



# **Dimensionamento da Frota de Veículos para a Distribuição de Produtos a Clientes**

O caso das lojas Recheio

**Maria Margarida Celeste Ferrari Sobral Barbosa**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

**Engenharia e Gestão Industrial**

Orientador: Prof. Dr. Rui Manuel Moura de Carvalho Oliveira

**Júri**

Presidente: Prof. Maria Margarida Martelo Catalão Lopes de Oliveira Pires Pina

Orientador: Prof. Rui Manuel Moura de Carvalho Oliveira

Vogal: Prof. Susana Isabel Carvalho Relvas

**setembro 2021**

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Professor Rui Oliveira, orientador desta dissertação, pela sua exigência, por toda a sua orientação e dedicação a esta tese de mestrado. Sem o seu apoio constante não seria possível a realização deste trabalho.

Agradeço ao grupo Jerónimo Martins e em particular à Direção de Operações da Recheio, pela oportunidade de realizar esta tese num tema tão relevante nos dias de hoje e poder aplicar os conhecimentos que adquiri ao longo do meu percurso académico num contexto real de uma empresa. Em especial, agradeço à Dra. Ângela Soares, diretora de Operações da Recheio, pela sua disponibilidade, por toda a orientação e dados disponibilizados para a realização desta dissertação. Incluo também o meu agradecimento à equipa do Hub de Leiria pela simpatia e disponibilidade que sempre demonstraram.

A todos os meus colegas e professores, um muito obrigado, pelos ensinamentos transmitidos e pelo auxílio que ofereceram em todo este caminho.

Aos meus amigos que sempre me apoiaram e proporcionaram momentos de alegria, e me mostraram que a distância física pode ser sempre ultrapassada.

À ESTIEM por me ter tornado a pessoa que hoje sou, com todas as experiências que me permitiu vivenciar e todos os amigos que me ajudou a conhecer.

Por último, mas não menos importante, agradeço aos meus Pais e familiares pelo carinho e apoio que sempre me deram, e por acreditarem em mim e nas minhas capacidades, e me levarem a querer ir sempre mais além.

## RESUMO

Atualmente, as empresas envolvidas em gestão de cadeias de abastecimento estão sob uma pressão crescente em aumentar o nível de serviço prestado aos seus clientes, enquanto minimizam os custos. A qualidade do serviço de distribuição pode ser chave na maximização deste nível de serviço, onde o dimensionamento da frota a operar este serviço pode ser considerado um elemento crucial para garantir não só uma performance adequada do serviço, mas também para minimizar os custos que lhe estão associados – considerando que os custos inerentes ao transporte têm um impacto significativo quando se fala em distribuição.

A Recheio oferece aos seus clientes um serviço de distribuição de encomendas, operado pelas várias lojas espalhadas pelo país. A Direção de Operações da Recheio pretende estudar uma nova abordagem para o dimensionamento da sua frota. Assim, esta dissertação de Mestrado tem como objetivo o desenvolvimento de um modelo de dimensionamento para a frota a operar no serviço de distribuição de encomendas a clientes oferecido pelas lojas, que permita a minimização dos custos, com manutenção do nível de serviço acordado com os clientes.

Foi então desenvolvido um modelo matemático baseado num *Multi-Compartment Vehicle Routing Problem* (MCVRP), que se implementou no sistema de modelação para programação e otimização matemática GAMS.

Por fim, avaliaram-se dois cenários alternativos, em que se fez variar o volume de vendas, e se observou que o modelo pode ser implementado a várias realidades, com obtenção de resultados plausíveis.

**PALAVRAS-CHAVE:** Logística, Distribuição, Dimensionamento de Frota, Modelo de Otimização

## ABSTRACT

Currently companies involved in supply chain management face a growing pressure to increase the service level provided to their customers while keeping costs at a minimum. The quality of the distribution service can be the key to increase this service level, where the dimension of the fleet operating this service is a crucial element to ensure not only a good performance of the service but also to minimize the costs associated – as transportation costs are the major costs associated with distribution.

Recheio offers their clients an order distribution service, handled by each of its stores spread across the country. The Operations Management department of Recheio wished to study a new approach for their fleet sizing. This Masters' dissertation aims to develop a new fleet sizing model for the fleet that operates the order distribution service offered by the stores, that allows cost minimization while maintaining the service level agreed with their clients.

A mathematical model based on a Multi-Compartment Vehicle Routing Problem (MCVRP) was developed and implemented in the GAMS modelling system.

Lastly, two alternative scenarios for the demand volumes were evaluated, enabling the conclusion that the model created can be applied to different realities, while returning plausible results.

**KEYWORDS:** Logistics, Distribution, Fleet sizing, Optimization Model

# Índice

|  |     |
|--|-----|
| Agradecimentos.....  | I   |
| Resumo .....   | II  |
| Abstract.....  | III |
| Índice de Figuras .....  | VI  |
| Índice de Tabelas .....  | VI  |
| Lista de Acrónimos .....   | VII |
| Capítulo 1 – Introdução .....  | 1   |
| 1.1. Contextualização e Motivação .....                                      | 1   |
| 1.2. Âmbito e Objetivos do Trabalho .....                                    | 1   |
| 1.3. Metodologia da Dissertação .....  | 2   |
| 1.4. Estrutura do Trabalho .....   | 3   |
| Capítulo 2 – Enquadramento e Caracterização do Problema.....                 | 5   |
| 2.1. O Grupo Jerónimo Martins .....  | 5   |
| 2.2. A Recheio Cash and Carry .....  | 6   |
| 2.2.1. O Projeto das Lojas Amanhecer .....                                   | 8   |
| 2.3. Caracterização do Caso de Estudo .....                                  | 8   |
| 2.3.1. Descrição do Serviço de Distribuição de Encomendas a Clientes .....   | 8   |
| 2.3.2. Caracterização dos Transportes .....                                  | 10  |
| 2.3.3. Caracterização dos Clientes .....                                     | 10  |
| 2.3.4. Avaliação de Desempenho do Serviço de Distribuição .....              | 11  |
| 2.4. Definição do Problema.....  | 12  |
| 2.5. Conclusão do Capítulo.....  | 13  |
| Capítulo 3 – Revisão da Literatura .....                                     | 14  |
| 3.1. Gestão de Cadeias de Abastecimento .....                                | 14  |
| 3.2. Gestão Logística .....  | 15  |
| 3.3. Transportes e Distribuição .....  | 15  |
| 3.3.1. Avaliação do Desempenho em Sistemas de Transporte e Distribuição..... | 17  |
| 3.4. Planeamento de Frota .....  | 19  |
| 3.4.1. Planeamento Tático .....  | 20  |
| 3.4.2. Seleção e Dimensionamento de Frota.....                               | 21  |

|   |    |
|---|----|
| 3.4.2.1. Modelos de dimensionamento de frota .....  | 22 |
| 3.5. Sistemas de previsão de procura .....  | 29 |
| 3.5.1. Previsão da Procura Utilizando o Método da Decomposição Clássica .....             | 31 |
| 3.6. Conclusão do Capítulo.....   | 32 |
| Capítulo 4 – Metodologia e Desenvolvimento do Modelo de Otimização.....                   | 34 |
| 4.1. Metodologia de Desenvolvimento .....   | 34 |
| 4.2. Definição do Problema .....  | 36 |
| 4.3. Recolha e Tratamento de Dados .....  | 37 |
| 4.3.1. Frota.....   | 38 |
| 4.3.2. Estudo da Procura .....  | 39 |
| 4.4. Construção e Desenvolvimento do Modelo de Otimização .....                           | 41 |
| 4.5. Conclusão.....   | 44 |
| Capítulo 5 – Implementação do Modelo, Resultados e Análise de Cenários Alternativos ..... | 46 |
| 5.1. Implementação do Modelo .....  | 46 |
| 5.1.1. Dados Considerados na Aplicação do Modelo .....                                    | 46 |
| 5.1.2. Resultados Obtidos .....   | 49 |
| 5.2. Complexidade Computacional do Problema .....   | 49 |
| 5.3. Análise da Variação da Procura.....  | 50 |
| 5.4. Conclusões.....  | 52 |
| Capítulo 6 – Conclusões Finais e Trabalho Futuro.....                                     | 53 |
| Referências .....   | 55 |
| Anexos.....   | A  |
| Anexo A: Lojas e Hubs Recheio .....   | A  |
| Anexo B: Modelo em GAMS.....  | B  |
| Anexo C: Distâncias entre Clientes e Hub de Leiria.....                                   | J  |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1: Fases da Metodologia na elaboração da Dissertação de Mestrado.....  | 2  |
| Figura 2: Estrutura de Negócios do grupo Jerónimo Martins, (Jerónimo Martins) .....   | 6  |
| Figura 3: Marcas Próprias Recheio .....   | 7  |
| Figura 4: Rede de Lojas Recheio, adaptado de (Recheio Cash and Carry, S.A., s.d.) .....   | 7  |
| Figura 5: Esquema do ciclo de encomenda no canal de distribuição .....  | 9  |
| Figura 6: Decomposição dos Clientes do Hub Leiria, por Volume de Vendas, por Ramo de Atividade (Recheio Cash and Carry, S.A., 2019) ..... | 11 |
| Figura 7: Percentagem de Transporte de Mercadorias por Modo de Transporte, adaptado de (Eurostat, 2019).....                              | 16 |
| Figura 8: Modelo genérico de dimensionamento de frota, adaptado de (List, et al., 2003).....  | 23 |
| Figura 9: Modelo conceptual do planeamento de frota apresentado por (Couillard, 1993).....  | 24 |
| Figura 10: Procedimento de Solução para a Resolução do FSP de (Redmer, Sawicki, & Žak, 2008) .....  | 26 |
| Figura 11: Fases de um Modelo de Otimização.....  | 35 |
| Figura 12: Funcionamento do Serviço de Distribuição de Encomendas a Clientes .....  | 36 |
| Figura 13: Evolução do Volume Mensal de Vendas para a loja Hub Leiria .....   | 40 |
| Figura 14: Divisão dos Clientes do Serviço de Distribuição em 2019 por Distrito .....   | 41 |

## ÍNDICE DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1: Número de Veículos por Transportadora.....  | 10 |
| Tabela 2: Aspetos Considerados Atualmente, pela Recheio, para Avaliação do Serviço de Distribuição .....  | 12 |
| Tabela 3: Indicadores de desempenho operacionais propostos por (Dumitrache, Kherbash, & Mocan, 2016)..... | 18 |
| Tabela 4: Indicadores de desempenho para a distribuição, segundo (Marić, Đuranović, & Nuševa, 2018) ..... | 19 |
| Tabela 5: Problema de Dimensionamento de Frota .....  | 28 |
| Tabela 6: Métodos de Previsão de Procura apresentados por (Ballou, 2004) .....                            | 31 |
| Tabela 7: Composição Atual da Frota da Loja de Leiria .....   | 38 |
| Tabela 8: Tipologia de veículos disponíveis.....  | 39 |
| Tabela 9: Detalhe das Encomendas de Clientes .....  | 47 |
| Tabela 10: Veículos Introduzidos no Modelo .....  | 48 |
| Tabela 11: Capacidade Máxima dos Clientes, em termos de Veículos.....                                     | 48 |
| Tabela 12: Resultados Computacionais da Aplicação do Modelo .....   | 49 |
| Tabela 13: Volumes Encomendados no Primeiro Cenário Alternativo .....                                     | 50 |
| Tabela 14: Volume de Encomendas para o Segundo Cenário Alternativo.....                                   | 51 |

## LISTA DE ACRÓNIMOS

**CVRP** – *Capacitated Vehicle Routing Problem*

**DSS** – *Decision Support System* ou Modelo de Apoio à Decisão

**EDI** – *Electronic Data Interchange*

**FSP** – *Fleet Sizing Problem* ou Problema de Dimensionamento de Frota

**FTL** – *Full Truck Load*

**FSVRP** – *Fleet Sizing with Mix Vehicle Routing Problem*

**GA** – *Genetic Algorithm* ou Algoritmo Genético

**GCA** – Gestão de Cadeias de Abastecimento

**HACCP** – *Hazard Analysis and Critical Control Point* ou Análise de Perigos e Controlo de Pontos Críticos

**HoReCa** – Hotéis, Restaurantes e Cafés

**KPI** – *Key Performance Indicators*

**LBS** – *Light Beam Search*

**LSP** – *Logistics Service Provider* ou Fornecedor de Serviços Logísticos

**MCVRP** – *Multi Compartment Vehicle Routing Problem*

**MILP** – *Mixed Integer Linear Programming*

**TMS** – *Transportation Management System* ou Sistema de Gestão de Transportes

**VNS** – *Variable Neighborhood Search*



## CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

Neste capítulo é realizada uma contextualização para o problema abordado nesta dissertação, seguida dos seus objetivos, metodologia proposta e estrutura do trabalho apresentado.

### 1.1. Contextualização e Motivação

O desenvolvimento económico acompanhado do aumento do consumo de bens são fatores que estimulam uma necessidade crescente de distribuir produtos, para se aproximarem mais dos pontos de consumo. Aliando isto ao aumento do nível de exigência dos consumidores, nos seus hábitos de consumo, tem-se que é necessário aproximar cada vez mais as várias etapas da cadeia de valor da distribuição.

Considerando também a competição que existe entre as várias empresas do sector comercial, é essencial que estas expandam os seus serviços – garantindo um nível aceitável de qualidade –, de forma a não só alcançar novos clientes como a manter a relação de confiança que tem com os seus clientes atuais.

As atividades de distribuição têm como principal objetivo garantir a disponibilidade dos produtos certos nos locais certos, nas quantidades certas e no momento certo, de forma a satisfazer as encomendas dos clientes da empresa. Apenas com a coordenação e integração eficiente de todos os elementos constituintes da cadeia de abastecimento é possível desenvolver esta operação. O transporte de mercadorias, em particular, é um constituinte essencial desta cadeia, sendo responsável pelo sucesso do serviço. Considerando os elevados custos que esta operação pode contabilizar, é necessário investir na sua otimização e melhoria constante.

É neste contexto que surge o presente trabalho, após a identificação, pela Direção de Operações da Recheio Cash and Carry – de algumas falhas de eficiência na sua rede logística, em particular na área dos transportes do serviço de distribuição a clientes. Neste sentido, a Dissertação aqui desenvolvida tem como finalidade estudar soluções de otimização do sistema de transportes das lojas Recheio para entregas a clientes, tendo em vista um melhor aproveitamento de todos os recursos, com redução de custos e preservação (ou até aumento) do nível de serviço.

### 1.2. Âmbito e Objetivos do Trabalho

O tratamento do problema em causa nesta dissertação de mestrado foi proposto pela Direção de Operações da Recheio Cash & Carry S.A., através do *Academic Thesis Programme* do Grupo Jerónimo Martins. Como atrás definido, este trabalho tem como finalidade estudar soluções de melhoramento do sistema de transportes das lojas Recheio para entregas a clientes como o objetivo de reduzir os custos inerentes à contratação da frota, preservando o nível de serviço prestado.

O objetivo final do presente trabalho corresponde ao desenvolvimento de um modelo que permita a análise da frota de distribuição das lojas Recheio, tendo em especial atenção a dimensão dessa mesma

frota e a sua adequação aos níveis de procura das lojas. Para a realização deste objetivo principal foram definidos os seguintes objetivos intermédios:

- Contextualização do problema a tratar neste caso de estudo;
- Caracterização da Jerónimo Martins, Recheio e do problema em estudo, com particular atenção à operação de distribuição, no que diz respeito à frota a operar atualmente e às restrições no transporte e das lojas;
- Identificação e descrição da problemática associada à operação de distribuição;
- Revisão da literatura existente sobre cadeias de abastecimento, logística, transportes e distribuição, planeamento de frota, dimensionamento de frota, indicadores de desempenho para sistemas de transportes e distribuição e métodos de previsão de procura;
- Escolha e adaptação de uma metodologia para aplicação ao problema em estudo;
- Recolha de dados e definição de pressupostos para aplicação na metodologia;
- Desenvolvimento de um modelo de dimensionamento de frota que permita uma fácil adaptação a diferentes situações encontradas nas várias lojas Recheio;
- Aplicação do modelo ao caso de estudo para obtenção de soluções, análise dos resultados obtidos e produção de recomendações.

### 1.3. Metodologia da Dissertação

Neste capítulo é apresentada a metodologia adotada no desenvolvimento da presente dissertação de mestrado e respetiva abordagem ao problema sobre o qual este trabalho se foca. Esta é constituída por seis etapas (Figura 1).

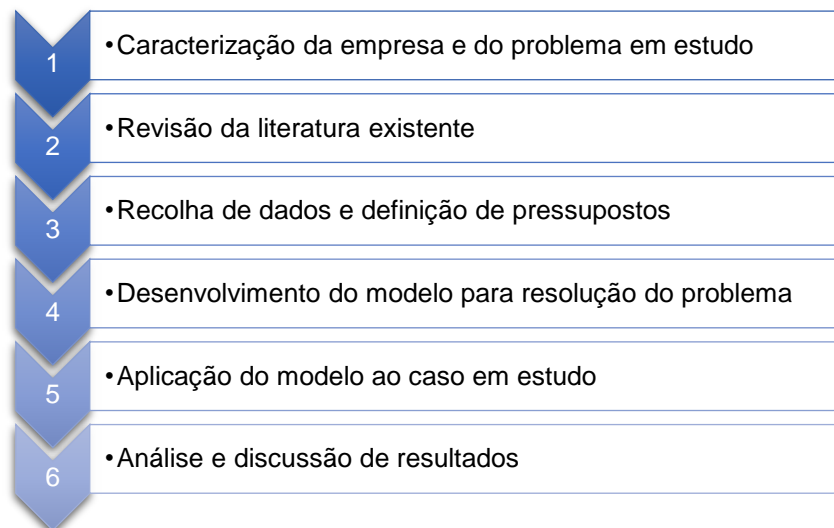


Figura 1: Fases da Metodologia na elaboração da Dissertação de Mestrado.

Na primeira fase são apresentados o Grupo Jerónimo Martins e a Recheio, nas suas mais variadas vertentes, destacando-se o seu serviço de distribuição de encomendas a clientes. Sendo assim possível apontar de forma clara e contextualizada o problema base da dissertação.

Na segunda etapa realizar-se-á a revisão da bibliografia existente com o intuito de construir uma base teórica para o caso de estudo, reunindo o material necessário para uma correta abordagem do problema.

A terceira parte baseia-se na recolha e tratamento de dados que se provem relevantes para a elaboração do modelo. Sendo que, sempre que se prove necessário, serão definidos pressupostos para viabilizar o tratamento dos dados e adequar o grau de complexidade do caso.

A quarta fase tem como objetivo a construção de um modelo de otimização do sistema de transportes em estudo, considerando os dados recolhidos e as alternativas possíveis.

A quinta etapa corresponde à aplicação do modelo desenvolvido ao caso em estudo.

Por fim, na sexta etapa, analisam-se os resultados obtidos pela aplicação do modelo. Nesta fase são identificadas as consequências, quer positivas quer negativas, associadas aos resultados obtidos e apresenta-se a melhor solução obtida.

#### 1.4. Estrutura do Trabalho

Esta Dissertação encontra-se organizada em 6 capítulos:

**Capítulo 1** – O presente capítulo, onde o tema da dissertação é brevemente introduzido. Esta introdução consiste numa contextualização genérica do problema em estudo, apresentação dos objetivos da dissertação e da metodologia a ser seguida, bem como da estrutura deste documento;

**Capítulo 2** – É feito o enquadramento geral do problema e a apresentação da empresa e dos processos envolvidos, no que diz respeito ao sistema de transportes da Recheio, bem como a caracterização do problema a tratar;

**Capítulo 3** – Dedicado à revisão da literatura existente relacionada com o tópico em estudo, com foco no problema a tratar, sendo apresentados conteúdos relativos a Gestão de Cadeias de Abastecimento, Logística, Transportes e Distribuição, Medidas de Avaliação de Desempenho e Modelos de Previsão de Procura;

**Capítulo 4** – Aqui é feita uma abordagem sistémica ao problema em estudo, de forma a levantar todos os requisitos para a recolha dos dados considerados necessários, sendo então caracterizada a metodologia aplicada ao caso em estudo e a formulação matemática do problema;

**Capítulo 5** – Neste capítulo é então implementado o modelo matemático à realidade em estudo, analisando-se os resultados obtidos desta aplicação. Serão ainda avaliadas possíveis implicações que alterações à realidade em estudo – ao fazer variar alguns parâmetros mais voláteis – possam ter na solução obtida;

**Capítulo 6** – Por fim, são apresentadas as principais conclusões do trabalho e direções para o desenvolvimento de trabalho futuro.

## CAPÍTULO 2 – ENQUADRAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

O presente capítulo tem como objetivo enquadrar e apresentar o problema a tratar. Começa-se por apresentar o grupo Jerónimo Martins e a companhia Recheio Cash & Carry S.A., depois será então caracterizado o caso em estudo e detalhado o problema que o originou.

### 2.1. O Grupo Jerónimo Martins

O grupo Jerónimo Martins é um grupo português de distribuição alimentar e retalho especializado fundado em 1792 com a abertura da sua primeira loja na zona do Chiado em Lisboa. Atualmente a Jerónimo Martins está presente em três geografias, Portugal – Pingo Doce, Recheio, Hussel e Jeronymo –, Polónia – desde 1997 através das insígnias Biedronka e Hebe – e Colômbia – Ara, desde 2013.

O grupo Jerónimo Martins tem como sua visão “Democratizar o acesso a produtos de qualidade e soluções alimentares através de uma estratégia focada na criação de valor e desenvolvimento sustentável”. (Jerónimo Martins, s.d.)

