coordenadas e  $v_m$  é a velocidade média, neste caso igual a 15km/h.

### 5.3.2 – Resultados

Da simulação efectuada para a semana estudada, e adoptando o cenário actual, foram efectuadas 260 rotas distintas. Calcularam-se os valores relativos aos quilómetros e à hora a que cada viatura chegou a cada farmácia, utilizando distâncias euclidianas, uma velocidade média de 15 km/h e um tempo de descarga igual a 3 minutos.

Os resultados obtidos em cada um dos dias estão resumidos na tabela 5.4.

| <b>Dia</b>             | <b>Distância total (km)</b> | <b>Encomendas</b> | <b>km/encomenda</b> | <b>Tempo médio de entrega</b> |
|------------------------|-----------------------------|-------------------|---------------------|-------------------------------|
| 1                      | 823                         | 286               | 2,88                | 1:58                          |
| 2                      | 817                         | 375               | 2,18                | 1:44                          |
| 3                      | 764                         | 414               | 1,85                | 1:47                          |
| 4                      | 820                         | 458               | 1,79                | 1:53                          |
| 5                      | 911                         | 445               | 2,05                | 1:56                          |
| <b>Valores globais</b> | <b>4 135</b>                | <b>1 978</b>      | <b>2,09</b>         | <b>1:51</b>                   |

Tabela 5.4 – Resultados da simulação do cenário actual.

Verifica-se, assim, que a distância total percorrida foi de 4 135 quilómetros, para entregar 1 978 encomendas, o que corresponde a 2,09 quilómetros por encomenda. O tempo médio de entrega foi de 1h51.

Na figura 5.3 pode ver-se a distribuição acumulada da percentagem de encomendas entregues, em função do tempo de entrega. Na tabela 5.5, apresentam-se os valores acumulados para as entregas, em função do tempo de entrega.

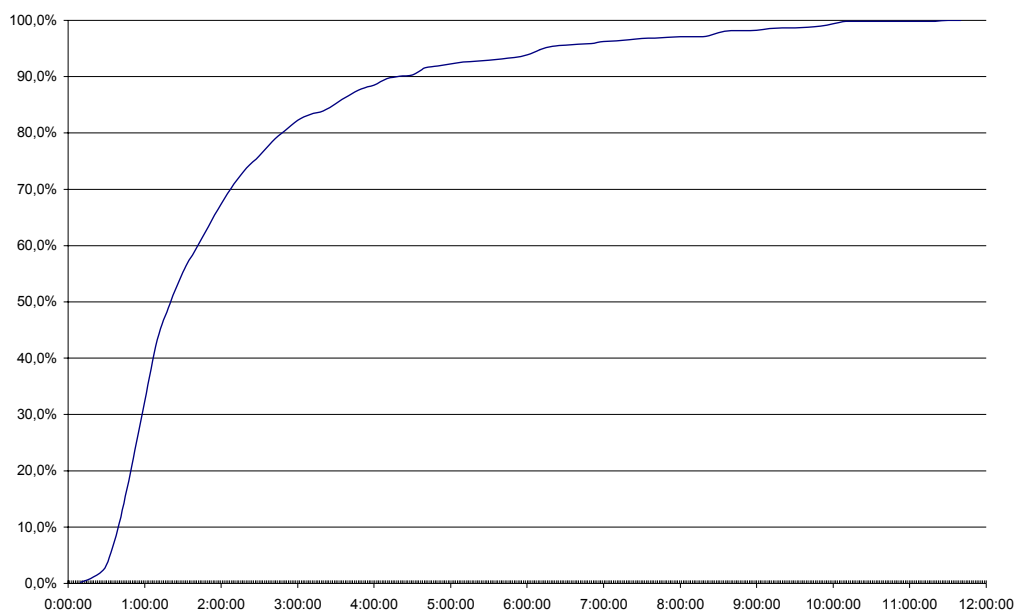


Figura 5.3 – Valores acumulados de encomendas por tempo de entrega (cenário actual).

| Tempo de entrega | Número       | %          |
|------------------|--------------|------------|
| Até 1 hora       | 641          | 32,4       |
| Até 2 horas      | 1333         | 67,4       |
| Até 3 horas      | 1627         | 82,3       |
| Até 4 horas      | 1737         | 87,8       |
| <b>Total</b>     | <b>1 978</b> | <b>100</b> |

Tabela 5.5 – Entregas acumuladas, em função do tempo de entrega.

Avaliando este cenário no que diz respeito ao critério de número de encomendas que são entregues, apenas, no dia seguinte chegou-se aos valores da tabela 5.6.

| Dia          | Encomendas              |                        |                           | % dia seguinte |
|--------------|-------------------------|------------------------|---------------------------|----------------|
|              | Pedidas pelas farmácias | Entregues no mesmo dia | Entregues no dia seguinte |                |
| 1            | 389                     | 286                    | 103                       | 26,5           |
| 2            | 448                     | 272                    | 176                       | 39,3           |
| 3            | 385                     | 238                    | 147                       | 38,2           |
| 4            | 544                     | 311                    | 233                       | 42,8           |
| 5            | 368                     | 212                    | 156                       | 42,4           |
| <b>Total</b> | <b>2 134</b>            | <b>1 319</b>           | <b>815</b>                | <b>38,2</b>    |

Tabela 5.6 – Encomendas entregues no próprio dia e no dia seguinte.

Da tabela anterior retira-se que, das 2 134 encomendas colocadas pelas farmácias, 1 978 foram entregues, dentro dos 5 dias em análise, sendo que 815 encomendas (32,2%) só são entregues no dia seguinte ao do pedido.

## 5.4 – Algoritmo proposto

O algoritmo proposto neste trabalho envolve a definição de vários parâmetros ou critérios (para além dos já referidos na secção 5.3.1) e que dizem respeito à construção dos agrupamentos; à escolha da rota a executar e, ainda, ao tempo de espera das rotas.

### 5.4.1 – Valor do ângulo limite

No que diz respeito à construção de agrupamentos (*clusters*), é necessário saber qual a sua dimensão máxima. Conforme foi referido no capítulo 4, ao agrupamento em construção vão sendo adicionadas farmácias até que a capacidade do veículo seja atingida ou o ângulo do sector circular coberto atinja um dado valor limite.

Para afinar este valor limite do ângulo, efectuou-se uma simulação para dois dos dias da semana em estudo, utilizando vários valores. Os limites utilizados foram 15°, 30°, 45°, 60°, 75° e 90°. A tabela 5.7 e a figura 5.4 apresentam os resultados obtidos para a referida simulação. Os critérios de avaliação considerados foram a razão entre a distância percorrida e o número de encomendas e, ainda, a média dos tempos de entrega. Há que ter em consideração que, sempre que se corria o algoritmo, a rota a executar era a que tinha o menor quociente entre a distância percorrida e o número de encomendas entregues. O tempo que cada veículo espera até correr novamente o algoritmo foi fixado em 0 minutos, ou seja, o veículo não espera, saindo para entregar a melhor rota, segundo o critério anteriormente definido.

| ângulo | Metros / encomenda |       | tempo de entrega |       |
|--------|--------------------|-------|------------------|-------|
|        | dia 1              | Dia 2 | dia 1            | dia 2 |
| 15°    | 3 033              | 2 487 | 1:35             | 1:45  |
| 30°    | 2 728              | 2 473 | 1:27             | 1:42  |
| 45°    | 2 563              | 2 156 | 1:27             | 1:39  |
| 60°    | 2 596              | 2 509 | 1:27             | 1:39  |
| 75°    | 2 535              | 2 549 | 1:27             | 1:44  |
| 90°    | 2 514              | 2 433 | 1:33             | 1:45  |

Tabela 5.7 – Valores da simulação em função do ângulo limite.

