

Otimização da Logística de Transportes numa Indústria Alimentar

Carlos André Amaro Capitão

Dissertação de Mestrado

Orientador na FEUP: Prof. Luís Guimarães

U. PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

2020-06-29

Resumo

O projeto subjacente à presente dissertação foi realizado em contexto empresarial na Cerealis, uma empresa centenária portuguesa de referência na indústria alimentar. O elevado ritmo de crescimento exige um excelente desempenho da logística da empresa para responder à procura dos clientes. O principal tópico do foco desta dissertação consiste em avaliar as melhorias operacionais a partir da implementação de uma plataforma de otimização da operação logística.

A dissertação descreve o problema associado à dificuldade no planeamento de cargas e alocação de rotas, sendo necessário despende bastante tempo diariamente visto ser uma tarefa manual. O custo do transporte anual da empresa é elevado e, portanto, um planeamento eficaz pode obter uma poupança significativa e importante no rumo que a empresa quer tomar. A implementação de uma plataforma logística visa atingir a excelência operacional de modo a reduzir o tempo despendido e o custo da operação logística.

Tendo este objetivo em mente, a Cerealis recorreu a uma empresa externa para desenvolver uma plataforma logística de acordo com o funcionamento da empresa. O intuito inicial da dissertação seria comparar, para um determinado período, os resultados da operação real com os resultados da simulação da ferramenta desenvolvida pela empresa subcontratada, estimando a poupança obtida e as melhorias no planeamento operacional.

No entanto, o aparecimento de uma pandemia mundial fez com que os objetivos fossem adaptados uma vez que o desenvolvimento da ferramenta pela empresa tinha sido comprometido. Deste modo, desenvolveu-se de raiz um modelo matemático representativo da realidade da Cerealis com o objetivo de minimizar os custos da operação.

As simulações centraram-se numa abordagem de eficiência das rotas. O propósito consistiu em entregar as mesmas quantidades por dia em rotas mais eficientes para estimar a economia possível dos custos de transporte.

Os resultados do projeto confirmam que utilizar um planeamento automático recorrendo a um modelo matemático irá permitir obter economias do custo de transporte num período de tempo inferior ao atual, garantindo na mesma o cumprimento das entregas de acordo com os requisitos de cada cliente. Apesar dos pressupostos considerados, foi possível obter uma poupança considerável o que acaba por ser um incentivo e uma prova de que a Cerealis deve adotar esta solução.

Tomando o trabalho desenvolvido nesta dissertação como base, no futuro, deve-se procurar aproximar ainda mais o modelo da operação da empresa. Aspectos como a possibilidade de cargas em armazéns diferentes, a definição dos dias de carga dos veículos ou inserir um horizonte temporal no planeamento, devem ser estudadas e classificadas para determinar a poupança efetiva possível de alcançar.

Abstract

Otimization of Transport Logistics in Food Industry

The project underlying this dissertation was carried out in a business context at Cerealis, a century-old Portuguese reference company in the food industry. The high pace of growth of the company requires an excellent performance of logistics to meet customer demand. The main topic of this dissertation is the evaluation of operational improvements based on the implementation of a platform to optimize the logistics operation.

The dissertation describes the problem associated with the difficulty of freight planning and route allocation, as a lot of time has to be spent every day because it is a manual task. The company's annual transportation costs are high, and therefore, through effective planning, it can achieve significant and important savings in the direction the company wants to take. The implementation of a logistics platform aims to achieve operational excellence to reduce the time spent and the costs of the logistics operations.

With this goal in mind, Cerealis turned to an external company to develop a logistics platform in line with the company's business activities. The initial purpose of the dissertation would be to compare, for a given period of time, the results of the actual operation with the results of the simulation of the tool developed by the subcontractor, and to estimate the savings achieved and the improvements in operational planning.

However, the emergence of a global pandemic meant that the targets were adjusted after the development of the platform had been compromised by the company. In this way, a mathematical model was developed from the ground up that corresponds to the reality of Cerealis in order to minimize the costs of the operation.

The simulations focused on an approach to route efficiency. The purpose was to deliver the same quantities per day on the most efficient routes to estimate the possible savings in transportation costs.

The results of the project confirm that the use of automatic planning through a mathematical model makes it possible to achieve savings in transport costs in a shorter period of time than at present and to guarantee the fulfillment of deliveries according to the requirements of each customer. Despite the assumptions taken into account, significant savings were achieved, which is an incentive and proof that Cerealis should adopt this solution.

Taking the work developed in this dissertation as a basis, in the future, the company should seek to bring the model even closer to its reality. Aspects such as the possibility of loading in different warehouses, the definition of the loading days of the vehicles, or even inserting a time horizon in the planning, must be studied and classified to determine the effective savings possible to achieve.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer à Eng^a Bárbara Fraga por me ter proporcionado a oportunidade de realizar a dissertação na Cerealis. Por todos os conhecimentos transmitidos, pelo acompanhamento constante, dedicação, incentivo e exigência, obrigado.

Gostaria também de agradecer a toda a equipa logística da Cerealis presente na Maia, por todo o auxílio prestado, pela disponibilidade demonstrada durante o estágio e pelo carinho com que me acolheram.

Ao Professor Luís Guimarães, agradeço particularmente pela orientação nos momentos mais difíceis deste projeto. Por todos os contributos, por todos os desafios propostos e pela disponibilidade demonstrada em ajudar-me em qualquer momento, obrigado.

Aos meus amigos, pela amizade, pelos momentos e pela ajuda não só durante a realização do projeto como ao longo deste percurso de 5 anos, obrigado.

Por fim, agradeço especialmente aos meu pais, pelo apoio incondicional em todos os momentos da minha vida, fornecendo o apoio e a motivação necessários para atingir os meus objetivos.

A todos, muito obrigado!

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento do Projeto e Motivação	1
1.2	Contextualização da Empresa: Cerealis	2
1.2.1	Apresentação da Empresa	2
1.2.2	Instalações Industriais	3
1.2.3	Marcas e Produtos	4
1.2.4	Cadeia de Abastecimento	4
1.3	Objetivos do Projeto	4
1.4	Organização do Projeto	5
1.5	Estrutura da Dissertação	6
2	Revisão de Literatura	7
2.1	Logística	7
2.2	Cadeia de Abastecimento	8
2.3	Transporte	9
2.3.1	Transporte Rodoviário	9
2.3.2	<i>Outsourcing</i>	10
2.3.3	Estabelecimento de Rotas e Programação de Veículos	10
2.3.4	<i>Vehicle Routing Problem</i>	14
2.3.5	Indicadores de Performance	17
3	Caracterização da Situação Inicial	19
3.1	Expedição	19
3.1.1	Sistema e Ferramentas Informáticas	21
3.1.2	Processo de Expedição	22
3.1.3	Análise do Processo de Expedição	26
3.1.4	Oportunidades de Melhoria	28
3.2	Transporte	29
3.2.1	Análise do Transporte	31
3.2.2	Oportunidades de Melhoria	32
4	Plataforma de Otimização da Operação Logística	33
4.1	Análise e Planeamento da Ferramenta	33
4.1.1	Objetivos	33
4.1.2	<i>Workflow</i>	34
4.2	Modelo Desenvolvido	36
4.2.1	Formulação Matemática	39
4.3	Exemplo Ilustrativo	42
4.3.1	Dados	42

4.3.2	Resultados	43
5	Resultados	45
5.1	Operação da Empresa	45
5.2	Eficiência das Rotas	47
5.3	Análise de Resultados	49
6	Conclusão e Trabalhos Futuros	53

Abreviaturas e Símbolos

CD Centro de Distribuição

CVRP *Capacitated Vehile Routing Problem*

ERP *Entreprise Resource Planning*

KPI *Key Performance Indicator*

MDCVRP *Multi Depot Capacitated Vehile Routing Problem*

SCM *Supply Chain Management*

SGA Sistema de Gestão de Armazém

SKU *Stock Keeping Unit*

VRP *Vehile Routing Problem*

VRPB *Vehile Routing Problem with Backhaul*

VRPTW *Vehile Routing Problem with Time Windows*

Lista de Figuras

1.1	Organigrama da Estrutura do Grupo Cerealis (Cerealis (2018b))	2
1.2	Instalações Industriais do Grupo Cerealis (Cerealis (2014))	3
1.3	Diagrama de <i>Supply Chain</i> do Grupo Cerealis (Cerealis (2018a))	4
1.4	Diagrama de Gantt com plano de trabalhos	5
2.1	Variantes do <i>Vehicle Routing Problem</i> (Vigo (2001))	16
3.1	Exemplo do ficheiro Mapa de Cargas	22
3.2	Processo de Expedição	23
3.3	Sub Processo do Planeamento	24
3.4	Sub Processo da Carga	25
3.5	Sub Processo dos Indicadores	26
3.6	Avaliação do Nível de Serviço das Transportadoras	26
3.7	Divisão do Transporte	30
5.1	Comparação dos Custos Diários entre a Operação da Empresa e a Eficiência das Rotas	49
5.2	Operação da Empresa: Divisão por Transportadoras, Custo por Tonelada e Taxa de Ocupação	50
5.3	Eficiência das Rotas: Divisão por Transportadoras, Custo por Tonelada e Taxa de Ocupação	51

Lista de Tabelas

3.1	Identificação dos Armazéns e Produtos Expedidos	21
3.2	Tipos de Transporte e a sua Utilização	21
3.3	Campos a Preencher no Mapa de Cargas	22
3.4	Oportunidades de Melhoria no Processo de Expedição	29
3.5	Oportunidades de Melhoria no Transporte	32
4.1	Notação do Modelo Matemático	38
4.2	Dados: Encomendas a Planear	42
4.3	Carros Completos Originados	42
4.4	Variáveis de Decisão: Encomendas e Clientes	43
4.5	Variáveis de Decisão: Veículos	43
4.6	Resultados: Custos de Transporte	43
5.1	Resultados da Operação da Empresa	46
5.2	Número de Encomendas a Planear	46
5.3	Dados da Simulação Eficiência das Rotas	48
5.4	Resultados da Simulação Eficiência das Rotas	48
5.5	Comparação de Resultados entre a Operação da Empresa e a Eficiência das Rotas	49
5.6	Comparação das Rotas Originadas entre a Operação da Empresa e a Eficiência das Rotas	50

Capítulo 1

Introdução

O projeto de dissertação de mestrado em ambiente empresarial ocorreu no âmbito do Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica na especialização Gestão da Produção da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. O projeto teve a duração de um mês devido ao facto do estágio ter sido interrompido graças a uma pandemia global.

O projeto realizou-se no Centro de Distribuição da Maia, no departamento de Distribuição da empresa Cerealis Produtos Alimentares, com o objetivo de reduzir o tempo de planeamento da operação logística, com propostas automáticas de rotas, de acordo com os critérios definidos, e do custo da operação logística.

Este capítulo pretende apresentar o contexto do projeto e as razões por detrás do seu desenvolvimento. Também se efetua a apresentação da empresa e da sua atividade no sentido de relacionar os objetivos do projeto com a intenção da empresa.

1.1 Enquadramento do Projeto e Motivação

O elevado ritmo de crescimento tem vindo a colocar uma maior pressão a nível logístico para a Cerealis. No entanto, na tentativa de responder às necessidades do mercado, foram-se desenvolvendo procedimentos e métodos como soluções a curto prazo. Como consequência, a informação na logística encontra-se descentralizada, tornando os processos manuais, inconsistentes e suscetíveis de erro. Por outro lado, os armazéns não tem capacidade de armazenar *stocks*, havendo a necessidade de cooperar com um operador logístico externo. Como as fábricas se encontram especializadas no fabrico de determinadas famílias de produtos, há a necessidade de transferir produtos entre fábricas, mesmo até dentro do mesmo centro de produção. Estas deslocações efetuadas dentro da plataforma logística não acrescentam valor nem ao produto nem ao cliente. No caso do operador logístico, o custo é superior visto que contém os custos de transporte e de armazenamento. Atualmente, este fluxo interno entre centros de distribuição e operador logístico é efetuado manualmente, tendo em conta as especificidades dos clientes, dos armazéns e das transportadoras. Neste sentido, a implementação de uma plataforma de otimização da operação logística vem resolver grande parte dos problemas enfrentados atualmente. Para além de permitir a centralização

da informação, facilitando o tratamento e interpretação dos dados, irá também tornar *standard* o planeamento das rotas e das transferências entre armazéns, possibilitando uma redução dos custos de transporte e, conseqüentemente, da atividade logística.

1.2 Contextualização da Empresa: Cerealis

1.2.1 Apresentação da Empresa

A Cerealis é um grupo vocacionado para a atividade industrial e comercial do setor agroalimentar, focalizado em produtos derivados da transformação de cereais, assente em práticas de bem fazer, de sustentabilidade e de reforço permanente de competitividade. A sua atividade é focalizada nos negócios de massas alimentícias, cereais de pequeno-almoço, farinhas industriais e culinárias, e outros produtos sinérgicos, nomeadamente bolachas (Cerealis (2018b)).

O grupo é constituído por 4 empresas, sendo que cada empresa tem uma função específica mas trabalham em conjunto para o bom funcionamento do grupo como um todo. O organigrama da estrutura do grupo Cerealis está representado na Figura 1.1.



Figura 1.1: Organigrama da Estrutura do Grupo Cerealis (Cerealis (2018b))

A Cerealis SGPS é responsável pela gestão das três empresas do grupo.

A Cerealis Produtos Alimentares é uma empresa do Grupo Cerealis, vocacionada para a produção e comercialização de produtos destinados ao consumidor final, nomeadamente massas alimentícias, cereais de pequeno-almoço, farinhas para usos culinários, bolachas e refeições congeladas.

A Cerealis Produtos Alimentares detém ainda 33,33% do capital social da Europasta, um fabricante de massas alimentícias na República Checa.

A Cerealis Moagens é uma empresa do Grupo Cerealis, vocacionada para a produção e comercialização de farinhas de trigo, centeio, compostas e de mistura, destinadas ao mercado da panificação industrial.

A Cerealis Internacional é a empresa responsável por todos os processos de exportação das marcas e produtos da Cerealis, assim como pela importação das *commodities* para posterior transformação nas empresas do Grupo.

1.2.2 Instalações Industriais

O grupo possui cinco instalações industriais distribuídas pelo país (Figura 1.2):

1. Centro Industrial da Trofa - apenas dedicado à produção de cereais de pequeno almoço.
2. Centro Industrial da Maia - especializado na produção de massas alimentícias (uma semolaria e duas fábricas), assim como na produção de bolachas, sendo ainda o polo logístico mais importante do Grupo.
3. Centro Industrial do Porto - moagem de trigo mole e de centeio, com linhas de embalagem de farinhas industriais e expedição direta para os nossos clientes.
4. Centro Industrial de Coimbra - moagem de trigo mole, especializada na produção de farinhas destinada para a indústria de bolachas.
5. Centro Industrial de Lisboa - farinhas industriais e de usos culinários.



Figura 1.2: Instalações Industriais do Grupo Cerealis (Cerealis (2014))

1.2.3 Marcas e Produtos

A Cerealis possui duas marcas líderes de mercado: Milaneza e Nacional. A Milaneza apresenta uma alargada gama de produtos na categoria de massas secas. Por sua vez, a Nacional apresenta produtos como massas secas, farinhas, cereais de pequeno-almoço e bolachas. Para além destas, a Cerealis produz e comercializa a marca Napolitana (massas e farinhas), a Familiar Amiga (massas) e ainda marcas destinadas ao mercado da indústria da panificação e pastelaria como a Harmonia, Concordia e Big (Cerealis (2014)).

Atualmente, através das suas marcas, o Grupo Cerealis é líder de mercado nas massas alimentícias e farinhas industriais, estando em grande crescimento nos cereais de pequeno almoço e farinhas de usos culinários (Cerealis (2018b)).

1.2.4 Cadeia de Abastecimento

A gestão do departamento de cadeia de abastecimento está dividida pelo canal de distribuição. O Centro de Distribuição da Maia é responsável por coordenar todas as atividades relacionadas com a produção, logística, transportes e planeamento. Atualmente, existem duas fábricas para o fabrico de massas: uma fábrica especializada em produzir em quantidade e outra que garante a produção da complexidade dos produtos. As restantes famílias possuem uma fábrica destinada à sua produção. Os clientes da empresa agrupam-se pelo canal de distribuição: distribuição tradicional, distribuição moderna, exportação, horeca e outros (Cerealis (2018a)).

Deste modo, a empresa necessita de uma plataforma que centralize toda a informação e permita gerir todos os fluxos internos e externos presentes na Figura 1.3.

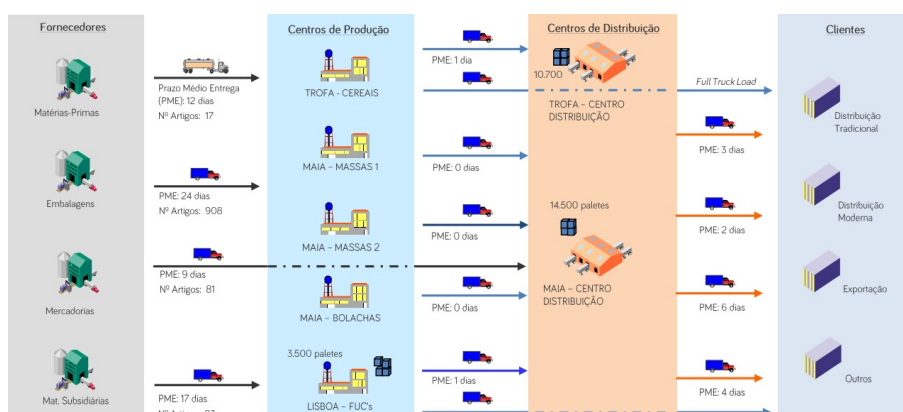


Figura 1.3: Diagrama de *Supply Chain* do Grupo Cerealis (Cerealis (2018a))

1.3 Objetivos do Projeto

A Direção Logística da Cerealis, com o objetivo da Digitalização da *Supply Chain*, pretende implementar uma plataforma de otimização da operação logística, tratando-se de uma solução

desenvolvida de raiz, à medida dos requisitos identificados, e atendendo às especificidades da gestão da operação logística.

Os principais objetivos a atingir com a implementação da plataforma são:

- Centralização de toda a informação relativa à operação logística;
- Propostas automáticas de rotas, de acordo com os critérios definidos;
- Comunicação bidirecional de informação entre a Cerealis e os Transportadores/Clientes;
- Processamento analítico dos dados da operação logística e disponibilização de indicadores de desempenho;

O projeto em curso está inserido na logística externa focalizado na otimização do transporte primário e a clientes, procurando reduzir os custos e normalizar o seu planeamento.

1.4 Organização do Projeto

Para a realização deste projeto, foram definidas diferentes etapas com objetivos específicos, segundo o diagrama de Gantt da Figura 1.4.