De acordo com dados de 2018, a Jerónimo Martins registou uma faturação na ordem dos 17,3 mil milhões de euros, resultado de mais de 4100 lojas com uma área de venda aproximada de 2,8 milhões de m<sup>2</sup>. (Jerónimo Martins, s.d.)

Em Portugal a Jerónimo Martins é líder no setor da distribuição alimentar como retalhista, através das mais de 400 lojas Pingo Doce – atualmente presentes em cerca de 300 cidades e localidades –, e grossista, através das 42 lojas Recheio Cash & Carry espalhadas pelo país. Enquanto agente no mercado do retalho especializado o grupo Jerónimo Martins é responsável pela rede de quiosques e cafetarias Jeronymo e pela loja de chocolates e produtos de confeitaria Hussel. Adicionalmente, nos últimos anos o grupo tem apostado no negócio Agroalimentar, em três áreas de negócio: produção de lacticínios – com a aquisição e remodelação da fábrica “Terra Alegre” em Portalegre, a funcionar desde 2018 –, agropecuária – através da insígnia “Best Farmer” e de parcerias estabelecidas com mais de 100 produtores nacionais – e aquacultura – com três unidades operacionais, duas em Portugal e uma em Espanha, onde se desenvolve a produção em *near shore* e em *offshore* de robalo e dourada.

Na Polónia, a Biedronka é a maior cadeia de supermercados do país, assumindo-se como líder no mercado de retalho alimentar, presente em mais de 1000 cidades e localidades, através de cerca de 2.900 lojas, e que conta com mais de 4 milhões de visitas diárias. Também as lojas Hebe, focadas no retalho de produtos do segmento “*health and beauty*” têm vindo a ganhar destaque, pelos seus produtos de elevada qualidade e preços competitivos.

Quanto à Colômbia, a Jerónimo Martins iniciou a sua atividade neste país no primeiro semestre de 2013 com as suas lojas de retalho de proximidade Ara, semelhantes às tradicionais lojas de bairro colombianas que empregam, em 2018, mais de 5.500 colaboradores em 4 centros de distribuição e mais de 500 lojas.

A Figura 2 apresenta a estrutura de negócios do grupo Jerónimo Martins, a nível tanto da distribuição alimentar como do retalho especializado.



Figura 2: Estrutura de Negócios do grupo Jerónimo Martins, (Jerónimo Martins)

Na área da distribuição alimentar, cada uma das insígnias tem uma direção executiva, com características semelhantes entre si, com Diretores de Área responsáveis por cada área funcional: Comercial, Recursos Humanos, Financeira, Operações e Logística, sendo que a Direção de Operações tem o detalhe de estar organizada em regiões.

## 2.2. A Recheio Cash and Carry

A cadeia Recheio Cash and Carry foi fundada em 1972 com a abertura de uma primeira loja na Figueira da Foz, com o conceito de self-service para proprietários de pequenas e médias lojas comerciais. Em 1988, como parte da sua estratégia de diversificação, o grupo Jerónimo Martins adquiriu uma participação de 60% da cadeia Recheio – que nesse momento tinha quatro lojas: Figueira da Foz, Viseu, Aveiro e Vila Real –, entrando assim no mercado de distribuição alimentar grossista – através do segmento *Cash and Carry* – como complemento ao retalho alimentar. Em 1990, foi adquirido o maior *Cash and Carry* de Portugal, o Arminho, localizado em Braga, tendo sido assim desenvolvido o negócio *Cash and Carry* no grupo Jerónimo Martins a nível nacional. Em 1992, o grupo faz uma grande viragem estratégica, apostando no canal HoReCa (Hotéis, Restaurantes e Cafés).

Atualmente as lojas Recheio têm como missão contribuir para o crescimento e sustentabilidade dos seus clientes e seus negócios, mantendo uma relação de confiança e oferecendo-lhes produtos que satisfaçam as suas necessidades com grande qualidade e a preços baixos. Apostando em quatro premissas basilares: “bons frescos, qualidade garantida”, “boa visão, grandes projetos”, “boas marcas, excelente rentabilidade” e “boas soluções, uma grande operação” (Recheio Cash and Carry, S.A., s.d.).

Em 1996 é então criada uma área de frescos nas lojas, sendo o Recheio a primeira cadeia grossista a criar uma plataforma destinada tanto ao retalho tradicional como a clientes do setor HoReCa, criando para cada setor uma marca própria:

- Masterchef – destinada aos profissionais da indústria hoteleira, com produtos de grandes formatos, é um dos principais motores de crescimento da Recheio, considerando que a indústria hoteleira representa cerca de 50% do seu negócio;
- Gourmês – lançada em 2010, corresponde a uma gama restrita de produtos desenhada para servir aos clientes do setor HoReCa, baseando-se em três princípios: qualidade, design apelativo e preços competitivos;
- Amanhecer – constituída por produtos direcionados às necessidades do consumidor final, foi desenvolvida em conjunto com o conceito de loja Amanhecer.



Figura 3: Marcas Próprias Recheio

Atualmente a Recheio tem 39 lojas de norte a sul do país e um *hub* destinado em exclusivo à distribuição, incluindo também uma loja na ilha da Madeira, e 3 plataformas de *food service*, designadas por Caterplus dedicadas aos clientes que privilegiam o serviço de distribuição para o seu negócio. A que se adiciona o departamento de Exportação, que serve mais de 30 países. Na Figura 4 e no Anexo A apresenta-se a rede de Lojas Recheio.

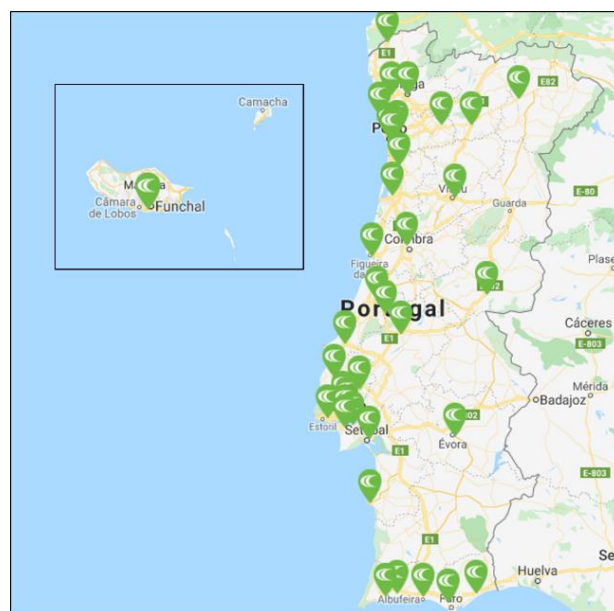


Figura 4: Rede de Lojas Recheio, adaptado de (Recheio Cash and Carry, S.A., s.d.)

Adicionalmente, a Recheio Cash and Carry foi a primeira empresa de Distribuição Alimentar em Portugal a ser certificada em *Hazard Analysis and Critical Control Point* (HACCP), respondendo aos mais exigentes planos internacionais de Higiene e Segurança Alimentar.

As lojas Recheio têm cinco grandes grupos como cliente:

- Canal HoReCa (Hotéis, Restaurantes e Cafés);
- Retalhistas, onde se incluem as lojas Amanhecer;
- Armazenistas, que operam para revenda ou como *traders* (entrega de camiões diretamente aos clientes, sem ter instalações próprias);
- Exportação, apesar da maioria da função de exportação estar concentrada na sede de exportação;
- Outros, onde se incluem Instituições Públicas, Empresas dos setores Primário e Terciário e Consumidor Final.

### 2.2.1. O Projeto das Lojas Amanhecer

Em 2009 a Recheio cria o Projeto Amanhecer, com a criação da marca própria com o mesmo nome, destinada ao negócio do retalho tradicional. Surgiu então a oportunidade de apoiar as lojas de bairro que, com a conjuntura económica do período, estavam a sentir dificuldade em permanecer no ativo. Deste modo, a Recheio desenvolveu um modelo de negócio inovador em que as mercearias e minimercados que aderiram à rede Amanhecer passaram a ter a possibilidade de melhorar o seu negócio – através do desenvolvimento de uma imagem mais apelativa e do acesso facilitado às marcas próprias Recheio e a condições de compra exclusivas, partilha do *know-how* do líder de mercado da distribuição grossista e a possibilidade de desenvolvimento de economias de escala, por exemplo – e a Recheio tem a oportunidade de desenvolver ainda mais a relação com os seus clientes do retalho tradicional e o aumento da sustentabilidade das vendas a longo-prazo.

## 2.3. Caracterização do Caso de Estudo

Neste trabalho pretende-se estudar soluções que permitam o dimensionamento ótimo da frota para o serviço de distribuição das lojas Recheio. Para uma correta identificação e análise das soluções a implementar é essencial a caracterização pormenorizada do problema em estudo. Nesse sentido, nesta secção – bem como na secção 4.2. – é descrito o caso em estudo, começando-se por descrever o funcionamento do Serviço de Distribuição de Encomendas a Clientes, seguido da caracterização das métricas, utilizadas pela companhia, que apoiam o desenvolvimento deste serviço.

### 2.3.1. Descrição do Serviço de Distribuição de Encomendas a Clientes

A Recheio disponibiliza aos seus clientes a possibilidade de contratação de um serviço de distribuição de encomendas, através de um canal de vendas alternativo, o canal de distribuição, a partir do qual os clientes podem enviar diretamente para a loja (ou *hub*) em que se encontrem registados uma encomenda que será processada pelos operadores de *picking* da loja e, quando completa ou quando acordado com o cliente, será disponibilizada aos mesmos nas instalações do cliente. Este processo é gerido na sua totalidade pela companhia, com o apoio de *softwares* de gestão de informação.



Para efetivar o serviço de distribuição de encomendas, cada loja Recheio tem ao seu dispor uma frota, na sua maioria composta por viaturas contratadas a várias empresas – a Recheio tem também uma frota própria de reduzidas dimensões –, com diferentes características e dimensões de forma a responder às restrições das instalações dos clientes e às necessidades de transporte das mercadorias – nomeadamente no que diz respeito a condições de refrigeração.

A gestão de rotas é definida por um *Transportation Management System* (TMS) instalado, que possibilita a gestão integrada de entregas, gestão de condutores e planeamento de rotas otimizado com base em três elementos:

- Localização e dias de entrega dos clientes;
- Quantidade de paletes executadas;
- Viaturas disponíveis na loja e respetivas capacidades – tanto a nível de peso como ao número de paletes transportadas.

A Figura 5 ilustra o funcionamento do serviço de distribuição, desde a colocação de uma encomenda por parte do cliente até à descarga da encomenda nas instalações do cliente.

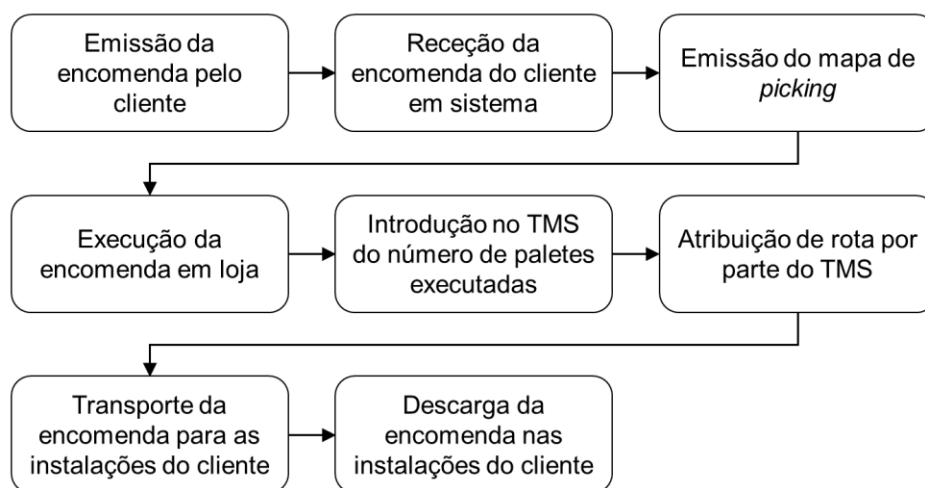


Figura 5: Esquema do ciclo de encomenda no canal de distribuição

As encomendas dos clientes podem ser recebidas, nas lojas, através de quatro meios de comunicação: *e-mail*, telefone, *Electronic Data Interchange* (EDI) e *Call-Center*.

Em algumas lojas, a emissão do mapa de picking é feita tendo como dados a localização dos produtos na loja, através de um sistema de coordenadas.

A programação das rotas é feita com os dados do cliente, em sistema, sendo possível utilizar um veículo para servir mais que um cliente numa viagem, tendo em linha de conta o número de paletes requeridas e a capacidade do veículo atribuído, pelo TMS, à rota.

Em 2019, as vendas resultantes do serviço de distribuição representaram 24,3% das vendas globais da Recheio, sendo que este número tem vindo a crescer ao longo dos anos. O serviço de distribuição tem um peso de 2,9% nos custos de distribuição e 0,8% dos custos totais da Recheio, também segundo dados de 2019. Os custos podem parecer baixos, no entanto é importante considerar que a Recheio opera na sua essência, pela venda em loja que acaba por ter custos muito mais elevados – devido, por exemplo, ao elevado número de operadores de loja que as lojas necessitam para a sua operação e aos custos relacionados com as instalações físicas das lojas.

### 2.3.2. Caracterização dos Transportes

Os transportes têm um papel fundamental no serviço de distribuição, uma vez que só assim são disponibilizadas as encomendas aos clientes. É então necessário garantir o correto funcionamento dos transportes, de forma a assegurar que as mercadorias são encaminhadas para os clientes corretos, no momento certo e nas quantidades previstas.

Atualmente, diferentes lojas lidam com diferentes transportadoras, muito dependente da localização geográfica, e também com o fim de não haver uma dependência relativamente a apenas uma transportadora. A Tabela 1 apresenta distribuição dos veículos da Recheio por empresa transportadora, a Recheio neste momento recorre a 4 empresas de transporte para contratação de veículos.

*Tabela 1: Número de Veículos por Transportadora.*

| Transportadora | Número de Lojas | Número de Veículos |
|----------------|-----------------|--------------------|
| Empresa A      | 19              | 62                 |
| Empresa B      | 11              | 41                 |
| Empresa C      | 3               | 5                  |
| Empresa D      | 2               | 3                  |

Devido à variação do tipo de clientes, e conseqüentemente do tipo de encomendas por eles feito, consoante a loja Recheio, tem-se que o serviço de distribuição não é uniforme e a frota de cada loja deverá ser analisada em detalhe.

### 2.3.3. Caracterização dos Clientes

Atualmente, as lojas Recheio servem diversos tipos de clientes no seu serviço de distribuição, desde pequenos restaurantes a mercearias de maior dimensão – como é o caso de alguns dos clientes Amanhecer. O gráfico abaixo ilustra a decomposição média de clientes, de acordo com o volume de vendas em 2019, para a Recheio.

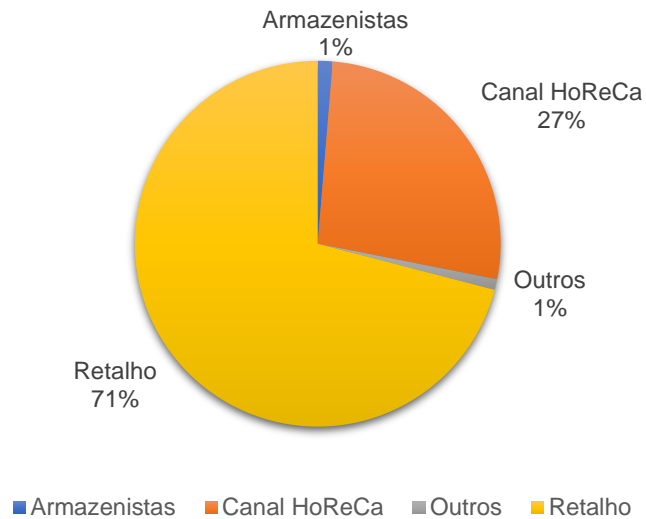


Figura 6: Decomposição dos Clientes do Hub Leiria, por Volume de Vendas, por Ramo de Atividade (Recheio Cash and Carry, S.A., 2019)

Recentemente a Recheio dividiu o seu serviço de distribuição entre as lojas Recheio e as plataformas logísticas Caterplus, sendo que as plataformas Caterplus estão responsáveis pela distribuição dos clientes do canal HoReCa e as lojas Recheio estão responsáveis pela distribuição dos restantes canais, entre os quais se destaca o retalho – em particular as lojas Amanhecer. Apenas uma loja Recheio – a loja de Leiria, na sua componente “Hub Leiria” – continua a ser responsável por servir, também, clientes do canal HoReCa.

#### 2.3.4. Avaliação de Desempenho do Serviço de Distribuição

Para avaliação do seu serviço de distribuição, a Recheio considera um conjunto de aspetos que se apresentam divididos segundo a informação constante da Tabela 2 , e identificados pela atividade cuja execução permite a sua avaliação.

Tabela 2: Aspectos Considerados Atualmente, pela Recheio, para Avaliação do Serviço de Distribuição

| Categoria              | Ação   | Observações   |
|------------------------|--|---|
| Gestão de stocks       | Inventário semestral em loja   | Feito por uma equipa externa  |
|                        | Inventário mensal, em loja, aos artigos mais vendidos na companhia   | Feito pelos colaboradores da loja   |
|                        | Análise de ruturas de stock  | Feito pela gerência da loja   |
| Execução de encomendas | Análise de produtividade   | Feito, atualmente, apenas no Hub de Leiria  |
|                        | Análise do nível de serviço  | Feita, atualmente, apenas às entregas para as lojas Amanhecer                               |
| Transporte             | O uso do TMS permite a otimização da gestão da frota, reduzindo custos e melhorando a qualidade do serviço prestado ao cliente | -   |
|                        | Análise mensal ao negócio de Distribuição  | A nível de vendas, custos de transporte e adequação e estado das viaturas para o transporte |

Estas atividades de caracterização do desempenho, mesmo que não sejam possíveis de quantificar, são utilizadas para a avaliação do desempenho do serviço de distribuição de encomendas a clientes, de forma a permitir o seu desenvolvimento e melhoria.

## 2.4. Definição do Problema

Uma vez explicado o serviço de distribuição de encomendas a clientes e identificados os seus objetivos e os aspectos considerados pela empresa para a avaliação do serviço, podemos destacar como pontos centrais deste problema o aumento do nível de serviço prestado aos clientes e a minimização de custos.

O serviço de distribuição assume uma grande importância na relação de proximidade desenvolvida com os clientes – um dos pilares da companhia – e a adequação da frota das lojas ao serviço é um ponto crítico para melhorar esta relação. Para além disso, é importante ter em consideração os custos associados ao transporte deste serviço – que correspondem a 2,9% dos custos totais de distribuição, de acordo com dados referentes a 2019.

De modo a melhor servir os seus clientes, a Recheio pretende estudar a dimensão e estrutura da sua frota de distribuição. Este estudo deverá ter uma forma que permita uma implementação simples, do ponto de vista operacional, e com o mínimo de custos adicionais, do ponto de vista económico.

De forma a poder dimensionar a frota será necessário ter em linha de consideração vários fatores:

- Capacidade máxima do veículo que pode visitar cada cliente, e que pode fazer parte da frota da Recheio;
- O transporte de mercadorias com necessidades térmicas especiais – como frescos e congelados – requer a utilização de camiões que permitam a criação desses ambientes<sup>1</sup>;
- Os valores da procura considerados no estudo serão baseados na previsão com análise de dados históricos – tendo em especial atenção a sazonalidade e tendências que estes dados apresentem.

É neste contexto que surge a necessidade de realizar este trabalho, em que se pretende criar um procedimento de dimensionamento para a frota de distribuição das lojas Recheio, com o objetivo principal de melhorar o serviço prestado aos seus clientes, com minimização de custos.

A falta de ajustamento da frota ao nível de procura resulta, em períodos de pico de procura, num atraso da entrega das encomendas aos clientes – que perdem confiança na relação que têm com a empresa – e, nos períodos de menor procura, em custos desnecessários, relativos à contratação excessiva de veículos.

Devido à sua total dedicação ao serviço de distribuição de encomendas a clientes, para a construção da metodologia de dimensionamento da frota, serão utilizados dados referentes à loja de Leiria, na sua componente “Hub Leiria”.

## 2.5. Conclusão do Capítulo

Neste capítulo foi apresentada a companhia – tanto o grupo Jerónimo Martins como a cadeia Recheio Cash and Carry – e o seu serviço de distribuição de encomendas a clientes, com particular atenção ao processo de encomenda – uma vez que este condiciona o transporte das encomendas até ao cliente – e aos aspetos considerados pela empresa para avaliar o desempenho na prestação deste serviço.

Tendo por base a informação destes processos, são identificadas variáveis do problema que necessitam de ser alvo de maior desenvolvimento, como a dimensão dos veículos que existem ao dispor da Recheio – oferecidos pelos prestadores de serviços logísticos –, a fim de serem identificados os veículos mais apropriados para o volume de encomendas recebidas pelas lojas, e a avaliação quantitativa e, quando impossível a sua quantificação, qualitativa dos indicadores de desempenho considerados pela empresa, havendo a possibilidade de desenvolver os mesmos de forma a que estes se tornem mais claros e representativos do desempenho do serviço de distribuição de encomendas a clientes – especialmente no âmbito da utilização da frota, à luz do foco deste trabalho.

---

<sup>1</sup> Até agora o transporte de mercadorias com necessidades térmicas particulares era garantido com recurso a malas térmicas transportadas em veículos sem possibilidade de manipulação de atmosfera no seu interior.

## CAPÍTULO 3 – REVISÃO DA LITERATURA

Com o objetivo de melhor compreender os conceitos subjacentes ao problema apresentado no Capítulo 2 do presente trabalho, neste capítulo é feito um enquadramento das principais definições, metodologias, conceitos e resultados de investigação prévia. Os tópicos que se consideram relevantes para este trabalho são gestão de cadeias de abastecimento (GCA), gestão logística, transportes e distribuição, planeamento de frota e sistemas de previsão de procura.