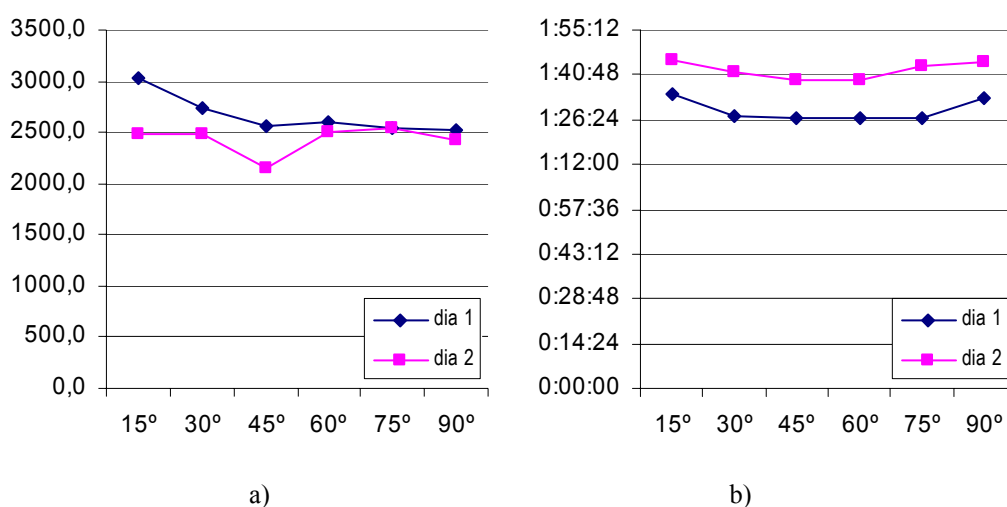


Figura 5.4 – Valores da tabela 5.7: a) kms/encomenda; b) média dos tempos de entrega.

Analisando os resultados, podem retirar-se as seguintes conclusões:

- em termos do tempo de serviço, verifica-se que não existe grande diferença entre os ângulos de 30° a 75°, no primeiro dia, e que, no segundo dia, os ângulos de 45° e 60° apresentam os valores mais baixos;
- pelo critério da distância, observa-se que no primeiro dia os ângulos de 45° a 90° não apresentam grandes diferenças mas, se a avaliação for feita no segundo dia, o ângulo de 45° apresenta-se, claramente, como o melhor.

Considerando as duas avaliações anteriores, estabeleceu-se o limite de 45° para este parâmetro.

#### 5.4.2 – Tempo de espera

O tempo entre corridas do algoritmo é outro dos parâmetros a definir. Para tal, recorreu-se a uma outra simulação, atribuindo vários valores ao tempo de espera: 10, 20, 30 e 40 minutos. Um tempo superior para espera poderá não fazer sentido no contexto deste caso de estudo.

Para esta simulação, o limite do ângulo, foi fixado em 45°. Na escolha da rota a sair, só foram consideradas as que tinham pelo menos uma encomenda com tempo de entrega superior a 2h00. Se existir alguma rota nessas condições, sai a que tiver o menor valor do quociente entre a distância e o número de encomendas. Se não existir, então o veículo espera X minutos (parâmetro a simular) até efectuar uma nova corrida do algoritmo proposto.

Os valores obtidos estão descritos na tabela 5.8 e na figura 5.5.

| Tempo de espera | Metros /encomenda |       | Tempo de entrega |       |
|-----------------|-------------------|-------|------------------|-------|
|                 | Dia 1             | dia 2 | dia 1            | dia 2 |
| 10 minutos      | 2 292             | 2 229 | 1:33             | 1:40  |
| 20 minutos      | 2 233             | 2 165 | 1:33             | 1:41  |
| 30 minutos      | 2 195             | 2 109 | 1:34             | 1:41  |
| 40 minutos      | 1 976             | 1 901 | 1:52             | 2:00  |

Tabela 5.8 – Valores da simulação em função do tempo de espera.

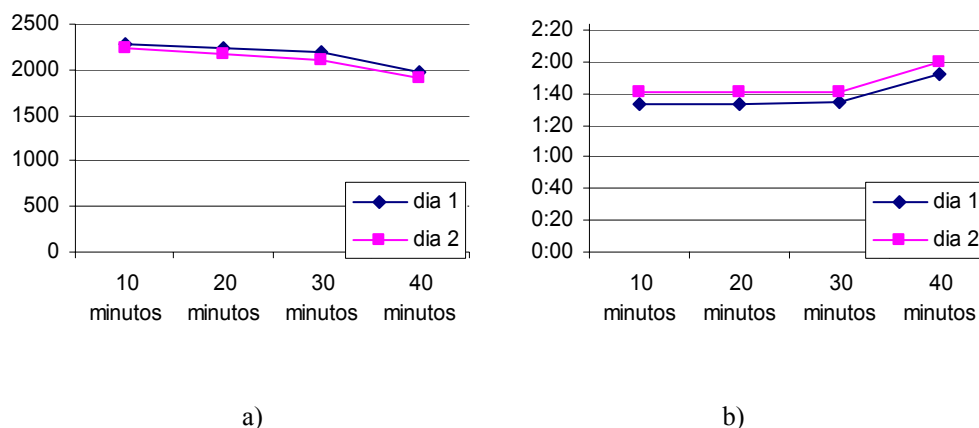


Figura 5.5 – Valores da tabela 5.8:a) kms / encomenda; b) média dos tempos de entrega.

Analisando os valores obtidos, chega-se à conclusão que até aos 30 minutos, a média do tempo de entrega às farmácias pouco varia, aumentando, substancialmente, a partir deste valor. Por outro lado, quanto maior for o tempo de espera, menor será o quociente entre a distância total percorrida e o número de encomendas entregues. Nesta situação, esperar 30 minutos parece ser o valor mais adequado.

### 5.4.3 – Resultados

Uma vez definidos os parâmetros do algoritmo, apresentam-se, de seguida, os resultados obtidos com a simulação. Tal como na secção 5.3.2, foram calculados valores para a distância percorrida, tempo de entrega e número de encomendas que são entregues no dia seguinte. Em relação à distância percorrida e ao tempo de entrega, os valores obtidos estão representados na tabela 5.9.

| Dia                    | Distância total(km) | Encomendas   | km/encomenda | Tempo médio de entrega |
|------------------------|---------------------|--------------|--------------|------------------------|
| 1                      | 687                 | 313          | 2,19         | 1:34                   |
| 2                      | 915                 | 434          | 2,11         | 1:41                   |
| 3                      | 914                 | 404          | 2,26         | 1:44                   |
| 4                      | 869                 | 455          | 1,92         | 1:44                   |
| 5                      | 834                 | 450          | 1,85         | 1:45                   |
| <b>Valores globais</b> | <b>4 219</b>        | <b>2 056</b> | <b>2,05</b>  | <b>1:42</b>            |

Tabela 5.9 - Resultados da simulação do algoritmo proposto.