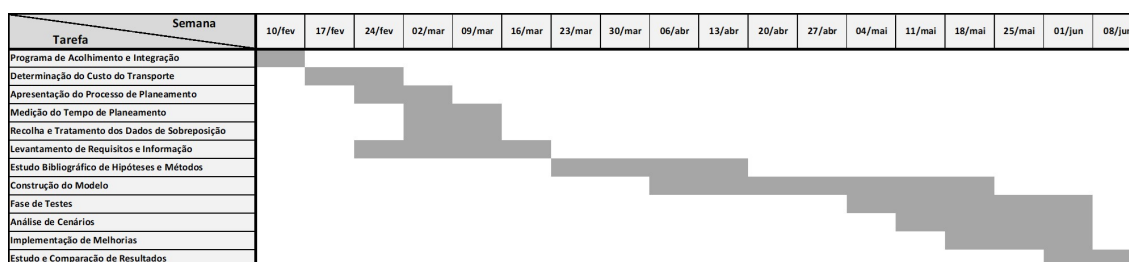


Figura 1.4: Diagrama de Gantt com plano de trabalhos

Numa primeira fase, inserido num programa de acolhimento, foi feita uma contextualização da empresa, com visitas às fábricas da Maia e da Trofa e explicação dos vários processos produtivos dos vários produtos comercializados pela Cerealis.

De seguida, apresentou-se o processo de planeamento operacional de transporte, mais concretamente, o método manual utilizado, os requisitos dos clientes e as regras da empresa. Estudou-se o estado atual do mesmo através da determinação dos custos de transporte e o tempo despendido no planeamento. Deste modo, após o desenvolvimento da ferramenta, será possível quantificar as melhorias e o impacto desta.

Posteriormente, efetuou-se o levantamento dos requisitos funcionais pretendidos para a ferramenta, realizando-se documentos com o procedimento idealizado e os dados necessários para um funcionamento correto.

Numa fase seguinte, procedeu-se à construção do modelo matemático representativo do planeamento da Cerealis. Com o término do estágio na Cerealis, o acesso a fontes de informação necessárias ao funcionamento como o ERP foi impossibilitado. Deste modo, recorreu-se aos documentos obtidos até então para resolver o problema e obter a solução ótima. Com base no fluxo

de operações pretendida para a ferramenta, efetuou-se a formulação matemática do modelo com as restrições essenciais.

O passo seguinte consistiu em implementar o modelo em *Excel* e, recorrendo a um *solver* comercial, resolver os problemas para os dias da amostra selecionada.

A última etapa consistiu em avaliar o impacto e os benefícios do modelo desenvolvido segundo o aumento da eficiência das rotas. A análise procurou comparar a operação real com a simulação dos diferentes pontos de vista: capacidade, eficiência, erros, tempo e custo. Deste modo, será possível perceber e quantificar o potencial da implementação de uma plataforma de otimização da operação logística.

1.5 Estrutura da Dissertação

A presente dissertação está estruturada em seis capítulos.

O primeiro capítulo, que agora se conclui, pretende contextualizar a empresa, através de uma breve apresentação, e o projeto onde se estabelecem os objetivos a alcançar.

No segundo capítulo, é apresentada a revisão bibliográfica efetuada, etapa importante para o desenvolvimento do projeto. A revisão de literatura abordou conceitos relacionados com o projeto, destacando a logística de transportes e os modelos de programação linear sobre o roteamento.

O terceiro capítulo pretende contextualizar o funcionamento da distribuição no planeamento operacional do transporte bem como retratar a sua situação inicial. Neste sentido, efetuou-se uma análise exaustiva quer ao nível do tempo despendido para a tarefa quer ao nível dos custos.

O quarto capítulo descreve o desenvolvimento do modelo matemático representativo da atividade logística atual da Cerealis. A primeira etapa consiste na análise e no planeamento da ferramenta, onde se descreve o procedimento pretendido juntamente com os dados necessários, os requisitos, os resultados e, por último, os indicadores a retirar. A etapa seguinte é a construção do modelo matemático, definindo a função objetivo, as variáveis de decisão, os parâmetros e as restrições. O modelo foi desenvolvido tendo em conta as particularidades de cada etapa do processo. Por último, utiliza-se um exemplo ilustrativo para exibir o funcionamento da resolução do problema e a solução obtida.

O quinto capítulo apresenta e compara os resultados obtidos na simulação com a operação real da empresa ao nível da melhoria operacional, da minimização de custos, da redução do tempo e dos erros de planeamento.

Por fim, o último capítulo apresenta as conclusões retiradas ao longo de todo o processo descrito nos parágrafos anteriores, bem como propostas de melhoria e de trabalhos futuros no que concerne o desenvolvimento de uma ferramenta de otimização da atividade logística segundo um modelo matemático.

Capítulo 2

Revisão de Literatura

Neste capítulo, são abordados conceitos relacionados com o tema da dissertação. Numa primeira fase, a logística de transportes e os tipos de planeamento existentes são explicados em detalhe no sentido de compreender a atividade atual da Cerealis. Posteriormente, apresenta-se o *Vehicle Routing Problem (VRP)* e as suas variantes uma vez que o problema da dissertação se insere neste assunto. Estas variantes surgiram para responder aos diferentes problemas do planeamento logístico como, por exemplo, a existência de vários armazéns. Por último, expõe-se os indicadores de performance para o transporte com o intuito de identificar aqueles capazes de avaliar não só o planeamento atual como os resultados finais.

2.1 Logística

Segundo a *European Logistics Association*, a Logística consiste na organização, planeamento, controlo e execução do fluxo de produtos desde o desenvolvimento do produto e aprovisionamento, através da produção e da distribuição, até ao consumidor final de forma a satisfazer os requisitos do mercado, a um custo e investimento mínimos (Guedes (2017a)).

O conceito de logística total procurar tratar os diferentes elementos relacionados com a distribuição e a logística como um único sistema integrado. Se este conceito for ignorado, pode-se traduzir num custo significativo para uma empresa. Por exemplo, uma empresa utiliza uma caixa de papelão no embalamento, mas um estudo revelou que se tratam de um custo desnecessário uma vez que não oferecem a proteção suficiente. Por outro lado, sem estas caixas, a mercadoria não pode ser movida em paletes de madeira porque se tornam instáveis, obrigando a um cuidado especial e a custos elevados. Na perspetiva individual do embalamento, reduzir os custos de embalamento trata-se de uma boa medida. No entanto, no conceito da logística total, a empresa deve ignorar essa economia no embalamento porque os custos adicionais de armazenamento e transporte são superiores à poupança, traduzindo-se num aumento do custo total (Rushton et al. (2014)) (Christopher (2016)).

Uma melhor abordagem seria medir e interpretar as inter-relações utilizando um plano para identificar e determinar os *trade-offs*, beneficiando o sistema logístico como um todo. Este tipo

de análise dos *trade-off* é uma parte importante do planeamento logístico (Rushton et al. (2014)). Existem quatro níveis de *trade-offs*:

- Dentro do componente logístico - diferentes *layouts* de armazém tem vantagens diferentes;
- Entre componentes logísticos - melhorar a resistência da caixa pode aumentar o custo de embalagem, mas traduzir-se numa poupança nos custos de transporte e armazenamento;
- Entre funções da empresa - uma linha de produção longa obtém custos unitários baixos mas obriga a uma maior capacidade de armazenamento;
- Entre a empresa e organizações externas - a entrega do produto diretamente na loja do retalhista pode constituir uma solução mais económica.

O conceito de relação de troca ou compromisso, *trade-offs* é relevante na logística pois as variações introduzidas num dos elementos de custo provocam geralmente alterações também nos outros elementos, afetando o custo total (Guedes (2017a)).

2.2 Cadeia de Abastecimento

Uma cadeia de abastecimento engloba todas as partes envolvidas, direta ou indiretamente, no atendimento de uma solicitação de um cliente. A cadeia de abastecimento inclui não só o fabricante e os fornecedores, mas também as transportadoras, os armazéns, os retalhistas e até os próprios clientes. A cadeia é dinâmica e envolve o fluxo constante de informações e de produtos entre as diferentes etapas (Chopra and Meindl (2016)). O objetivo de uma cadeia de abastecimento deve ser maximizar o valor criado, isto é, a diferença entre o valor do produto final para o cliente e os custos incorridos em atender a solicitação do cliente (Christopher (2016)).

O conceito de cadeia de abastecimento é uma extensão da ideia da logística integrada. O conceito total de logística compreende os benefícios de analisar os vários elementos da logística como um todo. A gestão da cadeia de abastecimento também, mas inclui ainda o fornecedor e o cliente no fim do processo. Esta é a grande diferença entre a gestão da cadeia de abastecimento e a logística tradicional (Rushton et al. (2014)).

Existem quatro principais diferenças da gestão da cadeia de abastecimento para a visão clássica da logística, apesar de alguns desses elementos serem reconhecidos como cruciais para um planeamento eficaz da operação logística (de Vasconcelos (2017)).

1. A Cadeia de Abastecimento é vista como uma entidade única em vez de uma série de vários elementos segmentados, como compras, produção, a distribuição, etc. Os fornecedores e consumidores são incluídos nos processos de planeamento, permitindo um planeamento da cadeia de abastecimento como um todo.
2. O *Supply Chain Management (SCM)* é um processo de planeamento estratégico com particular ênfase na tomada de decisão estratégica em detrimento do sistema operacional.

3. O *SCM* fornece uma diferente abordagem acerca do inventário, passando a ser visto como o último recurso a utilizar para equilibrar o fluxo integrado de produtos através da cadeia de abastecimento.
4. O sucesso de uma gestão da cadeia de abastecimento eficaz deve-se essencialmente ao uso de sistemas de informação integrados. Graças aos avanços tecnológicos dos sistemas de informação, esta abordagem permite uma visibilidade total da procura e do nível de *stock* ao longo da cadeia de abastecimento.

2.3 Transporte

O transporte é um elemento essencial da cadeia de abastecimento e não pode ser gerido de forma isolada. Os custos de transporte constituem cerca de 30% do custo da atividade logística. Os desenvolvimentos recentes nas cadeias de abastecimento tem feito crescer a importância do transporte na estrutura dos custos logísticos, em particular, a globalização, a especialização da produção, a redução da quantidade do lote, etc (Guedes (2017c)).

O transporte providencia a ligação entre a produção, o armazenamento e o consumo. Os transportes permitem mover os produtos do local da produção para o local onde são necessários, acrescentando valor aos produtos dado que os clientes preferem um produto que exista no local onde é necessário do que um situado a grande distância. Além disso, um cliente valorizará mais um produto se este estiver disponível quando necessita dele do que se tiver de esperar. Sendo assim, um sistema de transportes eficiente permite que os produtos sejam enviados rapidamente para os locais de entrega, aumentando a disponibilidade para os clientes (Costa et al. (2010)).

Deste modo, os principais requisitos para a indústria do transporte suportar a logística são a redução dos custos e do tempo de trânsito, as entregas dentro do prazo, a menor variabilidade do tempo de trânsito, a disponibilidade do serviço de transporte e a redução dos atrasos, dos danos e das perdas (Kasilingam (1999)).

2.3.1 Transporte Rodoviário

A natureza mutável da logística e da cadeia de abastecimento, particularmente a mudança de muitas empresas em direção às operações globais, teve um impacto significativo na importância dos diferentes modos de transporte de mercadorias. Os modos de transporte de longa distância tornaram-se muito mais importantes para o desenvolvimento de operações logísticas eficientes e com uma perspetiva global (Rushton et al. (2014)).

Uma análise das estatísticas europeias recentes confirma a dominância do transporte rodoviário de mercadorias na Europa. Portugal não é exceção. O modo rodoviário é o único que permite um serviço ponto a ponto para a generalidade dos produtos, conferindo-lhe grande flexibilidade quanto aos locais em que os produtos podem ser recolhidos e entregues. Relativamente aos produtos que podem ser transportados, este modo apresenta grande versatilidade já que permite transportar produtos com características e formas variadas. A principal limitação é a dimensão máxima dos

produtos a transportar. Também o tempo de transporte depende de vários fatores externos não controláveis pelo transportador, o que constitui uma desvantagem. Este modo permite ainda uma grande flexibilidade quanto aos horários de recolha e entrega. Quanto ao nível de perdas e danos no transporte, o risco é tipicamente baixo (Costa et al. (2010)).

Com o aumento da utilização dos contentores, o transporte rodoviário acabou por se tornar num elo crucial na distribuição de mercadorias. Desde então, tem sido alvo de uma evolução a nível tecnológico, resultando num aumento da capacidade de carga e na especialização para o transporte de mercadorias variadas acoplado a uma diminuição dos custos de transporte (Sardinha (2017)).

2.3.2 Outsourcing

A terceirização do transporte é bastante comum devido à necessidade de garantir a qualidade do produto e da entrega pontual. Se o operador logístico falhar, a empresa corre o risco de perder ou danificar as mercadorias transportadas (Razzaque and Sheng (1998)).

Os benefícios da subcontratação do transporte são: foco no negócio vital, menores encargos financeiros, maior flexibilidade, melhorias no nível de serviço, maior possibilidade de expansão, menor tempo de resposta, maior eficácia nas entregas de pequenas quantidades e de frequência constante e, por último, falta de manutenção (Szuster (2010)).

A razão estratégica para uma empresa terceirizar as atividades logísticas é a necessidade de reduzir custos. Esta redução de custos relaciona-se com o tempo e a flexibilidade do transporte. O tempo de entrega elevado origina pagamentos demorados, afetando negativamente o fluxo de caixa (Ogorelc (2007)).

Um grande desafio é a pressão dos clientes já que esperam o mesmo nível de desempenho de entrega nos pedidos de última hora. O tempo e a qualidade do serviço são aspetos críticos na distribuição. Na medida de garantir a rapidez e pontualidade na entrega, recorrem a um operador logístico. Este necessita de ter uma estrutura robusta com rotas desenvolvidas para ajudar a economizar tempo e custos (Szuster (2010)).

Quando a complexidade da logística é alta, as empresas que consideram a sua terceirização para uma empresa externa devem desenvolver um sistema eficiente de seleção e avaliação de prestadores de serviços de logística. Condições como tempo de trânsito e entrega pontual podem ser adicionados por meio de uma especificação de serviço (Szuster (2010)).

2.3.3 Estabelecimento de Rotas e Programação de Veículos

Os problemas de estabelecimento de rotas e programação de veículos são relativamente complicados e complexos. São vários os problemas que podem surgir, sendo que cada um necessita de um tratamento diferente. No entanto, existem vários métodos e algoritmos para produzir soluções. De modo a obter um resultado realista e eficiente, deve-se considerar uma elevada quantidade de detalhes e características o que por si também constitui um problema (Rushton et al. (2014)).

Existem três tipos de problemas relacionados com o planeamento e um último problema referente ao operacional.

1. O planeamento de recursos refere-se à identificação dos requisitos básicos necessários para uma frota de transporte. Os requisitos básicos são determinados em termos do número e tipo de veículos e de motoristas necessários para que a frota realize uma operação a médio ou longo prazo.
2. O planeamento “*What if*” envolve a identificação e a medição dos efeitos da mudança. O desenvolvimento de técnicas computadorizadas relacionadas com a definição de rotas e a sua programação aumentou significativamente a oportunidade das empresas planearem o futuro das suas operações. Os modelos de definição de rotas e programação podem ser usados para a simulação do impacto causado pelas alterações da procura, disponibilidade de veículos, alterações legislativas, etc.
3. O planeamento de rotas fixas envolve os aspectos de médio a longo prazo do roteamento e programação, especialmente quando há uma entrega regular de produtos e quantidades semelhantes a um cliente fixo. Um exemplo típico é a operação de entrega num retalhista com horário e quantidade de entrega definidos contratualmente. Sendo assim, é possível definir uma rota e um horário por um determinado período de tempo. Este cronograma podem ser mantido exceto em caso de encerramento do ponto de venda ou de lançamento de novos produtos no mercado que obriga a reestruturar a rota. Estas programações são elaboradas com base em dados históricos.
4. A definição de rotas e horários diários envolve uma preparação diária. Os principais problemas são: a procura não pode ser estimada e a localização do ponto de entrega pode variar. Deste modo, é impossível planear as rotas apenas com base no histórico dos clientes. Deve-se então analisar os pedidos diariamente e planear as rotas e os horários dos veículos de acordo com a procura e a capacidade do dia.

São necessários vários fatores quando se planeia diariamente as operações de uma frota de transporte. Estes fatores requerem uma grande quantidade de dados e informações a serem coletados e agrupados. As áreas principais destes requisitos são:

- Procura

Os dados da procura devem ser recolhidos por cliente no ponto de entrega numa base diária ou semanal. No entanto, trata-se de uma tarefa difícil pois consome bastante tempo e exige manipulação e tratamento dos dados antes da sua utilização. O principal requisito é que os dados da procura sejam representativos da principal medida de restrição de capacidade do veículo, por exemplo, kgs, paletes, etc. Os dados da procura devem ser classificados por local. Normalmente, a empresa obtém estes dados através de arquivos electrónicos de pedidos de clientes onde se regista o endereço, o código postal e a quantidade de encomenda.

- Distância

Para análise da definição de rotas e programação, existem vários métodos para estimar ou medir a distância percorrida pelos veículos durante a operação de distribuição. As distâncias incluem as distâncias do armazém até aos vários locais de entrega e entre os diferentes locais de entrega. A medição pode ser efetuada recorrendo a três métodos. No método da distância real, a localização de todos os clientes é conhecida, medindo-se num mapa computadorizado as distâncias reais. O método das coordenadas apresenta o armazém e os pontos de entrega no cliente localizados numa grelha de coordenadas, medindo-se as distâncias em linha reta para as decompor até uma distância de estrada aproximada. Por último, os sistemas de programação utilizam uma rede rodoviária digitalizada que contém as principais estradas, fornecendo uma representação precisa das distâncias de viagem.

- Restrições de clientes e serviços

Há várias restrições de clientes e serviços que devem ser tomadas em consideração durante o processo de agendamento. Os mais comuns são: horários específicos de entrega, janelas de entrega específicas, restrições de acesso, restrições de descarga, limitação da quantidade a receber, problemas de estacionamento ou problemas de documentação.

- Restrições de veículos e condutores

Também se devem considerar as restrições dos veículos tais como: o tipo e o número de veículos disponíveis, as capacidades, o pré-carregamento entre outras. As restrições dos condutores são igualmente relevantes: legislação de horas do motorista, os turnos e horas de trabalho, tipos de cartas de condução e a necessidade de auxiliar para as entregas.

- Rotas

As possibilidades das rotas devem ser estabelecidas para garantir um funcionamento correto da operação. Determinar o número máximo de locais a visitar por rota, se um veículo pode realizar mais de uma viagem por dia ou até uma viagem de dois dias são questões importantes para tal.

- Velocidades médias

- Restrições de carga do produto/unidade

Neste planeamento, há vários fatores relativos ao produto ou à unidade de carga que está a ser distribuída que devem ser considerados como, por exemplo, os pesos e dimensões dos produtos e das paletes, os tempos variáveis de carga/descarga, a separação a utilizar entre eles ou até mesmo a necessidade de utilização de equipamentos específicos.

O estabelecimento de rotas e programação de veículos pode ser efetuado recorrendo quer a métodos manuais quer a métodos computadorizados. Existem duas categorias neste processo: o problema tático e o problema operacional. As diferenças entre si incidem no horizonte temporal e no tipo da procura. Enquanto o problema tático assume uma procura regular e com entregas regulares para os mesmos clientes durante um período de médio prazo (3 a 6 meses), o problema

operacional pretende executar a definição de rotas e programação de veículos todos os dias uma vez que nem a procura nem os pontos de entrega podem ser estimados com facilidade (Waters et al. (2003)).