Para a elaboração desta revisão bibliográfica, a identificação de artigos foi elaborada através de uma pesquisa estruturada com palavras-chave em motores de pesquisa de publicações como o Google Scholar, Elsevier ScienceDirect e ResearchGate, sendo os dois últimos os mais utilizados na pesquisa de fontes da bibliografia analisa, ao permitir livre acesso à comunidade do Instituto Superior Técnico. As principais palavras-chave utilizadas foram: “*supply chain*”, “*logistics*”, “*fleet sizing*”, “*fleet dimension*”, “*fleet planning*”, “*performance measurement*”, “*transportation KPIs*”, “*fleet optimization*”, obtendo-se assim uma base para a revisão bibliográfica. Foram então selecionados artigos de interesse para o trabalho em causa, de forma a serem então analisados em maior detalhe.

### 3.1. Gestão de Cadeias de Abastecimento

O *Council of Supply Chain Management Professionals* define que “GCA engloba o planeamento e gestão de todas as atividades relativas a *sourcing* e *procurement*, transformação, e todas as atividades de gestão de logística. GCA também inclui a coordenação e colaboração com parceiros, que podem tomar a forma de fornecedores, intermediários, fornecedores de serviços logísticos e clientes” (*Council of Supply Chain Management Professionals*, s.d.).

(Simchi-Levi, Kamisky, & Simchi-Levi, 2000) define GCA como “um conjunto de abordagens utilizadas para integrar eficientemente fornecedores, produtores, armazéns e lojas, de forma que a mercadoria seja produzida e distribuída nas quantidades certas, no local certo e no tempo certo, minimizando custos e ao mesmo tempo satisfazendo os requisitos de nível de serviço”. A maximização da rentabilidade conseguida através de melhoria ao nível da eficiência e da adição de valor ao longo da cadeia que garantem a satisfação dos clientes é resultado da eficácia das relações entre os vários intervenientes ao longo da cadeia de abastecimento (Stock & Boyer, 2009).

Deste modo, é seguro afirmar que a GCA permite suportar de forma adequada a tomada de decisão, por meios de um planeamento adequado.

Segundo (Cristini, 2015), a GCA pode ser dividida em três áreas fundamentais: aprovisionamento/compras, produção e transporte, incluindo decisões sobre as matérias-primas a utilizar, quantidades a produzir, níveis de inventário, configuração da rede de distribuição e transporte de todos os materiais que necessitem de ser movimentados.

A GCA engloba todas as atividades da Gestão Logística, que será abordada em maior detalhe na secção “3.2. Gestão Logística”.

## 3.2. Gestão Logística

O *Council of Supply Chain Management Professionals* define a gestão logística como “a parte da gestão de cadeias de abastecimento que planeia, implementa e controla o eficiente e eficaz fluxo direto e inverso de armazenamento de produtos, serviços e informação desde o local de origem até ao local de consumo, onde serão satisfeitas as necessidades dos consumidores” (*Council of Supply Chain Management Professionals*, s.d.). Deste modo, são consideradas como atividades chave do processo logístico: serviço ao cliente, planeamento da procura, gestão de inventário, manuseamento de material, processamento de encomendas, *packaging*, localização de fábricas e armazéns, logística inversa, armazenamento e transporte (Lambert, Stock, & Ellram, 1998). Destas atividades, este capítulo, focar em maior detalhe o planeamento da procura e o transporte.

Também segundo (Lambert, Stock, & Ellram, 1998), a logística tem um papel fulcral na melhoria do desempenho económico das empresas, permitindo a diferenciação entre empresas que oferecem um serviço ou produto semelhante, quando associada a uma filosofia que premeia a orientação para o cliente e para a melhoria do serviço prestado, com a oferta dos produtos certos, no local e momento certos, na quantidade certa e nas condições esperadas, ao menor custo possível – tanto para os clientes como para a empresa.

Atualmente, as empresas servem-se desta nova perspetiva sobre a logística para aumentar os seus lucros, diferenciando-se da sua competição pela oferta de serviços adicionais, que permitem melhorar a experiência dos seus clientes – aproximando-se do elevado grau de exigência que é pedido. Contudo, é de considerar que ao adicionar estes serviços adicionais, a cadeia de abastecimento aumenta significativamente o seu grau de complexidade, criando desafios à gestão de operações e logística das empresas.

## 3.3. Transportes e Distribuição

O estado da economia, os bens consumidos, a mobilidade e flexibilidade e a diversidade de serviços são diretamente influenciados pelo transporte e distribuição, uma vez que, com o aumento dos níveis de consumo da população, é necessário garantir que os produtos chegam aos locais apropriados para o consumidor final.

A operação de transporte assume assim um papel principal numa rede logística, ao ser responsável pela movimentação dos produtos ao longo da cadeia de abastecimento, desde o seu ponto de origem até ao seu ponto de consumo – de forma a aproximar dois pontos geograficamente separados –, tendo esta operação um impacto direto no custo final de um produto e, indiretamente na despesa nacional do país (Crainic & Laporte, 1997).

(Redmer, Sawicki, & Žak, 2008) definem o processo de transporte como o conjunto de atividades que são responsáveis pelo movimento de bens entre origens e destinos, com recurso a uma frota de veículos, através de um sistema de transportes.

A operação de distribuição tem como objetivo principal garantir que os produtos certos estão disponíveis no local certo, no momento certo, na quantidade adequada e em boas condições, de forma a satisfazer a procura dos clientes. Deste modo, o transporte tem um papel muito significativo no nível de serviço prestado ao cliente – cuja maximização é o principal objetivo das empresas (Lambert, Stock, & Ellram, 1998).

Considerando que os custos das operações de transporte podem corresponder a mais de um terço dos custos logísticos totais de uma empresa, é seguro afirmar que estas atividades têm um impacto significativo no desempenho de toda a estrutura logística (Heap, Kierstan, & Ford, 1998).

A implementação de mudanças estratégicas relativas às operações de transporte e distribuição são imprescindíveis para reduzir custos e aumentar o nível de serviço prestado ao cliente sem que estas tenham um impacto negativo no fluxo total da cadeia de abastecimento.

De acordo com a informação disponibilizada por (Eurostat, 2019), quer a nível Europeu como a nível nacional, o transporte rodoviário foi o meio de transporte mais utilizado na distribuição de mercadorias, representando cerca de 75% a nível europeu e perto de 86% a nível nacional, como mostra a Figura 7.

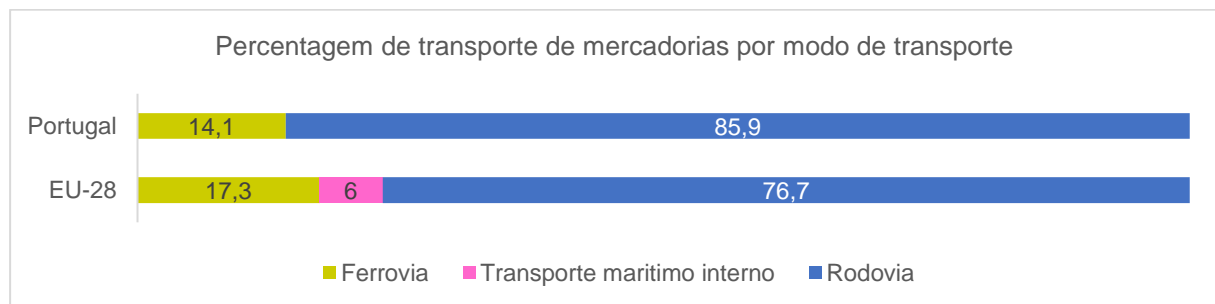


Figura 7: Percentagem de Transporte de Mercadorias por Modo de Transporte, adaptado de (Eurostat, 2019)

Considerando que há uma tendência para estes valores aumentarem, devido à flexibilidade, velocidade e fiabilidade que o transporte rodoviário permite, é de realçar a importância de um adequado planeamento de frotas de veículos.

A redução de custos e tempos de viagem, a correta entrega de mercadorias, com a menor variabilidade do serviço prestado, devido à disponibilização de transporte sem falhas, minimizando atrasos, danos e perdas, bem como a disponibilidade física de armazéns e locais de entrega e *pick up* são fatores vitais ao funcionamento adequado de um sistema logístico (Kasilingam, 1998).

Alguns dos problemas mais importantes no planeamento logístico, relativos a sistemas de transportes, estão relacionados com o dimensionamento da frota, planeamento de rotas, planeamento de recursos humanos, design do sistema e localização de hubs e terminais (Kasilingam, 1998), sendo o problema de dimensionamento de frota (FSP) um dos mais importantes no planeamento de frota, ao focar-se em equilibrar a oferta à procura no sistema de transportes (Redmer, Sawicki, & Žak, 2008).



### 3.3.1. Avaliação do Desempenho em Sistemas de Transporte e Distribuição

Para poder definir estratégias futuras a seguir, é essencial saber o estado atual do sistema, tendo em mente o princípio essencial da gestão, segundo o qual “Não é possível gerir se não for medido o estado do sistema”, (Hamel & Prahalad, 1994) a que os autores adicionam que “se não se medir (o estado do sistema) não é possível melhorá-lo”.

Com o aumento do volume de mercadorias transportadas, cresce também a necessidade de medir o desempenho das organizações na cadeia de abastecimento. Considerando a atividade de transporte e distribuição como uma atividade central na cadeia de abastecimento, é fundamental medir a sua eficiência não só em termos financeiros – com base em custos –, como também noutros fatores como fatores físicos, ecológicos ou históricos, que tenham igual relevância na distribuição física de bens (Marić, Đuranović, & Nuševa, 2018).

O *DAC Glossary of Key Terms in Evaluation* define um indicador como “a variável ou fator quantitativo ou qualitativo que proporciona um meio simples e fiável de medir resultados, refletir alterações relativas a uma intervenção no sistema ou para ajudar a avaliar o desempenho de uma entidade de desenvolvimento” e um indicador de desempenho como “uma variável que permite verificar alterações devidas a intervenções no sistema ou mostrar resultados comparativamente ao planeado” (OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development, 2002).

Segundo (Pinheiro de Lima, Gouvea da Costs, Angelis, & Munik, 2013) o desenvolvimento de *KPIs* tem-se relevado essencial para o aumento da produtividade e competitividade organizacional de qualquer empresa, independentemente do mercado ou sector em que esta opera.

(Gunasekaran, Patel, & Tirtiroglu, 2001) apresentam que a necessidade de estudar em detalhe as métricas de uma cadeia de abastecimento se deve a dois fatores principais: a falta de uma abordagem balanceada – uma vez que diferentes gestores e investigadores se focam apenas em métricas financeiras ou em métricas operacionais, sendo necessário formular um balanço entre estas duas categorias de métricas, de forma a poder verdadeiramente medir o desempenho de uma organização e poder desenvolvê-lo – e a falta de uma distinção clara entre os vários níveis de métricas – nível estratégico, tático e operacional.

Para estes autores, o ambiente dinâmico, de constante mudança e evolução, da distribuição a clientes dificulta a análise do seu desempenho. Deste modo, propõem a adoção de uma visão ampla do sistema, em que o seu desempenho é medido como um todo. Aspectos centrais no aumento do desempenho de uma cadeia de abastecimento, através do serviço de distribuição, são baseadas na redução do *lead time* e na entrega de encomendas no momento certo, em que a sua quantificação permite medir o nível de serviço prestado aos clientes, sendo o nível de satisfação dos clientes o reflexo do número de encomendas corretamente realizadas e da flexibilidade que o serviço de entregas permite, relativamente às necessidades dos clientes.

(Konsta & Plomaritou, 2012) abordam os indicadores de desempenho no contexto altamente competitivo da indústria de distribuição marítima grega. No seu estudo, elaboram que a avaliação

financeira é uma medida ineficiente quando se quer distinguir empresas de excelência, sendo que a avaliação de desempenho deve ser efetuada tendo em consideração a visão *SMART*<sup>2</sup> – normalmente aplicada no contexto de formulação de objetivos estratégicos –, e baseando-se em cinco aspetos fundamentais: objetivos estratégicos, relação entre custos e eficiência, resultados do serviço, qualidade do serviço e facilidade de acesso ao serviço.

(Dumitrache, Kherbash, & Mocan, 2016) referem a importância da avaliação do desempenho do sistema de transportes, em particular quando considerada em ambientes económicos altamente dependentes do transporte inter-regional de mercadorias – como o caso da economia romena. Um indicador de transporte é uma medida que representa o estado de um sistema de transportes numa certa dimensão – como a dimensão social, económico-financeira ou ambiental. Segundo estes autores, os indicadores de desempenho a considerar para a avaliação de um sistema de transportes dividem-se em indicadores económicos e indicadores operacionais, sendo que os indicadores operacionais se dividem como apresenta a Tabela 3.

*Tabela 3: Indicadores de desempenho operacionais propostos por (Dumitrache, Kherbash, & Mocan, 2016)*

| Classe do indicador operacional | Indicadores  |
|---------------------------------|--|
| Utilização da frota             | Coeficiente de utilização da frota                                     |
|                                 | Coeficiente de uso do dia de trabalho                                  |
| Utilização da viagem            | Medição de tempo de transporte ativo                                   |
|                                 | Tempo de viagem médio por dia  |
| Capacidade do transporte        | Quantidade de carga transportada por cada veículo                      |
|                                 | Coeficiente de utilização do veículo                                   |
| Velocidade                      | Velocidade média   |
|                                 | Velocidade média em operação (inclui as operações de carga e descarga) |

(Marić, Đuranović, & Nuševa, 2018) ao analisarem o transporte rodoviário de bens de consumo entre centros logísticos e retalhistas nos Balcãs, devido a alterações estruturais no setor retalhista que obrigaram a um abastecimento contínuo dos retalhistas, consideraram que primeiro se devem ter em conta quais os aspetos mais abrangentes que devem ser controlados, e apenas depois se deve detalhar os indicadores para medição desses aspetos. Assim, consideraram a existência de cinco grupos principais de indicadores, para um sistema de distribuição, como esquematizado na Tabela 4.

<sup>2</sup> SMART – Specific, Measurable, Achievable, Relevant e Timely

Tabela 4: Indicadores de desempenho para a distribuição, segundo (Marić, Đuranović, & Nuševa, 2018)

| Classe de indicador                | Indicadores  |
|------------------------------------|--|
| Custo dos transportes              | Custo por quilómetro                                 |
|                                    | Custos gerais de operação                            |
|                                    | Custos de seguro (para cargas e veículos)            |
|                                    | Custos de sistemas de informação                     |
|                                    | Custos de Recursos Humanos                           |
| Qualidade da entrega               | Tempo total de entrega                               |
|                                    | Tempos de carga e descarga                           |
|                                    | Entrega das encomendas no momento acordado           |
|                                    | Percentagem de perdas e danos nas entregas           |
|                                    | Rácio de utilização da capacidade dos veículos       |
|                                    | Número de erros numa entrega                         |
| Estado de conservação dos veículos | Reparação e manutenção dos veículos                  |
|                                    | Idade dos veículos                                   |
|                                    | Defeitos dos veículos                                |
|                                    | Investimento em veículos novos                       |
| Relação com os clientes            | Comunicação com os clientes                          |
|                                    | Relação de longo prazo com os clientes               |
|                                    | Número de grandes clientes                           |
|                                    | Número de clientes perdidos por atrasos nas entregas |
| Fatores institucionais             | Infraestruturas e acessos                            |
|                                    | Custos com portagens e outras taxas                  |
|                                    | Segurança no transporte                              |
|                                    | Adequação aos standards                              |

### 3.4. Planeamento de Frota

O aumento do volume de carga, o crescente desejo de proteger o ambiente, o aumento do custo dos combustíveis e o aumento do nível de serviço a prestar ao cliente fazem com que o planeamento da frota seja uma tarefa central no serviço de distribuição de uma empresa. Assim, as transportadoras – contratadas por empresas – têm de oferecer serviços de alta qualidade, com um elevado nível de confiança de modo a satisfazer as necessidades dos seus clientes, considerando a crescente competição que se apresenta no ambiente dos serviços de transporte e distribuição. A agregação de produtos com diferentes destinos e necessidades – como ambientes de temperatura controlada – no circuito de distribuição, aliada ao conjunto de características próprias que cada cliente tem para a receção e descarga dos bens, enfatizam a necessidade, e complexidade, do planeamento da frota (Wieberneit, 2007).

De modo a fazer face ao nível de incerteza associado ao planeamento do serviço de distribuição, é necessário suportar a atividade em sistemas de informação de apoio à gestão de frotas, que permitam,

entre outros aspetos, a atuação em tempo real sobre qualquer situação anómala ou irregular que ocorra. Estes sistemas podem oferecer, de forma geral, várias ferramentas como análise de custos, relatórios relacionados com o cumprimento da legislação e regulamentos por parte dos veículos, historial e calendarização de manutenções. Permitindo assim garantir uma melhor utilização dos recursos disponíveis, associada à diminuição dos custos de transporte e ao aumento do nível de serviço – que, por sua vez, possibilita a criação de uma vantagem competitiva face aos concorrentes (Rushton, Croucher, & Baker, 2006).

De acordo com (Ballou, 2004) e (Wu, Hartman, & Wilson, 2005) existem três níveis de planeamento de um sistema de transportes, que podem ser distinguidos em função do seu horizonte temporal e tipo de decisões que envolvem: estratégico, tático e operacional, estando estes níveis intimamente relacionados do ponto de vista económico. O nível estratégico trata do planeamento a longo prazo, sendo responsável pela tomada de decisões relativas à estrutura física do sistema – como a localização dos terminais e centros de distribuição, as necessidades de recursos humanos para a operação e a definição de mercados e nível de serviço a prestar aos clientes. O nível tático, correspondente ao médio prazo, centra-se no projeto da rede de transporte, quanto ao dimensionamento da frota de distribuição e à alocação eficiente dos recursos disponíveis para melhorar o desempenho do sistema. O nível operacional, focado no curto prazo corresponde à adaptação dinâmica – devido a parâmetros com elevado nível de incerteza – do serviço às encomendas recebidas dos clientes, considerando assim a determinação dos percursos dos veículos e o controlo da expedição.

No âmbito do trabalho desenvolvido neste documento, apenas será abordado o planeamento tático, uma vez que o objetivo da Dissertação contempla o dimensionamento da frota de distribuição das lojas, não considerando nem a atividade de planeamento de rotas – que já é efetuado através de um sistema instalado na empresa – nem a localização de centros logísticos para o serviço de distribuição. Problemas de dimensionamento de recursos de transporte, como veículos, enquadram-se no âmbito do dimensionamento de frota.

#### 3.4.1. Planeamento Tático

Quando temos que cada veículo é utilizado para satisfazer várias encomendas, de vários clientes, surge a necessidade de estabelecer serviços regulares e ajustar as suas características – como rota, tipo de veículo, capacidade e velocidade média – para melhor satisfazer o maior número de clientes possível. Assim, a nível externo, a transportadora apresenta à empresa um conjunto de serviços, cada um com diferentes especificações operacionais, enquanto a nível interno a empresa define um conjunto de regras que afetam as várias componentes do sistema, procurando a adequada alocação e utilização dos recursos existentes, bem como o melhor *trade-off* entre os custos associados à operação de distribuição e o nível de serviço prestado aos clientes. O resultado deste planeamento é o plano de transportes, que serve como base para a determinação das políticas que orientam as operações diárias e que favorece a resolução de situações irregulares, que necessitem a intervenção da empresa para a sua resolução.

Genericamente, (Crainic, 2000) apresenta que as decisões tomadas a este nível podem ser classificadas em quatro aspetos principais:

1. Seleção do serviço: as rotas nas quais os serviços serão oferecidos e as características de cada serviço. Decisões como a frequência de serviço ou o seu agendamento fazem parte deste passo;
2. Distribuição de tráfego: cada encomenda tem de ser movida desde o seu ponto de origem até ao seu ponto de consumo (destino). Os serviços usados, os terminais por onde vão passar e as operações a realizar nesses terminais são conhecidos neste ponto;
3. Políticas dos terminais: regras genéricas que especificam para cada terminal as atividades de consolidação a executar;
4. Estratégias gerais de balanceamento vazio: indica como reposicionar os veículos vazios de forma a atender à procura esperada para o próximo período.

Sendo ainda que as decisões de transporte feitas ao nível do planeamento tático do sistema são feitas com base em dados agregados (Kasilingam, 1998).

### 3.4.2. Seleção e Dimensionamento de Frota

Na maioria dos casos, a gestão e planeamento apropriados da frota resultam na eficiência económica de um sistema de transportes e potenciam a satisfação dos consumidores, sendo uma das atividades principais do planeamento de frota a determinação da sua dimensão e composição (Redmer, Sawicki, & Žak, 2008).

Para determinar a quantidade e tipologia dos veículos necessários à realização da procura do serviço de transporte ao mínimo custo e com o nível de serviço esperado é necessário resolver o dimensionamento da frota. Enquanto o aumento da dimensão da frota aumenta o nível de serviço em termos de *timing* e capacidade de resposta – mas diminui o rácio de utilização dos veículos –, o subdimensionamento da frota resulta em penalizações para a empresa, como perda de confiança por parte dos clientes, podendo em casos extremos resultar no abandono dos clientes (Kasilingam, 1998).