A distribuição acumulada por tempo de entrega está representada na figura 5.6. A tabela 5.10 ilustra os valores acumulados até 1 hora, até 2 horas, até 3 horas e até 4 horas.

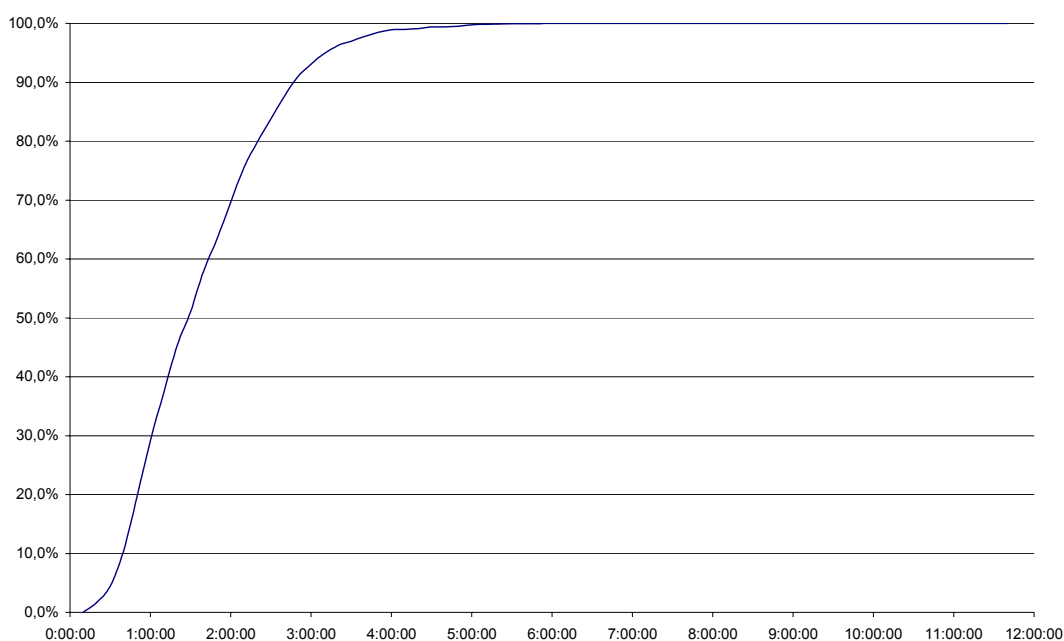


Figura 5.6 – Valores acumulados de encomendas por tempo de entrega (algoritmo proposto).

| <b>Tempo</b> | <b>Número</b> | <b>%</b>   |
|--------------|---------------|------------|
| Até 1 hora   | 598           | 29,1       |
| Até 2 horas  | 1430          | 69,6       |
| Até 3 horas  | 1912          | 93,0       |
| Até 4 horas  | 2023          | 98,4       |
| <b>Total</b> | <b>2 056</b>  | <b>100</b> |

Tabela 5.10 - Entregas acumuladas em função do tempo de entrega.

O número de encomendas entregues no próprio dia e no dia seguinte apresenta-se na tabela 5.11.

| <b>Dia</b>   | <b>Encomendas</b>              |                               |                                  | <b>% dia seguinte</b> |
|--------------|--------------------------------|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------|
|              | <b>Pedidas pelas farmácias</b> | <b>Entregues no mesmo dia</b> | <b>Entregues no dia seguinte</b> |                       |
| 1            | 389                            | 313                           | 76                               | 19,5                  |
| 2            | 448                            | 358                           | 90                               | 20,1                  |
| 3            | 385                            | 314                           | 71                               | 18,4                  |
| 4            | 544                            | 384                           | 160                              | 29,4                  |
| 5            | 368                            | 290                           | 78                               | 21,2                  |
| <b>Total</b> | <b>2 134</b>                   | <b>1 659</b>                  | <b>475</b>                       | <b>22,3</b>           |

Tabela 5.11 – Número de encomendas entregues no próprio dia e no dia seguinte.

## 5.5 – Comparação dos Resultados

Nesta secção comparam-se os valores obtidos aplicando o algoritmo proposto, com os do cenário actual. Para cada um dos critérios considerados, são apresentados gráficos e tabelas com os valores de ambas as situações, assinalando-se as diferenças observadas.

No que diz respeito à distância percorrida, tal como já foi referido em 5.2, o critério que faz sentido considerar é o do quociente entre a distância total percorrida e o

número de encomendas entregues. Como se pode ver na tabela 5.12, apesar da distância total percorrida ser superior no algoritmo proposto, o referido quociente é ligeiramente inferior. Isto deve-se ao facto do número de encomendas entregues ser superior.

| Dia          | Cenário actual  |                      |              | Algoritmo proposto |                      |              |
|--------------|-----------------|----------------------|--------------|--------------------|----------------------|--------------|
|              | Distância total | Número de encomendas | km/encomenda | Distância total    | Número de encomendas | km/encomenda |
| 1            | 823             | 286                  | 2,88         | 687                | 313                  | 2,19         |
| 2            | 817             | 375                  | 2,18         | 915                | 434                  | 2,11         |
| 3            | 764             | 414                  | 1,85         | 914                | 404                  | 2,26         |
| 4            | 820             | 458                  | 1,79         | 867                | 455                  | 1,91         |
| 5            | 911             | 445                  | 2,05         | 834                | 450                  | 1,85         |
| <b>Total</b> | <b>4 135</b>    | <b>1 978</b>         | <b>2,09</b>  | <b>4 219</b>       | <b>2 056</b>         | <b>2,05</b>  |

Tabela 5.12 – Comparação dos valores de distância.

Nos resultados obtidos, verifica-se um ligeiro ganho (1,9%) da distância percorrida por encomenda entregue. Refira-se, ainda, que, quando comparados dia a dia, os resultados obtidos apontam para uma melhoria nuns dias e um decréscimo de qualidade noutros.

Quanto ao critério “média do tempo de entrega às farmácias”, a tabela 5.13 apresenta os resultados obtidos em cada um dos dias.

| Dia          | Cenário actual         | Algoritmo proposto     |
|--------------|------------------------|------------------------|
|              | Tempo médio de entrega | Tempo médio de entrega |
| 1            | 1:58                   | 1:34                   |
| 2            | 1:44                   | 1:41                   |
| 3            | 1:47                   | 1:44                   |
| 4            | 1:53                   | 1:44                   |
| 5            | 1:56                   | 1:45                   |
| <b>Total</b> | <b>1:51</b>            | <b>1:42</b>            |

Tabela 5.13 - Comparação dos valores de tempo de serviço.

Constata-se que o algoritmo proposto melhora em 8,1% a média dos tempos de entrega às farmácias. Essa diminuição verifica-se em todos os dias do estudo.