Os métodos manuais apresentam distinções no procedimento consoante a categoria e o horizonte temporal. O exemplo seguinte descreve o método diário para a definição de rotas realizado por um responsável de distribuição. A empresa em causa possui clientes grandes, retalhistas e vários clientes de pequena dimensão (Rushton et al. (2014)).

Os pedidos são recebidos no escritório por email ou por chamada do cliente. Os pedidos fornecem informações sobre a morada, a data, os produtos, as quantidades e o peso de entrega. O prazo de aceitar pedidos termina ao meio dia, disponibilizando a tarde para o planeamento das cargas a realizar no dia seguinte. No dia seguinte à receção do pedido, as mercadorias são preparadas e organizadas pelos operadores do armazém e depois carregadas no veículo ao final da tarde. A entrega ocorre então dois dias após a receção do pedido.

Os pedidos são classificados de acordo com a data de entrega. Existem três categorias diferentes: pedidos avançados, normais e urgentes. Os pedidos avançados são aqueles com uma entrega para dali a uma semana ou duas semanas à frente, sendo colocados de parte numa separação. Os pedidos normais são usados como a base principal para compor as cargas. Referem-se aos pedidos de acordo com o nível de serviço da empresa, por exemplo, dentro de cinco dias. Por último, os pedidos urgentes são aqueles a entregar num reduzido espaço de tempo.

Os pedidos vão sendo acumulados e devem ser organizados de acordo com as zonas de entrega. De seguida, procede-se o exercício de agendamento e definição de rotas das cargas. O responsável junta os pedidos urgentes com os pedidos normais. Este resolve primeiro tratar as entregas a pontos de entrega mais distantes. Caso haja espaço, a carga total é composta por outras encomendas a entregar naquela zona. Neste sentido, desenvolve-se um sistema de rotas em forma de pétala onde o armazém é o ponto central, obtendo-se um definição de rotas eficiente.

No caso do planeamento estratégico, o objetivo é determinar os requisitos da frota para uma operação de transporte de entrega, utilizando uma estratégia manual detalhada de definição de rotas e agendamento (Farahani et al. (2011)).

Numa primeira fase, identificam-se os parâmetros e as restrições relacionadas com os requisitos mencionados no capítulo anterior. De seguida, segue-se o procedimento de planeamento que visa encontrar as melhores rotas no sentido de minimizar os veículos e a distância percorrida por estes, dentro da procura e restrições dos clientes. As rotas definem-se através de dois princípios: as encomendas para clientes próximos são alocadas no mesmo veículo e a utilização da capacidade máxima do veículo (Kasilingam (1999)). Os passos básicos para definir as rotas são:

- Identificar os pontos de entrega no mapa;
- Identificar a procura e restrições por ponto de entrega;
- Decidir as regras do cálculo de distâncias;
- Identificar encomendas que podem ser garantidas com uma única entrega;

- Agrupar viagens: iniciar com as que possuem mais restrições ou a mais longe do armazém; de seguida, combinar entregas até atingir um carro completo e escolher um veículo adequado; por último, registar o tempo total da operação;
- As últimas viagens a definir são as mais próximas do armazém;
- Combinar viagens nas rotas possíveis (por exemplo, 2 viagens por veículo por dia);
- Determinar o número e tipo de veículos e a distância percorrida.

Por último, determina-se o custo da operação, calculando-se todos os custos fixos e variáveis. Adicionalmente, calculam-se ainda parâmetros de avaliação tais como taxa de utilização do veículo e o tempo efetivo de trabalho.

O objetivo geral da definição de rotas e programação por computador continua a ser o mesmo do método manual. A maioria dos softwares não fornece a solução ideal para o problema da empresa, no entanto, fornecem a melhor solução considerando o determinado conjunto de restrições e a procura real uma vez que realizam muito mais cálculos e analisam um número superior de alternativas. A base do sistema é semelhante ao procedimento descrito anteriormente para o método manual, embora seja substancialmente mais complexo. A diferença principal é o facto dos sistemas de computador incorporarem métodos avançados de agendamento (algoritmos) que permitem obter soluções muito eficientes.

Quando utilizado de forma interativa e em tempo real, pode permitir ainda que o gestor faça alterações fundamentais nas rotas existentes para incluir os pedidos atrasados ou urgentes no cronograma atual enquanto o sistema verifica possíveis implicações (janelas de entrega perdidas, violações legais). Além disso, estes sistemas também podem estar ligados com sistemas de localização dos veículos, monitorizando as rotas em tempo real e permitindo uma maior capacidade de resposta em caso de inconformidade. Os sistemas informatizados de definição de rotas e programação de veículos oferecem vantagens como um planeamento e gestão eficiente da operação de transporte e uma redução de custos de manutenção e de operação. Sendo um método computadorizado, verifica-se uma maior economia no tempo despendido na tarefa e um aumento do nível de controlo da operação bem como do nível de serviço ao cliente devido à maior precisão dos relatórios e às agendas consistentes e confiáveis. Também a probabilidade de violar regulamentos de transporte ou requisitos dos clientes diminui e, conseqüentemente, os erros serão reduzidos.

2.3.4 Vehicle Routing Problem

O *VRP* é bastante utilizado como base na resolução de problemas de roteamento uma vez que se trata não só de um modelo adequado ao planeamento da logística mas também possui uma elevada taxa de sucesso na aplicação prática de problemas semelhantes ao descrito (Farahani et al. (2011)).

O *VRP* consiste em determinar as rotas ótimas utilizando uma frota de veículos, baseado num ou mais armazéns, para servir os requisitos de um determinado conjunto de clientes. Muitos requisitos adicionais e restrições operacionais são impostas na construção de rotas em aplicações

práticas do *VRP* (Toth and Vigo (2002)). Trata-se de um dos mais importantes e estudados problemas de otimização combinatória (Vigo (2001)).

As principais componentes deste tipo de problemas são: a rede de estradas, os clientes, os armazéns, os veículos e os condutores. A rede de estradas é descrita através de um grafo, cujos arcos representam troços da estrada e onde os vértices correspondem às localizações dos armazéns, dos clientes e dos fornecedores. Os nós de origem dizem respeito aos armazéns onde existe disponibilidade de produto. Os nós de destino representam os clientes onde existe procura do produto e os fornecedores onde existe disponibilidade de matéria-prima. Cada arco está associado a um custo e a um tempo de viagem.

As principais características dos clientes são: a sua localização representada no gráfico, a quantidade e o tipo de produtos a entregar, os períodos do dia durante o qual o cliente pode ser servido, tempo necessário para realizar a entrega e os veículos disponíveis para tal tarefa. Quando não é possível satisfazer as necessidades dos clientes, existem penalizações associadas às falhas do serviço.

Normalmente, o armazém é o local onde inicia e termina uma rota. Cada armazém é caracterizado por um conjunto de veículos de diferentes tipos e por uma capacidade de armazenamento.

Os veículos podem estar associados a um armazém específico. Além disso, possuem uma capacidade máxima expressa em peso ou número de paletes e um custo associado à sua utilização. A existência de equipamentos como a plataforma elevatória auxiliam e facilitam as operações de carga/descarga. Não se pode descurar o facto de um veículo estar associado a um condutor que tem limitado o número de horas de condução. A atividade dos condutores deve respeitar as leis laborais definidas tais como: tempo máximo de condução, horas de descanso, intervalos entre outros (Vigo (2001)).

As variáveis de decisão para este tipo de problema depende das restrições consideradas. Normalmente, a variável de decisão mais utilizada é representada por $X_{i,j}^k$ e indica se o veículo k visita o cliente j após visitar o cliente i . As restantes variáveis de decisão dependem da abordagem ao problema. Frequentemente, recorrem-se a variáveis auxiliares de forma a conseguir impor restrições ao modelo (Vigo (2001)) (Brito (2016)).

A função objectivo do *VRP* consiste em minimizar os custos de transporte globais, dependentes da distância total percorrida e dos custos fixos dos veículos utilizados. Neste sentido, procura-se minimizar o número de veículos necessários. O equilíbrio das rotas no que diz respeito ao tempo de utilização e taxa de ocupação dos veículos também é uma meta a atingir. Por fim, pretende-se reduzir ou até mesmo eliminar as penalizações associadas às falhas do serviço (Vigo (2001)).

A variante clássica do *VRP* é a *Capacited Vehicle Routing Problem (CVRP)* obtida ao adicionar a restrição de capacidade máxima aos veículos. A partir desta variante surgem outras consoante a restrição imposta. As variantes podem ser mapeadas consoante as condições específicas adicionais impostas ao *VRP*, como demonstrado na Figura 2.1. (Golden et al. (2008))

O *CVRP* pode ser definido como o problema em que os veículos de uma empresa são utilizados para realizar entregas em diferentes clientes geográficos de modo a satisfazer a procura dos

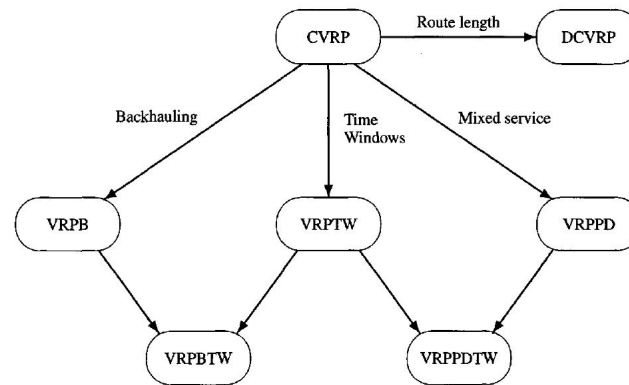


Figura 2.1: Variantes do *Vehicle Routing Problem* (Vigo (2001))

mesmos. Este problema envolve um único armazém, uma frota homogênea de veículos e um conjunto de clientes que exige a entrega de mercadorias do armazém. Todos os clientes têm procura não negativa. Todos os veículos têm a mesma capacidade. Cada cliente deve ser visitado uma vez por veículo. A carga de cada veículo não pode exceder o limite de capacidade. Para cada rota, o veículo parte do armazém e retorna ao mesmo após completar o serviço. O objetivo do *CVRP* é minimizar o custo total de viagem de todos os veículos que pode ser alcançado ao encontrar um conjunto de rotas viável que minimiza a distância total de viagem e/ou o número total de veículos utilizado (Pichpibul and Kawtummachai (2012)).

Os problemas reais com grandes quantidades de dados têm a desvantagem de necessitarem de tempo de resolução computacional elevado para atingir a solução ótima. A resolução de um *VRP* pode ser efetuada através de dois métodos principais: exatos e aproximados. Dado que a maioria das extensões do *VRP* são da classe de problemas NP-difícil, o tempo necessário para a sua resolução cresce exponencialmente com o aumento da sua dimensão, pelo que a aplicação de métodos exatos poderá revelar-se em certas situações inviável. Apenas em instâncias de pequena dimensão devem ser utilizados métodos exatos para calcular soluções ótimas (Capa (2017)).

Deste modo, para problemas de dimensões realistas, de modo a encontrar uma solução dentro de um tempo de computação aceitável, são geralmente utilizados métodos aproximados, isto é, heurísticas e meta-heurísticas. Com o recurso a técnicas heurísticas o tempo deixa de ser um problema, mas em contrapartida a solução obtida não é garantidamente a solução ótima. Naturalmente, ao simplificarem a exigência de resolução, poderão não oferecer garantias de otimização da solução encontrada (Brito (2016)).

Os métodos heurísticos são aqueles que dependem do problema e requerem ajustamentos de caso para caso. Uma meta-heurística é um método independente do problema em questão e requer apenas os ajustes mínimos dos parâmetros intrínsecos ao problema. Enquanto uma heurística pode levar a uma solução ótima local, ignorando pelo caminho uma melhor solução, a meta-heurística conduz normalmente a uma solução ótima global do problema. Deste modo, a meta-heurística resulta em soluções de melhor qualidade com um tempo de cálculo superior quando comparado com a heurística clássica mas bastante razoável se se comparar aos métodos exatos (Capa (2017)).

O *Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)* é uma extensão do *CVRP* no qual as restrições de capacidade são impostas e cada cliente i é associado a um intervalo de tempo $[a_i, b_i]$. O instante em que o veículo sai do armazém, o tempo de viagem $t_{i,j}$ e o tempo de serviço adicional s_i para cada cliente são dados. O serviço de cada cliente deve iniciar dentro da janela de tempo e cada veículo deve permanecer no local durante o tempo s_i . No caso do veículo chegar à localização do cliente i mais cedo, o veículo deve esperar o tempo necessário até o tempo definido para o serviço iniciar, a_i (Ombuki (2006)).

O *Vehicle Routing Problem with Backhaul (VRPB)* representa uma extensão do *CVRP* e esta variante contempla tantos pontos de entrega como de recolha. O conjunto de clientes divide-se em dois subconjuntos: o primeiro subconjunto, L , contém os clientes que exigem a entrega de determinada quantidade de produtos. Por sua vez, o segundo subconjunto, B , contém os clientes cujos produtos devem ser recolhidos e transportados para o armazém. São designados de *linehaul* e *backhaul*, respetivamente. (Goetschalckx and Jacobs-Blecha (1989)) No *VRPB*, existe ainda uma restrição de precedência entre os clientes *linehaul* e *backhaul*, isto é, todas as entregas aos clientes *linehaul* devem ser efetuadas antes das recolhas dos clientes *backhaul*. Esta restrição evita problemas relacionados com o acondicionamento de carga (Tavakkoli-Moghaddam et al. (2006)).

O *Multi Depot Capacitated Vehicle Routing Problem (MDCVRP)* é uma extensão do *CVRP* e envolve o roteamento de uma frota homogênea de veículos, iniciando e terminando em diferentes armazéns com uma capacidade limitada e com o objetivo de completar o serviço do conjunto de clientes ao entregar as quantidades da procura. O alcance limitado do veículo representa a restrição do número máximo de clientes por rota. Esta restrição garante uma maior fiabilidade no fornecimento ao cliente, tendo em consideração uma possível avaria do veículo. O objetivo é projetar um conjunto de rotas a um custo mínimo entre os armazéns que atenda as exigências de todos os clientes e considere as restrições do veículo (Filipec et al. (2000)).

O método utilizado para resolver o *MDCVRP* consiste em 3 fases: agrupamento, roteamento radial e construção da estrutura. Na fase de agrupamento, um procedimento extrai as informações necessárias para o processo de otimização do banco de dados. Estas são exibidas e o planeador seleciona a área da rede para otimização e todos os elementos de rede necessários (armazéns, clientes, rotas possíveis) definindo graficamente o polígono na extensão desejada. O algoritmo deve encontrar os caminhos mais curtos entre todos os armazéns e clientes que permitem, posteriormente, dividir um conjunto de clientes em conjuntos limitados regionalmente que satisfazem as restrições de capacidade do armazém para garantir um roteamento válido dentro do conjunto de clientes. De seguida, o algoritmo exato é aplicado com o intuito de otimizar as rotas radiais em torno de cada armazém. Por último, o algoritmo é utilizado para conectar as rotas radiais obtidas, tendo em consideração as existências dos armazéns e as ligações impossíveis (Ho et al. (2008)).

2.3.5 Indicadores de Performance

A qualidade dos serviços de transporte é tangível e quantificável. A medição é essencial para o controlo e melhoria do desempenho do processo. Sendo assim, as empresas monitorizam as atividades através de *KPIs* - medidas objetivas do desempenho. Dados como a data e o custo, o

horário de entrega e informações acerca de danos permitem obtê-los e posteriormente compará-los com os objetivos estabelecidos (Coyle et al. (2008)).

O aspecto crítico consiste em identificar os indicadores que “adequadamente” representam o processo: os *Key Performance Indicators (KPI)* (Franceschini et al. (2007)). Os indicadores devem ser representativos, fáceis de processar, recolher e interpretar, rápidos de atualizar, sensíveis a mudanças dentro ou fora da organização e, por último, capazes de indicar tendências. Os indicadores e as estratégias estão inevitavelmente relacionados entre si. Uma estratégia sem indicadores de medição é inútil e o contrário também se verifica (Franceschini et al. (2007)).

Um bom sistema de monitorização do custo e da performance da empresa irá cobrir todos os aspetos da operação, no entanto, além da importância da precisão dos dados, este só será eficaz se apresentado num formato de fácil entendimento para identificar rapidamente os erros (Rushton et al. (2014)).

Os *KPIs* de transporte podem ser divididos em duas grandes categorias: qualidade de serviço e eficiência. A qualidade do serviço visa a entrega dos produtos no momento certo, em bom estado e a um custo adequado. Entrega dentro do prazo é o *KPI* mais importante na avaliação da transportadora. Outro *KPI* relacionado é a execução de entregas perfeitas, a proporção de entregas sem defeitos e o número total de entregas feitas. As empresas devem procurar transportadores de alta qualidade que forneçam consistentemente serviços de qualidade, ou seja, pontuais, sem danos, precisos, responsivos e económicos (García-Arca et al. (2018)). Um transporte sem defeitos elimina a necessidade de retrabalho, reduz o trabalho administrativo, contribui para a satisfação do cliente, permite a redução de *stock* e a estabilidade da cadeia de abastecimento (Coyle et al. (2008)).

O transporte constitui uma elevada despesa logística, logo, é imperativo que as empresas obtenham o maior valor pelos seus gastos. Neste sentido, manter os custos de transporte reduzidos proporcionalmente ao valor do produto irá criar um custo competitivo no mercado. Os *KPIs* de eficiência promovem estes objetivos já que se focam nos gastos de transporte. Por exemplo, o custo por unidade de medida como kg, palete permite compreender quanto se gasta para mover cada unidade. A utilização dos ativos é também um aspeto crítico no transporte: maximizar a utilização do equipamento contribui para um menor custo de transporte por unidade de medida (García-Arca et al. (2018)). Por sua vez, os *KPIs* de produtividade permitem avaliar o desempenho dos operários na carga e descarga: melhorias na eficiência do serviço originam custos reduzidos nas operações de transporte. Há um compromisso clássico entre níveis de serviço e custos associados e as empresas devem encontrar o ponto de equilíbrio entre os dois fatores (Coyle et al. (2008)).

A medição e a revisão de um conjunto de *KPIs* de transporte constituem benefícios substanciais. Estes ajudam as empresas a adotar uma abordagem baseada no conhecimento para monitorizar as atividades de transporte e resolver os problemas antes que estes afetem negativamente a cadeia de abastecimento. Também permitem identificar ineficiências e desenvolver estratégias de redução de custos. Finalmente, os dados do *KPI* podem ser utilizados para analisar as relações entre o nível de serviço e o custo para decisões futuras na seleção da transportadora (Coyle et al. (2008)).

Capítulo 3

Caracterização da Situação Inicial

A expedição de mercadorias e a entrega ao cliente em diferentes locais são duas operações de logística de distribuição de vital importância para as empresas (Bortfeldt and Homberger (2013)).