No momento de seleção do tipo de veículo rodoviário, múltiplos fatores devem ser tomados em consideração, como os que são enumerados por (Rushton, Croucher, & Baker, 2006):

1. Características do produto: dimensão, peso e suscetibilidade a dano;
2. Método de carga e de entrega: manualmente ou com recurso a algum tipo de equipamento de manuseamento de carga;
3. Restrições nos pontos de expedição e entrega: dimensão das vias e restrições de circulação;
4. Vias de passagem: autoestradas, estradas urbanas, estradas rurais ou zonas de declive acentuado com fraca acessibilidade;
5. Tipo de combustível: gasolina, gasóleo, gás natural ou eletricidade – quer a nível do preço do combustível como das restrições de circulação que lhe são inerentes;
6. Especificidades legais: seguros, limites de carga, dimensões do veículo e equipamentos obrigatórios;

#### 7. Segurança do veículo: dispositivos de guarda e serviços de rastreamento.

A análise supramencionada permite que o investimento na frota a adotar corresponda às necessidades da empresa e dos seus clientes. Após esta análise, os autores consideram que é necessário planejar, controlar e gerir os componentes associados aos transportes indicados de seguida:

- Ativos: uma vez que é feito um investimento na aquisição – ou contratação – de ativos de elevado custo, nos veículos e condutores, o principal objetivo é manter esses ativos em atividade durante toda a sua vida útil – ou durante a vigência do contrato;
- Serviço Prestado: garantir que as necessidades do cliente são atendidas a tempo e no local adequado, de forma a manter um nível de serviço elevado;
- Custos: além dos custos de aquisição dos veículos, é necessário ter em consideração outros custos como os relacionados com o consumo de combustível ou a manutenção do veículo;
- Manutenção: deve ser concretizado um controlo contínuo do estado dos veículos como forma de prevenir e evitar possíveis avarias que se podem traduzir em perdas de nível de serviço e aumentos nos custos de operação;
- Gestão dos condutores: controlar o desempenho e horas de trabalho dos condutores;
- Substituição de viaturas: determinar quando devem ser substituídos os veículos, com vista à minimização de custos e tempos de manutenção;
- Tracking e Segurança: identificar a melhor forma de promover a eficiência e segurança das operações através da integração de sistemas de informação.

Mesmo no caso em que não se trata de uma frota própria, é possível considerar que estes critérios devem ser considerados na contratação de frota a operadores logísticos, na medida em que a contratação de frota ocorre a médio-longo prazo e tem por base os mesmos objetivos de utilização eficiente dos recursos de forma a garantir o melhor nível de serviço possível aos clientes.

Considerando o horizonte temporal desta decisão de planeamento, e de forma a conseguir dimensionar a frota de forma adequada, um dos primeiros passos a seguir corresponde à previsão da procura (Pinto, Lagorio, & Golini, 2018). Na secção 3.5. serão abordados modelos de previsão de procura, que se adaptem à complexidade requerida para o planeamento tático da frota.

#### **3.4.2.1. Modelos de dimensionamento de frota**

No campo do desenvolvimento de modelos de dimensionamento de frota, muitos autores desenvolveram métodos alternativos para resolver problemas com diferentes características e particularidades. Apesar da maioria dos trabalhos presentes na literatura se referir a casos em que a empresa tem posse da frota, contrariamente ao caso em estudo, neste capítulo serão referenciados esses estudos, considerando possível a sua adaptação para o caso foco deste estudo.

De acordo com (Redmer, Sawicki, & Žak, 2008), os modelos de dimensionamento de frota podem ser divididos em três abordagens principais:

- Modelos analíticos;

- Modelos de simulação;
- Modelos de otimização.

Considerando o longo tempo útil dos veículos, há uma forte componente de incerteza tanto a nível da procura que tem de ser satisfeita pelo serviço como a nível da produtividade dos veículos e condutores (List, et al., 2003). Genericamente, um modelo de dimensionamento de frota pode ser representado pelo esquema constante da Figura 8.

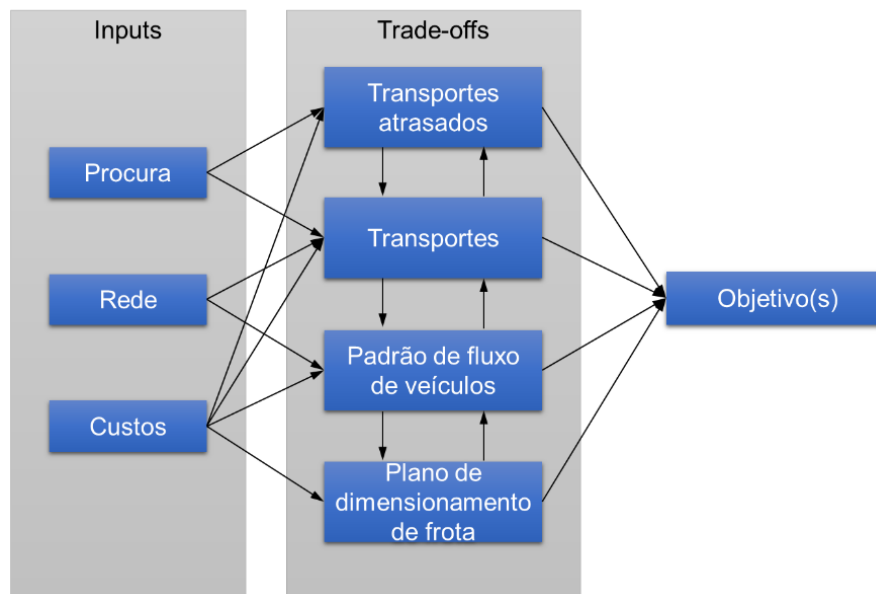


Figura 8: Modelo genérico de dimensionamento de frota, adaptado de (List, et al., 2003)

(Beaujon & Turnquist, 1991), através da aplicação do dimensionamento de frota a companhias aéreas, cujo agendamento dos serviços é determinado *à priori*, consideram que a determinação do ótimo de veículos de um sistema requer um *trade-off* entre os custos de posse dos veículos e potenciais custos, ou penalizações – resultantes de falhas e atrasos no serviço. No seu trabalho integram o dimensionamento da frota com otimização da utilização dos veículos, tendo como objetivo a maximização do lucro esperado. Foi, pelos autores, desenvolvido um modelo matemático não-linear – que pode ser resolvido por aplicação do algoritmo de Frank-Wolfe – com vista à obtenção de respostas para quatro questões consideradas centrais:

1. Quantos veículos devem constituir a frota;
2. Onde devem ser localizadas *pools* de veículos – para manter os veículos que não estão em utilização num determinado momento;
3. Qual a dimensão dos *pools*, e como deve variar com o tempo;
4. Como devem ser alocados os veículos aos movimentos de cargas e a movimentos em vazio – utilizados para balanceamento do sistema.

Este modelo considera ainda duas premissas chave:

- Há interações importantes entre decisões de investimento numa frota e decisões de operação, referentes à sua utilização;
- A análise destas interações requer atenção especial aos aspetos dinâmicos do sistema de transporte e a incerteza associada à procura e ao desempenho do sistema.

(Couillard, 1993) apresenta um sistema de apoio a decisão (DSS) para o dimensionamento da frota, no contexto da desregulação do transporte na província Canadiana do Québec. Para a construção deste DSS o autor considera cinco atividades fundamentais, como ilustra a Figura 9. Começa-se por fazer uma previsão da procura, sendo admitidas duas fontes de dados possíveis – histórico de vendas ou necessidades futuras de serviço dos clientes –, serão então geradas soluções, sujeitas às restrições orçamentais e disponibilidade de veículos. Em paralelo, devem ser selecionados os critérios de seleção para as soluções, com base nos objetivos da empresa, de forma a poder avaliar as soluções propostas, resultando assim numa solução que representa a “melhor” opção para o dimensionamento da frota.

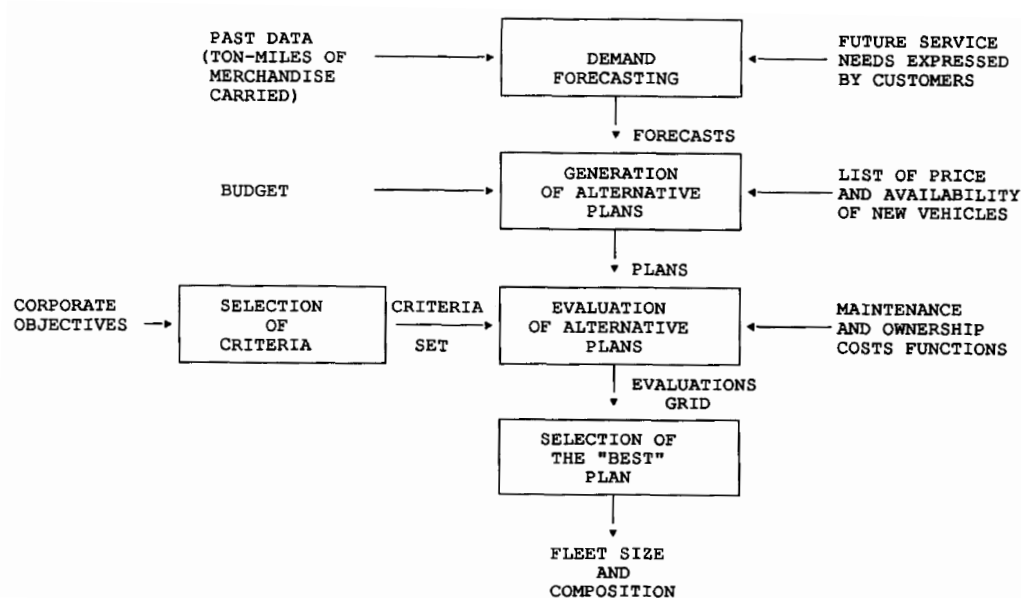


Figura 9: Modelo conceitual do planeamento de frota apresentado por (Couillard, 1993)

O DSS afigura-se como uma proposta de resolução do problema de dimensionamento de frota de fácil aceitação pela gestão da empresa, uma vez que não envolve formulações matemáticas complexas, que podem não ser entendidas pelos gestores.

(Du & Hall, 1997) apresentam uma proposta de abordagem ao problema de dimensionamento de frota e redistribuição de veículos vazios, semelhante ao proposto por (Beaujon & Turnquist, 1991), para um sistema com um ponto de origem único e movimentações regulares entre esse ponto de origem e os pontos de destino, que assume procura com comportamento estocástico e cargas completas (FTL) para a realização do transporte. O modelo de decisão proposto baseia-se em modelos de controlo de inventário e teoria de filas de espera que, tendo um elevado grau de simplicidade e acessibilidade, acompanhado por um desempenho robusto, se apresenta como uma alternativa viável aos modelos de otimização apresentados e que pode ser facilmente aceite pela gestão da empresa.



(List, et al., 2003) desenvolveram um modelo matemático que considera duas funções objetivo que devem ser minimizadas: uma relativa aos custos do sistema – incluindo os custos de posse, custos de adicionar ou remover veículos e custos operacionais – e outra relativa às penalizações por incumprimento na entrega de encomendas. Esta formulação inclui também o conceito de janelas temporais para a entrega de encomendas a clientes e a capacidade da frota, para cada tipo de veículo, em cada momento. Toda esta formulação assume que os períodos considerados são longos o suficiente para que os veículos que partem da origem num certo período possam chegar ao nó de destino no mesmo período. Sendo também considerado que é possível um veículo fazer mais que uma viagem num só período.

Esta formulação corresponde a uma visão geral sobre o dimensionamento de uma frota, pelo que deverá ser adaptada às especificações do caso em estudo. Segundo (Hsu & Chen, 2014), quando se trata do transporte misto de bens alimentares, com necessidade de controlo de temperatura, e bens a temperatura ambiente, como no caso em foco neste trabalho, devemos ter em conta não só o número de veículos, mas também as possibilidades de configuração do seu interior.

(Wu, Hartman, & Wilson, 2005) tratam o caso de uma frota de camiões para aluguer (*rent-a-truck*) que considera uma frota heterogénea – com camiões com diferentes capacidades e antiguidade – que pode ser alterada ao longo do tempo – através da compra e venda de veículos – e cujo tempo de viagem é incerto. Através da definição de localizações, períodos de tempo, tipos de camiões e antiguidade máxima admissível para os camiões, são minimizados os custos totais do sistema, através de uma abordagem de resolução que considera duas fases: uma primeira fase em que, através da decomposição de Benders, é feita uma alocação da procura aos veículos, seguida por uma segunda fase em que é melhorada a convergência da solução com base no método de Relaxação Lagrangiana.

(Redmer, Sawicki, & Żak, 2008) sugerem um modelo definido para um cenário de transporte *one-to-many* de carácter estático formulado matematicamente, baseado em duas fases e que considera múltiplos objetivos – para os diferentes stakeholders internos do serviço – e tem por base a teoria de filas de espera:

1. É gerado um conjunto de soluções eficientes (*Pareto-optimal*)<sup>3</sup>, com recurso ao software MEGROS;
2. As soluções resultantes da fase anterior são revistas e avaliadas, segundo os critérios considerados, através do método *Light Beam Search* (LBS)<sup>4</sup>.

No fim é, então, dada uma solução que traduz o *trade-off* mais satisfatório para o decisor, sendo que ao longo do processo, o decisor pode introduzir informação, com base nas suas preferências, de forma a melhorar as soluções seleccionadas na fase computacional.

---

<sup>3</sup> Uma solução é eficiente se e só se não for dominada por mais nenhuma solução.

<sup>4</sup> Método proposto por Jaszkievic e Słowiński para problemas de otimização multiobjectivo – lineares e não lineares – com variáveis contínuas e aqui estendido para variáveis discretas.

O processo tem como critério de paragem a vontade do decisor relativamente à solução que representa o melhor compromisso.

A Figura 10 apresenta uma representação esquemática dada pelos autores.

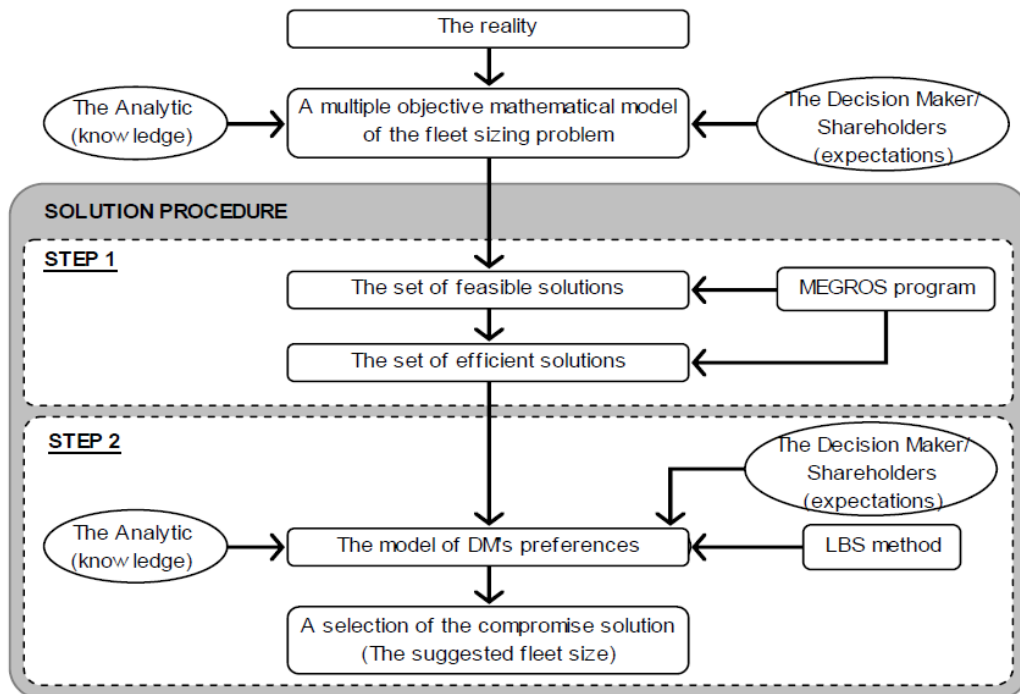


Figura 10: Procedimento de Solução para a Resolução do FSP de (Redmer, Sawicki, & Žak, 2008)

Este problema tem um carácter tático-estratégico e o decisor pertence à gestão de topo da empresa, tendo por objetivo principal o aumento do potencial de lucro do serviço, através da melhor utilização da frota – sem deteriorar a posição da empresa no mercado. O facto de este estar envolvido em todo o processo iterativo faz com que a aceitação da solução seja muito superior, face à utilização de métodos cuja complexidade os faz “menos transparentes”.

(Liu, Huang, & Ma, 2009) apresentam uma variante do problema de dimensionamento de frota com *mix vehicle routing* (FSVRP) – baseado no planeamento de rotas com uma dada capacidade (CVRP) – para a decisão de quantos veículos usar, num determinado *mix* de veículos com diferentes capacidades e custos associados, e para a determinação de rotas de veículos. É aplicada a meta-heurística Algoritmo Genético (GA) para resolver o problema, considerando  $N$  localizações de clientes,  $T$  tipos de veículos – cada um com capacidade  $Q$  e custos fixos  $F$  e variáveis  $V$  –, a procura, não negativa, de cada cliente e a sua distância ao ponto de origem. Tendo como objetivo a minimização dos custos totais de entregar todas as encomendas a todos os clientes e como restrições a capacidade dos veículos e que cada cliente deve ser visitado uma, e só uma, vez.

Em semelhança, (Ostermeier, Henke, Hübner, & Wäscher, 2021) apresentam uma abordagem mais operacional do problema de planeamento de frota a utilizar um algoritmo de *multi-compartment vehicle routing problem* (MCVRP) – uma iteração do VRP em que são utilizados veículos com múltiplos

compartimentos separados – para a determinação das rotas ótimas para a satisfação da procura dos clientes, considerando o mix de veículos com compartimentos separáveis e com características diferentes a metodologia de resolução passa pela criação mas um modelo MILP com uma função objetivo que visa a minimização dos custos de operação dos veículos, sujeita a restrições que garantam a satisfação da procura dos clientes, a continuidade das rotas e as capacidades dos veículos.

(Redmer, 2015) adiciona a distinção entre dois problemas: *Fleet sizing* (FS), relativo à decisão de quantos veículos a ter na frota, e *Fleet Composition* (FC), relativo à decisão do tipo de veículos a incluir na frota. Tendo como fator chave para estes dois problemas a procura dos serviços de transporte – caracterizada pelo seu nível, variações sazonais e tendências – que implica a necessidade de responder a certas particularidades do transporte – como o seu formato ou necessidades térmicas das cargas. De forma geral, é considerado que, a procura não satisfeita será perdida – ou terá de ser satisfeita com base em subcontratação de frota adicional, caso exista essa possibilidade. Desta forma, é necessário contabilizar as alterações na procura, para o dimensionamento mais apropriado da frota. O modelo proposto pelo autor considera ainda que os veículos não devem ser estritamente associados a uma rota ou cliente, mas sim que qualquer tipo de veículo pode ser utilizado para servir cada cliente, desde que correspondam às restrições do transporte dos produtos e de descarga nas instalações do cliente.

(Ertogal, Akbalik, & González, 2017) apresentam um problema em que é pretendido o dimensionamento, a nível estratégico, da frota de forma a aumentar a eficiência da frota – própria ou contratada – de um distribuidor de móveis e encontrar o melhor trade-off entre a soma dos custos de investimento e operação e o nível de serviço requerido pelos clientes. O objetivo principal do estudo é dado como a determinação do número de veículos, de diferentes capacidades, a comprar ou alugar de forma a permitir a implementação de um sistema de distribuição centralizado – em que todas as encomendas de clientes são servidas a partir de um ponto de distribuição central, em vez de terem como origem o retalhista onde foram colocadas.

É ainda considerado pelos autores que a variação da procura pode ser separada em duas épocas (*seasons*) por ano, cada uma com duração de seis meses, em que o nível de procura não varia – uma representativa do pico da procura e outra representativa dos momentos de procura mais baixa. Uma vez que, tendo em conta o elevado investimento que resulta da aquisição de frota própria, esta não pode ser alterada em todos os períodos de revisão, podendo apenas ser feita a contratação de veículos adicionais para fazer fase a picos de procura. Para além da divisão temporal da procura, os autores adicionam também a divisão da procura em famílias de produtos. Como o problema está enquadrado no nível estratégico não é muito relevante ter um grande nível de detalhe sobre a procura e localização de cada cliente, pelo que é suficiente ter em consideração de um valor médio da procura, com base na procura total e no número de clientes a servir.

É então desenvolvida uma formulação matemática do problema, através de um modelo *Mixed Integer Linear Programming* (MILP), com uma função objetivo que traduz o desejo de minimizar os custos financeiros, de comprar ou contratar veículos, e os custos operacionais, sujeita a três tipos de

restrições: satisfação da procura, capacidade dos veículos e número de horas disponíveis por dia para completar as rotas de cada veículo.

(Pinto, Lagorio, & Golini, 2018) apresentam outro modelo para o dimensionamento da frota, com contornos, em parte, semelhantes ao do modelo apresentado por (List, et al., 2003). Estes autores consideram um esquema de distribuição *one-to-many*, em que as encomendas seguem desde um ponto único até múltiplos clientes, e cuja capacidade instalada deve garantir um nível mínimo de serviço, definido pela empresa. Esta formulação tem como objetivo a maximização do lucro marginal, descontado dos custos e penalizações, custos fixos e custos de investimento em frota, considerando que há um número, total, máximo de veículos admissíveis no sistema. A decisão é feita ao nível do número de veículos de cada tipo de veículo a incluir no sistema e ao nível da procura que deve ser satisfeita.

(Dožic, Jelović, Kalić, & Čangalović, 2019) propõem uma abordagem baseada na meta-heurística *Variable Neighborhood Search* (VNS) para a resolução em simultâneo dos problemas de dimensionamento e alocação da frota, no cenário de uma companhia aérea com frota homogénea – i.e. apenas um tipo de avião –, com o objetivo de minimizar o número de aviões necessários para o cumprimento do agendamento dos voos da companhia. Os autores classificam problemas de dimensionamento e alocação de frota como *NP-Hard*, em que, para situações de maior dimensão, é computacionalmente impossível a resolução por métodos exatos.