No que diz respeito ao tempo de entrega às farmácias podem, ainda, comparar-se a percentagem acumulada de encomendas, em função do seu tempo de entrega (ver tabela 5.14)

| Tempo de entrega | Cenário actual       |            | Algoritmo proposto   |            | Diferença % |
|------------------|----------------------|------------|----------------------|------------|-------------|
|                  | Número de encomendas | %          | Número de encomendas | %          |             |
| até 1h           | 641                  | 32,4       | 598                  | 29,1       | <b>-3,3</b> |
| até 2h           | 1333                 | 67,4       | 1430                 | 69,6       | <b>2,2</b>  |
| até 3h           | 1627                 | 82,3       | 1912                 | 93,0       | <b>10,7</b> |
| até 4h           | 1737                 | 87,8       | 2023                 | 98,4       | <b>10,6</b> |
| <b>Total</b>     | <b>1 978</b>         | <b>100</b> | <b>2 056</b>         | <b>100</b> |             |

Tabela 5.14 – Comparação da percentagem acumulada de encomendas.

A última coluna desta tabela apresenta a diferença entre a percentagem de encomendas entregues na situação proposta e no cenário actual, que se encontra representada graficamente na figura 5.7.

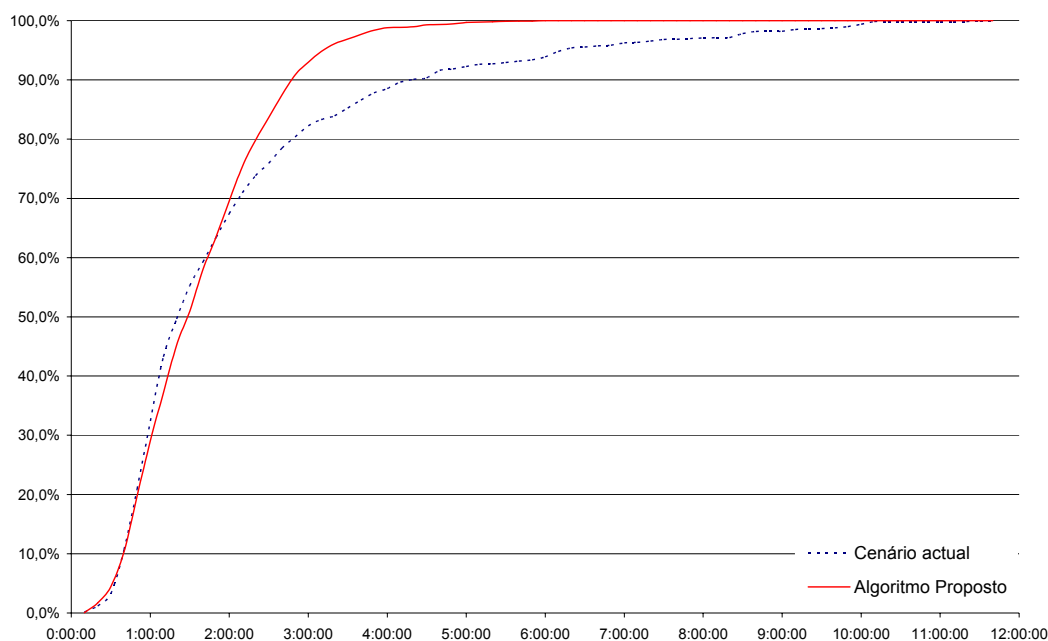


Figura 5.7 – Comparação dos valores acumulados do número de entregas.

É interessante, também, comparar os valores totais de encomendas entregues. A tabela 5.15 e o gráfico da figura 5.8, ilustram esses valores. A diferença absoluta foi calculada como a diferença entre o número de encomendas entregues no cenário actual e o número de encomendas entregues considerando o algoritmo proposto. A diferença percentual é o quociente entre a diferença absoluta, e o número de encomendas entregues no cenário actual.

| Tempo médio de entrega | Número de Encomendas |                    | diferença |      |
|------------------------|----------------------|--------------------|-----------|------|
|                        | Cenário actual       | Algoritmo proposto | Absoluta  | %    |
| até 1h                 | 641                  | 598                | -43       | -6,7 |
| até 2h                 | 1333                 | 1430               | 97        | 7,3  |
| até 3h                 | 1627                 | 1912               | 285       | 17,5 |
| até 4h                 | 1737                 | 2023               | 286       | 16,5 |
| <b>Total</b>           | <b>1 978</b>         | <b>2 056</b>       |           |      |

Tabela 5.15 – Comparação dos valores acumulados do número de entregas (absoluto).

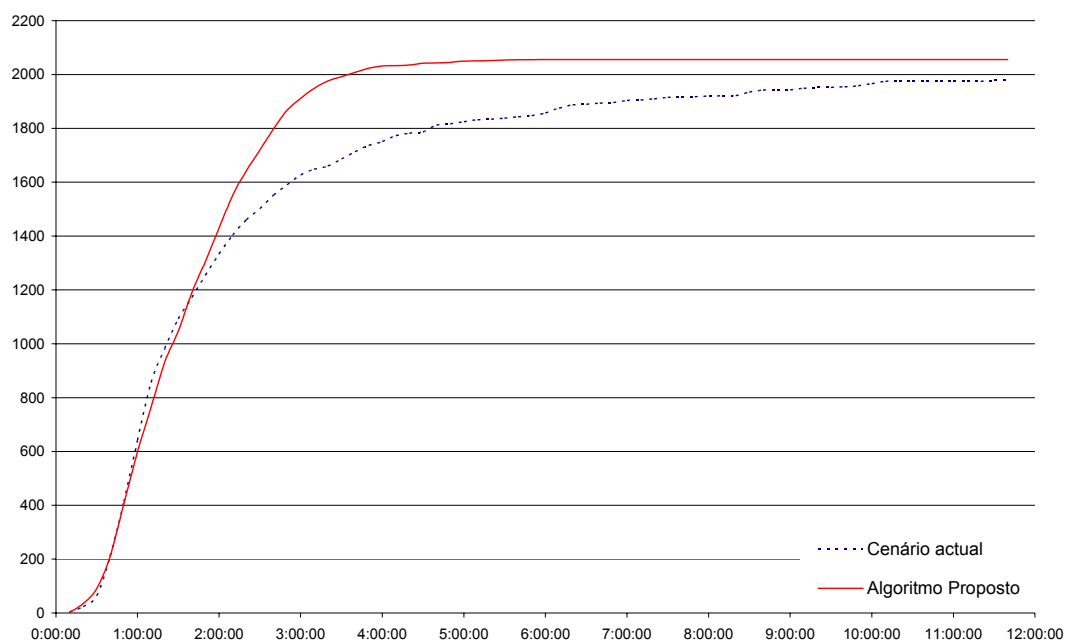


Figura 5.8 – Comparação dos valores acumulados do número de entregas (absoluto).