O planeamento e a implementação influenciam consideravelmente os custos. Por outro lado, a qualidade dos processos e o transporte são fundamentais para determinar se a empresa está ou não orientada para responder às necessidades dos clientes. As mercadorias devem chegar aos clientes intactas, nas quantidades solicitadas e no prazo definido. Além disso, a descarga destas deve ser realizada com facilidade e em economia de tempo (Fawcett and Cooper (1998)).

O processo de expedição e o transporte podem ter um elevado grau de interdependência. No ponto de vista da empresa, é importante que estas operações sejam realizadas em conjunto de maneira eficiente e com elevada qualidade. Por exemplo, não há vantagem em carregar um camião na máxima capacidade, se as mercadorias têm de ser entregues em clientes distantes entre si, não sendo económico e, por vezes, possível entregá-las numa única rota (Bortfeldt and Homberger (2013)).

3.1 Expedição

Qualquer armazém deve ser projetado para atender aos requisitos da cadeia de abastecimento da qual faz parte. No entanto, existem operações comuns a todos os armazéns, independentemente se este é de natureza manual ou se é altamente sofisticado com sistemas da última gama (Rushton et al. (2014)). As funções típicas do armazém consistem em receção, armazenamento, *picking*, separação, embalagem e expedição (Lopes (2014)).

1. Receção - envolve a descarga física dos produtos do veículo, a verificação das ordens de compra com as quantidades e a introdução dos dados da mercadoria no sistema informático.
2. Armazenamento - consiste em colocar as mercadorias nas localizações atribuídas. A área de armazenamento cobre grande parte da plataforma logística devido ao elevado volume de inventário. Quando necessário, as mercadorias são retiradas da sua localização para expedir para o cliente ou então para o reabastecimento do *picking*.

3. *Picking* - tarefa de recolher e seleccionar os artigos do *stock* para a satisfação de encomendas na quantidade solicitada no prazo definido. Trata-se de uma tarefa essencial tanto a nível de custo como de serviço já que grande parte dos operadores está destinado a esta tarefa e torna-se importante atingir níveis elevados de precisão dos pedidos.
4. Separação - para pedidos de pequena quantidade, por vezes agrupam-se os vários pedidos, tratando-se apenas de um pedido de *picking*. Neste caso, o lote coletado deverá ser classificado em pedidos individuais antes da expedição.
5. Embalamento - consiste na consolidação dos pedidos, ou seja, os produtos são montados, embalados e etiquetados, garantindo a preparação da encomenda para a próxima operação.
6. Expedição - as encomendas são organizadas em conjunto e colocadas na área de expedição, sendo, de seguida, carregadas nos veículos para efetuarem o transporte ao cliente.

A expedição consiste em verificar se o pedido do cliente está pronto e preparar os documentos da remessa e as guias. De seguida, deve-se efetuar a pesagem do camião e da mercadoria, juntar as encomendas por transportadora e, por último, carregar os camiões (Tompkins (1996)).

Sendo a última etapa de um processo tão longo, a expedição acaba por ser a zona onde todos os erros se evidenciam. Qualquer erro cometido no início da operação, se for grave o suficiente, causa problemas nesta etapa inevitavelmente. Deste modo, o planeamento da expedição das mercadorias é uma atividade essencial. A seleção da transportadora influencia demasiado o processo e portanto deve ser vista como parte integrante do armazém (de Moura e Roxo Espírito Santo (2008)).

As atividades necessárias para a expedição são:

- Planeamento;
- Agregar e embalar a encomenda;
- Ordenar e verificar a encomenda;
- Comparar a guia de remessa com a encomenda;
- Identificar o veículo;
- Bloquear as rodas do veículo;
- Posicionar e fixar a *dockboard*;
- Carregar o veículo;
- Despachar o veículo.

De modo a permitir uma expedição eficaz, o armazém tem de ter área suficiente para ordenar as encomendas, para o estacionamento e para as manobras dos veículos. Também a existência de *dockboards* deve ser um requisito uma vez que facilita o carregamento dos veículos. Além disso, necessita de um escritório para o planeamento das encomendas e para o armazenamento da informação.

3.1.1 Sistema e Ferramentas Informáticas

O processo de planeamento operacional de transportes da Cerealís Produtos Alimentares é um processo bastante complexo, devido às inúmeras particularidades que apresenta, quer ao nível da enorme variedade de produtos comercializados, que contemplam especificidades de transporte diferentes entre si, quer ao nível dos requisitos dos clientes e das respetivas encomendas, ou mesmo ao nível da complexidade geográfica das zonas de entrega aos clientes.

A Cerealís Produtos Alimentares faz expedição de 3 armazéns distintos, apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1: Identificação dos Armazéns e Produtos Expedidos

Código	Armazém	Produtos
277	Trofa	Cereais de Pequeno Almoço Massas
772	Operador Logístico: Luís Simões	Marcas Próprias Massas
777	Maia	Bolachas

Por sua vez, uma encomenda pode ser movimentada através de um dos quatro tipos apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Tipos de Transporte e a sua Utilização

Tipo	Utilização
Contentores	Exportação
<i>Crossdocking</i>	Encomendas de pequena quantidade
Semi Reboque	Sempre que possível
Transporte Próprio	Cliente assume o transporte

O *Enterprise Resource Planning (ERP)* utilizado pela empresa é o *Infor M3*. Trata-se de um sistema integrado de gestão empresarial desenvolvido pela *Infor* que permite automatizar e integrar sob um mesmo modelo de informação os processos de gestão financeira, gestão de recursos humanos e gestão da produção. Deste modo, todos os utilizadores têm a facilidade de introduzir novos dados e consultar a informação (Guedes (2017b)).

A empresa possui ainda um Sistema de Gestão de Armazém (SGA) com o objetivo de controlar o movimento e o armazenamento dos materiais dentro do armazém. Trata-se de um computador interligado a uma base de dados onde se regista as transações do armazém, procurando sempre melhorar a eficiência do armazém. A função principal consiste em traduzir as operações introduzidas pela distribuição para as operações diárias do armazém (Subramanya and Rangaswamy (2012)).

Além disso, são utilizados ainda ficheiros *Excel* partilhados pelos vários departamentos. No caso da expedição, consulta-se constantemente um ficheiro que contém todas as encomendas inseridas pelo serviço ao cliente. Para além deste documento, também são consultados outros documentos com uma menor utilização diária tais como tabelas de sobreposição, de custos por transpor-

tadora e dias de rotas (distribuição tradicional). O recurso a este tipo de solução alternativa advém da falta de capacidade do *ERP* para satisfazer todos os requisitos da logística, daí a necessidade de uma plataforma de otimização.

O objetivo da expedição passa por diariamente efetuar o mapa de cargas (Figura 3.1) com a informação das cargas a realizar no dia. Na Tabela 3.3, encontra-se a distinção entre os campos do ficheiro *Excel* preenchidos no planeamento da carga e aqueles preenchidos no momento da carga (Ferreira (2015)).

Tabela 3.3: Campos a Preencher no Mapa de Cargas

Planeamento da Carga	Carga
Transportadora	
Rota	Matrícula
Hora Prevista de Chegada	Hora de Chegada
Data de Entrega	Hora de Inicio de Carga
Zona	Hora de Fim de Carga
Clientes	Paletes
Destinos	Atraso
Horas das Entregas	

Hoje	Carga	Oper.	Matr.	H.C.	Rota	Estado	H.I.	H.F.	P	Entr.	Z	HC	H1	Cliente 1	Destino 1
10/mar	C40	SEGU 7924999	8:44		778200	Espera				62	10/mar	E	7:00	#C40 COPA	CABO VERDE
10/mar	LS	L-176358	7:17		778431/778344	Terminado	7:25	7:45	29	10/mar	N	7:00	9:00	P.DOCE -JIT	VALONGO
10/mar	XPO	SE-9814	7:21		778483	Terminado	7:30	8:30	33	10/mar	S	7:00	6:00	P.DOCE	AZAMBUJA
10/mar	LS	L-170936	7:30		778594	Terminado	8:00	8:30	33	10/mar	N	7:30		ARCOL	GUIMARAES
10/mar	LS	AV-55591	7:26		777043321/777043323	Terminado	7:45	10:00	33	10/mar	N	8:00		#TRANSFERÊNCIA	772-LIXÕES
10/mar	LS	AV-55628	10:29		778658	Terminado	10:30	10:50	25	10/mar	N	9:00	11:00	P.DOCE	VALONGO
10/mar	LS	AV-56767	9:46		778592	Terminado	9:50	10:30	33	11/mar	S	9:30	6:00	P.DOCE	AZAMBUJA
10/mar	LS	AV-56007	10:51		778659	Terminado	10:55	11:45	28	10/mar	N	10:00	11:30	P.DOCE	VALONGO
10/mar	XPO	L-186136	10:51		778541	Terminado	10:55	11:45	28	11/mar	S	10:30	7:00	MODIS PBL	AZAMBUJA
10/mar	VC	L-172221	11:32		778554	Espera	12:00			11/mar	S	10:30	8:00	MAKRO	MAFRA
10/mar	C20	BMDU 2764191	10:23		778598	Espera				45	10/mar	E	11:00	#C20 COPA	CABO VERDE
10/mar	XPO	R6169BCL			778540	Aguarda				11/mar	S	11:00	7:00	MODIS PBL	AZAMBUJA

Figura 3.1: Exemplo do ficheiro Mapa de Cargas

3.1.2 Processo de Expedição

O lançamento de uma nova encomenda pelo serviço ao cliente despoleta o processo da expedição que tem como principal objetivo garantir o cumprimento da entrega do pedido do cliente na quantidade correta, no prazo definido e sem danos. Desta forma, o processo de expedição divide-se em três fases representadas na Figura 3.2.

O planeamento das cargas consiste em definir o que cada contentor ou camião irá transportar, procurando sempre minimizar os custos de transporte posteriores. O planeamento é uma tarefa manual, baseada na experiência do responsável da distribuição. A Figura 3.3 descreve as etapas que constituem o método utilizado.

1. Atualizar *Excel* “Encomendas”

A Distribuição exporta o novo ficheiro de excel com as novas encomendas inseridas até ao momento pelo serviço ao cliente. Todos as novas encomendas devem ser impressas para posteriormente realizar o planeamento. De seguida, deve-se atualizar o *Excel* introduzindo um *check* nas encomendas impressas.

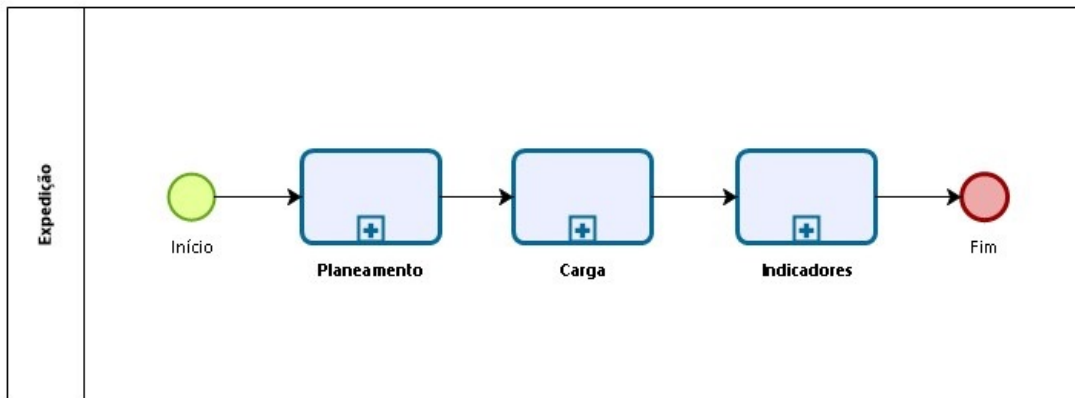


Figura 3.2: Processo de Expedição

2. Selecionar e ordenar encomendas

De seguida, deve-se filtrar os novos pedidos consoante a zona e a data de entrega. Simultaneamente, estes devem ser ordenados por data para facilitar o planeamento. Após seleccionar os pedidos, devem ser planeados aqueles para entrega a Norte no dia seguinte e os de entrega a Sul dois dias depois.

3. Verificar sobreposição e *stock*

Para cada pedido, deve ser feita uma análise à quantidade encomendada e aos produtos, tendo em conta as especificações do cliente. Deve-se garantir a existência de *stock* suficiente e analisar a possibilidade de sobreposição de produtos com o objetivo de garantir o cumprimento da data e das quantidades de entrega. Para tal, o planeador consulta uma tabela de artigos de sobreposição e um ficheiro *Excel* denominado "Gestão de *Stocks* e Transferências".

4. Definir carga

Após analisar, os pedidos devem ser fechados no sentido de minimizar o custo consoante a melhor opção: camião completo, juntar pedidos na mesma carga, antecipar encomendas entre outras. Caso haja a necessidade de acordar uma nova data de entrega, o serviço ao cliente deve ser contactado para tratar de tal tarefa.

A definição da carga fundamenta-se em três critérios: quantidade de encomenda, tipo de distribuição e zona de entrega. Por exemplo, se a encomenda for de 33 paletes para um cliente da distribuição moderna com um acordo de carro completo, o planeamento encontra-se efetuado. No entanto, caso a encomenda seja inferior às 33 paletes, deve-se procurar agrupar a um camião que entregue numa zona próxima no sentido de reduzir o custo associado.

Existe uma exceção: quando o próprio cliente assume a carga, não há necessidade de planeamento, ignorando-se os critérios de decisão e a otimização do transporte (independentemente do número de paletes).

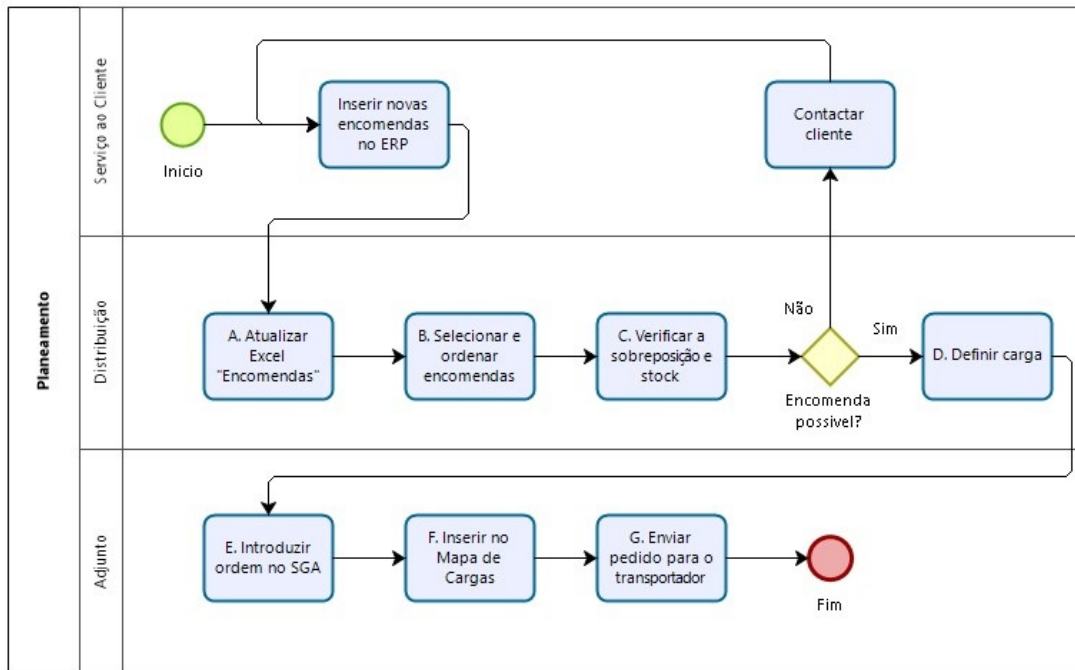


Figura 3.3: Sub Processo do Planeamento

5. Introduzir ordem no Sistema de Gestão de Armazéns

Os operadores no armazém necessitam de saber antecipadamente as cargas a fazer para o dia seguinte de modo a realizar a sua preparação, especialmente no caso do *picking*. Neste sentido, o adjunto é responsável pela introdução da informação no SGA à medida que surgem encomendas com necessidade de preparação antecipada.

6. Inserir no Mapa de Cargas

O passo seguinte consiste em inserir a informação das cargas no Mapa de Cargas onde tem informação da transportadora, da matrícula, da rota, dos clientes e do número de paletes a entregar. Esta tarefa é uma atividade contínua diária no sentido de não deixar acumular trabalho.

7. Enviar pedido para a transportadora

Para cada carga, deve-se enviar os pedidos para os transportadores, garantindo uma repartição entre eles de acordo com uma série de fatores: custos, exclusividades, etc.

Após o planeamento das cargas, segue-se o carregamento da mercadoria no camião, descrito na Figura 3.4.

Após a introdução da ordem no SGA, caso seja possível, a encomenda deve ser preparada pelos operadores do armazém o mais rápido possível. Esta permanece no cais na devida localização até à chegada do camião para o seu carregamento. A portaria regista a hora de chegada e saída do camião na guia. O camião é pesado antes e depois da carga como medida de controlo da qualidade.

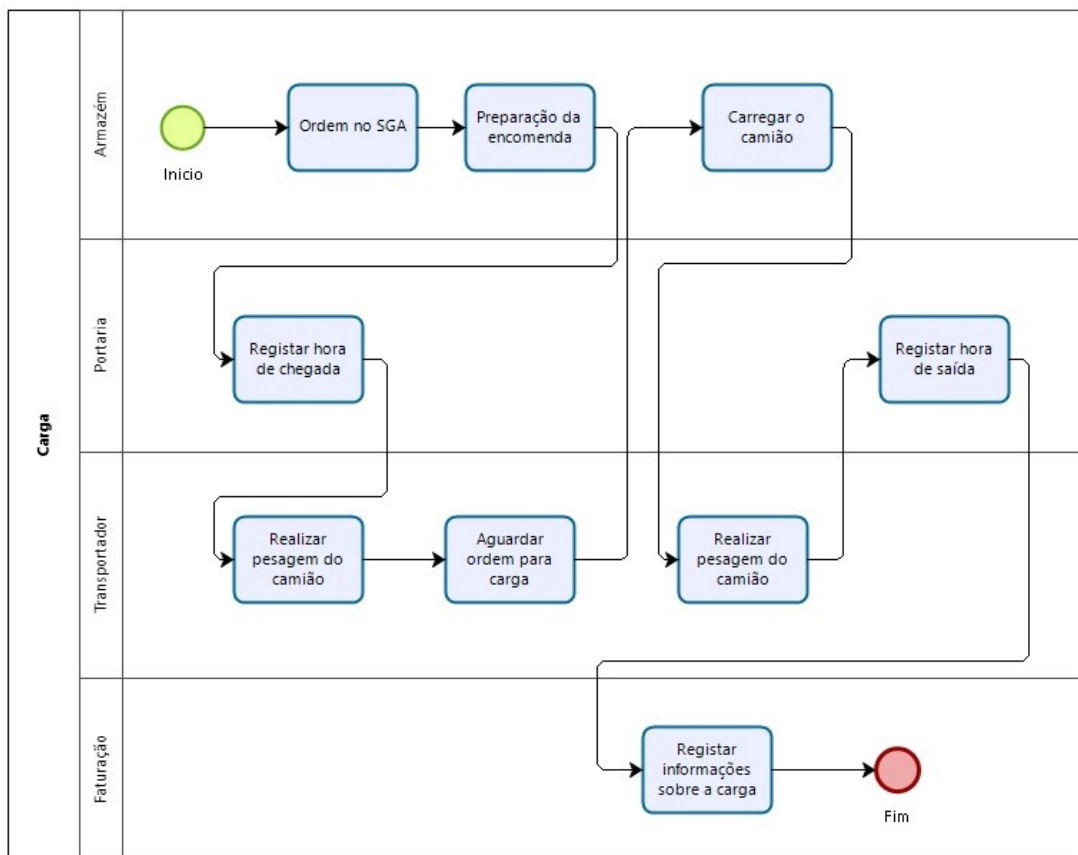


Figura 3.4: Sub Processo da Carga

Se apresentar carga em excesso, fora da tolerância permitida, o camião não sai das instalações. Após a pesagem inicial, a transportadora deve aguardar a ordem do armazém para iniciar a carga. Todos os tempos absolutos são registados na guia e, no fim, a faturação é responsável por preencher o Mapa de Cargas. Além disso, a equipa de faturação garante a emissão da guia de remessa, um documento essencial que deve acompanhar a mercadoria ao longo do transporte.