A Tabela 5 apresenta uma visão geral dos modelos de dimensionamento de frota apresentados neste capítulo.

Tabela 5: Problema de Dimensionamento de Frota

| Autor(es)                                   | Área de Aplicação do Estudo  | Objetivo(s)   | Metodologia de Resolução   |
|---|--|---|--|
| (Beaujon & Turnquist, 1991)                 | Dimensionamento de frota, heterogénea, para companhias aéreas                          | Maximização do lucro esperado   | Modelo matemático não linear com aplicação do algoritmo de Frank-Wolfe |
| (Couillard, 1993)                           | Dimensionamento de frota no contexto de desregulação dos transportes no Québec, Canadá | Modelo multicritério cujos objetivos são definidos pela gestão da empresa | Sistema de Apoio à Decisão   |
| (Dožic, Jelović, Kalić, & Čangalović, 2019) | Dimensionamento e alocação de frota, homogénea, para uma companhia aérea               | Minimizar o número de aviões, sem violação do agendamento de voos         | Meta-heurística VNS  |
| (Du & Hall, 1997)                           | Dimensionamento de frota e redistribuição de veículos vazios                           | Minimização de custos de aquisição e manutenção de equipamentos           | Modelos de controlo de inventário e teoria de filas de espera          |
| (Ertogal, Akbalik, & González, 2017)        | Dimensionamento de frota de veículos para um distribuidor                              | Minimização dos custos financeiros de aquisição/aluguer de                | Modelo matemático de programação linear, MILP                          |

|  |   |  |   |
|--|---|--|---|
|  | de móveis num contexto de centralização da distribuição                                   | veículos e dos custos operacionais   |   |
| (List, et al., 2003)                         | -   | Minimização de custos do sistema e penalizações por incumprimento          | Modelo matemático linear  |
| (Liu, Huang, & Ma, 2009)                     | -   | Minimização dos custos totais de entregar todas as encomendas aos clientes | Algoritmo genético  |
| (Ostermeier, Henke, Hübner, & Wäscher, 2021) | -   | Minimização dos custos de operação dos transportes                         | Modelo matemático de programação linear, MILP   |
| (Pinto, Lagorio, & Golini, 2018)             | Dimensionamento de frota para entrega de encomendas de pequena dimensão no cenário urbano | Maximizar a margem de lucro do serviço de distribuição                     | Modelo matemático linear  |
| (Redmer, Sawicki, & Žak, 2008)               | Dimensionamento de frota num esquema de distribuição <i>one-to-many</i>                   | Maximizar a satisfação dos stakeholders envolvidos, nos seus critérios     | Processo de duas fases, determinação de soluções eficientes, avaliadas através do método LBS                                    |
| (Redmer, 2015)                               | Composição de frota no cenário de distribuição polaco                                     | Maximizar a taxa de utilização da frota                                    | Modelo matemático de otimização   |
| (Wu, Hartman, & Wilson, 2005)                | Dimensionamento de uma frota, heterogénea, de camiões para aluguer                        | Minimização dos custos totais do sistema                                   | Processo de duas fases, com recurso à decomposição de Benders e à relaxação Lagrangiana para melhorar a convergência da solução |

Apesar da maioria dos modelos apresentados terem particularidades mais próximas do nível operacional que do nível tático, servem para melhor compreender o problema de dimensionamento de frota a nível tático, que é o foco da dissertação iniciada neste projeto, através da relação existente entre os diferentes níveis de planeamento logístico. Sem a compreensão do ponto de vista operacional não é possível o planeamento de frota a nível tático ou estratégico, pelo que a aplicação de um modelo ao nosso problema poderá passar por uma abordagem mais operacional, prevista no entanto de um ponto de vista mais alargado.

### 3.5. Sistemas de previsão de procura

De forma a poder dimensionar corretamente a frota para um horizonte temporal mais alargado, é necessário, de alguma forma, prever a procura, no que diz respeito ao seu comportamento geral.

A previsão de procura é algo essencial, atualmente, em todas as empresas uma vez que ajuda na antecipação do que irá ocorrer no futuro, relativamente a volume de vendas. Uma previsão de procura adequada tem como impacto direto a criação de uma vantagem competitiva na empresa e necessita do conhecimento de dados históricos, bem como das tendências do mercado e do ciclo de vida do produto (Bowerson, Closs, & Cooper, 2002).

(Stevenson, 1996) define seis etapas fundamentais no processo de previsão de procura:

1. Determinar o objetivo da previsão como forma de obter um indicador do nível de detalhe necessário;
2. Estabelecer o horizonte temporal;
3. Selecionar uma técnica de previsão;
4. Reunir e analisar os dados necessários;
5. Preparar a previsão;
6. Monitorizar a previsão, de forma a verificar se os resultados obtidos são satisfatórios.

Ainda, (Simchi-Levi, Kamisky, & Simchi-Levi, 2000) consideram três regras relativamente à previsão da procura, uma vez que não se pode ter garantias quanto ao futuro:

- as previsões estão sempre incorretas;
- quanto maior o horizonte temporal, pior o rigor da previsão;
- previsões para produtos finais são ainda mais incorretas.

Segundo (Ballou, 2004), os métodos de previsão da procura podem ser divididos em três categorias distintas:

- Métodos qualitativos – recorrem a julgamentos e técnicas comparativas para produzir estimativas da procura futura. Estes métodos são normalmente utilizados quando não existem dados históricos relevantes para o caso em estudo, tendo um carácter científico reduzido, não permitindo a sua padronização ou validação dos dados obtidos;
- Métodos de projeção histórica – quando estão disponíveis dados históricos e a tendência e sazonalidade podem ser descritas por séries temporais, a projeção desses dados no futuro apresenta-se como uma forma eficiente para prever a procura a curto-prazo. Estes métodos baseiam-se na premissa que o futuro será uma repetição do passado, pelo que a sua natureza quantitativa permite a utilização de modelos estatísticos na previsão da procura. Estes métodos tendem a apresentar bons resultados em previsões para períodos inferiores a seis meses e a reagir adequadamente a atualização nos dados, desde que não representem variações muito profundas;
- Métodos causais – baseiam-se na premissa que o nível da variável que queremos prever é derivado do comportamento de outras variáveis relacionadas. Estes modelos surgem em dois formatos gerais: estatísticos e descritivos, em que cada modelo extrai a sua validade dos padrões de dados históricos que estabelecem a associação entre as variáveis que explicam a variável que queremos prever e a variável a prever. A maior dificuldade na aplicação destes

métodos está relacionada com a identificação das variáveis que verdadeiramente podem explicar o comportamento da variável a prever.

O autor apresenta então vários métodos de previsão de procura – enquadrados nas categorias de métodos qualitativos e de projeção histórica –, sumarizados na Tabela 6.

Tabela 6: Métodos de Previsão de Procura apresentados por (Ballou, 2004)

| Horizonte Temporal | Métodos   |
|--------------------|---|
| Curto              | Médias móveis, Ponderação Exponencial, <i>Accurate Response</i> , Redes Neurais, <i>Collaborative Forecasting</i> , <i>Random Walk</i> .  |
| Curto-Médio        | Estimativas de Vendas, Box-Jenkins, Decomposição em Séries Temporais, Projeções de Tendência, Análise Espectral, Modelo de Regressão, Modelo Económico, <i>Leading Indicators</i> , Filtragem Adaptativa. |
| Curto-Longo        | Previsão Baseada em Regras.   |
| Médio              | <i>Focus Forecasting</i> , Estudos de Intenção de Compra e de Antecipação, Modelo <i>Input-Output</i> , Modelo Económico <i>Input-Output</i> .  |
| Médio-Longo        | Delphi, Pesquisa de Mercado, Painel de Consenso, <i>Visionary Forecast</i> , Analogia histórica, Análise de Ciclo de Vida, Simulação Dinâmica.  |

Como exibido acima, existem diversas técnicas para a criação de previsões da procura, considerando o âmbito do problema em causa, a o método da Decomposição Clássica será a opção escolhida, não só pela sua simplicidade, como também por ser considerado apropriado para previsões a curto e médio prazo, entre três e doze meses.

### 3.5.1. Previsão da Procura Utilizando o Método da Decomposição Clássica

Este método, que inclui análise espectral, análise clássica de séries temporais e análise de séries de Fourier, é baseado na teoria que um padrão de vendas histórico pode ser decomposto em três componentes principais e uma componente aleatória (Firth, 1977):

- Tendências de Mercado (T) – relacionadas com as variações de procura devidas a alterações na população ou no desempenho de marketing da empresa, sendo normalmente equacionada com o aumento ou diminuição linear da série que, no longo prazo, elimina os fatores relacionados com as variações sazonais e cíclicas;
- Variabilidade Sazonal (S) – relacionada com os aumentos e diminuições da procura que se repetem anualmente, tendo por base fatores meteorológicos, educacionais ou institucionais;
- Variação Cíclica (C) – correspondente às variações a longo prazo da procura – associada, por exemplo a ciclos económicos (cuja duração pode variar) – sendo que correspondem à componente mais difícil de identificar;
- Variação Residual (R) – porção do total de vendas que não é contabilizada em nenhuma das categorias anteriores e que, caso as categorias anteriores estejam corretamente definidas, deverá apresentar comportamento aleatório.

A análise clássica de séries temporais combina estas quatro categorias com vista a obter a previsão da procura, podendo ser considerando um modelo multiplicativo, em que o produto dos quatro componentes acima mencionados dá a previsão da procura, ou um modelo aditivo, em que a previsão da procura resulta da soma das quatro categorias.

Em termos práticos, o modelo poderá ser reduzido apenas às componentes de tendência do mercado e sazonal, uma vez que o valor da variação residual pode ser reduzido ao valor unitário – não produzindo qualquer alteração na previsão – e, considerando o horizonte temporal inferior a um ano, o efeito cíclico acaba por não ter relevância.

O valor correspondente à tendência de mercado pode ser determinado com recurso a vários métodos, como através do método da média móvel ou do método dos mínimos quadrados. O método dos mínimos quadrados minimiza a soma das diferenças quadradas entre os dados reais e os dados obtidos através da tendência.

O parâmetro da sazonalidade altera-se entre períodos de previsão, e corresponde ao rácio da procura real do período,  $D$ , e do valor de tendência calculado para o período,  $T$ .

Para a aplicação deste método é necessário decompor a série temporal de forma a identificar as tendências de longo tempo, os fatores cíclicos e os aumentos e reduções de procura sazonais. Sendo que o primeiro passo corresponde à pesquisa de padrões óbvios no comportamento da procura.

### 3.6. Conclusão do Capítulo

No capítulo 2 deste documento foi analisada a operação atual de distribuição das lojas Recheio e descrito o problema a estudar. No presente capítulo foi, então, estudada a literatura existente sobre as temáticas subjacentes ao problema identificado, a nível de cadeias de abastecimento – mais em específico, planeamento tático da frota de distribuição e métricas para a avaliação do serviço de distribuição – e de métodos de previsão de procura.

Através da revisão de literatura realizada foi possível identificar vários conceitos que se adaptam ao problema de dimensionamento de frota apresentado pela Direção de Operações da Recheio. Além do estudo de diferentes modelos de dimensionamento de frota, foram abordados vários conceitos relacionados com a Gestão de Cadeias de Abastecimento, onde o problema em causa tem um papel fundamental, assim como referentes ao tópico da avaliação de desempenho de sistemas de transporte e distribuição.

A pesquisa na área do dimensionamento de frota permitiu encontrar várias semelhanças entre o problema enfrentado pela Recheio e vários problemas encontrados na literatura académica, e apresentados neste capítulo. O presente problema apresenta um carácter mais tático, através da definição do dimensionamento da frota para o serviço de distribuição de encomendas a clientes, no entanto, é de mencionar que a grande maioria dos estudos apresentados têm contornos mais operacionais e são focado em sistema de transportes com frota própria – ou um mix de frota própria com a possibilidade de aumentar temporariamente a frota através do aluguer de veículos a curto-prazo



– mas que apesar disso, permitem a compreensão do tema em estudo. Não obstante, foi possível identificar publicações mais direcionadas ao nível tático, como os estudos de (Redmer, Sawicki, & Žak, 2008), (Redmer, 2015) e (Ertogal, Akbalik, & González, 2017).

Considerando o grau de complexidade que a formulação matemática de um problema de dimensionamento de frota pode atingir, e na tentativa de reduzir a complexidade do modelo matemático que se pretende desenvolver, é considerada adequada a previsão da procura do serviço de transportes em aspetos gerais de tendência e sazonalidade. Assim, é abordado neste capítulo o método de decomposição clássica para a previsão da procura que, devido aos bons resultados que permite obter e à simplicidade da sua aplicação, se prova adequado ao nível de previsão da procura que se quer desenvolver.

Através do nível tático desta abordagem, pretende-se estudar também os benefícios e contrapartidas que o dimensionamento da frota de distribuição têm para a empresa, sob a sua perspetiva.

## CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DO MODELO DE OTIMIZAÇÃO

O presente capítulo tem como objetivo aprofundar a metodologia utilizada na resolução do problema identificado e encontra-se dividido em cinco secções. Deste modo, este capítulo inicia-se com a definição clara do problema em estudo – aumentando o nível de detalhe apresentado no Capítulo 2 do presente trabalho –, de todas as suas características e de todos os pressupostos que tiveram de ser assumidos de forma a poder trabalhar o problema. Após esta definição do nosso objeto de estudo, é feita a recolha de todos os dados que se consideram relevantes para a realização do estudo proposto, dividindo-se estes em dois elementos principais: a frota – no que diz respeito aos veículos que a loja tem atualmente ao seu dispor e aos veículos que podem eventualmente incorporar a sua frota – e a procura – respeitante aos volumes de vendas do serviço de distribuição e ao estudo do seu comportamento ao longo do tempo.

Assim, desenvolveu-se um modelo de otimização com vista à definição da frota ótima a operar nas lojas Recheio, tendo em consideração a minimização dos custos de operação e a satisfação total das encomendas para cada dia.

### 4.1. Metodologia de Desenvolvimento

De acordo com (Hillier & Lieberman, 2001), o desenvolvimento de um modelo de otimização de um problema real pode ser descrito em seis etapas:

1. Definição do problema e levantamento de dados relevantes do problema;
2. Formulação de um modelo matemático que represente o problema;
3. Desenvolvimento de um procedimento computacional que permita a obtenção de soluções do problema, através do modelo matemático desenvolvido;
4. Teste do modelo e possível ajuste ao problema;
5. Preparação para a aplicação do modelo, conforme as necessidades de gestão que originaram o problema;
6. Implementação.

Adaptando este método ao problema em mãos neste trabalho, obtém-se a metodologia apresentada na Figura 11, e seguida no desenvolvimento deste modelo de otimização em concreto.

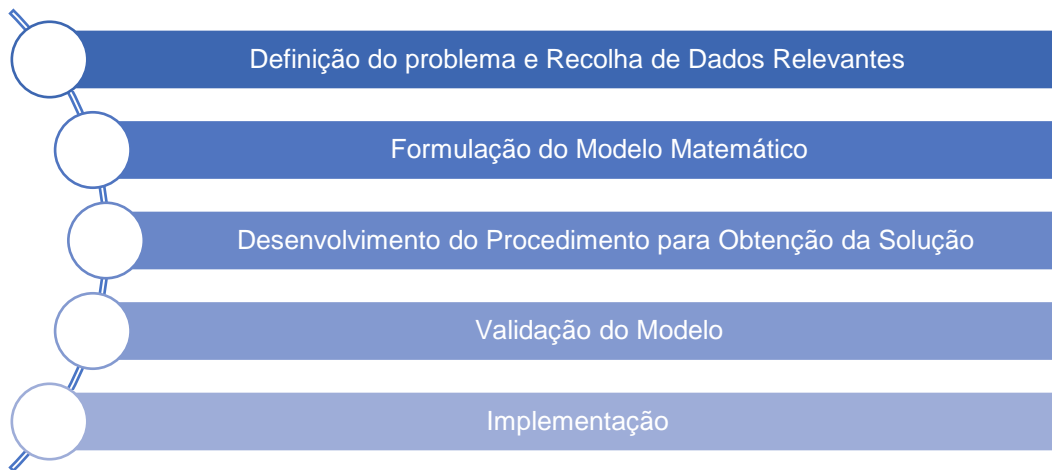


Figura 11: Fases de um Modelo de Otimização

Na primeira etapa é fundamental estudar o sistema relevante e desenvolver um enunciado bem definido, ao definir os objetivos mais apropriados, as restrições ao modelo, possíveis variantes e horizontes temporais. Torna-se, então, essencial orientar a recolha de dados por forma a garantir a sua posterior aplicação direta no modelo. Para a recolha e tratamento de dados foi necessário analisar a variação do volume de vendas do serviço de distribuição da loja Recheio ao longo do ano e, através do contato com a direção de operações da Recheio, recolher dados específicos para a operação do serviço de distribuição, os quais serão detalhados mais à frente.

Após a recolha dos dados considerados necessários passa-se então à formulação do problema de forma que este possa ser representado por um modelo matemático. É neste momento que são definidas todas as variáveis, é descrito o problema numa linguagem própria e perceptível ao contexto do problema em estudo e formuladas as mais diversas hipóteses podem ocorrer.

É então feito o desenvolvimento do procedimento de obtenção de solução em que o modelo matemático formulado no passo anterior é traduzido para um algoritmo aplicável a algum tipo de software disponível – como GAMS (*Generic Algebraic Modeling System*) – que por aplicação devolve a solução ótima para a situação descrita pelo modelo.

A quarta etapa, validação do modelo, corresponde ao processo de aceitação do modelo proposto. O modelo é testado e são comparadas as soluções obtidas com os valores reais observados, por aplicação ao modelo de dados históricos. O nível de aproximação das previsões será o fator preponderante na validação do modelo pelo que pode ser considerado um bom modelo aquilo que represente de forma razoável, face aos propósitos do estudo, a situação em análise.

A última etapa corresponde então à implementação do modelo em que são obtidos os resultados no estudo de investigação operacional, os quais devem então ser analisados e avaliados quanto ao objetivo inicial definido que, no caso em estudo, corresponde à otimização da frota disponibilizada ao serviço de distribuição, com vista à minimização de custos, aliada ao cumprimento do nível de serviço desejado. Nesta fase inclui-se ainda a análise a dois cenários alternativos, em que se faz variar a

procura – traduzida nas quantidades encomendas –, uma vez que este é o elemento que maior variabilidade sofre ao longo do tempo.

## 4.2. Definição do Problema

Antes da recolha de dados, é essencial fazer uma boa definição do problema em estudo, de forma a compreender todos os passos que se seguem. Deste modo, nesta secção irá ser feita essa definição do problema, bem como de todos os pressupostos assumidos.

A Direção de Operações da Recheio implementou recentemente alterações ao seu serviço de distribuição de encomendas a clientes, de forma a aumentar a qualidade do serviço prestado. Até ao final do ano de 2019, os clientes colocavam as suas encomendas diretamente à loja ou plataforma em que se encontravam registados como clientes, independentemente do seu ramo de atividade comercial. Desde o início de 2020, a direção da Recheio implementou uma alteração a esse sistema, sendo que desta forma, clientes pertencentes ao canal HoReCa passaram a ser servidos maioritariamente pelas Plataformas Logísticas Caterplus, sendo as lojas Recheio mais direcionadas para os clientes do setor Retailho. Desta alteração ao serviço, juntamente com a variação dos volumes de vendas da Recheio, surgiu a necessidade de estudar a dimensão da frota que é disponibilizada às várias lojas Recheio e Plataformas Logísticas Caterplus. Pretendendo-se assim o desenvolvimento de uma metodologia que possa ser aplicada a qualquer uma destas entidades por forma a melhorar a adequação da frota que lhes é disponibilizada, considerando as necessidades dos seus clientes.

Os pedidos de cliente são recebidos através do *Call Center*, de vendedores – que se deslocam às instalações dos clientes para receber os seus pedidos – e do EDI (*Electronic Data Interchange*) instalado para os clientes que pertencem à rede do programa Amanhecer, sendo depois transferidos para o sistema SAP de processamento de encomendas e ainda para o WMPS onde são geradas unidades de trabalho que permitem satisfazer as encomendas dos clientes.

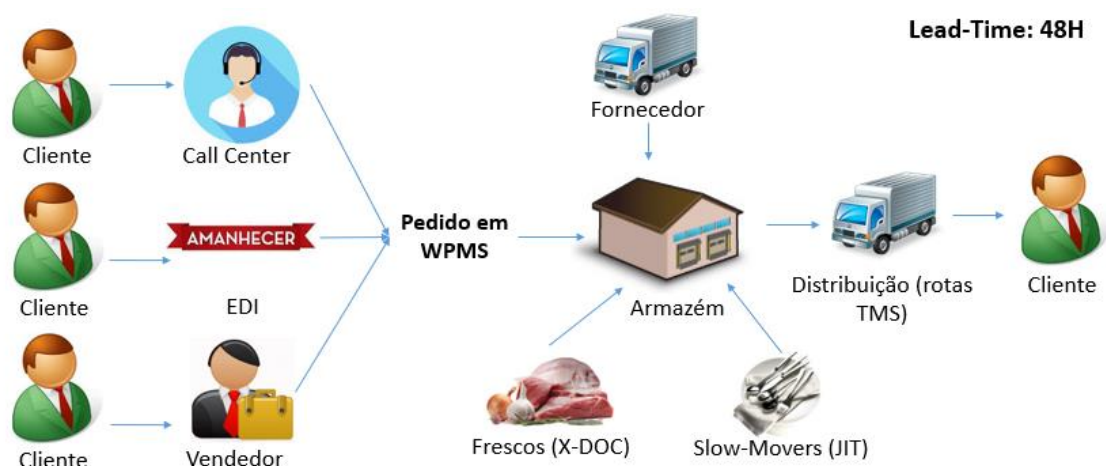


Figura 12: Funcionamento do Serviço de Distribuição de Encomendas a Clientes

Em cada uma das lojas Recheio, o TMS instalado define rotas de entrega otimizadas, para os clientes que devem ser servidos em cada dia – com base no nível de serviço acordado –, de acordo com os volumes e características das suas encomendas e as suas localizações geográficas.