Por último, resta comparar o número de encomendas que foram entregues no próprio dia e as que foram entregues no dia seguinte. Tal como no caso dos dois indicadores anteriores, descrevem-se as melhorias obtidas com este algoritmo. Na tabela 5.16 comparam-se os resultados obtidos nos dois cenários.

| Dia          | pedidos     | actual      |              |             | proposta    |              |             | Ganho (%)   |
|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
|              |             | no dia      | dia seguinte | %           | no dia      | dia seguinte | %           |             |
| 1            | 389         | 286         | 103          | 26,5        | 313         | 76           | 19,5        | 26,2        |
| 2            | 448         | 375         | 176          | 39,3        | 434         | 90           | 20,1        | 48,9        |
| 3            | 385         | 414         | 147          | 38,2        | 404         | 71           | 18,4        | 51,7        |
| 4            | 544         | 458         | 233          | 42,8        | 455         | 160          | 29,4        | 31,3        |
| 5            | 368         | 445         | 156          | 42,4        | 450         | 78           | 21,2        | 50,0        |
| <b>Total</b> | <b>2134</b> | <b>1978</b> | <b>815</b>   | <b>38,2</b> | <b>2056</b> | <b>475</b>   | <b>22,3</b> | <b>41,7</b> |

Tabela 5.16 – Comparação dos valores das encomendas entregues no dia seguinte.

Na última coluna da tabela, apresenta-se, quanto a este indicador (encomendas entregues no dia seguinte), os ganhos obtidos em percentagem (quociente entre o resultado do algoritmo e o cenário actual).

## **5.6 – Discussão dos resultados**

### **5.6.1 – Síntese dos resultados**

Os resultados aqui apresentados indicam que o algoritmo proposto não apresenta vantagens significativas no que diz respeito à distância percorrida. No entanto, como enunciado no capítulo 2, o objectivo principal da empresa é, sem um aumento significativo da distância, melhorar a qualidade de serviço, medida pelo tempo de entrega das encomendas às farmácias.

O algoritmo proposto melhora a média dos tempos de entrega em 8,1%, passando de 1h51 para 1h42.

Uma análise do gráfico do número acumulado de entregas em função do tempo de entrega, permite identificar três situações distintas. Na primeira, até 1 hora de tempo de entrega, verifica-se uma maior percentagem de entregas no cenário actual do que no algoritmo proposto. Tal facto deve-se a uma das características do algoritmo, que se prende com o fazer esperar um veículo, quando o tempo de entrega a todas as farmácias de uma rota não é superior a 2 horas. Ao fazer esperar esse veículo, é natural que o número de encomendas que é entregue até 1 hora seja inferior ao número do cenário actual. Na segunda situação, até 2 horas de tempo de entrega, verifica-se que se entregam mais 2,2% do total de encomendas do que no cenário actual. Na terceira situação, até 3 horas de tempo de entrega, a referida melhoria ainda é maior. Entregam-se mais 10,7% do total de encomendas do que no cenário actual.

Em termos do número de encomendas que passam para o dia seguinte, o algoritmo reduz em 41,7% o número de encomendas. Uma melhoria desta ordem deve ser

analisada com algumas cautelas, já que poderão existir outros factores que impliquem que algumas encomendas tenham que ser entregues só no dia seguinte.

#### **5.6.1 – Opinião da Cofanor quanto aos resultados obtidos**

As soluções obtidas pelos algoritmos foram validadas pela Cofanor que as considerou de qualidade e implementáveis na prática.

Como referido, o pequeno aumento total dos quilómetros percorridos não é uma verdadeira questão, até porque, por encomenda, esse valor diminuiu.

A principal preocupação da empresa reside, efectivamente, na qualidade de serviço prestado às farmácias. Assim, as melhorias obtidas a este nível foram consideradas muito interessantes.

No entanto, em relação ao resultado referente ao número de encomendas entregues no dia seguinte (com uma diminuição muito significativa), a empresa não atribuiu grande importância, uma vez que essas encomendas são muitas vezes entregues no dia seguinte, por opção da própria farmácia. De facto, algumas farmácias preferem receber a encomenda no dia seguinte, no início da manhã, porque nessa altura não têm muitos clientes para atender, tendo assim maior disponibilidade para receber e arrumar a encomenda mais tranquilamente. A situação é diferente do final do dia quando há, normalmente, mais clientes e se aproxima a hora de fechar a farmácia.

Como conclusão mais global, pode afirmar-se que a Cofanor considerou, de uma forma muito positiva, os resultados obtidos pelo algoritmo, mostrando um grande interesse na sua futura integração num Sistema de Apoio à Decisão, possivelmente com um carácter mais abrangente.

## **Capítulo 6 – Conclusões e desenvolvimentos futuros**

---

O trabalho apresentado ao longo deste texto consistiu no desenvolvimento de um modelo de planeamento dinâmico de rotas para a distribuição farmacêutica e de um algoritmo para implementar esse modelo. O desempenho deste algoritmo foi avaliado face ao objectivo considerado primordial para os distribuidores: a redução do tempo de entrega às farmácias, ou seja, o aumento da qualidade de serviço.

Neste capítulo, faz-se uma breve síntese do trabalho desenvolvido, descrevendo-se as principais conclusões que dele se podem retirar, apontando as suas principais vantagens e limitações.

Apresenta-se, ainda, uma proposta para a implementação prática deste modelo, sugerindo-se as principais características que um Sistema de Apoio à Decisão, a desenvolver para o efeito, deverá contemplar.

Sugerem-se, finalmente, algumas linhas de investigação futura que possam permitir melhorias ao modelo apresentado, assim como a sua aplicabilidade a outros sectores de actividade. Neste âmbito, propõem-se, ainda, algumas ideias para melhorar a qualidade de serviço, com intervenções de maior dimensão, envolvendo outras áreas da empresa.

### **6.1 – Síntese e conclusões**

O trabalho foi desenvolvido tendo como caso de estudo a Cofanor, empresa distribuidora de medicamentos com sede no Porto.

Com base numa avaliação do sistema de distribuição da empresa, identificou-se a existência de problemas específicos na zona do Grande Porto, quer em relação à qualidade de serviço aos seus clientes quer em relação à eficiência das rotas. Neste cenário, constatou-se que o sistema tradicional de rotas fixas não satisfazia, em geral, os requisitos das farmácias, nem garantia aos distribuidores, níveis satisfatórios de

eficiência. Assim, propôs-se uma alteração estrutural da política de distribuição, abandonando o sistema de rotas fixas e adoptando um sistema de rotas variáveis, em função das encomendas que vão chegando ao longo do dia. As rotas são elaboradas, dinamicamente, a partir das encomendas que as farmácias já colocaram e que ainda não foram entregues.

Com base nestes princípios, propôs-se um algoritmo, corrido várias vezes ao longo do dia, que divide o problema em vários sub problemas mais simples, resolvidos sequencialmente, e que dá origem à rota a efectuar pelo próximo veículo a sair.

O algoritmo desenvolvido foi testado simulando uma semana de operação, tendo como termo de comparação o plano construído e executado da forma tradicional. Os resultados obtidos mostram que a estratégia adoptada conduz a soluções implementáveis na prática, e que se podem esperar melhorias significativas quanto à qualidade de serviço (medida pelos tempos de entrega), para um mesmo valor de distância percorrida.