O processo é concluído com a obtenção dos indicadores de desempenho. Estes permitem avaliar continuamente as transportadoras e as atividades que decorrem na empresa. O principal objetivo vai para além da monitorização dos processos dado que, através deles, também se procura avaliar, analisar e identificar erros para decidir sobre o rumo do processo analisado. O procedimento adotado pela empresa pode ser visualizado na Figura 3.5.

1. Definir parâmetros a medir

Atualmente, a distribuição retira indicadores para avaliar o desempenho dos transportadores e do armazém, adotando métodos diferentes para a sua avaliação. A classificação do nível de serviço dos diferentes transportadores baseia-se em critérios de avaliação como indisponibilidade de meios, atrasos, incumprimentos de entregas, incidências, relacionamento com cliente e até a apresentação do motorista. De seguida, com base nestes critérios,

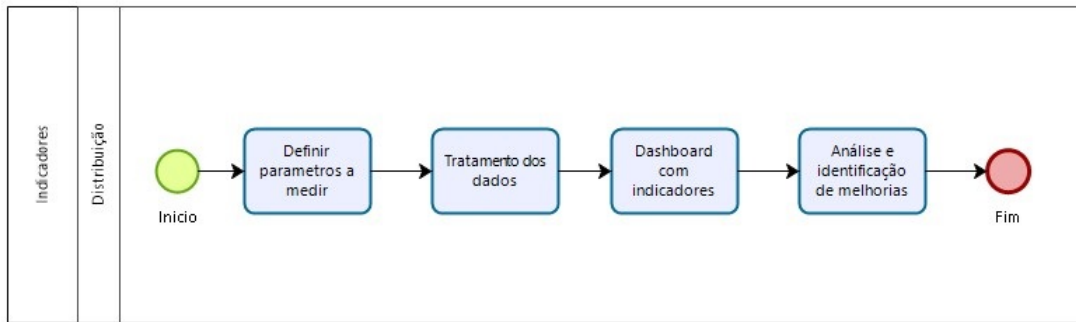


Figura 3.5: Sub Processo dos Indicadores

desenvolveram-se equações com diferentes pesos para avaliar o nível de serviço de carga, de descarga e global.

NÍVEL DE SERVIÇO TRANSPORTADOR														semana: 1				
	5%	15%	50%	10%	Devoluções 20%			Nº Serviços Perdidos	NS CARGA	NS On Time		NS Complete (Incidências) 30%		10%	Nº Serviços Perdidos	Nível Serviço ON TIME	Nível Serviço Complete	NS DESCARGA
	a	b	c	d	25%	50%	25%			40%	20%	25%	75%	n				
					e	f	g			incumprimento de data de entrega	incumprimento da hora de entrega	Parcial	Total					
Transportador	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0
Transportador	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0

Figura 3.6: Avaliação do Nível de Serviço das Transportadoras

Por sua vez, quanto ao armazém, avaliam-se parâmetros como a produtividade dos operadores, a taxa de ocupação dos armazéns da Maia e da Trofa e o número de paletes no operador logístico.

2. Tratamento dos dados

Com base no Mapa de Cargas atualizado, isto é, com a informação detalhada da carga, a distribuição deve agora tratar os dados de modo a obter o *dashboard* com os indicadores.

Este subprocesso realiza-se apenas uma vez por semana, sendo que o horizonte temporal analisado é uma semana. A partir dos indicadores obtidos, é possível verificar se o nível de serviço dos transportadores tanto na carga como na descarga está abaixo do objetivo definido.

3.1.3 Análise do Processo de Expedição

O estudo consistiu em analisar os dados da empresa de um período de tempo através de vários pontos de vista. Tendo em conta os objetivos da implementação da plataforma, procurou-se estudar o processo com mais detalhe e identificar lacunas do mesmo onde a solução a desenvolver possa intervir e contribuir para a sua resolução.

3.1.3.1 Tempo

O estudo consistiu em determinar o tempo despendido pela distribuição no planeamento das cargas. O planeamento é uma tarefa bastante suscetível a erros porque, ao ser feito manualmente, depende inevitavelmente do método do planeador. Além disso, a menor distração pode originar problemas no momento da carga.

Com este estudo, verificou-se que a medição do tempo de planeamento é uma tarefa particularmente difícil visto que os responsáveis repetem a mesma tarefa inúmeras vezes durante o dia para garantir o correto funcionamento da operação. Por exemplo, uma encomenda fechada durante a manhã, com o aparecimento de uma nova encomenda para o mesmo cliente pode ser alterada, obrigando a retrabalho.

A medição do tempo de carga é complexa. Por um lado, a preparação da encomenda no armazém é de difícil obtenção uma vez que depende do fluxo do armazém, da velocidade dos operadores do armazém, da ocorrência de acidentes ou da quantidade de trabalho. Por outro lado, as etapas da carga em si são relativamente fáceis de medir uma vez que o método utilizado atualmente pela distribuição assim o permite.

O estudo mostrou que cerca de 70% do tempo diário de trabalho do planeador é dedicado única e exclusivamente ao planeamento das cargas do dia seguinte. Como mencionado no Capítulo 2, estudou-se a possibilidade de acumular as encomendas até uma certa hora e, de seguida, fazer o planeamento sem interrupções mas dada à elevada quantidade de trabalho não foi possível concretizar.

Nesta medição, desprezaram-se questões como o dia da semana, a sazonalidade e a procura. Como irá ser explicado posteriormente, a empresa tem acordos com clientes para entregas em determinados dias e possui dias específicos para entregar em determinadas zonas do país, o que faz com que para certos dias da semana o responsável da distribuição tem de dedicar mais tempo ao planeamento. A primeira fase do processo de expedição também está dependente da procura do mercado. Por exemplo, a existência de um topo num supermercado faz com que tal cliente aumente o número das encomendas. Logicamente, a sazonalidade tem influência direta nos produtos e na quantidade encomendada. Os meses de Verão e de Natal normalmente são aqueles com um maior pico de encomendas.

3.1.3.2 Cargas

A investigação mostrou que o armazém da Maia expede um terço do total das paletes, sendo que o operador logístico representa uma fatia muito reduzida. De modo a realizar uma análise robusta, estimaram-se dois parâmetros: paletes por carga e a taxa de ocupação, para estudar o aproveitamento do espaço dos veículos. Para estimar a taxa de ocupação, teve-se em consideração as restrições dos clientes, o tipo de transporte e a capacidade do camião. Ou seja, as cargas realizadas por *cross docking* ou pelo próprio cliente ou rotas com duas cargas foram retiradas do estudo para obter resultados confiáveis. As taxas de ocupação obtidas mostraram que os camiões saem do armazém da Maia com bastante espaço livre. Por sua vez, as cargas expedidas da Trofa

e de Leixões aproximam-se da maximização do espaço do camião. A sobreposição de paletes adquire especial importância na tentativa de aumentar a taxa de ocupação dos veículos no processo de expedição.

3.1.3.3 Erros no Processo de Expedição

Os erros durante o processo de expedição podem ser de vários tipos. Desde uma falha da transportadora até à anulação da encomenda por parte do cliente, existem várias razões para anular uma carga. No entanto, não é registada a justificação para a carga ter sido anulada ou adiada, constituindo uma falha grave pois esta informação pode ser decisiva no sentido de determinar a principal lacuna no processo: se os clientes, os transportadores ou o planeamento em si.

3.1.3.4 Transportadoras

A análise das transportadoras pode ser dividida em duas categorias: volume de cargas e fiabilidade do serviço.

Quanto ao volume de cargas, verificou-se que a exportação representa uma pequena porção do número total de cargas, sendo que o cliente assume o transporte das suas encomendas um número elevado de vezes. Na zona Norte, a Luís Simões é responsável por grande parte das entregas (cerca de 80%) enquanto as restantes são garantidas pelo próprio cliente ou realizadas por *cross docking*. Por último, a zona Sul é aquela que possui uma repartição mais equilibrada entre as transportadoras.

Por sua vez, a fiabilidade da transportadora é um fator decisivo na atribuição de uma carga quando se pretende cumprir os requisitos do cliente, garantir níveis de serviço e entregas a horas. Neste sentido, o número de incidências e os tempos de serviço da transportadora aliados ao volume de cargas atribuído à mesma permite concluir quanto à qualidade do serviço e a garantia da entrega sem incidências e sem custos acrescidos.

3.1.4 Oportunidades de Melhoria

A análise efetuada permitiu identificar aspetos passíveis de melhoria ao longo do processo de expedição. Rapidamente se percebe que todos os aspetos, direta ou indiretamente, estão relacionados com o tempo, o custo e os erros do processo de expedição.

O tempo despendido no planeamento das cargas diariamente é bastante elevado, constituindo cerca de 70% do horário de trabalho do responsável. Sendo uma tarefa manual, o processo é suscetível dos mais variados erros. Desde erros no planeamento devido à falta de capacidade humana de considerar todas as variáveis até a um erro de uma transportadora que se atrasou ou um produto em falta, o objetivo deve passar por reduzir ou até mesmo eliminar a origem dos erros que condicionam o processo. De qualquer das maneiras, identificar a causa de cada erro é o principal passo para conseguir uma melhoria no processo.

Em qualquer processo, o custo desempenha um papel crucial. Neste sentido, o tipo de transporte e a maximização da sua capacidade são aspetos importantes a considerar no planeamento

das cargas. Por exemplo, um semi reboque na máxima capacidade (carro completo) constitui um custo reduzido. Este cenário deve ser o mais frequente na tentativa de minimizar os custos. No entanto, nem sempre é possível. No caso de uma encomenda com muitos produtos, há duas soluções para o problema: utilizar dois camiões para a entrega ou sobrepor paletes, se possível, de modo a entregar a mesma quantidade numa viagem. Neste sentido, a sobreposição de paletes pode contribuir para uma poupança significativa. Após decidir o tipo de transporte e verificar a quantidade máxima a transportar, resta definir a transportadora responsável pela entrega. Esta decisão tem consequências no custo, no tempo e no número de erros. O melhor cenário será aquele em que a transportadora realiza a carga no armazém e a entrega no cliente sem danos e incidências no mínimo tempo possível a um custo reduzido.

Tabela 3.4: Oportunidades de Melhoria no Processo de Expedição

Tópico	Objetivo
Encomendas Processadas	Aumentar
Encomendas Rejeitadas	Eliminar
Número de Erros	Eliminar
Taxa de Ocupação	Aumentar
Cargas Diárias	Diminuir
Cumprimento da Entrega	Total
Tempo Total da Tarefa	Diminuir

As oportunidades identificadas na Tabela 3.4 têm como foco principal o tempo total do processo de expedição, em específico do planeamento. No entanto, a implementação de uma ferramenta irá permitir provavelmente a evolução de outras áreas. Transformar o planeamento num processo automático possivelmente irá aumentar o número de encomendas processadas e reduzir o número de encomendas rejeitadas exceto aquelas por falta de *stock*. Ao ser capaz de aumentar a taxa de ocupação dos veículos, prevê-se uma diminuição das cargas diárias. Por último, ao verificar o *stock* e a sobreposição para cada encomenda e ao atribuir corretamente a transportadora a cada veículo, pode-se esperar uma redução do número de erros.

3.2 Transporte

A empresa apresenta uma divisão consoante o tipo de transporte de acordo com a Figura 3.7.

No transporte primário, inserem-se todas as deslocações entre os centros de distribuição da empresa, podendo-se dividir em dois tipos: vaivéns e transferências. Os vaivéns dizem respeito a um transporte interno entre as duas fábricas do Centro de Distribuição da Maia (CDM) e, portanto, este custo divide-se entre o salário do motorista, o combustível gasto e os custos de manutenção do camião. No entanto, esta parcela do custo não será incorporada neste estudo. Por sua vez, as transferências correspondem às viagens entre o CDM e o Centro de Distribuição da Trofa que são realizadas exclusivamente pela transportadora, Luís Simões.

Devido às capacidades dos armazéns, há uma necessidade de enviar o *stock* excedente para um operador logístico. No entanto, esta operação representa um custo elevado não só a nível do

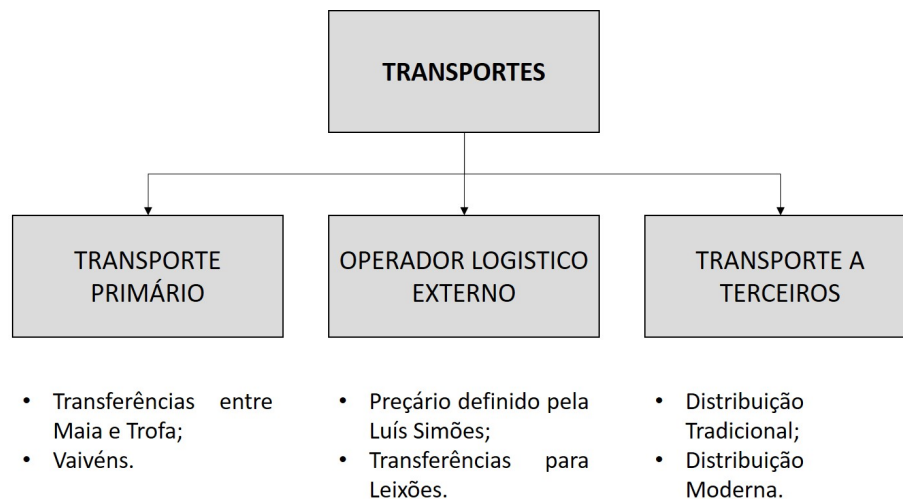


Figura 3.7: Divisão do Transporte

transporte como ao nível do armazenamento. Neste sentido, a empresa procura transferir artigos em rotura de *stock* no operador logístico ou artigos em falta para completar uma encomenda prestes a ser expedida. Uma regra essencial é o facto de que todos os artigos enviados para Leixões não devem regressar aos outros armazéns, exceto em situações de último recurso. Deste modo, o planeamento deve proceder no sentido da mercadoria enviada para Leixões dar seguimento diretamente para o cliente. Apenas em último recurso, isto é, quando existem paletes incompletas e prevê-se que os produtos não terão rotação, estes são enviados de novo para os outros armazéns para depois ter colocação.

Por último, o transporte a terceiros refere-se a todas as entregas a clientes. A empresa efetua uma divisão consoante o canal de distribuição para facilitar o planeamento, agregando os clientes com características semelhantes em cada grupo. Dependendo do canal de distribuição, o método de planeamento difere devido à natureza e especificações dos clientes. De um modo geral, as principais diferenças encontram-se na data de entrega e na seleção da transportadora.

A Distribuição Moderna engloba todos os hipermercados e supermercados. A distribuição moderna é o canal de distribuição que representa o maior volume de mercadoria da empresa. As entregas para este tipo de clientes devem ser efetuadas em dias e horários definidos contratualmente pois o incumprimento da data e hora de entrega resultam em penalizações. Sendo assim, o planeamento valoriza a fiabilidade e o nível de serviço da transportadora escolhida para realizar a entrega.

A Distribuição Tradicional agrega os clientes que encomendam as marcas de fabricante da empresa. Numa tentativa de minimizar o custo de transporte, a Cerealis agrupou os clientes por zonas e definiu dias específicos de entrega semanais para as mesmas. No entanto, a empresa possui ainda a possibilidade “Via Verde” que consiste em realizar um dia extra para uma determinada entrega caso a encomenda do cliente seja superior a 10 paletes. Deste modo, o cliente não necessita de esperar uma semana pela mercadoria encomendada.

A Exportação divide-se em dois grupos: Contentores, à responsabilidade da Cerealis Internacional; e as Grupagens e encomendas do Aldi e DIA, à responsabilidade da Cerealis Produtos Alimentares. Normalmente, a seleção da transportadora baseia-se apenas no menor custo de transporte devido às elevadas distâncias.

O Canal HORECA é o setor da indústria dos bens alimentares que engloba todos os clientes que preparam e servem refeições, serviços de catering e serviços de dormida, sendo a sigla HORECA a abreviatura para Hotéis, Restaurantes e Cafés.

3.2.1 Análise do Transporte

A análise focou-se em determinar os custos da atividade de transporte no mês de Janeiro. Segundo a mesma lógica do processo de expedição, analisaram-se os dados com o intuito de identificar a principal causa dos gastos e perceber as áreas onde a solução pode minimizar os mesmos.

3.2.1.1 Custos

O estudo consistiu em analisar os custos de transporte no mês de Janeiro de 2020. O transporte final ao consumidor representa cerca de 90% do custo total, enquanto que os restantes tipos constituem parcelas menores.

O custo total de transporte apenas considerou o custo das transferências entre os armazéns da empresa e o armazém do operador logístico, no entanto, a despesa associada ao operador logístico externo não se remete apenas ao transporte. O operador logístico cobra pelo número de paletes que entram e saem durante o mês, as guias efetuadas e a armazenagem das paletes, fazendo distinção no preço segundo a família do produto. Sendo assim, pode-se concluir que uma paleta transferida para o operador logístico representa um custo duplicado: o transporte e o custo de armazenamento. O custo de armazenamento no operador logístico depende diretamente do planeamento efetuado, portanto, o planeamento deve ter como objetivo a minimização das transferências para o operador logístico de modo a reduzir esta despesa. Apesar de ser uma pequena percentagem do custo total, torna-se importante aproveitar a ocupação dos armazéns para reduzir a quantidade paletes transferida para o operador logístico.

Posteriormente, tendo em conta que o transporte a terceiros constitui quase a totalidade do custo de transporte, investigou-se a divisão dos custos por canal de distribuição. A distribuição moderna constitui cerca de 50% do total.

3.2.1.2 Distribuição Tradicional

Como foi mencionado anteriormente, a distribuição tradicional possui características particulares: divisão de clientes por zonas de entrega, dias de rotas específicos para cada zona e, ainda, a possibilidade de via verde. A análise procurou estudar a percentagem do cumprimento dos dias de rota e perceber a influência desta estratégia no custo por tonelada para cada zona e para cada dia da semana.