A nível das restrições que se aplicam a este sistema, temos que:

- A tipologia dos camiões disponíveis para cada loja depende, para além da tipologia dos veículos disponíveis nas transportadoras, de vários fatores, tais como:
  - Acesso aos clientes;
  - Localização dos estabelecimentos dos clientes;
  - Número de paletes e peso da mercadoria a transportar;
  - Tipo de mercadoria a transportar (refrigerados, congelados ou secos).
- A maioria das viaturas tem um custo fixo mensal;
- Apesar de não existirem restrições horárias à circulação dos veículos, os motoristas estão sujeitos às seguintes condições:
  - Tempo de condução máximo de nove horas diárias e cinquenta e seis horas semanais;
  - Obrigação de cumprir quarenta e cinco minutos de descanso por cada quatro horas e meia de condução;
  - Tempo de condução bissemanal máximo de noventa horas. Isto é, se numa semana o motorista conduzir cinquenta e seis horas, na semana seguinte pode conduzir apenas trinta e quatro horas;
  - Os motoristas estão sujeitos a um contrato de trabalho de 8 horas diárias, podendo apenas conduzir dentro do seu horário de trabalho.
- Não existe uma quantidade mínima de encomenda, em termos de volume, no entanto existem valores (monetários) mínimos para a colocação de uma encomenda;
- O serviço de distribuição funciona sempre de segunda a sexta, independentemente da existência de dias feriados;
- Os clientes têm de cumprir os timings de encomenda – atualmente de quarenta e oito horas – ou seja, de modo a receber uma encomenda no dia D, esta deve ser enviada para a loja no dia D-2;
- As rotas são definidas com base na localização dos clientes e quantidades a expedir – em número de paletes e peso – pelo TMS instalado.

Considerando esta informação, a decisão a ser tomada pela Recheio passa pela seleção dos veículos mais adequados às necessidades do serviço de distribuição de entrega de encomendas.

### 4.3. Recolha e Tratamento de Dados

A recolha de dados é um passo essencial para o sucesso dos resultados do estudo. É assim necessário recolher toda a informação que se julgue relevante para o problema em estudo.

Os dados obtidos foram recolhidos através da Direção de Operações da Recheio, sendo estes dados internos da operação das lojas Recheio, em particular da loja em análise – Hub Leiria.

A fase de recolha e tratamento de dados foi uma das fases deste trabalho que apresentou maior complexidade. O elevado volume de dados a analisar e interpretar envolveu um grande investimento de tempo e foco. A análise e tratamento dos dados requereu um extensivo trabalho de filtragem e seleção de dados relevantes, de forma a organizar os dados que são realmente interessantes para a caracterização deste problema. A obtenção dos dados foi efetuada através de dados fornecidos diretamente pela Direção de Operações da Recheio.

Os dados recolhidos dividem-se em duas grandes categorias: Frota e Procura – em termos de evolução da procura ao longo do tempo, tipologia de produtos e características de clientes.

#### 4.3.1. Frota

A loja de Leira tem atualmente ao seu dispor 9 viaturas, sendo a sua frota composta pelas viaturas que a Tabela 7 ilustra, todas contratadas a uma empresa:

*Tabela 7: Composição Atual da Frota da Loja de Leiria*

| Tipologia do veículo | Número de compartimentos | Quantidade |
|----------------------|--------------------------|------------|
| 8T                   | 1                        | 1          |
| 12T                  | 2                        | 2          |
| 19T                  | 1                        | 1          |
| 19T                  | 2                        | 4          |
| 26T                  | 2                        | 1          |

Todas as viaturas que constituem a frota da loja de Leiria são de caixa rígida e dispõem de plataforma elevatória.

O nível de utilização dos veículos é estimado tendo por base valores recolhidos dos sistemas de GPS instalados nas viaturas, sendo que das nove viaturas que compõem a frota da loja de Leiria, oito têm um sistema de GPS instalado e apenas uma não tem qualquer sistema de GPS instalado.

Em termos de estruturação da frota, é possível à loja contratar veículos de qualquer tipologia, dentro das apresentadas na Tabela 8.

Tabela 8: Tipologia de veículos disponíveis

| Tipologia do veículo | Capacidade em número de paletes | Capacidade em peso (kg) | Custo comparativo <sup>5</sup> |
|----------------------|---------------------------------|-------------------------|--------------------------------|
| 3.5T                 | 6                               | 1000                    | 9                              |
| 4.6T                 | 6                               | 1700                    | 11                             |
| 8T                   | 10                              | 2300                    | 12                             |
| 12T                  | 12                              | 6000                    | 13                             |
| 14T                  | 12                              | 7000                    | 14                             |
| 19T                  | 14                              | 9000                    | 16                             |
| 26T                  | 14                              | 15000                   | 18                             |

Uma vez que o objetivo do problema é o dimensionamento da frota, este deve ser tratado como um recurso não escasso, isto é, a seleção da frota não deve ser condicionada pela limitação do número de veículos disponíveis.

Em termos dos custos dos veículos, são apenas considerados os custos comparativos de contratar um veículo, pelo que o resultado que se obtiver em termos do custo do transporte não traduzirá o valor do custo efetivo.

#### 4.3.2. Estudo da Procura

Apesar da imprevisibilidade da procura derivada da grande liberdade que é dada aos clientes do serviço de distribuição da Recheio na colocação das suas encomendas, é necessário estudar o comportamento da procura para poder conceptualizar uma metodologia de dimensionamento da frota, uma vez que o volume de vendas – que se traduz no volume de mercadorias a transportar – é um fator central num estudo de dimensionamento de uma frota.

A loja de Leiria tem cerca de 300 clientes do serviço de distribuição. Ao analisar o volume de vendas agregado para o ano de 2019, foi possível identificar os períodos do ano em que a procura – dada pelo volume de vendas – é maior e em que períodos a procura é menor, como ilustra a Figura 13, em que também se apresentam valores para o ano de 2018 de forma a, como anteriormente mencionado, facilitar o estudo do comportamento da procura.

<sup>5</sup> Este custo corresponde apenas a um fator de comparação entre os veículos, não sendo o custo real da contratação do veículo.

### Evolução Vendas Geral Mensais

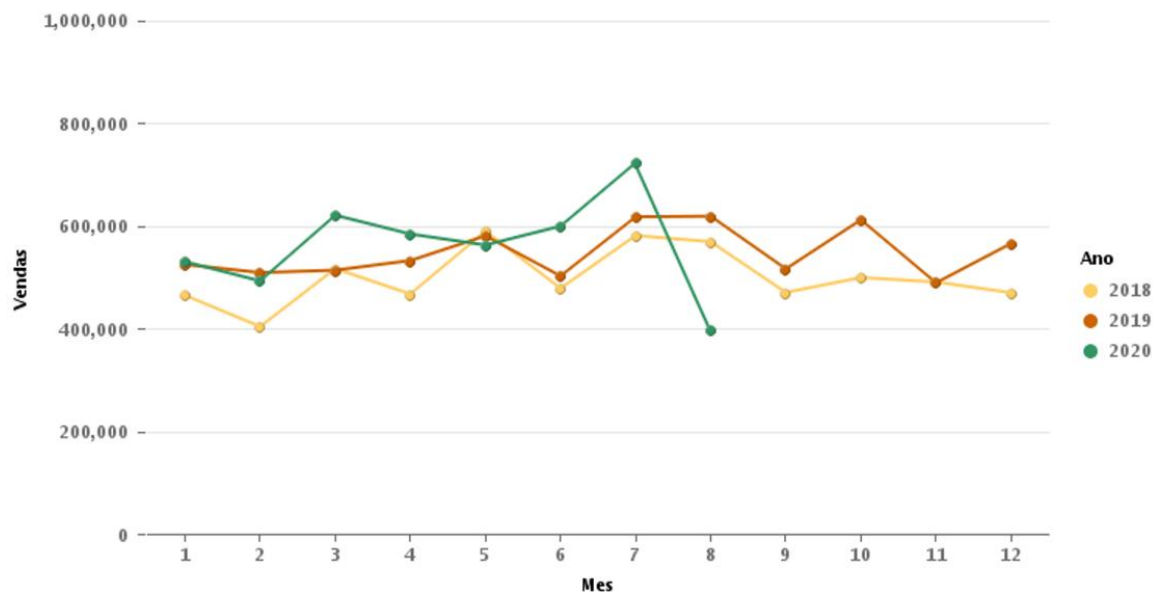


Figura 13: Evolução do Volume Mensal de Vendas para a loja Hub Leiria

Ao analisar a informação constante deste gráfico é possível verificar dois momentos claros de pico da procura, o primeiro no mês de maio e o segundo nos meses de julho e agosto. Estes valores podem ser compreendidos pela realização de inúmeras festividades e eventos que ocorrem na região (ex: Festa de Leiria) durante o mês de maio, atraindo grandes afluentes de visitantes à região – estimulando o comércio e restauração locais – e pelo aumento sazonal da população registado nos meses de julho e agosto com a visita de emigrantes à região onde se localiza os clientes do Hub Leiria – maioritariamente nos distritos de Leiria e Coimbra, como ilustra a Figura 14.

Os momentos de menor procura localizam-se nos meses de junho – cuja visibilidade é aumentada pela existência de dois picos de procura adjacentes – e no mês de setembro – em que há uma diminuição da procura potenciada pelo regresso dos emigrantes ao seu local de acolhimento e pelo início de um novo ciclo de emprego e atividades letivas em que há menor disponibilidade financeira para o comércio local e restauração, em junção com a movimentação de população para as grandes cidades, que efetiva a diminuição da população da região.

A análise do volume de encomendas foi efetuada com base em dados fornecidos pela empresa, sendo o tratamento destes totalmente manual.



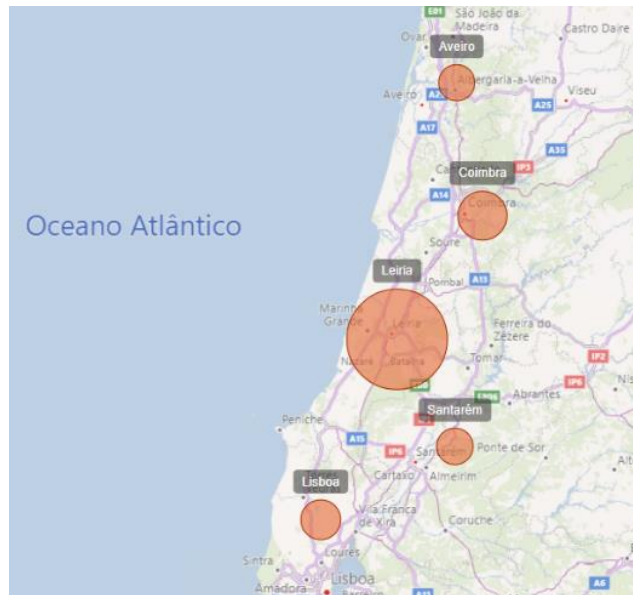


Figura 14: Divisão dos Clientes do Serviço de Distribuição em 2019 por Distrito

#### 4.4. Construção e Desenvolvimento do Modelo de Otimização

Após a recolha de todos os dados necessários ao tratamento do problema em estudo, nomeadamente no que diz respeito aos dados a introduzir no modelo a desenvolver, passa-se então à fase de construção e desenvolvimento do modelo de otimização. Este modelo baseia-se em vários tipos de problemas apresentados e discutidos na revisão bibliográfica. Apesar do nível estratégico/tático que o problema em estudo apresenta, é necessário fazer uma abordagem operacional em termos da construção do modelo, de forma a permitir a sua resolução. Assim, considera-se a formulação do modelo como um MCVRP (*Multiple Compartment Vehicle Routing Problem*).

Tendo por base as restrições descritas na definição do problema, o modelo pode ser definido da seguinte forma:

- Considera-se um conjunto de  $n$  clientes que colocam encomendas ( $d_{ip}$ ) ao serviço de distribuição da Recheio, numa determinada semana:
  - Nestas encomendas, o índice  $i$  representa o cliente a abastecer e o índice  $p$ , o tipo de produto pedido, consoante as suas necessidades térmicas de transporte;
- Em termos da frota disponibilizada à loja, esta é constituída por  $m$  veículos de diferentes tipologias, com diferentes capacidades e características, sendo que cada veículo ( $v$ ) pode, no máximo ser dividido em dois compartimentos ( $c$ ) separados. A capacidade de cada compartimento é variável e depende apenas da capacidade máxima do veículo;
  - Cada veículo tem uma capacidade máxima quer em termos de peso transportado ( $qm_v$ ) como a nível do número de euro-paletes ( $qp_v$ ) que podem transportar, sendo que ambas as restrições devem ser tidas em consideração;
  - Qualquer loja Recheio tem características compatíveis com qualquer veículo que engloba a sua frota, no entanto nem todos os clientes têm essas mesmas

características, sendo que não é possível a todos os clientes receber qualquer veículo ( $k_{iv}$ );

- Quando um veículo faz uma viagem de um local  $i$ ,  $i \in \{0, \dots, n\}$  para outro local  $j$ ,  $j \in \{0, \dots, n\}$ , implica que lhe esteja associado um tempo de viagem,  $tviagem_{ij}$ .
  - Este tempo de viagem considera também os tempos associados à carga e descarga das encomendas e aos processos administrativos necessários.

De seguida, apresentam-se os índices, conjuntos, parâmetros, variáveis e funções do modelo desenvolvido.

### Índices e Conjuntos

$i$  – local visitado,  $i \in L = \{0, \dots, n\}$

$j$  – local a visitar,  $j \in L = \{0, \dots, n\}$

$v$  – veículo,  $v \in V = \{0, \dots, m\}$

$p$  – tipo de produto,  $p \in P = \{1,2,3\}$

$c$  – compartimento,  $c \in C = \{1,2\}$

### Parâmetros

$qp_v$  – capacidade do veículo  $v$ , em número de paletes

$qm_v$  – capacidade do veículo  $v$ , em peso (kg)

$k_{iv}$  – capacidade do cliente  $i$  receber o veículo  $v$

$dpal_{ip}$  – quantidade encomendada pelo cliente  $i$  do produto do tipo  $p$ , em paletes

$dpeso_{ip}$  – peso da quantidade encomendada pelo cliente  $i$  do produto do tipo  $p$ , em quilogramas

$tviagem_{ij}$  – tempo de viagem entre o local  $i$  e o local  $j$ , em minutos

$ttot$  – tempo total disponível para a operação de distribuição, em minutos

$custo_v$  – custo relativo à utilização do veículo  $v$

$transp_{vc}$  – capacidade do veículo  $v$  ter o compartimento  $c$

### Variáveis

$x_{ijv}$  – variável binária que assume o valor 1 se o veículo  $v$  se deslocar da localização  $i$  para a localização  $j$ , e 0 caso contrário

$y_{pvc}$  – variável binária que assume o valor 1 se o produto  $p$  for atribuído ao compartimento  $c$  do veículo  $v$ , e 0 caso contrário

$u_{ipv} \in [0,1]$  – variável auxiliar que traduz a porção da encomenda de produto do tipo  $p$  que é entregue no local  $i$  pelo veículo  $v$

$pos_i$  – variável auxiliar que traduz a posição da localização  $i$  na rota

$vf(v)$  - variável binária que assume o valor 1 se o veículo  $v$  efetua a rota, e 0 caso contrário

### Função objetivo

O objetivo deste modelo é minimizar o custo total de transporte. Deste modo, foi considerado neste modelo que a utilização de um veículo – isto é, a alocação de um veículo a uma rota – tem um custo fixo, independentemente da distância percorrida ou do nível de utilização do veículo. Assim, foi definida a função objetivo apresentada abaixo:

$$\sum_i^n \sum_j^n \sum_v^m \text{custo}_v \times x_{ijv} \quad (1)$$

### Restrições

As restrições apresentadas de seguida asseguram as várias condições a que o modelo deve obedecer.

$$\sum_v u_{ipv} = 1 \quad \forall i \in L \setminus \{0\}, p \in P \quad (2)$$

A equação (2) obriga a que a procura para cada tipo de produto seja satisfeita.

$$u_{ipv} \leq \sum_i x_{ijv} \quad \forall i \in L \setminus \{0\}, p \in P, v \in V \quad (3)$$

A equação (3) traduz que um cliente é visitado numa rota se pelo menos parte da sua procura é atribuída ao veículo  $v$ .

$$\sum_j x_{ijv} \leq 1 \quad \forall i \in L \setminus \{0\}, v \in V \quad (4)$$

Esta restrição garante que cada veículo visita cada cliente apenas uma vez.

$$\sum_j x_{ijv} = \sum_j x_{jiv} \quad \forall i \in L \setminus \{0\}, v \in V \quad (5)$$

A restrição (5) identifica que o local de chegada anterior corresponde ao local de partida do passo seguinte.

$$\sum_i \sum_j x_{ijv} \leq |S| - 1 \quad \forall v \in V, S \subseteq L \setminus \{0\}, |S| > 2 \quad (6)$$

A equação (6) garante a eliminação de *subtours*.

$$\sum_p \sum_i dpal_{ip} \times u_{ipv} \leq qp_v \quad \forall v \in V \quad (7)$$

$$\sum_p \sum_i dpeso_{ip} \times u_{ipv} \leq qm_v \quad \forall v \in V \quad (8)$$

As equações (7) e (8) garantem que a capacidade máxima dos veículos – quer em número de paletes quer em peso transportado – não é ultrapassada.

$$\sum_p y_{pvc} \leq transp_{vc} \quad \forall v \in V, c \in C \quad (9)$$

A restrição (9) garante que cada compartimento apenas transporta um tipo único de produto, caso o compartimento exista no veículo.

$$\sum_i u_{ipv} \leq |L| \sum_c y_{pvc} \quad \forall v \in V, p \in P \quad (10)$$

A equação (10) relaciona a variável  $u_{ipv}$  com a variável  $y_{pvc}$ .

$$\sum_i \sum_j tviagem_{ij} \times x_{ijv} \leq ttot \quad \forall v \in V \quad (11)$$

A equação (11) garante que o tempo disponível por turno, para cada veículo, não é ultrapassado.

$$\sum_{i \geq 1} x_{oiv} = vf_v \quad \forall v \in V \quad (12)$$

$$\sum_{i \geq 1} x_{iov} = vf_v \quad \forall v \in V \quad (13)$$

As equações (12) e (13) asseguram que cada rota começa na loja Recheio e tem de terminar na loja Recheio.

$$x_{ijv} \leq \min(k_{iv}, k_{jv}) \quad \forall v \in V, i \in L, i \neq j \quad (14)$$

A equação (14) define as condições de acessibilidade ao cliente, garantindo que um cliente só pode ser visitado por um veículo para o qual tenha capacidade de receber.

$$x_{ijv} \leq vf(v) \quad \forall v \in V, i \in L, i \neq j \quad (15)$$

A equação (15) define se um veículo é necessário para o serviço de distribuição.

## 4.5. Conclusão

Depois de explicado e definido o caso em estudo, da recolha de todos os dados adequados à resolução do problema e da descrição matemática do modelo, estão então reunidas todas as condições para se passar à etapa de validação do modelo e de análise dos resultados obtidos.

É ainda revelante referir que o modelo matemático desenvolvido no presente trabalho foi implementado em linguagem GAMS, para a obtenção de resultados. Foi utilizado o algoritmo ILOG CPLEX no

processo de otimização da solução, sendo que o modelo que tem a forma de um problema de programação linear inteira mista (PLIM).

## CAPÍTULO 5 – IMPLEMENTAÇÃO DO MODELO, RESULTADOS E ANÁLISE DE CENÁRIOS ALTERNATIVOS

Depois da fase de desenvolvimento do modelo e do levantamento e tratamento dos dados necessários à resolução do problema, passou-se então para a fase de resolução do problema real através da aplicação do modelo matemático desenvolvido – baseado num MCVRP – que seleciona os veículos necessários ao funcionamento do serviço de distribuição, com base nas restrições impostas e com o objetivo de minimizar o custo total associado ao transporte.

Inicia-se este capítulo com apresentação dos dados considerados para a implementação do modelo. O modelo foi aplicado tendo em consideração um dia de operação do serviço de distribuição, em que foram transportadas encomendas para 15 clientes. Pela avaliação de dados históricos feita junto da Recheio, este foi considerado um valor “comum” para o serviço de distribuição.

Seguidamente é feita a análise da complexidade computacional do modelo, ao aplicar ao caso em estudo.

Finalmente, é realizado o estudo do impacto que a variação da procura poderá ter na solução obtida.

O modelo foi implementado em GAMS, versão 23.5.1, e foi usado o CPLEX 12.2.0.0 como algoritmo de resolução. Como critérios de paragem usou-se um tempo máximo de computação de 1000 segundos (por defeito do GAMS) ou a obtenção da solução ótima.

O modelo foi otimizado num processador Intel® Core™ i5 - 1135G7 @ 2.40GHz, a operar a 64bits, com 12.0GB de memória RAM.

### 5.1. Implementação do Modelo

Nesta secção serão apresentados os dados considerados na aplicação do modelo construído, bem como os resultados obtidos por aplicação do modelo no que respeita a seleção de veículos a contratar para o serviço de distribuição de encomendas a clientes.