O modelo desenvolvido para este problema constitui um caso particular de um problema de rotas dinâmico. Não foi, no entanto, possível adoptar directamente nenhum modelo da literatura, dadas as especificidades do problema, associadas à existência de restrições particulares, e à necessidade de compatibilizar a solução com os requisitos da gestão corrente da empresa.

Obtiveram-se melhorias na ordem dos 8,1% a nível do tempo médio de entrega às farmácias, com a mesma frota disponível e efectuando, sensivelmente, o mesmo número de quilómetros.

Há, também, um conjunto de vantagens intangíveis, associadas à automatização do processo. Ao permitir que o planeador possa saber, a todo o momento, qual o estado das encomendas e se as mesmas já estão a ser aviadas na zona automática, aumentando a flexibilidade nas opções do agente de decisão, uma vez que este passa a poder elaborar rotas considerando encomendas que ainda não estão totalmente aviadas. Este automatismo permite uma reorganização dos processos internos, passando-se a dispor de documentos electrónicos sobre as rotas efectuadas na realidade. Refira-se, ainda, que o esforço necessário ao planeamento é, desta forma, reduzido significativamente.

Refira-se, finalmente, que o modelo proposto pode ainda constituir um instrumento interessante para a realização de estudos de carácter estratégico, através da simulação de regras e cenários de operação alternativos.

## **6.2 – Futuros desenvolvimentos**

Nesta secção apresenta-se uma proposta mais ambiciosa de implementação do algoritmo desenvolvido, que contempla a construção de um Sistema de Apoio à Decisão (SAD). Referem-se, também, alguns possíveis desenvolvimentos do trabalho apresentado nesta dissertação, que incluem o desenvolvimento e teste de procedimentos alternativos ao proposto e a realização de testes mais exaustivos ao modelo apresentado, aproveitando o SAD a desenvolver, para afinação de parâmetros e a avaliação de cenários.

### **6.2.1 – Implementação prática do algoritmo**

O programa de computador desenvolvido no âmbito do presente trabalho, apesar de adequado para testar e validar o algoritmo no caso de estudo, não poderá, tal como está, ser utilizado de imediato pela Cofanor, já que, para tal, será necessário fazer um conjunto de desenvolvimentos adicionais, quer no sistema de informação da empresa (SGG) relativamente à transferência de dados entre os sistemas, quer no programa desenvolvido em termos de apresentação e visualização dos resultados ao agente de decisão (interface com o utilizador). Tais desenvolvimentos deverão dar origem a um verdadeiro Sistema de Apoio à Decisão (SAD) para ajudar a empresa no dia a dia, a criar rotas segundo as políticas de distribuição já definidas ou que venham a ser ensaiadas. Esta é a vertente operacional do SAD a desenvolver. Adicionalmente, este sistema deverá ter um módulo de planeamento que permita à empresa simular diferentes políticas de distribuição, avaliando os impactos previsíveis dessas alterações. Este módulo deverá permitir a avaliação e análise de cenários

alternativos, como por exemplo, a introdução de um veículo, a alteração do tempo de espera dos veículos ou a variação no ângulo limite dos *clusters*.

Um tal sistema deverá incluir um repositório de modelos e algoritmos, contendo procedimentos e rotinas que permitam uma configuração dos algoritmos e relatórios a utilizar na resolução de cada sub problema (incluindo, naturalmente, os propostos neste trabalho).

A Base de Dados deverá informação relevante para o funcionamento dos algoritmos propostos, quer na vertente operacional, quer na vertente de planeamento.

Na versão operacional, são necessárias tabelas com informação sobre as encomendas não entregues e com os dados geográficos das farmácias. Deverão, naturalmente, existir tabelas que registem as rotas efectuadas.

Na versão de planeamento, as tabelas deverão incluir informação sobre o histórico de encomendas.

No que diz respeito à interface com o utilizador, esta deverá garantir uma utilização fácil e intuitiva e uma interacção que permita a alteração “manual” das soluções, tirando, assim, partido da experiência do planeador e facilitando-lhe a expressão das suas preferências implícitas.

Por outro lado, é necessário implementar uma interface efectiva do SAD com os sistemas legados, nomeadamente o SGG (Sistema de Gestão Global) ou um outro ERP que venha a ser instalado.

Os dados que provêm do SGG devem ser replicados na Base de Dados do SAD. Esta opção apresenta-se como mais segura, uma vez que não é necessário escrever na base de dados do SGG, considerada crítica ao bom funcionamento da Cofanor. Como tal, é necessário desenvolver um procedimento que efectue a interligação entre as bases de dados dos dois sistemas.

Como já foi referido, o SAD deverá ter duas vertentes, uma operacional e outra estratégica. Cada uma delas poderá corresponder a um módulo distinto do sistema.

O módulo de planeamento, para além de permitir alterar os parâmetros do algoritmo, deverá incluir a possibilidade de alteração do número de veículos disponíveis ao longo do dia. Este módulo deverá ainda possibilitar a gravação de vários cenários, para a sua posterior comparação.

Os resultados obtidos em cada cenário serão apresentados na forma de uma tabela com os parâmetros de avaliação já referidos, podendo, ainda, ser desagregados por rota, dia, semana ou mês.

Ao módulo operacional competirá a gestão diária das rotas a efectuar. Cada vez que o expedidor executar o programa, este retornará uma lista de possíveis rotas. Para cada uma das rotas incluídas nesta lista, serão apresentados os valores dos critérios de avaliação já referidos.

O expedidor poderá analisar cada uma das rotas de forma mais detalhada. Selecionando uma rota, deverá ser possível ver a lista das encomendas que estão afectadas a essa rota e a ordem pela qual as mesmas irão ser entregues. Para além da lista, deverá ser possível visualizar a rota num mapa.

### 6.2.2 – Estudos complementares

Depois de construído e implementado o Sistema de Apoio à Decisão e após a recolha de mais informação sobre as encomendas, poderão ser conduzidas análises mais exaustivas que permitam avaliar o impacto da alteração dos parâmetros do algoritmo (ângulo limite e tempo de espera), em simultâneo ou separadamente.

O mesmo SAD poderá servir para efectuar estudos do tipo “*what-if*” de forma a poder avaliar e prever o impacto de alterações a toda a política de distribuição, quer a nível tático, quer a nível operacional. Entre outras, podem considerar-se as apresentadas na tabela 6.1.

| Nível       | Alteração                                                                                                                                                            |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tático      | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ número de veículos;</li> <li>▪ capacidade dos veículos;</li> <li>▪ farmácias incluídas no modelo;</li> <li>▪ ...</li> </ul> |
| Operacional | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ tempo de espera dos veículos;</li> <li>▪ ângulo limite;</li> <li>▪ critério de saída das rotas;</li> <li>▪ ...</li> </ul>   |

Tabela 6.1 – Possíveis cenários para estudo.

Outras técnicas e modelos poderão ser testados com vista a melhorar o algoritmo proposto, com especial incidência nas fases 1 e 4 (*clusterização* e procedimento de melhoramento local).