O estudo efetuado mostrou que 65% das viagens cumpriram os dias definidos pela empresa e que as zonas para onde se realizam viagens todos os dias da semana são aquelas que apresentam um custo por tonelada inferior. Além disso, no período de análise, determinou-se o número de viagens com uma quantidade inferior a 10 paletes a um cliente e verificou-se um número reduzido de casos de incumprimento da Via Verde provavelmente devido à urgência do pedido, erro da empresa, etc.

3.2.2 Oportunidades de Melhoria

Devido à elevada dimensão do transporte a terceiros no custo total, a principal oportunidade de melhoria é a redução deste custo com o aumento da eficácia e da qualidade do planeamento que deverá ter repercussões benéficas neste valor.

As transferências para o operador logístico só devem ser utilizadas em último recurso pelo simples facto de constituírem um custo duplicado: transporte e armazenamento. Também as saídas de mercadoria de Leixões para a Trofa ou para a Maia devem ser eliminadas uma vez que representam custos desnecessários e constituem falhas de planeamento. Esta decisão está interligada com o planeamento e com a taxa de ocupação do armazém. Sendo assim, o aproveitamento máximo da ocupação dos armazéns irá permitir reduzir as transferências para o operador logístico. Por outro lado, um planeamento eficiente envia apenas as mercadorias com expedição já planeada para o cliente e elimina as transferências de regresso para os outros dois armazéns.

Tendo em conta os critérios definidos pela empresa, existe ainda margem para melhoria no cumprimento dos dias de rota e da Via Verde. O aumento da taxa de cumprimento dos dias juntamente com a eliminação de viagens com menos de 10 paletes irá contribuir para a obtenção de um custo por tonelada inferior.

A Tabela 3.5 apresenta as várias oportunidades de melhoria identificadas através da análise efetuada ao longo do capítulo do transporte.

Tabela 3.5: Oportunidades de Melhoria no Transporte

Tópico	Objetivo
Transporte a Terceiros	Diminuir o custo
Transferências para Leixões	Reduzir ao essencial
Transferências: Leixões-Maia e Leixões-Trofa	Eliminar
Taxa de Cumprimento dos Dias de Rota	Aumentar
Número de viagens em incumprimento da Via Verde	Eliminar
Custo por Tonelada	Diminuir

Capítulo 4

Plataforma de Otimização da Operação Logística

Após estudar o processo atual da empresa de vários pontos de vista e identificar as oportunidades de melhoria, pretende-se agora construir uma alternativa viável ao planeamento manual. Tendo em conta os objetivos da empresa, a ferramenta deve ser capaz de incluir os requisitos dos clientes, verificar a existência de stocks para aceitar as encomendas, analisar a sobreposição para maximizar a ocupação do veículo e, por último, analisar os custos de entrega.

Sendo assim, delineou-se um procedimento ideal para a ferramenta com o intuito de descrever corretamente as tarefas, os dados necessários e os resultados a obter em cada etapa. Este exercício acaba por ser fundamental para a construção do modelo que deve ser o mais idêntico possível da operação da empresa. Não sendo possível uma representação exata da atividade, deve-se assumir pressupostos que não afetem a validade dos resultados. Por fim, recorre-se a um exemplo ilustrativo para demonstrar a lógica e o raciocínio por detrás do modelo desenvolvido.

4.1 Análise e Planeamento da Ferramenta

4.1.1 Objetivos

O Grupo Cerealis pretende desenvolver uma plataforma logística adequada às necessidades da empresa e que esta seja uma ferramenta de apoio à decisão procurando sempre o menor custo. Inicialmente, a plataforma de apoio à operação logística da empresa seria desenvolvida por uma empresa externa, contudo, com a situação atual de uma pandemia global, surgiram complicações para ambas as empresas envolvidas, resultando no seu adiamento.

Com estes acontecimentos, o projeto desta dissertação foi adaptado para uma abordagem académica tendo sempre em conta a realidade e as características da atividade logística da Cerealis. Deste modo, poderá ser utilizado como base para uma futura implementação de uma plataforma logística, mais concretamente, dos módulos das encomendas, do planeamento e dos custos.

Apesar da alteração da abordagem, os objetivos da ferramenta mantêm-se inalterados. A plataforma procura normalizar a operação do planeamento que até à data era realizado de forma manual

e, logicamente, variava de pessoa para pessoa. O objetivo principal da ferramenta é a obtenção do Mapa de Cargas, isto é, selecionando o horizonte temporal, a ferramenta gera o mapa de cargas minimizando os custos de transporte e num período de tempo reduzido. Após introduzir os dados das cargas, deverá ser possível, selecionando o horizonte temporal a avaliar, obter indicadores de performance da operação numa tentativa de monitorizar e procurar melhorias do processo.

Deste modo, o desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à decisão e de centralização da informação terá um grande impacto principalmente na redução do tempo e dos custos do planeamento. Associado à normalização da operação, espera-se uma redução de potenciais erros e a capacidade de detetar atempadamente problemas.

4.1.2 *Workflow*

A ferramenta a desenvolver deve apoiar todo o processo desde a receção da encomenda no serviço ao cliente até à elaboração do Mapa de Cargas e, posteriormente, a obtenção de indicadores. Neste sentido, definiu-se um procedimento que ditará o *modus operandi* da ferramenta.

Note-se que com a suspensão do estágio presencial, o acesso ao *Infor M3* e a outras bases de dados ficou comprometido. Deste modo, o desenvolvimento da ferramenta basear-se-á no levantamento da informação adquirida até à data do término do mesmo.

1. Receção da encomenda no serviço ao cliente

De modo a evitar erros relacionados com rotura de *stock*, uma encomenda apenas é aceite e validada se nos três armazéns se verificar as quantidades pedidas pelo cliente. Num cenário ideal, esta informação é obtida recorrendo ao ERP da empresa o que foi impossibilitado. Nesta fase, também se define o armazém de saída, isto é, aquele que contém, de preferência, todas as quantidades pedidas na encomenda. Por último, a ferramenta deve verificar a conformidade com os parâmetros definidos pelo cliente. Informações acerca dos clientes como o canal de distribuição, a janela de entrega, o tipo de entrega, a quantidade de encomenda e a zona são cruciais para um planeamento eficaz e, assim, garantir o nível de satisfação dos clientes.

2. Calcular número de paletes e níveis para cada encomenda.

O cliente encomenda os produtos através do número de caixas, daí a necessidade de converter para o número de paletes. Por esta razão, deve-se analisar o número de caixas encomendadas de determinado artigo em relação ao número total de caixas de uma paleta completa do mesmo artigo. As restantes caixas constituem as paletes de *picking*. Previamente, identificou-se como uma oportunidade de melhoria a taxa de ocupação dos camiões quando saem do armazém. Tendo em mente tal objetivo, recolheram-se as características de todos os *Stock Keeping Units (SKUs)* da empresa para analisar a sobreposição. O estudo da sobreponibilidade consiste em avaliar as características de cada *SKU* como, por exemplo, as dimensões e o peso da paleta, do produto, a resistência da caixa, com o objetivo de determinar se esta é sobreponível na tentativa de maximizar a carga por viagem. O método

utilizado consistiu em excluir numa primeira fase os artigos não sobreponíveis de acordo com especificações do cliente e características da família do artigo. De seguida, analisaram-se as dimensões e o peso dos artigos. As dimensões são um fator decisivo quando se trata de definir se a palete de um *SKU* é sobreponível ou não. Considerando que um camião possui uma altura de 2,80 metros, no pior dos casos, a palete deve ter menos de 1,40 metros para ser sobreponível. A principal dificuldade reside em determinar o peso que uma determinada palete consegue suportar. Isto porque esta avaliação é feita de um modo experimental: o produto é testado com várias combinações no armazém automático e no transporte para averiguar o estado dos produtos.

3. Selecionar o horizonte temporal a planear

Nesta etapa, filtra-se e seleciona-se as encomendas compreendidas nas datas selecionadas.

4. Divisão das encomendas por canal de distribuição e por zona

Com o objetivo de facilitar a conjugação de encomendas na mesma rota.

5. Analisar compatibilidade de cargas

Tendo em conta a capacidade máxima de carga do camião, 24 toneladas ou 66 paletes (33 x 2), procura-se nesta fase conjugar as encomendas de modo a completar a rota. Neste sentido, define-se uma ordem de prioridades: entregas para o mesmo cliente, entregas para a mesma zona e, por último, entregas para zonas próximas. Quando se combinam duas encomendas de clientes de diferentes zonas, é importante garantir o cumprimento do horário de entrega no cliente. Neste sentido, recorrendo ao mapa, deve-se obter as distâncias entre os locais e calcular o tempo de viagem de modo a garantir o cumprimento da entrega a horas. Sempre que haja uma alteração na data de entrega, deve ser gerado um alerta para informar o cliente.

6. Analisar zona de entrega e custo de transporte

Para a atribuição de uma entrega a uma transportadora, é importante saber a lista das transportadoras disponíveis e os custos cobrados para conseguir tomar a decisão acertada. Conforme a carga definida, deve-se analisar as possibilidades de transporte: *cross docking* ou semi reboque. Por um lado, o custo da entrega por semi reboque varia consoante a zona, por outro, o custo de *cross docking* depende do número de paletes a entregar. Note-se que para as entregas por semi reboque, apenas se acumula no mesmo camião entregas de 3 clientes diferentes pois, acima deste número, o camião realiza apenas uma viagem por dia. Além disso, por cada entrega adicional acresce um valor definido pela transportadora.

7. Seleção do tipo de transporte

A decisão da transportadora depende do canal de distribuição. A Distribuição Moderna privilegia o nível de serviço da transportadora enquanto as entregas à distribuição tradicional seguem uma repartição de acordo com a percentagem definida pela empresa. Por último, a exportação seleciona a transportadora de menor custo. Existe uma exceção que se verifica

quando o próprio cliente assume a carga. Neste caso, o próprio desloca-se à empresa e o planeamento encontra-se encerrado, ignorando-se a otimização do transporte.

8. Definir o dia de carga

O dia de carga depende da zona da entrega: carrega no dia de manhã, se entregar na Zona Norte; ou carrega no dia anterior, se entregar na Zona Sul.

9. Gerar mapa de cargas

10. Registrar dados relativos às cargas

Esta etapa terá sempre de ser manual realizada pela faturação.

11. Obter os indicadores

Os indicadores irão permitir monitorizar o processo e avaliar em tempo real a performance da operação. Tendo em conta a análise efetuada no Capítulo 3, definiram-se um conjunto de *KPIs* capazes de acompanhar a capacidade, os erros, as transportadoras e os custos da atividade logística. Relativamente ao processo em si, os *KPIs* a avaliar são: o tempo total do processo, as encomendas processadas, as encomendas rejeitadas e o número de erros. Quanto à performance da ferramenta, deve-se analisar a taxa de ocupação dos veículos, o número de cargas diárias resultantes, o cumprimento do horário de entrega, o cumprimento dos dias de rota e, ainda, o incumprimento da via verde. No que diz respeito aos custos da atividade, é necessário determinar o custo do transporte discriminado por categoria: transporte a clientes e transferências entre armazéns. Além disso, informações como o custo por tonelada e o custo por zona tem algum interesse pois constituem uma informação capaz de compreender o desempenho da operação. Para garantir a qualidade do controlo, devem-se selecionar amostras de qualidade que representem a realidade, isto é, em que seja possível reduzir a variabilidade associada a fatores externos como por exemplo: a sazonalidade da procura, o período em análise deve ser o mesmo e deve-se evitar analisar meses atípicos; viagens fora do dia de rota, entre outros.

4.2 Modelo Desenvolvido

Tendo em conta os objetivos e as condicionantes, definiu-se um modelo matemático capaz de descrever o problema.

A empresa possui uma quantidade de clientes elevada, dividindo-os por canal de distribuição para diferenciar e facilitar o seu planeamento. Para os clientes da distribuição moderna, a Cerealis, no caso de incumprimento da hora de entrega, sofre uma penalização. Com base no *VRPTW*, adaptaram-se as restrições acerca dos intervalos de tempo para entrega associada a cada cliente de modo a determinar a hora de chegada. Neste problema, consideram-se parâmetros como o instante em que o veículo sai do armazém, o tempo de viagem entre locais e o tempo de descarga médio.

Como mencionado anteriormente, a Cerealis realiza a expedição a partir de três armazéns. Além disso, a rota pode incluir cargas em dois armazéns diferentes, tornando-se então um problema multi-depósito. No entanto, esta característica da atividade da empresa é particularmente difícil de formular matematicamente e, por isso, será adotado um planeamento por armazém.

A empresa não possui frota própria e recorre a transportadoras para realizar a entrega das mercadorias nos clientes. As transportadoras possuem uma estrutura de custos consoante a zona de entrega no caso de semi reboque e o número de paletes a transportar no caso de *cross docking*. Quanto às rotas, a Cerealis tem como regra aglomerar no máximo encomendas de 3 clientes diferentes. No caso de um semi reboque com entrega em vários clientes, ao custo da zona da entrega mais cara, acresce ainda um valor por cada entrega adicional.

Atualmente, a empresa não tem controlo sobre o processo de distribuição das transportadoras. Sendo assim, após entregar no último cliente, o veículo não necessita de regressar ao armazém da empresa. Normalmente, de modo a garantir um fluxo correto de viagens no modelo, nos modelos matemáticos o veículo regressa ao local onde iniciou a jornada. Apesar de não ser representativo da realidade da Cerealis, esta alteração em nada influencia o resultado final. Sendo assim, definiu-se o número de viagens permitidas por rota em 4, sendo que a última na realidade não se realiza mas é incorporada para facilitar a formulação.

O problema estudado nesta dissertação pode então ser descrito da seguinte forma: as mercadorias localizadas em vários armazéns necessitam de ser transportadas para os clientes de modo a completar a entrega no horário definido. Para tal, a empresa recorre a transportadoras. Os veículos devem iniciar e terminar a rota no armazém, podendo apenas no máximo visitar 3 clientes diferentes. O objetivo do problema é alocar as encomendas nos camiões para entregar aos clientes no sentido de minimizar o custo de transporte.

Com base nesta descrição, estabeleceram-se regras que obrigam a definir as relações entre as diferentes entidades que intervêm na atividade de distribuição. No fundo, definem o que é permitido pelo modelo, criando fronteiras e clarificando os casos possíveis no dia-a-dia da empresa.

- Todos as encomendas são conhecidas com antecedência e mantêm-se inalteradas durante o processo de transporte;
- A procura dos clientes nunca supera a oferta dos armazéns;
- Todos os veículos são idênticos. A capacidade máxima de carga do camião é 24 toneladas ou 33 paletes por nível (2 níveis no máximo);
- Uma rota possui uma identificação única, o que leva a que não existam rotas diferentes com o mesmo nome nem rotas iguais com nomes diferentes;
- Uma rota não pode entregar encomendas em mais de 3 clientes diferentes;
- Não é possível realizar segunda carga numa rota;
- Uma rota, num dia, é realizada por uma única transportadora;
- Cada cliente é visitado apenas uma vez por dia.

Tabela 4.1: Notação do Modelo Matemático

Índices		
a	Armazém	
e	Encomenda	
i, j, k	Cliente	
p	Produto	
t	Transportadora	
v	Veículo	
z	Zona	
Parâmetros		
qc_p	Quantidade de caixas numa paleta do produto p	
qs_{pa}	Quantidade de produto p em <i>stock</i> no armazém a	
q_{pe}	Quantidade pedida do produto p na encomenda e	Capacidade
n_e	Número de paletes da encomenda e	
ns_e	Número de paletes sobreponíveis da encomenda e	
p_e	Peso da encomenda e	
pl	Peso limite do veículo: 24000	
cl	Número de paletes máximo por nível: 33	
t_{ij}	Tempo de viagem entre i e j	
hl_i	Hora limite para entrega no cliente i	
s	Tempo médio de serviço	
c_z^t	Custo de entrega na zona z realizada pela transportadora t	Custos
c_t	Custo por entrega adicional realizada pela transportadora t	
cp	Custo por paleta para transporte por <i>cross docking</i>	
$pena_i$	Penalização por atraso na entrega do cliente i	
$peni_e$	Penalização por incumprimento da encomenda e	
M	Número grande: 100000	
Variáveis de Decisão		
Q_v	Quantidade de paletes máxima a transportar no veículo v	Inteiras
C_v	Custo de entrega associado ao veículo v	
H_i	Hora definida para chegada no cliente i	
X_{ij}^v	1, se o veículo v realiza a viagem entre i e j; 0, caso contrário	Binárias
Y_e	1, se a encomenda e foi aceite e validada; 0, caso contrário	
K_e^v	1, se a encomenda e é transportada no veículo v; 0, caso contrário	
D_e	1, se a encomenda e é entregue por <i>cross docking</i> ; 0, caso contrário	
E_{vz}	1, se o veículo v entrega na zona z; 0, caso contrário	
Z_i	1, se a hora de chegada ao cliente i for superior à hora limite do cliente i; 0, caso contrário	
W_e	1, se a encomenda e não foi satisfeita; 0, caso contrário	

4.2.1 Formulação Matemática

Este modelo tem como objetivo atribuir às encomendas de vários clientes de diferentes zonas uma rota e uma transportadora responsável por realizar a entrega. A função objetivo inclui parcelas relacionadas com o custo dos veículos, o custo das entregas por *crossdocking* e as penalizações por falha de entregas e por incumprimento do horário. Na Tabela 4.1 encontra-se a notação dos índices, dos parâmetros e das variáveis de decisão do modelo.