Considerando que os clientes não têm dias de serviço pré-definidos, considerou-se um dia de volume médio para uma seleção aleatória de clientes do serviço de distribuição, sendo deste modo obtido o número e tipologia dos veículos mais adequados para a satisfação dos volumes encomendados pelos clientes.

No Anexo B, apresenta-se a formulação em GAMS do modelo.

#### 5.1.1. Dados Considerados na Aplicação do Modelo

Todos os dados considerados na realização deste trabalho baseiam-se na análise de dados históricos fornecidos pela Direção de Operações da Recheio, relativos ao ano de 2019.

## Procura

Como mencionado, foi considerado um dia de operação do serviço de distribuição em que é necessário satisfazer as encomendas de 15 clientes. Considerando que os fatores relevantes para o problema são o número de paletes que compõem a encomenda e o peso da encomenda, foram recolhidos os seus valores para as encomendas dos clientes, conforme apresenta a Tabela 9.

*Tabela 9: Detalhe das Encomendas de Clientes*

| Cliente | Número de Paletes por tipo de produto |    |    | Peso da encomenda por tipo de produto |     |      |
|---------|---------------------------------------|----|----|---------------------------------------|-----|------|
|         | p1                                    | p2 | p3 | p1                                    | p2  | p3   |
| i1      | 5                                     | 1  | 1  | 457                                   | 70  | 157  |
| i2      | 8                                     | 1  | 1  | 1598                                  | 174 | 61   |
| i3      | 4                                     | 1  | 1  | 281                                   | 63  | 57   |
| i4      | 2                                     | 0  | 5  | 132                                   | 0   | 2416 |
| i5      | 1                                     | 5  | 1  | 126                                   | 759 | 55   |
| i6      | 2                                     | 1  | 1  | 85                                    | 148 | 132  |
| i7      | 2                                     | 1  | 1  | 79                                    | 137 | 123  |
| i8      | 1                                     | 1  | 1  | 61                                    | 106 | 94   |
| i9      | 1                                     | 1  | 1  | 56                                    | 97  | 87   |
| i10     | 1                                     | 2  | 0  | 52                                    | 674 | 0    |
| i11     | 1                                     | 1  | 1  | 47                                    | 82  | 74   |
| i12     | 1                                     | 1  | 4  | 46                                    | 81  | 1652 |
| i13     | 1                                     | 1  | 1  | 45                                    | 79  | 70   |
| i14     | 1                                     | 1  | 0  | 36                                    | 77  | 0    |
| i15     | 1                                     | 1  | 1  | 41                                    | 71  | 64   |

Outro elemento importante para o problema prende-se com as viagens que têm de ser realizadas entre as localizações dos vários clientes e a loja Recheio. Uma vez que apenas o tempo disponível para o serviço é o fator limitativo, foram recolhidos os tempos de viagem entre localizações, estes valores são apresentados no Anexo C.

## Frota

No que diz respeito aos veículos disponíveis para o serviço de distribuição e considerando que o objetivo do problema é o dimensionamento da frota foi considerado um conjunto de veículos maior que a frota esperada para a loja, de forma que o modelo consiga selecionar qual a melhor combinação de veículos, sem ter de considerar a escassez do recurso.

Na Tabela 10 identificam-se os veículos considerados na aplicação do modelo ao caso em estudo, considerando as suas capacidades máximas em termos de peso e número de paletes a transportar e dos compartimentos em que se pode dividir.

Tabela 10: Veículos Introduzidos no Modelo

| Veículos      | Capacidade em Paletes | Capacidade em Peso (kg) | Número de compartimentos |
|---------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|
| v1, v2        | 6                     | 1000                    | 1                        |
| v3, v4        | 6                     | 1700                    | 1                        |
| v5, v6        | 10                    | 2300                    | 1                        |
| v7, v8        | 12                    | 6000                    | 1                        |
| v9, ..., v11  | 12                    | 6000                    | 2                        |
| v12, ..., v16 | 12                    | 7000                    | 2                        |
| v17, ..., v21 | 14                    | 9000                    | 2                        |
| v22, v23      | 14                    | 15000                   | 2                        |

Ainda no que diz respeito à frota, em termos da possibilidade de atribuição de um veículo, é importante considerar a capacidade dos clientes serem servidos por um certo tipo de veículo. A Tabela 11 mostra a capacidade máxima dos clientes, em termos de veículos possíveis.

Tabela 11: Capacidade Máxima dos Clientes, em termos de Veículos

| Cliente | Capacidade Máxima |
|---------|-------------------|
| i1      | 26T               |
| i2      | 26T               |
| i3      | 19T               |
| i4      | 26T               |
| i5      | 4,6T              |
| i6      | 26T               |
| i7      | 12T               |
| i8      | 4,6T              |
| i9      | 12T               |
| i10     | 8T                |
| i11     | 12T               |
| i12     | 26T               |
| i13     | 8T                |
| i14     | 26T               |
| i15     | 26T               |



### 5.1.2. Resultados Obtidos

Com a implementação do modelo desenvolvido aos dados considerados, são então selecionados para o serviço de distribuição os seguintes veículos:

- 2 veículos mono-temperatura de 3,5T;
- 3 veículos bi-temperatura de 12T;
- 2 veículos bi-temperatura de 14T.

Para o abastecimento de 15 clientes para as quantidades consideradas, foram selecionados pelo modelo 7 veículos. De acordo com o modelo desenvolvido, a escolha do tipo de veículos está apenas condicionada pela capacidade do cliente de receber o veículo, pelo que a escolha do tipo de veículo a abastecer cada loja é feita de forma aleatória. Assim, e devido ao facto de as quantidades a entregar terem peso e número de paletes relativamente baixo, não foram selecionados pelo modelo veículos de capacidade superior a 14T.

No entanto, é importante considerar que devido ao facto de a procura ser um valor altamente volátil – uma vez que se trata de encomendas para cliente, que pode ter um comportamento fora do considerado habitual – poderá ser necessário considerar a necessidade de disponibilizar veículos de maiores dimensões, para satisfazer encomendas extraordinárias. Estes fatores serão analisados em maior detalhe na secção seguinte.

## 5.2. Complexidade Computacional do Problema

O modelo desenvolvido insere-se na tipologia VRP que são problemas de elevada complexidade computacional, sendo frequentemente denominados de *NP-hard*. Ao possuir um elevado número de variáveis e restrições, a dimensão do problema faz com que este necessite de um tempo de computação elevado para a obtenção de soluções.

Para melhor entender a complexidade do modelo desenvolvido, na Tabela 12 apresentam-se os resultados computacionais da aplicação do modelo desenvolvido. Estes resultados consideram um dia de planeamento, em “época normal” de volume de vendas.

Tabela 12: Resultados Computacionais da Aplicação do Modelo

| Número de Clientes | Número de Variáveis | Número de Restrições | Função Objetivo | GAP    | Tempo (s) |
|--------------------|---------------------|----------------------|-----------------|--------|-----------|
| 15                 | 7169                | 17667                | 427             | 34,54% | 1000      |

Como se pode observar, para apenas 15 clientes em que se testou o modelo, existe um elevado número de variáveis e restrições, o que revela a complexidade do modelo. Essa complexidade é ainda ilustrada pelo valor do GAP obtido na resolução das instâncias usadas nesta dissertação para efeitos meramente ilustrativos das potencialidades do modelo desenvolvido.

### 5.3. Análise da Variação da Procura

Depois de apresentados os resultados diretos da aplicação do modelo ao problema em estudo, será então estudado o comportamento do modelo e impacto que a variação de diversos parâmetros tem na solução para o cenário original. Uma vez que a questão da criação de rotas não é o foco principal deste estudo, sendo abordado pela Recheio com software e sistemas já existentes, não fará sentido, abordar esta temática na análise de sensibilidade que se elabora neste capítulo. Assim sendo, pretende-se analisar os fatores mais relevantes a sofrer alterações e qual o comportamento do modelo, e perceber a adequação da solução apresentada face à variação de alguns fatores mais voláteis – sendo neste caso o fator mais volátil e de maior relevância a procura, refletida nas quantidades encomendadas pelos clientes do serviço.

Num primeiro cenário alternativo, é considerado que um cliente coloca uma encomenda especialmente grande, que se traduz nos volumes apresentados na Tabela 13.

*Tabela 13: Volumes Encomendados no Primeiro Cenário Alternativo*

| Cliente | Nº de Paletes por tipo de produto |    |    | Peso da encomenda por tipo de produto |     |      |
|---------|-----------------------------------|----|----|---------------------------------------|-----|------|
|         | p1                                | p2 | p3 | p1                                    | p2  | p3   |
| i1      | 5                                 | 1  | 1  | 457                                   | 70  | 157  |
| i2      | 8                                 | 1  | 1  | 1598                                  | 174 | 61   |
| i3      | 4                                 | 1  | 1  | 281                                   | 63  | 57   |
| i4      | 2                                 | 0  | 5  | 132                                   | 0   | 2416 |
| i5      | 1                                 | 5  | 1  | 126                                   | 759 | 55   |
| i6      | 2                                 | 1  | 1  | 85                                    | 148 | 132  |
| i7      | 2                                 | 1  | 1  | 79                                    | 137 | 123  |
| i8      | 1                                 | 1  | 1  | 61                                    | 106 | 94   |
| i9      | 1                                 | 1  | 1  | 56                                    | 97  | 87   |
| i10     | 1                                 | 2  | 0  | 52                                    | 674 | 0    |
| i11     | 1                                 | 1  | 1  | 47                                    | 82  | 74   |
| i12     | 1                                 | 1  | 4  | 46                                    | 81  | 1652 |
| i13     | 1                                 | 1  | 1  | 45                                    | 79  | 70   |
| i14     | 10                                | 2  | 0  | 756                                   | 283 | 0    |
| i15     | 1                                 | 1  | 1  | 41                                    | 71  | 64   |

Ao introduzir estes novos valores no modelo, obtemos uma nova solução, em que são selecionados para o serviço de distribuição 8 veículos:

- 2 veículos mono-temperatura de 3,5T;
- 3 veículos bi-temperatura de 12T;
- 3 veículos bi-temperatura de 14T.

Comparativamente à situação base estudada, é adicionado 1 veículo bi-temperatura da tipologia 14T para satisfazer este acréscimo de volume.

Em termos computacionais, obtém-se o valor para a função objetivo de 427 e a solução obtida apresenta um gap de 36%.

Considerando agora um outro cenário alternativo em que ao cenário base de estudo se adicionam 2 clientes, sendo desde modo feito o dimensionamento da frota para 17 clientes do serviço de distribuição com o volume de encomendas apresentado na Tabela 14.

*Tabela 14: Volume de Encomendas para o Segundo Cenário Alternativo*

| Cliente | Nº de Paletes por tipo de produto |    |    | Peso da encomenda por tipo de produto |     |      |
|---------|-----------------------------------|----|----|---------------------------------------|-----|------|
|         | p1                                | p2 | p3 | p1                                    | p2  | p3   |
| i1      | 5                                 | 1  | 1  | 457                                   | 70  | 157  |
| i2      | 8                                 | 1  | 1  | 1598                                  | 174 | 61   |
| i3      | 4                                 | 1  | 1  | 281                                   | 63  | 57   |
| i4      | 2                                 | 0  | 5  | 132                                   | 0   | 2416 |
| i5      | 1                                 | 5  | 1  | 126                                   | 759 | 55   |
| i6      | 2                                 | 1  | 1  | 85                                    | 148 | 132  |
| i7      | 2                                 | 1  | 1  | 79                                    | 137 | 123  |
| i8      | 1                                 | 1  | 1  | 61                                    | 106 | 94   |
| i9      | 1                                 | 1  | 1  | 56                                    | 97  | 87   |
| i10     | 1                                 | 2  | 0  | 52                                    | 674 | 0    |
| i11     | 1                                 | 1  | 1  | 47                                    | 82  | 74   |
| i12     | 1                                 | 1  | 4  | 46                                    | 81  | 1652 |
| i13     | 1                                 | 1  | 1  | 45                                    | 79  | 70   |
| i14     | 1                                 | 1  | 0  | 36                                    | 77  | 0    |
| i15     | 1                                 | 1  | 1  | 41                                    | 71  | 64   |
| i16     | 5                                 | 4  | 2  | 346                                   | 606 | 541  |
| i17     | 3                                 | 2  | 1  | 158                                   | 277 | 247  |

Neste segundo cenário, são necessários 9 veículos para o serviço de distribuição, sendo estes:

- 2 veículos de 3,5T mono-temperatura;
- 1 veículo de 8T mono-temperatura;
- 3 veículos de 12T bi-temperatura;
- 3 veículos de 14T bi-temperatura.

Comparando agora este cenário com o cenário base, são necessários mais 2 veículos para a execução do serviço de distribuição.

Em termos computacionais, da aplicação deste cenário resulta o valor 513 para a função objetivo, que tem um gap relativo de 36,19%.

#### 5.4. Conclusões

Neste capítulo foram apresentados os dados que compõem o caso base, e analisados os resultados da implementação do modelo. Desta aplicação pode concluir-se que o modelo é complexo, requerendo um elevado tempo de computação. Isto relaciona-se com o facto de três das variáveis consideradas – incluindo a variável de decisão – serem definidas com vários índices, gerando então um elevado número de combinações possíveis e fazendo com que o modelo demorasse um extenso período de tempo a encontrar a solução ótima, sendo isto observado pelo elevado gap relativo na solução encontrada, considerando o tempo de execução máximo estabelecido pelo programa utilizado – GAMS.

Após a análise do cenário base é então efetuada uma análise a dois cenários propostos em que a procura sofre alterações. No primeiro cenário alternativo, é considerado que um dos clientes que integram o cenário base coloca uma encomenda extraordinária de alto volume, que leva à necessidade de aumento da frota disponível. O segundo cenário, considera a adição de 2 clientes ao cenário base, o que incrementa o resultado obtido em 3 veículos. Fazendo uma análise conjunta com a Direção de Operações da Recheio, os valores obtidos parecem traduzir corretamente a realidade, pelo que o modelo poderá ser então aplicado às várias lojas Recheio e aos vários cenários possíveis da procura.

## CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES FINAIS E TRABALHO FUTURO

A importância dos transportes no panorama atual é um facto, e a sua relevância é observável em qualquer atividade logística e na cadeia de abastecimento de qualquer empresa e organização. A operação de distribuição é indispensável, ao conectar vários níveis da cadeia de abastecimento, garantindo a movimentação dos produtos desde a sua origem até ao seu destino final. Contudo, esta operação pode acarretar enormes custos e a sua eficiência impacta fortemente todos os outros intervenientes na cadeia. Assim, a otimização dos serviços de transporte é um tema fortemente abordado por organizações e empresas, de forma a melhorar a eficiência e fiabilidade da cadeia de abastecimento. Deste modo, esta dissertação pretende ter um papel auxiliar no dimensionamento da frota atribuída às lojas da Recheio Cash and Carry, insígnia do grupo Jerónimo Martins dedicada à distribuição alimentar grossista.

O presente trabalho surgiu no âmbito do *Academic Thesis Programme* da Jerónimo Martins. O principal objetivo da presente dissertação em Engenharia e Gestão Industrial foi o de criar um modelo de dimensionamento de frota para o serviço de distribuição de encomendas a clientes, aplicável a qualquer loja da insígnia Recheio. Este modelo serve para que, em qualquer momento do tempo, a direção de operações da Recheio possa dimensionar frota a operar em qualquer uma das lojas, tendo em consideração alterações ao serviço de distribuição.

Com este objetivo em mente foi feita uma descrição do grupo Jerónimo Martins, focando em particular a Recheio e a sua operação de distribuição de encomendas a clientes. Analisando as necessidades da empresa e as particularidades do caso em estudo, foi feita uma revisão de literatura que culminou na seleção da abordagem a seguir para a criação do modelo. Deste modo, foram recolhidos todos os dados necessários para a resolução do problema em estudo.

Da revisão da literatura conclui-se que os problemas de dimensionamento de frota têm uma íntima relação com problemas de otimização de rotas, pelo que se pode argumentar que o dimensionamento da frota é uma fase mais estratégica/tática do planeamento de transportes, em que a determinação de rotas corresponde a uma fase de carácter mais operacional, pelo que na construção do modelo foi baseada numa variante do *Vehicle Routing Problem*, um tipo de abordagem normalmente relacionada com a definição e otimização de rotas de cariz mais operacional.

Foi assim desenvolvido um modelo de dimensionamento baseado no MCVRP, cujo objetivo principal é a obtenção do número de veículos de cada tipologia mais adequado para o serviço de distribuição, tendo em visto a minimização do custo dos transportes no serviço de distribuição e considerando a execução total das entregas das encomendas dos clientes, assegurando assim o nível de serviço previamente acordado com o cliente. Considerando que, na ótica da Recheio, este modelo deverá ser aplicado pelas equipas operacionais, é necessário que o modelo desenvolvido fosse de aplicação e compreensão fácil. O modelo desenvolvido, considerando que se enquadra na categoria do VRP, é então fácil de descrever e modelar, mas de difícil resolução uma vez que o número de combinações

possíveis é muito elevado, traduzindo-se em longos tempos computacionais e dificuldade na obtenção da solução ótima, pertencendo assim à classe de problemas *NP-hard*.

O modelo matemático desenvolvido foi então implementado com recurso à linguagem de modelação GAMS, em que se obtém como solução os veículos mais apropriados, segundo os dados considerados, para o transporte das encomendas dos clientes.

A aplicação desta dissertação tomou por exemplo a operação do serviço de distribuição de encomendas a clientes da loja de Leiria, em que foram analisadas as necessidades de transporte para um dia do serviço de distribuição, dia este obtido através do estudo da procura do serviço de distribuição, de forma a ser representativo de um dia “normal” de operação, em que se considera a distribuição de encomendas para 15 clientes.

Considerando ainda o carácter extremamente volátil da colocação de encomendas pelos clientes, foi ainda feita uma análise a dois cenários alternativos. Um primeiro cenário em que se considera uma encomenda de maior volume por parte de um dos clientes, e um segundo cenário em que se pretende avaliar a necessidade da frota para um número superior de clientes.

Em linha com a revisão de literatura feita e as características do serviço de distribuição de encomendas da Recheio, recomenda-se ainda a introdução de indicadores de desempenho quantificáveis de forma a mais facilmente verificar a adequação da frota ao cenário da loja e do serviço. nomeadamente no que diz respeito à taxa de utilização dos veículos em termos de capacidade – coeficiente de utilização do veículo – e em termos de horas disponíveis dos condutores – tempo de viagem por dia.

Por fim, espera-se que o trabalho realizado nesta dissertação se considere uma ferramenta vantajosa para a Recheio na questão de melhorar o seu serviço de distribuição de encomendas a clientes, no que diz respeito à frota disponibilizada às lojas para a execução deste serviço. Na tomada de decisão, a empresa deverá ter em linha de conta que este modelo, apesar de caracterizar o melhor possível a realidade do serviço de distribuição, apresenta algumas limitações, não conseguindo, portanto, prever todas as situações que possam ocorrer na operação do serviço. Deste modo, é expectável que o modelo criado seja uma base para o estudo do dimensionamento da frota, que a empresa poderá adaptar à sua realidade “do momento”, considerando possíveis alterações que possam ser efetuadas ao serviço e aos seus processos.

## REFERÊNCIAS

- Ballou, R. H. (2004). *Business Logistics/Supply Chain Management*. New Jersey: Pearson Education.
- Beaujon, G. J., & Turnquist, M. A. (1991). A Model for Fleet Sizing and Vehicle Allocation. *Transportation Science*, 25(1), 19-45.
- Bowerson, D. J., Closs, D. J., & Cooper, M. (2002). *Supply Chain Logistics Management*. New York: McGraw-Hill.
- Couillard, J. (1993). A Decision Support System for Vehicle Fleet Planning. *Decision Support Systems*, 9, 149-159.
- Council of Supply Chain Management Professionals. (s.d.). *SCM Definitions and Glossary*. Obtido em 2019 de dezembro de 20, de [https://cscmp.org/CSCMP/Academia/SCM\\_Definitions\\_and\\_Glossary\\_of\\_Terms/CSCMP/Educate/SCM\\_Definitions\\_and\\_Glossary\\_of\\_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921](https://cscmp.org/CSCMP/Academia/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx?hkey=60879588-f65f-4ab5-8c4b-6878815ef921)
- Crainic, T. G. (2000). Service Network Design in Freight Transportation. *European Journal of Operational Research*(122), 272-288.
- Crainic, T. G., & Laporte, G. (1997). Planning Models for Freight Transportation. *European Journal of Operational Research*(97), 409-438.
- Cristini, M. (2015). *The Role of Transportation in Supply Chain Management*. Retrieved from EyeFreight: <https://eyefreight.com/the-role-of-transportation-in-supply-chain-management/>
- Dožic, S., Jelović, A., Kalić, M., & Čangalović, M. (2019). Variable Neighborhood Search to Solve an Airline Fleet Sizing and Fleet Assignment Problem. *Transportation Research Procedia*(37), 258-265.
- Du, Y., & Hall, R. (1997). Fleet Sizing and Empty Equipment Redistribution for Center-terminal Transportation Networks. *43*(2), 145-157.
- Dumitrache, C., Kherbash, O., & Mocan, M. L. (2016). Improving Key Performance Indicators in Romanian Large Transport Companies. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 221, 211-217.
- Ertogal, K., Akbalik, A., & González, S. (2017). Modelling and Analysis of a Strategic Fleet Sizing Problem for a Furniture Distributor. *European Journal of Industrial Engineering*, 11(1), 49-77.
- Eurostat. (2019). *Freight Transport Statistics - Modal Split*. European Union: Eurostat.
- Firth, M. (1977). *Forecasting Methods in Business and Management*. Londres: Edward Arnold.