Como foi referido no capítulo 4, o processo de *clusterização* condiciona todo o desempenho do resto do algoritmo. Testar outro tipo de técnicas para efectuar a *clusterização* parece uma das áreas onde poderão ocorrer melhorias significativas ao algoritmo proposto. Uma das hipóteses a testar pode ser a criação de um número de *clusters* que, ao invés de abranger a área total, apenas abranja o número de veículos disponíveis.

Na parte final do algoritmo (a fase 4), o procedimento de melhoramento pode ser alterado de forma a contemplar a inclusão de farmácias de outros clusters na rota proposta. Outra possibilidade seria a implementação de um procedimento doutro tipo para efectuar as trocas, por exemplo, substituir a heurística “2-opt” pela heurística “3-opt”.

Outra melhoria possível prende-se com a utilização de distâncias reais em vez de distâncias euclidianas. Para esse efeito, poderá utilizar-se um sistema de informação geográfica que permita calcular, para cada par de pontos, a distância real entre eles. De referir que, uma vez que estamos a trabalhar em áreas urbanas onde existem ruas com sentidos únicos, a distância  $d_{ij}$  entre dois pontos  $i$  e  $j$  (de  $i$  para  $j$ ) difere, frequentemente, da distância  $d_{ji}$ , (de  $j$  para  $i$ ).

Conforme já foi referido, a grande maioria das farmácias não coloca os pedidos sempre à mesma hora do dia. No entanto, existem algumas que o fazem. A recolha de mais informação histórica (inexistente neste momento) sobre a hora a que as farmácias fazem as suas encomendas pode levar a que se possa chegar a um “padrão” para o comportamento de algumas delas. Esse “padrão” poderia servir para criar algumas rotas *a priori*, ou partes de rotas, às quais poderiam ser acrescentadas novas encomendas à medida que fossem surgindo. Um novo método com base nesta ideia constituiria uma adaptação ao já proposto por Campbell e Savelsbergh [30]. Esta aproximação leva a um modelo “híbrido” entre métodos em tempo real e métodos *a priori*. A implementação de um algoritmo deste género carece, contudo, de uma análise mais profunda para testar a sua validade ao caso de estudo.

Note-se que o trabalho realizado, em particular na sua componente de levantamento bibliográfico, sugere um conjunto de outras intervenções que ultrapassam, claramente, o problema aqui tratado. No entanto, julga-se ser de interesse apresentar algumas dessas intervenções.

Assim, conforme foi referido no capítulo 3, Punakivi e Saranen [28] constataram que, no caso das entregas ao domicílio, existe uma redução importante nos custos de distribuição se as entregas forem efectuadas num receptáculo próprio, seguro, não necessitando, portanto, da presença física de uma pessoa no local. MacArthur [5] defende que a entrega nocturna de encomendas às farmácias pode revelar-se uma alternativa bastante económica.

Em Portugal, a introdução deste tipo de sistema deverá ter em conta que todos os distribuidores iriam usufruir das vantagens proporcionadas, uma vez que é impraticável colocar um receptáculo seguro por distribuidor em cada farmácia. Assim, uma implementação destes receptáculos deveria ser patrocinada por todos os distribuidores.

A aplicação de algoritmos, como os que foram propostos nesta dissertação, reveste-se de especial importância num contexto onde a resposta urgente pode ser uma das mais valias de uma empresa de serviços. Esta característica não é exclusiva do sector farmacêutico. Seria, assim, interessante explorar a extensão da abordagem desenvolvida a empresas com serviços de entrega ao domicílio, como é o caso de entregas de bens de supermercado ou a entrega de encomendas expresso.

Finalmente, refira-se que a qualidade de serviço prestada às farmácias não depende apenas da melhoria das rotas. Essa é talvez a questão central, mas não exclusiva. A automatização de processos, já efectuada em muitas empresas do sector, deverá ser um ponto-chave na melhoria deste serviço. Quanto maior for o grau de automatização dos processos, maiores poderão ser os ganhos a nível da distribuição.

A título de exemplo, a automatização ou agilização de alguns dos procedimentos de aviamento manual, leva a melhores tempos de resposta. No caso de estudo, uma vez que será difícil aumentar o grau de automatização do armazém, a criação de uma política eficaz na gestão da fila de espera das guias de aviamento nos Grandes Volumes, perfila-se como um aspecto a ter em conta.

Outro dos processos passíveis de uma maior automatização é a confirmação de encomendas. Abandonar (ou reduzir significativamente) a confirmação poderia introduzir melhorias ao nível dos custos com o pessoal (eventual redução do número de telefonistas ou sua reafecção a outras tarefas), possibilitando, ainda, iniciar mais cedo o aviamento. No entanto, a actual forma de operar (envolvendo uma forte participação das telefonistas) é, por várias razões, do agrado das farmácias. Isto implica que implementar uma medida deste tipo poderá não ser bem aceite. Uma forma de persuadir as farmácias a aceitar esta alteração seria partilhar com elas uma eventual redução de custos, eventualmente, através de descontos financeiros. De referir, ainda, que o abandono da confirmação por parte das telefonistas já foi adoptado, em diversos países europeus, com resultados satisfatórios.

## Capítulo 7 – Referências

---

- [1] FISHER, M.; *Vehicle Routing* in BALL, M., MAGNANTI, T., MONMA, C., NEMHAUSER, G.(eds); *Handbooks in Operations Research and Management Science: Network Routing*; Amesterdão; North-Holand; 1995; p. 1-33
- [2] LARSEN, A.; *The Dynamic Vehicle Routing Problem*; Lyngby, Dinamarca; IMM – Universidade Técnica da Dinamarca (DTU); 2000; Tese de Doutoramento.
- [3] WARD, M. e MILLS, R.; *The role of the wholesaler in the Pharmaceutical Supply Chain*; IFPW-Focus, Vol. 8; nº 17; 2001; p.1-2
- [4] *Prescription for change – A cure for the cost-saving headache?*; Logistics Europe; Abril 2003; p. 26-30
- [5] MACARTHUR, D.; *Pharmaceutical distribution in Europe – Changes in the wholesaling and retailing of medicines*; Londres; Financial Times Business Information; 1993
- [6] MARTIN, Y.; *The future of European pharmaceutical distribution – Crossing new boundaries*; Londres; Informa Pharmaceuticals; 2000
- [7] *Outsourcing da cadeia logística farmacêutica*; Logística Hoje, nº 45; Julho/Agosto 2003; p. 22-25
- [8] *Logística farmacêutica – Uma nova dimensão*; Farmácia Distribuição; nº 142; Junho 2003; p. 36-40
- [9] COFANOR; *Introdução*; 2003; [www.cofanor.pt](http://www.cofanor.pt)
- [10] *Especial Cofanor*; Farmácia Distribuição; nº 146 –suplemento; Outubro 2003; p. 3-26
- [11] BALL, M., MAGNANTI, T., MONMA, C., NEMHAUSER, G.(eds); *Handbooks in Operations Research and Management Science: Network Routing*; Amesterdão; North-Holand; 1995