Função Objetivo

Nesta formulação matemática, a função objetivo é expressada pela equação (4.1) que procura minimizar os custos associados às viagens a realizar e às penalizações quer por incumprimento do horário de entrega quer por encomendas não satisfeitas.

$$f_{objetivo} = \min \sum_{v \in V} C_v + \sum_{e \in E} D_e n_e c_p + \sum_{i \in C} \sum_{v \in V} pena_i Z_{vi} + \sum_{e \in E} peni_e W_e \quad (4.1)$$

Restrições

Com base na sequência de operações apresentada anteriormente, estabeleceram-se restrições para tornar a formulação matemática próxima do contexto real da empresa.

$$Y_e + W_e = 1 \quad \forall e \in E \quad (4.2)$$

$$\sum_{e \in E} Y_e q_{pe} \leq \sum_{a \in A} q_{spa} q_{cp} \quad \forall p \in P \quad (4.3)$$

$$\sum_{a \in A} V_{ae} = Y_e \quad \forall e \in E \quad (4.4)$$

$$\sum_{v \in V} K_e^v = Y_e - D_e \quad \forall e \in E \quad (4.5)$$

$$H_j \geq H_i + \bar{s} + t_{ij} + M \left(\sum_{v \in V} X_{ij}^v - 1 \right) \quad i \in C, j \in C \quad i \neq j \quad (4.6)$$

$$Q_v \leq \sum_{e \in E} K_e^v n_s e + cl \quad (4.7)$$

$$Q_v \leq 2cl \quad (4.8)$$

$$\sum_{e \in E} K_e^v n_e \leq Q_v \quad \forall v \in V \quad (4.9)$$

$$\sum_{e \in E} K_e^v p_e \leq pl \quad \forall v \in V \quad (4.10)$$

$$\sum_{i \in CUA} X_{ij}^v \geq K_e^v \quad \forall v \in V, \forall e \in E, \quad j_e \quad (4.11)$$

$$\sum_{j \in CUA} X_{ij}^v = \sum_{j \in CUA} X_{ji}^v \quad \forall v \in V, i \in C \quad (4.12)$$

$$X_{ij}^v \leq 0 \quad \forall v \in V, i \in CUA, j \in CUA \quad i = j \quad (4.13)$$

$$\sum_{j \in C} X_{aj}^v \leq 1 \quad \forall v \in V \quad (4.14)$$

$$M \sum_{j \in C} X_{aj}^v \geq \sum_{e \in E} K_e^v \quad \forall v \in V \quad (4.15)$$

$$\sum_{i \in CUA} \sum_{j \in CUA} X_{ij}^v \leq 4 \quad \forall v \in V \quad (4.16)$$

$$\sum_{e \in E} K_e^v \geq \sum_{i \in C} \sum_{j \in C} X_{ij}^v \quad \forall v \in V \quad (4.17)$$

$$C_v \geq E_{vz} c_z^t + \left(\sum_{z \in Z} E_{vz} - 1 \right) c_t \quad \forall z \in Z, \forall v \in V \quad (4.18)$$

$$3E_{vz} \geq \sum_{i \in C} \sum_{j \in z} X_{ij}^v \quad \forall v \in V, \forall z \in Z \quad (4.19)$$

$$E_{vz} \leq \sum_{i \in C} \sum_{j \in z} X_{ij}^v \quad \forall v \in V, \forall z \in Z \quad (4.20)$$

$$H_j - hl_j - Z_j M \leq 0 \quad \forall j \in C, \forall v \in V \quad (4.21)$$

$$\forall X_{ij}^v, \quad \forall K_e^v, \quad \forall Y_e, \quad \forall D_e, \quad \forall E_{vz}, \quad \forall Z_j, \quad \forall W_e \in \{0, 1\} \quad (4.22)$$

$$Q_v, \quad C_v, \quad H_j \geq 0 \quad (4.23)$$

$$\delta \in \{0, 1\} \quad (4.24)$$

A expressão (4.2) define o destino de cada encomenda. Caso a encomenda não seja aceite e satisfeita, acresce uma penalização de valor elevado ao custo de transporte por incumprimento da mesma. A restrição (4.3) assegura que todas as encomendas validadas correspondem a uma quantidade de produtos inferior à quantidade existente nos armazéns. Esta restrição é automaticamente garantida pelo *ERP* da empresa aquando da sua introdução no sistema.

Se a quantidade da encomenda for de tal modo reduzida que origina um custo de transporte por *cross docking* inferior ao custo de entrega adicional, então a encomenda será transportada por *cross docking* e a variável D_e toma o valor 1. Caso contrário, é atribuído um veículo para realizar a entrega da encomenda. A restrição (4.5) certifica-se de definir o modo de transporte, determinando o número correto de veículos para entregar a encomenda.

Tendo em conta as respetivas moradas e a data e hora de entrega, deve-se verificar que encomendas são passíveis de ser aglomeradas. Para definir a hora de chegada no cliente, esta deve ser superior à soma da hora de chegada no cliente anterior, do tempo de viagem entre locais e do tempo médio de serviço. A expressão (4.6) determina a hora de chegada no cliente. Tendo em conta o número de paletes sobreponíveis das encomendas, as restrições (4.7) e (4.8) definem a capacidade de carga para cada veículo. A expressão (4.9) afirma que apenas é possível juntar encomendas no mesmo veículo se a soma das paletes a entregar for inferior ou igual à capacidade máxima do veículo. Por outro lado, cada veículo apenas pode transportar até 24 toneladas de mercadoria, como representa a restrição (4.10).

A equação (4.11) garante que se uma encomenda for atribuída a um veículo, este realiza uma viagem ao cliente que fez a encomenda. Através da equação (4.12), garante-se o fluxo de veículos, isto é, o mesmo veículo que visita o cliente é aquele que sai desse local para a próxima viagem. A equação (4.13) tem como propósito impedir viagens a iniciar e terminar no mesmo local. As restrições (4.14) e (4.15) asseguram que a primeira viagem a realizar de qualquer veículo se inicia num armazém. No máximo, cada veículo apenas pode visitar três clientes diferentes. A restrição (4.16) estabelece um número máximo de viagens por veículo, considerando as regras anteriores.

A expressão (4.17) certifica-se de que o número de locais a visitar por um veículo é sempre inferior ou igual ao número de encomendas a entregar aglomeradas no veículo. Para cada veículo, a restrição (4.18) determina o custo da rota a realizar. O custo divide-se em duas parcelas: o custo da zona mais cara a visitar e as entregas adicionais consoante o número de locais a visitar na rota.

A expressão (4.19) garante que a variável E_{vz} toma o valor 1 caso o veículo realize pelo menos uma viagem a um cliente pertencente a essa zona. A restrição (4.20) garante que, se um veículo não realizar nenhuma viagem a uma determinada zona, a variável E_{vz} toma o valor 0.

A restrição (4.21) assegura que, no caso da hora de chegada ao cliente for superior à hora prevista para entrega, a variável Z_j assume o valor 1, considerando assim a penalização na função objetivo. Para garantir a integridade do modelo, é necessário definir o domínio da variáveis de decisão. As restrições (4.22) e (4.23) garantem quais as variáveis de decisão que devem assumir valores não negativos e inteiros e aquelas que assumem os valores 0 e 1. Também as variáveis auxiliares são definidas em (4.24).

O modelo não considera a data de carga do veículo pois, estando a realizar um planeamento diário, assume-se que o carregamento do veículo é sempre efetuado no dia anterior. Além disso, a escolha da transportadora baseia-se única e exclusivamente na minimização dos custos, não havendo distinção entre canais de distribuição como a empresa pretende. Estes dois pressupostos juntamente com a impossibilidade de várias cargas são as principais diferenças que distanciam o modelo de representar na totalidade a operação real da empresa.

4.3 Exemplo Ilustrativo

De modo a representar a situação real, preparou-se uma amostra de dados para avaliar o modelo desenvolvido. Neste cenário, são consideradas 10 encomendas de 8 clientes diferentes de 6 zonas diferentes. Para garantir a entrega, existem 3 veículos disponíveis num único armazém.

4.3.1 Dados

A Tabela 4.2 mostra as informações das encomendas que constituem a amostra. O modelo necessita de analisar as quantidades, o peso, o cliente e os custos para ser capaz de decidir qual a melhor opção na tentativa de minimizar os custos.

Tabela 4.2: Dados: Encomendas a Planear

e	n_e	ns_e	p_e	i	z	t	c_z^t	cp	c_t
1	25	0	22547,5	3	63	2	324,00 €	558,00 €	25,00 €
2	5	0	1040	4	69	2	273,00 €	144,79 €	25,00 €
3	1	0	1254,4	4	69	2	273,00 €	32,19 €	25,00 €
4	12	0	21280	7	57	1	137,00 €	159,42 €	30,00 €
5	32	24	12446	6	23	3	642,00 €	1 149,17 €	25,00 €
6	1	0	238	8	57	1	137,00 €	20,50 €	30,00 €
7	1	0	57,6	8	57	1	137,00 €	20,50 €	30,00 €
8	5	0	893,85	5	23	3	642,00 €	193,03 €	25,00 €
9	5	1	1161,84	1	7	1	146,00 €	87,78 €	30,00 €
10	5	0	1107,44	2	6	1	173,00 €	100,87 €	30,00 €

As penalizações relacionadas com a não satisfação das encomendas devem ter valores elevados para obrigar a solução a resolver o problema optando por entregar as quantidades todas por semi reboque ou por *cross docking*.

Como mencionado anteriormente, o modelo apenas precisa de garantir a entrega das encomendas que não possam ser entregues por carro completo. Por exemplo, a encomenda 1, originalmente, era constituída por 58 paletes não sobreponíveis. Neste caso, seguindo este raciocínio, a encomenda é então dividida em duas entregas: 33 paletes por semi reboque com um nível de carga completa enquanto as restantes ficam da responsabilidade do modelo. A Tabela 4.3 apresenta as encomendas em que se verifica a necessidade de dividir a encomenda e os custos associados à sua entrega.

Tabela 4.3: Carros Completos Originados

e	CC_e	n_e	C_v
1	1	33	324,00 €
4	1	66	137,00 €

4.3.2 Resultados

Com esta dimensão, o problema foi resolvido em 55 segundos recorrendo ao *OpenSolver* no *Excel*. A Tabela 4.4 mostra o modo como cada encomenda deve ser entregue com vista à minimização de custos. Das 10 encomendas, apenas 2 encomendas são entregues por *cross docking*. Analisando os dados das encomendas, à primeira vista, para o caso da encomenda 4, seria preferível designar um veículo para realizar a entrega em detrimento de entregar por *cross docking*. No entanto, o modelo encontra a solução ótima para o problema onde tal não se verifica.

Tabela 4.4: Variáveis de Decisão: Encomendas e Clientes

e	Y_e	D_e	W_e	$\sum K_e^v$	j	H_j	Z_j	$pena_j$
1	1	0	0	1	1	8971	1	- €
2	1	0	0	1	2	49929	1	- €
3	1	0	0	1	3	0	0	76,07 €
4	1	1	0	0	4	0	0	37,35 €
5	1	0	0	1	5	74933	1	- €
6	1	0	0	1	6	12619	0	5,35 €
7	1	0	0	1	7	0	0	64,78 €
8	1	0	0	1	8	54000	0	26,38 €
9	1	1	0	0				
10	1	0	0	1				

A Tabela 4.4 apresenta ainda as horas de chegada nos clientes (em segundos) para a entrega de mercadoria. O facto de apenas os clientes da distribuição moderna obrigarem ao pagamento de uma penalização por incumprimento da hora limite definida contratualmente influencia a solução obtida. Apesar de tudo, verifica-se a existência de atrasos mas não resultam em penalizações.

Por último, a Tabela 4.5 exhibe o número de veículos utilizados. Numa análise rápida, pode-se apurar que a aglomeração das encomendas não excedem a capacidade nem o peso limite do veículo. Além disso, cada veículo visita apenas 3 clientes indo de encontro à regra da empresa.

Tabela 4.5: Variáveis de Decisão: Veículos

v	$\sum K_e^v$	$\sum n_e$	$\sum ns_e$	$\sum p_e$	Q_v	$\sum X_{ij}^v$	$\sum E_{vz}$	C_v
1	4	44	24	15634,25	57	4	2	667,00€
2	4	32	0	23950,54	33	4	3	374,00€

A Tabela 4.6 apresenta a solução ótima obtida cujo custo de transporte total é de 1749,20 €.

Tabela 4.6: Resultados: Custos de Transporte

Modo	Custo
Carros Completos	461,00 €
Semi Reboque	1041,00 €
<i>Cross docking</i>	247,20 €
Penalizações	- €
Total	1749,20 €

Capítulo 5

Resultados

Para entender na perfeição a aplicação do modelo formulado e validar os seus resultados, analisou-se uma semana completa do planeamento e do transporte da Cerealis Produtos Alimentares. O principal objetivo consiste em entregar as mesmas quantidades por dia em rotas mais eficientes no sentido de minimizar os custos de transporte.

O estudo pretende estimar a poupança possível de obter para compreender se a utilização de um modelo matemático para o planeamento das entregas oferece vantagens à operação logística da empresa. Sendo assim, procede-se à comparação dos resultados obtidos nas simulações com a realidade da empresa uma vez que permitem solidificar as oportunidades de melhoria identificadas anteriormente.

5.1 Operação da Empresa

A empresa recorre a um planeamento manual diário, decidindo o modo de transporte das encomendas recorrendo em grande parte à experiência do responsável do planeamento. Este tem a função de analisar as encomendas, verificando o *stock* em armazém e a possibilidade da sobreposição de paletes. O seu objetivo é garantir as entregas atempadamente, respeitando os requisitos dos clientes. Para tal, necessita de analisar aspetos como distâncias entre clientes, custos dos cenários possíveis, definir a ordem de carga entre outras. Adicionalmente, deve ainda procurar minimizar os custos do transporte, procurando rentabilizar a ocupação do veículo e aglomerar as encomendas tendo em conta a capacidade do veículo. Sendo esta uma atividade tão complexa para apenas uma pessoa que dispensa quase um dia inteiro de trabalho para tal, os resultados do seu planeamento devem estar longe do seu potencial.

A semana selecionada para análise foi a semana de 10 a 14 de fevereiro devido ao facto de ser aquela que melhor representa o mês de Fevereiro. Para o mês de Fevereiro, analisou-se a média de cargas de cada semana para cada armazém, tendo sido esta semana aquela que mais se aproximava da média mensal. Além disso, também apresenta uma variação reduzida no número de cargas ao longo da semana.

O modelo desenvolvido considera que não é possível realizar cargas em dois armazéns distintos. Deste modo, o armazém em estudo será o armazém da Maia visto ser aquele que contém a grande maioria das encomendas efetuadas pelos clientes. Os resultados da operação real alusivos à semana em estudo para o armazém da Maia estão presentes na Tabela 5.1.

Tabela 5.1: Resultados da Operação da Empresa

Dia	10	11	12	13	14	Total
Encomendas	67	52	64	45	36	264
Rotas	20	27	18	16	16	92
Veículos	14	14	11	7	6	52
Custo	6184,07 €	6975,50€	4763,64€	4076,41€	4211,13€	26210,75€

O planeamento manual resultou em 92 rotas originadas a partir das 264 encomendas a entregar no período selecionado. No entanto, apenas foram necessários 52 veículos devido à aglomeração de rotas no mesmo veículo. Outro dado importante é o número de carros completos entregues durante este período 19 carros completos (33 ou 66 paletes) que garantem a entrega de 26 encomendas. No total, durante a semana do 10 a 14 de Fevereiro, o custo de transporte foi de 26210,75€. As entregas por carro completo representam um custo de transporte de 4945,99€.

O modelo formulado tem como principal objetivo gerar as rotas das encomendas entregues por semi reboque. Assumindo que as rotas que resultaram em carros completos são eficientes, o modelo deve apenas decidir sobre as restantes encomendas. Neste sentido, procedeu-se a uma pesquisa das rotas e encomendas que resultaram em carros completos. As encomendas em que o próprio cliente é responsável pelo transporte não devem ser incluídas no modelo pois este não tem capacidade de decisão para tal. O modelo tem apenas a função de decidir o modo de transporte das encomendas entre semi reboque e *cross docking*. No entanto, foram consideradas encomendas que, na prática, o cliente assumiu o transporte para determinar qual a melhor alternativa a essa solução.

A Tabela 5.2 apresenta o número de encomendas que não resultaram em carros completos e ainda o número de veículos utilizados para as entregar na operação real da empresa.

Tabela 5.2: Número de Encomendas a Planear

Dia	10	11	12	13	14	Total
Encomendas	58	48	59	41	32	238
Paletes	477	669	475	525	325	2471
Veículos	8	10	7	6	2	33

Sendo assim, o modelo necessita de definir a entrega de 238 encomendas, garantindo o seu cumprimento e procurando, ao mesmo tempo, minimizar os custos associados.

5.2 Eficiência das Rotas

A primeira abordagem consistiu em satisfazer a procura diária dos clientes recorrendo a rotas mais eficientes e, assim, minimizar os custos do transporte. O teste pode ser dividido em duas etapas: a preparação dos dados e a simulação propriamente dita.

Os custos do mês de Fevereiro contêm as rotas originadas através das encomendas referentes ao período em análise, com a divisão das quantidades a entregar em cada cliente. As quantidades entregues em cada dia nos clientes durante a semana constituíram a procura diária dos clientes.

Como estas informações são fornecidas num documento extenso gerado pela faturação, a primeira etapa é fazer a verificação dos dados com os documentos que contêm as cargas planeadas manualmente e as encomendas introduzidas no *ERP*. As quantidades encontram-se em quilos e, portanto, deve-se converter para a unidade de trabalho: paletes. No entanto, não há informação sobre as características de todos os *SKUs* como o peso, caixas por palete, necessárias para tal conversão. Esta falta de informação pode interferir com o teste e os resultados do mesmo. De modo a obter uma simulação credível, determinou-se um peso médio da caixa e o número médio de caixas por palete para se poder estimar um número de paletes para as encomendas que contenham esses produtos.

Tendo em conta as zonas onde a empresa entrega, construiu-se uma matriz de tempos de viagem necessária para definir a variável de decisão do tempo de chegada no cliente. Este processo baseou-se em recolher a latitude e longitude de cada zona e, posteriormente, aplicar a fórmula de cálculo respetiva para obter a distância. Utilizando uma velocidade média para os veículos, determinou-se o tempo de viagem entre locais.

A simulação foi realizada no *Excel*, recorrendo a um *Excel VBA Add-in* denominado *OpenSolver*. Esta opção é semelhante ao solver do próprio *Excel*, possibilitando destacar as variáveis de decisão, a função objetivo e as restrições do modelo na folha de cálculo. No entanto, tem a grande vantagem de não ter limitações para a dimensão e a complexidade do problema em questão. O *solver* do *Excel* tem uma limitação de 200 variáveis de decisão e 100 restrições. Por sua vez, o *OpenSolver* permite resolver problemas lineares com um número elevado de variáveis de decisão e de restrições, podendo em contrapartida demorar algum tempo a ser resolvido. Para um dia qualquer da semana em análise, o modelo possui aproximadamente entre 10000 e 20000 variáveis de decisão daí a necessidade de recorrer ao *OpenSolver*. A dificuldade dos problemas com elevada dimensão está relacionada com o tempo de processamento. Quanto maior a dimensão do problema, maior o tempo necessário para atingir a solução ótima. Como tal, utilizou-se um *solver* de otimização para a programação linear denominado *Gurobi*, destinado para fins comerciais.

O primeiro passo passou por construir a folha de cálculo com a função objetivo, as variáveis de decisão e as equações necessárias para aplicar as restrições. De seguida, implementou-se o modelo no *OpenSolver* e procedeu-se à simulação para os dias da semana em estudo. A dimensão dos problemas para cada dia é apresentada na Tabela 5.3.

Logicamente, o número de veículos disponíveis e de clientes influenciam diretamente o número de variáveis de decisão e de linhas para análise. Para evitar que a resolução do problema

Tabela 5.3: Dados da Simulação Eficiência das Rotas

Dia	10	11	12	13	14
Variáveis de Decisão	19650	16114	23339	13949	5932
Linhas	7628	7126	7930	6794	1965
Clientes	28	25	31	23	19
Veículos Disponíveis	20	20	20	20	13
Tempo de Processamento	7200	7200	7200	7200	7200

tomasse tempo infinito, estipulou-se um tempo limite de 7200 segundos (2 horas) e uma tolerância de otimalidade de 0,5%.