- Gunasekaran, A., Patel, C., & Tirtiroglu, E. (2001). Performance Measures and Metrics in a Supply Chain Environment. *International Journal of Operations & Production Management*, 21(1/2), 71-87.
- Hamel, G., & Prahalad, K. (1994). *Competing for the Future*. Boston: Harvard Business School Press.
- Heap, R., Kierstan, M., & Ford, G. (1998). *Food Transportation*. London: Blackie Academic and Professional.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2001). *Introduction to Operations Research* (7th Edition ed.). New York: McGraw-Hill Higher Education. Retrieved Março 4, 2020
- Hsu, C.-I., & Chen, W.-T. (2014). Optimizing Fleet Size and Delivery Scheduling for Multi-temperature Food Distribution. *Applied Mathematical Modelling*(38), 1077-1091.
- Jerónimo Martins. (s.d.). *Apresentação Institucional*. Obtido em 20 de Outubro de 2019, de Media | Jerónimo Martins: <https://www.jeronimomartins.com/wp-content/uploads/01-DOCUMENTS/Corporate-Presentations/Apresentacao-Institucional-19072019.pdf>
- Jerónimo Martins. (s.d.). *JM2018\_Sintese\_pt-3.pdf*. Obtido em 23 de Novembro de 2019, de [https://www.jeronimomartins.com/wp-content/uploads/01-DOCUMENTS/Investor/Reports/year-in-review-2018/PT/JM2018\\_Sintese\\_pt\\_3.pdf](https://www.jeronimomartins.com/wp-content/uploads/01-DOCUMENTS/Investor/Reports/year-in-review-2018/PT/JM2018_Sintese_pt_3.pdf)
- Kasilingam, R. G. (1998). *Logistics and Transportation: Design and Planning*. Springer - Science+Business Media.
- Konsta, K., & Plomaritou, E. (2012). Key Performance Indicators (KPIs) and Shipping Companies Performance Evaluation: The Case of Greek Tanker Shipping Companies. *International Journal of Business and Management*, 7(10), 142-155.
- Lambert, D. M., Stock, J. R., & Ellram, L. M. (1998). *Fundamentals of Logistics Management*. Boston: McGraw-Hill.
- List, G. F., Wood, B., Nozick, L. k., A., T. M., Jones, D. A., Kjeldgaard, E. A., & Lawton, C. R. (2003). Robust Optimization for Fleet Planning Under Uncertainty. *Transportation Research Part E*(39), 209-227.
- Liu, S., Huang, W., & Ma, H. (2009). An Effective Genetic Algorithm for the Fleet Sizing and Mix Vehicle Routing Problems. *Transportation Research Part E*, 45(3), 434-445.
- Marić, R. M., Đuranović, D., & Nuševa, D. (2018). Key Indicators of Physical Distribution of Goods: A Case Study of the Western Balkans. *Promet - Traffic & Transportation*, 30(3), 311-322.
- OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development. (2002). *Glossary of Key Terms in Evaluation and Results Based Management*. Obtido em 05 de janeiro de 2020, de OECD.org: <https://www.oecd.org/dac/evaluation/2754804.pdf>



- Ostermeier, M., Henke, T., Hübner, A., & Wäscher, G. (2021). Multi-compartment vehicle routing problems: State-of-the-art, modeling framework and future directions. *European Journal of Operation Research*, 799-817.
- Pinheiro de Lima, E., Gouvea da Costa, S., Angelis, J. J., & Munik, J. (2013). Performance Measurement Systems: A Consensual Analysis of Their Roles. *International Journal of Production Economics*, 146(2), 524-542.
- Pinto, R., Lagorio, A., & Golini, R. (2018). Urban Freight Fleet Composition Problem. *IFAC PapersOnLine*, 51(11), 582-587.
- Recheio Cash and Carry, S.A. (2019). *Relatório de Vendas*.
- Recheio Cash and Carry, S.A. (s.d.). *Lojas Recheio*. Obtido em 23 de dezembro de 2019, de Recheio Cash and Carry: <https://www.recheio.pt/lojas/>
- Recheio Cash and Carry, S.A. (s.d.). *Quem somos*. Obtido em 16 de Outubro de 2019, de <https://www.recheio.pt/quem-somos/>
- Redmer, A. (2015). Strategic Vehicle Fleet Management - The Composition Problem. *LogForum*, 11(1), 119-126.
- Redmer, A., Sawicki, P., & Žak, J. (2008). Multiple Objective Optimization of the Fleet Sizing Problem for Road Freight Transportation. 42(4), 379-427.
- Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2006). *The Handbook of Logistics and Distribution Management*. Glasgow: Kogan Page Limited.
- Simchi-Levi, D., Kamisky, P., & Simchi-Levi, E. (2000). *Designing and Managing the Supply Chain: Concept, Strategies and Case Studies*. McGraw-Hill Irwin: Boston.
- Stevenson, W. J. (1996). *Production/Operations Management*. Nova Iorque: Irwin.
- Stock, J. R., & Boyer, S. L. (2009). Developing a Consensus Definition of Supply Chain Management: a Qualitative Study. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 39(8), pp. 690-711.
- Wieberneit, N. (2007). Service Network Design for Freight Transportation: a review. *OR Spectrum*, 30(1), 77-112.
- Wu, P., Hartman, J. C., & Wilson, G. R. (2005). An Integrated Model and Solution Approach for Fleet Sizing with Heterogenous Assets. *Transportation Science*, 39(1), 87-103.

## ANEXOS

### Anexo A: Lojas e Hubs Recheio

| Região   | Loja                 |
|----------|----------------------|
| Região 1 | Barcelos             |
|          | Braga                |
|          | Ramalde              |
|          | Mirandela            |
|          | Vila do Conde        |
|          | Valença              |
|          | Amarante             |
|          | Ermesinde            |
|          | Vila Real            |
|          | Mercado              |
|          | Santa Maria da Feira |
|          | Gaia                 |
| Região 2 | Viseu                |
|          | Aveiro               |
|          | Castelo Branco       |
|          | Coimbra              |
|          | Figueira da Foz      |
|          | Torres Novas         |
|          | Fátima               |
|          | Leiria               |
|          | Leiria – Hub         |
|          | Óbidos               |
|          | Vila Franca de Xira  |
|          | Torres Vedras        |
| Região 3 | Loures               |
|          | Aeroporto            |
|          | Abóboda              |
|          | Intendente           |
|          | Corroios             |
|          | Barreiro             |
|          | Setúbal              |
|          | Évora                |
|          | Sines                |
|          | Lagos                |
|          | Portimão             |
|          | Albufeira            |
| Faro     |                      |
| Tavira   |                      |
| Madeira  | Madeira              |

## Anexo B: Modelo em GAMS

Neste anexo é apresentado o modelo que foi implementado em linguagem GAMS.

sets

i i0 corresponde à loja Recheio e de i1 a i15 para os clientes /i0\*i15/  
v veículo /v1\*v23/  
c compartimento c1 para temp ambiente e c2 para temp controlada /c1\*c2/  
p tipo de produto p1 p1 para secos p2 para refrigerados e p3 para congelados /p1\*p3/  
;

Alias (i,j);

Parameters

qp(v) capacidade do veículo em paletes

/

|     |    |
|-----|----|
| v1  | 6  |
| v2  | 6  |
| v3  | 6  |
| v4  | 6  |
| v5  | 10 |
| v6  | 10 |
| v7  | 12 |
| v8  | 12 |
| v9  | 12 |
| v10 | 12 |
| v11 | 12 |
| v12 | 12 |
| v13 | 12 |
| v14 | 12 |
| v15 | 12 |
| v16 | 12 |
| v17 | 14 |
| v18 | 14 |
| v19 | 14 |
| v20 | 14 |
| v21 | 14 |

v22 14  
v23 14  
/

qm(v) capacidade do veículo em kg

/  
v1 1000  
v2 1000  
v3 1700  
v4 1700  
v5 2300  
v6 2300  
v7 6000  
v8 6000  
v9 6000  
v10 6000  
v11 6000  
v12 7000  
v13 7000  
v14 7000  
v15 7000  
v16 7000  
v17 9000  
v18 9000  
v19 9000  
v20 9000  
v21 9000  
v22 15000  
v23 15000  
/

custo(v) custo de utilização do veículo v

/  
v1 9  
v2 9

v3 11  
 v4 11  
 v5 12  
 v6 12  
 v7 13  
 v8 13  
 v9 13  
 v10 13  
 v11 13  
 v12 14  
 v13 14  
 v14 14  
 v15 14  
 v16 14  
 v17 16  
 v18 16  
 v19 16  
 v20 16  
 v21 16  
 v22 18  
 v23 18  
 /  
 ;

Table k(i,v) capacidade do cliente i receber o veículo v

|     | v1  | v2  | v3  | v4  | v5  | v6  | v7  | v8  | v9 | v10 | v11 | v12 | v13 | v14 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|
| v15 | v16 | v17 | v18 | v19 | v20 | v21 | v22 | v23 |    |     |     |     |     |     |
| i0  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |     |     |    |     |     |     |     |     |
| i1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |     |     |    |     |     |     |     |     |
| i2  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |     |     |    |     |     |     |     |     |
| i3  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   |     |     |    |     |     |     |     |     |
| i4  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |
| 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   |     |     |    |     |     |     |     |     |
| i5  | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |
| 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   |     |     |    |     |     |     |     |     |

|     |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|-----|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| i6  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1   | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| i7  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| i8  | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| i9  | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| i10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| i11 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| i12 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1   | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| i13 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0   | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| i14 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1   | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
| i15 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1   | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |

;

Table dpal(i,p) quantidade encomendada pelo cliente i do tipo de produto p em paletes

|     | p1 | p2 | p3 |
|-----|----|----|----|
| i0  | 0  | 0  | 0  |
| i1  | 5  | 1  | 1  |
| i2  | 8  | 1  | 1  |
| i3  | 4  | 1  | 1  |
| i4  | 2  | 0  | 5  |
| i5  | 1  | 5  | 1  |
| i6  | 2  | 1  | 1  |
| i7  | 2  | 1  | 1  |
| i8  | 1  | 1  | 1  |
| i9  | 1  | 1  | 1  |
| i10 | 1  | 2  | 0  |
| i11 | 1  | 1  | 1  |
| i12 | 1  | 1  | 4  |
| i13 | 1  | 1  | 1  |
| i14 | 1  | 1  | 0  |

i15 1 1 1

;

Table dpeso(i,p) quantidade encomendada pelo cliente i do tipo de produto p em peso

|     | p1   | p2  | p3   |
|-----|------|-----|------|
| i0  | 0    | 0   | 0    |
| i1  | 457  | 70  | 157  |
| i2  | 1598 | 174 | 61   |
| i3  | 281  | 63  | 57   |
| i4  | 132  | 0   | 2416 |
| i5  | 126  | 759 | 55   |
| i6  | 85   | 148 | 132  |
| i7  | 79   | 137 | 123  |
| i8  | 61   | 106 | 94   |
| i9  | 56   | 97  | 87   |
| i10 | 52   | 674 | 0    |
| i11 | 47   | 82  | 74   |
| i12 | 46   | 81  | 1652 |
| i13 | 45   | 79  | 70   |
| i14 | 36   | 77  | 0    |
| i15 | 41   | 71  | 64   |

;

Table transp(v,c) capacidade do veiculo ter o compartimento

|    | c1 | c2 |
|----|----|----|
| v1 | 1  | 0  |
| v2 | 1  | 0  |
| v3 | 1  | 0  |
| v4 | 1  | 0  |
| v5 | 1  | 0  |
| v6 | 1  | 0  |
| v7 | 1  | 0  |
| v8 | 1  | 0  |

v9 1 1  
 v10 1 1  
 v11 1 1  
 v12 1 1  
 v13 1 1  
 v14 1 1  
 v15 1 1  
 v16 1 1  
 v17 1 1  
 v18 1 1  
 v19 1 1  
 v20 1 1  
 v21 1 1  
 v22 1 1  
 v23 1 1  
 ;

Table tviagem(i,j) tempo de viagem entre os locais i e j

|     | i0  | i1  | i2  | i3  | i4  | i5  | i6  | i7  | i8  | i9  | i10 | i11 | i12 | i13 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| i14 | i15 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| i0  | 0   | 93  | 86  | 102 | 97  | 114 | 103 | 92  | 95  | 79  | 101 | 69  |     |     |
| 99  | 69  | 92  | 56  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| i1  | 93  | 0   | 56  | 66  | 56  | 84  | 77  | 71  | 147 | 134 | 63  | 121 |     |     |
| 147 | 108 | 56  | 108 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| i2  | 86  | 56  | 0   | 56  | 56  | 85  | 77  | 69  | 134 | 121 | 63  | 108 |     |     |
| 134 | 95  | 50  | 97  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| i3  | 102 | 66  | 56  | 0   | 75  | 102 | 95  | 86  | 134 | 147 | 82  | 128 |     |     |
| 160 | 115 | 50  | 121 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| i4  | 97  | 56  | 56  | 75  | 0   | 80  | 79  | 73  | 147 | 134 | 58  | 121 |     |     |
| 154 | 108 | 69  | 108 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| i5  | 114 | 84  | 85  | 102 | 80  | 0   | 56  | 82  | 160 | 147 | 63  | 128 |     |     |
| 160 | 105 | 90  | 98  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| i6  | 103 | 77  | 77  | 93  | 79  | 56  | 0   | 82  | 160 | 147 | 63  | 128 |     |     |
| 160 | 105 | 90  | 98  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| i7  | 92  | 71  | 69  | 86  | 73  | 82  | 82  | 0   | 134 | 121 | 69  | 108 |     |     |
| 134 | 86  | 76  | 92  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| i8  | 95  | 147 | 134 | 134 | 147 | 160 | 160 | 134 | 0   | 82  | 147 | 69  |     |     |
| 69  | 108 | 147 | 89  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |



|     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| i9  | 79  | 134 | 121 | 147 | 134 | 147 | 147 | 121 | 82  | 0   | 141 | 69  |
| 82  | 95  | 128 | 82  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| i10 | 101 | 63  | 63  | 82  | 58  | 63  | 63  | 69  | 147 | 141 | 0   | 134 |
| 160 | 108 | 69  | 111 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| i11 | 69  | 121 | 108 | 128 | 121 | 128 | 128 | 108 | 69  | 69  | 134 | 0   |
| 69  | 82  | 121 | 63  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| i12 | 99  | 147 | 134 | 160 | 154 | 160 | 160 | 134 | 69  | 82  | 160 | 69  |
| 0   | 108 | 160 | 95  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| i13 | 69  | 108 | 95  | 115 | 108 | 105 | 105 | 86  | 108 | 95  | 108 | 82  |
| 108 | 0   | 108 | 56  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| i14 | 92  | 56  | 50  | 50  | 69  | 90  | 90  | 76  | 147 | 128 | 69  | 121 |
| 160 | 108 | 0   | 108 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| i15 | 56  | 108 | 97  | 121 | 108 | 98  | 98  | 92  | 89  | 82  | 111 | 63  |
| 95  | 56  | 108 | 0   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

;

Scalar ttot tempo total disponível para a operação de distribuição por turno e veículo /480/;

#### Variables

$u(i,p,v)$  parte da encomenda do cliente  $i$  do tipo de produto  $p$  que é entregue no local  $i$  pelo veículo  $v$

$x(i,j,v)$  variável binária que assume o valor 1 se o veículo  $v$  se desloca da localização  $i$  para a localização  $j$  e 0 cc

$y(p,v,c)$  variável binária que assume o valor 1 se o tipo de produto  $p$  for atribuído ao compartimento  $c$  do veículo  $v$  e 0 cc

$pos(i)$  variavel que da a posicao do local  $i$  na rota

$vf(v)$  variavel binaria que assume o valor 1 se o veiculo  $v$  efetua a rota

$z$  variavel objetivo

;

Positive variables  $u, pos$ ;

Binary variables  $x, y, vf$ ;

#### Equations

Obj funcao objetivo minimizar o custo de transporte

eq1( $i,p$ ) encomendas dos clientes satisfeitas para cada tipo de produto

eq2( $i,p,v$ ) o cliente é visitado numa rota se pelo menos parte da sua procura é atribuída ao veículo  $v$

eq3( $i,v$ ) cada veiculo visita cada cliente apenas uma vez

eq4( $i,v$ ) o local de chegada de um veiculo corresponde ao local de partida para o passo seguinte

eq5( $i,j,v$ ) eliminacao de subtours

eq6(v) capacidade dos veiculos em paletes  
 eq7(v) capacidade dos veiculos em peso  
 eq8(v,c) cada compartimento transporta um tipo unico de produto  
 eq9(v,p) relacao da variavel u com a variavel y  
 eq10(v) tempo disponivel por turno nao e ultrapassado  
 eq11(j,v) rota comeca na loja Recheio  
 eq12(j,v) rota termina na loja Recheio  
 eq13(i,j,v) acessibilidade do cliente  
 eq14(j,i,v) define se um veiculo e necessario para a distribuicao  
 ;

obj..z=E\*sum(i,sum(j,sum(v,custo(v)\*x(i,j,v))));  
 eq1(i,p)..sum(v,u(i,p,v))=E=1;  
 eq2(i,p,v)..u(i,p,v)=L\*sum(j,x(i,j,v));  
 eq3(i,v)..sum(j,x(i,j,v))=L=1;  
 eq4(i,v)..sum(j,x(i,j,v))=E\*sum(j,x(j,i,v));  
 eq5(i,j,v)\$ (ord(i)<>ord(j) and ord(i)<>1 and ord(j)<>1)..pos(i)-pos(j)+card(i)\*x(i,j,v)=L=card(i)-1;  
 eq6(v)..sum(p,sum(i,dpal(i,p)\*u(i,p,v)))=L=qp(v);  
 eq7(v)..sum(p,sum(i,dpeso(i,p)\*u(i,p,v)))=L=qm(v);  
 eq8(v,c)..sum(p,y(p,v,c))=L= transp(v,c);  
 eq9(v,p)..sum(i,u(i,p,v))=L=card(i)\*sum(c,y(p,v,c));  
 eq10(v)..sum(i,sum(j,tviagem(i,j)\*x(i,j,v)))=L=ttot;  
 eq11(j,v)\$ (ord(j)eq 1)..Sum((i)\$ (ord(i) gt 1), x(j,i,v)) =E= vf(v);  
 eq12(j,v)\$ (ord(j)eq 1)..Sum((i)\$ (ord(i) gt 1), x(i,j,v)) =E= vf(v);  
 eq13(i,j,v)\$ (ord(i)<>ord(j) and ord(i)>1 and ord(j)>1).. x(i,j,v) =L= min(k(i,v),k(j,v));  
 eq14(j,i,v)..x(j,i,v)=L=vf(v);

Model tese /all/  
 Tese.optcr=0;  
 Tese.optfile=1;  
 Tese.workspace=30000;  
 Solve tese using mip minimizing z;  
 display vf.l;

## Anexo C: Distâncias entre Clientes e Hub de Leiria

|     | i0  | i1  | i2  | i3  | i4  | i5  | i6  | i7  | i8  | i9  | i10 | i11 | i12 | i13 | i14 | i15 |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| i0  | 0   | 93  | 86  | 102 | 97  | 114 | 103 | 92  | 95  | 79  | 101 | 69  | 99  | 69  | 92  | 56  |
| i1  | 93  | 0   | 56  | 66  | 56  | 84  | 77  | 71  | 147 | 134 | 63  | 121 | 147 | 108 | 56  | 108 |
| i2  | 86  | 56  | 0   | 56  | 56  | 85  | 77  | 69  | 134 | 121 | 63  | 108 | 134 | 95  | 50  | 97  |
| i3  | 102 | 66  | 56  | 0   | 75  | 102 | 95  | 86  | 134 | 147 | 82  | 128 | 160 | 115 | 50  | 121 |
| i4  | 97  | 56  | 56  | 75  | 0   | 80  | 79  | 73  | 147 | 134 | 58  | 121 | 154 | 108 | 69  | 108 |
| i5  | 114 | 84  | 85  | 102 | 80  | 0   | 56  | 82  | 160 | 147 | 63  | 128 | 160 | 105 | 90  | 98  |
| i6  | 103 | 77  | 77  | 93  | 79  | 56  | 0   | 82  | 160 | 147 | 63  | 128 | 160 | 105 | 90  | 98  |
| i7  | 92  | 71  | 69  | 86  | 73  | 82  | 82  | 0   | 134 | 121 | 69  | 108 | 134 | 86  | 76  | 92  |
| i8  | 95  | 147 | 134 | 134 | 147 | 160 | 160 | 134 | 0   | 82  | 147 | 69  | 69  | 108 | 147 | 89  |
| i9  | 79  | 134 | 121 | 147 | 134 | 147 | 147 | 121 | 82  | 0   | 141 | 69  | 82  | 95  | 128 | 82  |
| i10 | 101 | 63  | 63  | 82  | 58  | 63  | 63  | 69  | 147 | 141 | 0   | 134 | 160 | 108 | 69  | 111 |
| i11 | 69  | 121 | 108 | 128 | 121 | 128 | 128 | 108 | 69  | 69  | 134 | 0   | 69  | 82  | 121 | 63  |
| i12 | 99  | 147 | 134 | 160 | 154 | 160 | 160 | 134 | 69  | 82  | 160 | 69  | 0   | 108 | 160 | 95  |
| i13 | 69  | 108 | 95  | 115 | 108 | 105 | 105 | 86  | 108 | 95  | 108 | 82  | 108 | 0   | 108 | 56  |
| i14 | 92  | 56  | 50  | 50  | 69  | 90  | 90  | 76  | 147 | 128 | 69  | 121 | 160 | 108 | 0   | 108 |
| i15 | 56  | 108 | 97  | 121 | 108 | 98  | 98  | 92  | 89  | 82  | 111 | 63  | 95  | 56  | 108 | 0   |