- [12] BODIN, L.; GOLDEN, B.; ASSAD, A. e BALL, M.; *Routing and scheduling of Vehicles and crews – The state of the art*; Computers and Operations Research, nº10; 1983; p. 63-211
- [13] TEIXEIRA, J.; *Planeamento de rotas de recolha de resíduos sólidos recicláveis*; Porto; Escola de Gestão do Porto; 2002; Tese de Mestrado
- [14] KINDERVATER, G. e SAVELSBERGH, M.; *Vehicle routing: handling side constraints* in AARTS, E. e LENSTRA, J. (eds); *Local search in combinatorial optimization*; Chichester; Wiley; 1997
- [15] BEASLEY, J.; *OR Notes – Vehicle routing*; 2003  
[www.ms.ic.ac.uk/jeb/or/vrp.html](http://www.ms.ic.ac.uk/jeb/or/vrp.html)
- [16] BODIN, L. e GOLDEN, B.; *Classification in vehicle routing and scheduling*; Networks; Vol. 11; 1981; p. 97-108
- [17] LENSTRA, J e RINNOOY KAN, A.; *Complexity of vehicle and scheduling problems*; Networks; Vol. 11; 1981; p. 221-227
- [18] LAPORTE, G.; GENDREAU, M.; POTVIN, J.-Y. e SEMET, F.; *Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem*; International Transactions in Operational Research; Vol. 7; nºs 4-5; 2000; p. 285-300
- [19] CHRISTOFIDES, N.; *Vehicle routing* in LAWLER, E.; LENSTRA, J., RINNOOY KAN, A. e SHMOYS, D. (eds); *The travelling salesman problem*; John Wiley & Sons, ltd.; 1985; p. 431-448
- [20] TAILLARD, E.; BADEAU, P.; GENDREAU, M.; GUERTIN, F. e POTVIN, J.-Y.; *A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with soft time windows*; Transportation Science; Vol. 31; nº 2; 1997; p. 170-186
- [21] PSARAFTIS, H.; *Dynamic vehicle routing problems* in GOLDEN, B. e ASSAD, A. (eds); *Vehicle routing: Methods and studies, Studies in management science and systems*; nº 16; Amesterdão; North Holand; 1988; p. 223-248
- [22] BIANCHI, L.; *Notes on Dynamic Vehicle Routing – The state of the art*; Technical Report IDSIA-05-01; Manno –Lugano; Suíça; 2000

- [23] BERSITMAS, D. e VAN RYZIN, G.; *A stochastic and dynamic vehicle routing problem in the euclidean plane*; Operations Research; Vol. 39; nº 4; 1991; p.601-615
- [24] BERSITMAS, D. e VAN RYZIN, G.; *Stochastic and dynamic vehicle routing in the euclidean plane with multiple capacited vehicles*; Operations Research; Vol. 41; nº 1; 1993; p. 60-76
- [25] PAPASTAVROU, J.; *A stochastic and dynamic routing policy using branching processes with state dependent immigration*; European Journal of Operations Research; Vol. 95; nº1; 1996; p. 143-164
- [26] GENDREAU, M.; LAPORTE, G.; SEMET, F.; *Solving an ambulance location model by tabu search*; Location Science; Vol. 5, nº 2; 1997; p. 75-88
- [27] GOLDBERG, J.; *Operations research models for the deployment of emergency services vehicles*; EMS Management Journal; Vol. 1, nº 1; 2004; p. 20-39
- [28] PUNAKIVI, M. e SARANEN, J.; *Identifying the success factors in e-grocery home delivery*; International Journal of Retail & Distribution Management, Vol. 29, N.º 4; 2001 p. 156-163
- [29] YRJÖLÄ, H. e TANSKANEN, K.; *An evolutionary approach for developing physical distribution in Electronic Grocery Shopping*; 2003  
[www.diem.hut.fi/ecomlog/publications/LRN1.html](http://www.diem.hut.fi/ecomlog/publications/LRN1.html)
- [30] CAMPBELL, A. e SAVELSBERGH, M.; *Decision Support for Consumer Direct Grocery Initiatives*; Report TLI-02-09, Atlanta; Georgia Institute of Technology; 2002  
[www.isye.gatech.edu/faculty/Martin\\_Savelsbergh/publications/tli-02-09.pdf](http://www.isye.gatech.edu/faculty/Martin_Savelsbergh/publications/tli-02-09.pdf)
- [31] JAILLET, P.; *A priori solution of a Travelling Salesman Problem in which a random subset of costumers are visited*; Operations Research, Vol. 36; 1988; p. 929-936
- [32] BARTOLDI III, J.; PLATZMAN, L.; COLLINS, L.; WARDEN III, W.; *A minimal technology routing system for Meals on Wheels*; Interfaces, Vol. 13; nº3; 1983; p. 1-8

- [33] BERSITMAS, D.; JAILLET, P. e ODONI, A.; *A priori optimization*; Operations Research; Vol. 38; nº 6; 1990; p.1019-1033
- [34] BERSITMAS, D.; SIMCHI-LEVI, D.; *A new generation of vehicle routing research: robust algorithms, addressing uncertainty*; Operations Research, Vol. 44; nº2; 1996; p.286-304
- [35] GENDREAU, M.; LAPORTE, G. e SÉGUIN, R.; *Stochastic Vehicle Routing*; European Journal of Operational Research, Vol. 88; nº1; 1996; p. 3-12
- [36] GENDREAU, M.; GUERTIN, F.; POTVIN, J.-Y. e TAILLARD, E.; *Parallel tabu search for real-time vehicle routing and dispatching*; Transportation Science; Vol. 33; nº 4; 1999; p. 143-155
- [37] GENDREAU, M.; GUERTIN, F.; POTVIN, J.-Y.; SÉGUIN, R.; *Neighborhood search heuristics for a Dynamic Vehicle Dispatching Problem with pick-ups and deliveries*; Technical Report CRT-98-10; Montreal; Centre de Recherche sur les Transports, Universidade de Montreal; 1998
- [38] MONTEMANNI, R., GAMBARDILLA, L., RIZZOLI, A., DONATI, A.; *A New Algorithm for a Dynamic Vehicle Routing Problem Based on Ant Colony System*; Technical Report IDSIA-23-02; Manno –Lugano; Suíça; 2003
- [39] KILBY, P.; PROSSER, P.; SHAW, P.; *Dynamic VRPs: A study of scenarios*; Technical Report APES-06-1998, Universidade de Strathclyde; 1998
- [40] ZHU, K.e ONG, K.-L.; *A reactive method for real time dynamic vehicle problem*; 12<sup>th</sup> ICTAI; Vancouver; Canadá; 2000
- [41] CASEAU, Y.; *Heuristics for large constrained Vehicle Routing Problem*; Journal of Heuristics; nº5; 1999; p. 281-303;
- [42] REIS, E.; *Estatística multivariada aplicada*; Lisboa; Sílabo; 1997
- [43] Hair Jr, Joseph; Anderson, Rolph; Tatham, Ronald e Black, William; *Multivariate data analysis - with readings*; New Jersey; Prentice Hall; 1995
- [44] POTVIN, J.Y.; LAPALME, G.; ROUSSEAU, J.-M.; *A generalized k-opt exchange procedure for the mtsp*; Infor; Vol. 27; nº 4; 1989; p.474-481