Tabela 5.4: Resultados da Simulação Eficiência das Rotas

Dia	10	11	12	13	14	Total
Carros Completos	1	2	2	1	1	7
Paletes	33	99	132	66	66	396
Custo	324,00€	410,00€	480,00€	273,00€	1 639,00€	3126,00€
Semi Reboques	10	12	10	10	6	48
Paletes	470	661	463	518	313	2425
Custo	4392,00 €	3521,00 €	2624,00€	2737,00 €	1570,00 €	14844,00 €
<i>Cross docking</i>	3	2	4	1	4	14
Paletes	7	8	12	7	12	46
Custo	318,58 €	122,77 €	816,55€	168,66 €	497,51 €	1924,07€
Penalização	- €	- €	- €	- €	- €	- €
Total	5034,58 €	4053,77 €	3920,55€	3178,66 €	3706,51 €	19894,07€

A Tabela 5.4 apresenta os resultados das soluções obtidas para os problemas de cada dia. Para garantir a entrega das encomendas do dia 10, utilizaram-se 11 veículos em que um foi planeado antes da simulação devido ao excesso da quantidade ou do peso da encomenda relativamente à capacidade do veículo. Apenas 3 encomendas foram entregues recorrendo a *cross docking*, transportando um número de paletes reduzido. Não se verificou a existência de penalizações quer por não satisfação da encomenda quer por incumprimento do horário de entrega. Na semana toda, existiram 72 atrasos nas entregas em clientes da distribuição tradicional e, portanto, não se traduzem em despesas acrescidas.

Para satisfazer a procura diária da semana do dia 10 a 14 de fevereiro, seriam necessários cerca de 55 rotas e 14 entregas por *cross docking*, representando um custo de 19894,07€. A este valor, acresce ainda o custo das encomendas que resultaram em carros completos definidas antes do planeamento. No total, a simulação referente à eficiência das rotas resulta num custo total de transporte de 24927,06€, constituindo uma poupança de 1370,69€, 5% do valor real.

5.3 Análise de Resultados

Após realizar a simulação, segue-se a comparação dos resultados obtidos com a operação real. Deste forma, procurou-se estudar os resultados dos diferentes pontos de vista enunciados ao longo da dissertação.

Tabela 5.5: Comparação de Resultados entre a Operação da Empresa e a Eficiência das Rotas

	Operação da Empresa	Eficiência das Rotas
Custo Total	26210,75€	24927,06€
Rotas	92	74
Taxa de Ocupação	84%	87%
<i>Cross docking</i>	0	14
Custo por Tonelada	23,5€	60,14€

A Tabela 5.5 compara os resultados gerais da simulação efetuada com a operação manual da empresa. Recorrendo a um modelo matemático representativo da realidade da empresa, a poupança máxima estimada é de 1370,69€, reduzindo em 5% o custo total do transporte semanal. O custo por tonelada sofre um aumento exagerado de cerca 37€ que pode ser explicado pelo aumento de encomendas entregues por *cross docking*. Se, por um lado, o custo total do transporte diminui, por outro, o custo por tonelada aumenta. Veja-se, para um exemplo, que ao entregar 5 paletes com um peso total de 1000 kg por 200€, o custo por tonelada será de 200€. Apesar das rotas originadas possuírem custos por tonelada reduzidos, as entregas por *cross docking* apresentam valores elevadíssimos, prejudicando o custo por tonelada da simulação.

A Figura 5.1 apresenta os custos diários para facilitar a identificação dos dias com possibilidade de melhoria, isto é, em que o planeamento manual não foi bem efetuado no sentido da minimização do custo, como é o caso do dia 11.

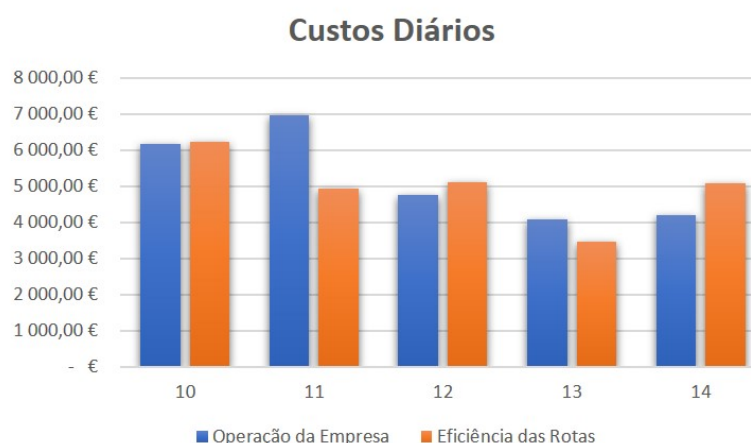


Figura 5.1: Comparação dos Custos Diários entre a Operação da Empresa e a Eficiência das Rotas

O número de veículos obtidos pela solução do modelo, na verdade, dizem respeito às rotas originadas. A operação real da empresa utiliza 52 veículos para efetuar 97 rotas uma vez que

aglomera no mesmo veículo por vezes 3 rotas. Comparando o número de rotas da operação e da simulação, verifica-se uma redução significativa o que vai de encontro ao aumento da taxa de ocupação dos veículos utilizados. A Tabela 5.6 analisa o número médio de encomendas aglomeradas, de clientes e zonas visitadas e ainda de paletes transportadas por rota.

Tabela 5.6: Comparação das Rotas Originadas entre a Operação da Empresa e a Eficiência das Rotas

	Operação da Empresa	Eficiência das Rotas
Clientes/Rota	1,71	2,14
Encomendas/Rota	2,87	3,43
Zonas/Rota	1,39	1,69
Paletes/Rota	35,88	47,93

Deste modo, pode-se concluir que o modelo procura otimizar a ocupação do veículo, aglomerando as encomendas possíveis até atingir os limites de capacidade do veículo. Neste sentido, visitar um maior número de clientes e zonas contribui para a diminuição dos custos de transporte. A aglomeração das encomendas na mesma rota deve ser efetuada privilegiando a proximidade entre as zonas. Na atividade da empresa, o planeamento efetua o agrupamento consoante o fluxo: Norte, Sul ou País. Analisando algumas rotas, verifica-se que esta condição não foi respeitada. No entanto, no que diz respeito à exequibilidade, a maior parte das rotas são possíveis de efetuar num período de tempo aceitável. O principal problema são as rotas que contém encomendas com destino a outros países. Neste contexto, identificou-se uma rota com encomendas de clientes de 3 zonas: Porto, França e Inglaterra. Esta rota constitui uma falha do modelo desenvolvido pois é impossível realizar as viagens e efetuar as entregas em apenas um dia. Como os clientes não pertencem à distribuição moderna, esta rota não resultou em penalizações.

Enquadrado na temática dos custos e da taxa de ocupação, as Figuras 5.2 e 5.3 comparam os resultados desse ponto de vista. A taxa de ocupação da atividade da empresa foi calculada com os dados existentes dos veículos utilizados.



Figura 5.2: Operação da Empresa: Divisão por Transportadoras, Custo por Tonelada e Taxa de Ocupação



Figura 5.3: Eficiência das Rotas: Divisão por Transportadoras, Custo por Tonelada e Taxa de Ocupação

Relativamente à operação real da empresa, o custo por tonelada foi calculado através dos dados da faturação. Para determinar o custo por tonelada da simulação, incluiu-se as rotas que originaram carros completos e que não foram incorporadas na resolução do problema. Também a taxa de ocupação foi calculada segundo este raciocínio. Na Figura 5.3, é possível reconhecer uma correlação entre o número de entregas por *cross docking* diárias e o custo por tonelada resultante. Os dias 12 e 14 são os dias em que se realizam mais entregas por *cross docking* e, conseqüentemente, os que apresentam maior custo por tonelada.

Os gráficos contêm ainda a divisão das entregas por transportadoras. No caso da atividade da empresa, utilizou-se os dados do ficheiro "Mapa de Cargas" onde há registo dos veículos e das transportadoras atribuídas. Deste modo, esta análise compara a repartição das transportadoras responsáveis pelos veículos utilizados na prática com a distribuição das transportadoras para as quais as rotas originadas na simulação representam menores custos.

Na Figura 5.2, verifica-se 9 entregas efetuadas por um transportador 5 em que quatro correspondem a carros completos. Se se observar a repartição da simulação, constata-se que a transportadora 5 é responsável por apenas quatro rotas. Esta situação pode ser explicada pelo facto da ausência dos custos de entrega cobrados por esta transportadora o que não permitiu a sua inclusão no modelo e, portanto, apenas realizará as viagens definidas previamente. O mesmo se verifica para a possibilidade do próprio cliente garantir o transporte da sua mercadoria.

No caso da operação real, existem duas viagens com quantidades inferiores a 10 paletes mas como foram realizadas pelo próprio cliente não se enquadram nas viagens em incumprimento da Via Verde. Também na simulação não existe nenhuma viagem em incumprimento da Via Verde estipulada pela empresa.

Em ambos os casos, as transportadoras 1 e 2 apresentam a maior quantidade de rotas atribuídas uma vez que são aquelas que praticam custos de transporte inferiores. No entanto, a repartição entre todas as transportadoras é mais equilibrada no planeamento efetuado pela empresa. Na simulação, verifica-se rapidamente que as transportadoras 3 e 4 tem uma percentagem reduzida das rotas originadas.

Todas as encomendas são processadas e o modelo garante a entrega da totalidade das encomendas aceites. Comparando o tempo total da tarefa da simulação com o tempo despendido

atualmente pelo planeador, pode-se constatar uma diminuição considerável do tempo que irá libertar o responsável para outras tarefas. O número de encomendas rejeitadas devido à falta de *stock* não pode ser determinado porque se assume que a procura é inferior à oferta do armazém. Os restantes erros como a falha do serviço da transportadora ou a operação do armazém não podem ser determinados uma vez que implicam a concretização das entregas de acordo com as rotas originadas pela simulação.

A data de carga e o cumprimento dos dias específicos para cada zona não são analisados porque dependem diretamente do planeamento efetuado. Considerando que o modelo utiliza as quantidade entregues em cada dia nos clientes como a procura a satisfazer, a taxa de cumprimento dos dias para cada zona será em tudo idêntica à da operação real.

Capítulo 6

Conclusão e Trabalhos Futuros

O presente projeto de dissertação em ambiente empresarial, desenvolvido na empresa Cerealis Produtos Alimentares (CPA), surge no âmbito do desejo de implementação de uma ferramenta de apoio à decisão na logística de transportes da empresa. A Cerealis Produtos Alimentar pretende minimizar o tempo despendido no planeamento do transporte bem como o custo resultante. Devido ao contexto da pandemia global, os objetivos da dissertação foram alterados e esta adotou uma vertente teórica aplicando uma abordagem académica aos dados reais da empresa. Tendo em conta o novo rumo, o projeto consistiu em desenvolver um modelo de programação linear que consoante as restrições da empresa fosse capaz de atingir os objetivos propostos pela Cerealis.

Numa fase inicial, foi efetuado o levantamento do planeamento efetuado pela distribuição diariamente, tendo sido identificados os requisitos, os problemas e as oportunidades de melhoria relacionados.

Um modelo de programação linear foi desenvolvido para formular o problema do planeamento das cargas e transporte ao cliente com base na estrutura do sistema e nas práticas da empresa Cerealis Produtos Alimentares. O projeto de simulação utilizou dados reais da operação da empresa e procurou estimar a poupança ao nível dos custos de transporte.

A experiência pretendia melhorar as rotas originadas para entregar as encomendas, tornando-as mais eficientes. Sendo assim, selecionou-se uma amostra de dados para uma semana representativa da atividade da empresa. Esta tarefa revelou-se complicada devido à incoerência dos dados em diferentes ficheiros sobre o mesmo conteúdo, obrigando a recorrer a valores médios. Considerando as quantidades entregues no cliente para cada dia como a procura a satisfazer e que a oferta é sempre superior à procura, efetuaram-se simulações para cada dia segundo a abordagem da eficiência das rotas.

A principal dificuldade dos testes residiu na dimensão elevada dos mesmos. O facto de cada dia ter, em média, 50 encomendas de vários clientes traduz-se numa quantidade elevada de variáveis de decisão e, conseqüentemente, obriga a um tempo excessivo de processamento do *Excel*. Deste modo, utilizaram-se *add-ins* e um *solver* comercial com grande capacidade de resolução.

Os resultados comprovam o potencial do planeamento automático em detrimento do que se pratica atualmente na empresa. No caso da eficiência das rotas, a solução obtida revela uma

redução do custo total de transporte em 5% no período de análise. No entanto, o custo por tonelada é superior devido ao aumento de encomendas entregues por *cross docking*. O modelo garante a satisfação da totalidade das encomendas processadas. A solução obtida revela um aumento da taxa de ocupação dos veículos utilizados e, conseqüentemente, a diminuição das rotas necessárias para entregar o mesmo número de encomendas.

O modelo desenvolvido possibilita a aglomeração de encomendas de clientes distantes, colocando em causa o cumprimento da entrega no dia para o qual foi planeado. Apesar de ter sido detetado apenas um exemplo crítico e não ter resultado em penalizações, esta situação constitui um erro na simulação. Deste modo, verifica-se que a restrição da hora de chegada no cliente não é suficiente para limitar a aglomeração de clientes próximos na mesma rota. A curto prazo, esta falha poderia ter sido resolvida com a remoção da encomenda do modelo, realizando o planeamento manualmente. A partir do momento em que a empresa atribui uma transportadora a uma rota, a entrega passa a ser da responsabilidade da transportadora, estando sujeita a conseqüências no caso de incumprimento. No entanto, devem-se originar rotas possíveis de executar no prazo de entrega estipulado. No longo prazo, deve-se procurar restringir a aglomeração de clientes na mesma rota através das distâncias entre locais como, por exemplo, limitar o número de quilómetros efetuados por rota ou estabelecer um limite para o desvio de rota possível entre viagens. Esta situação contribuiu para aumentar a poupança estimada na simulação.

A atribuição das transportadoras aos veículos baseia-se apenas na minimização do custo. Na simulação, verifica-se um domínio evidente das transportadoras mais baratas mas, na realidade, a repartição por canal de distribuição pretendida pela empresa nem sempre privilegia o custo favorecendo a relação com o cliente no caso da distribuição moderna. Deste modo, provavelmente preterir este critério resultou numa poupança superior à realidade.

Por outro lado, a simulação foi realizada com dados de rotas reais definidas recorrendo a um planeamento manual anterior. Provavelmente, um planeamento a partir das encomendas originais em vez das rotas finais poderia ter conduzido a uma maior economia de custos. A existência de uma ferramenta de apoio à decisão no planeamento irá permitir calcular a solução ótima e prever os custos para os vários cenários.

Além disso, o modelo desenvolvido não considera cargas em dois sítios diferentes devido à complexidade necessária para a sua formulação. A possibilidade de uma segunda carga pode aumentar a eficiência das rotas e, conseqüentemente, reduzir os custos de transporte da operação logística. Para qualquer entrega, entre realizar uma única viagem por semi reboque com início num armazém exclusivamente para um cliente ou, quando possível, aglomerar a um veículo que parta de outro armazém com um custo de carga adicional, a segunda opção é sempre aquela que implica um custo de transporte inferior.

Outro tópico que pode aumentar a economia dos custos de transporte é a introdução de um horizonte temporal a considerar no planeamento. Definindo um horizonte temporal, o modelo ao ser capaz de decidir se antecipar ou atrasar uma encomenda origina uma diminuição de custos, irá obter uma poupança superior à apresentada. A limitação deste ensaio será a dimensão elevada dos problemas pois considerar um horizonte temporal provoca um aumento do número de encomendas

a planear e do número de clientes. Consequentemente, o número de veículos disponíveis também terá de ser superior. Com isto, prevê-se que o tempo de resolução necessário para a obtenção da solução ótima também aumente.

Apesar do erro identificado que beneficiou a poupança obtida, os pressupostos considerados limitaram a economia de custos alcançada. Considerar a possibilidade de cargas em armazéns diferentes e inserir um horizonte temporal no planeamento irão contribuir para uma redução dos custos de transporte. A simples ação de efetuar uma simulação do modelo a partir de um conjunto de encomendas originais por si e comparar o planeamento manual feito pelo responsável é suficiente para perceber o potencial de utilizar um modelo matemático no planeamento. O próximo passo deve ser a aproximação do modelo à atividade logística da empresa para se quantificar as melhorias possíveis.

A presente dissertação em ambiente empresarial tinha como objetivo inicial proceder à implementação da ferramenta mas as circunstâncias impediram o seu acontecimento. O modelo desenvolvido pode servir como base para futuros projetos uma vez que considera grande parte dos requisitos da realidade da empresa. A implementação de uma ferramenta num sistema tão complexo implica um tempo considerável uma vez que necessita de vários testes e cenários para se efetuar todos os ajustes e parametrizações de modo a obter o funcionamento correto. Para tal, a empresa deve envolver todas as operações do planeamento na construção do modelo. A centralização dos dados é também fundamental para a interação com o modelo, permitindo assim gerar resultados com rapidez e válidos. Evitam-se ainda problemas relacionados com a omissão e a análise de dados como, por exemplo, a falta de correspondência de uma encomenda em diferentes ficheiros, o que se reflete no tempo despendido e na qualidade dos resultados. Além disso, ao ter a informação toda reunida num único sistema, diminui consideravelmente a probabilidade do planeamento violar os regulamentos de transporte ou os requisitos dos clientes.

De qualquer das formas, com o trabalho desenvolvido foi possível verificar as vantagens que este sistema proporcionará à empresa quando perfeitamente implementado. O planeamento será transformado numa tarefa uniforme e independente do planeador que irá permitir obter rotas eficientes recorrendo a uma utilização eficaz da capacidade dos veículos e dos armazéns, garantindo o cumprimento dos dias definidos e realizando a repartição desejada entre as transportadoras. O resultado final será uma redução significativa dos custos de transporte obtida num período de tempo inferior aos 70% do dia de trabalho dedicado atualmente. Todavia, a utilização de um *solver* capacitado para problemas de elevada dimensão é um requisito importante.

A otimização matemática permite transformar um problema real de uma empresa num modelo matemático e encontrar a solução ótima entre as milhões de possibilidades existentes. O recurso a este tipo de abordagem facilita no momento de decisão uma vez que necessita de pouco tempo para obter a solução e se traduz em possíveis economias de custos.

O desenvolvimento da dissertação permitiu a aplicação prática dos conhecimentos adquiridos durante o Mestrado Integrado de Engenharia Mecânica, tendo como foco a Logística e a Investigação Operacional. O projeto da dissertação revelou-se uma experiência enriquecedora que me proporcionou a oportunidade de crescer não só profissionalmente, mas também como pessoa.

Bibliografia

- Bortfeldt, A. and J. Homberger (2013). Packing first, routing second—a heuristic for the vehicle routing and loading problem. *Computers Operations Research* 40, 873–885.
- Brito, R. G. P. (2016). Planeamento integrado da logística de inbound e outbound. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Capa, F. A. R. F. (2017). Gestão integrada de operações de recolha e transporte de biomassa. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Cerealis (2014). 95 anos de crescimento sustentável.
- Cerealis (2018a). Cerealis supply chain management.
- Cerealis (2018b). Sobre nós. <https://www.cerealis.pt>. (accessed: 28.02.2020).
- Chopra, S. and P. Meindl (2016). *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation* (6th ed.). Pearson Education.
- Christopher, M. (2016). *Logistics & Supply Chain Management*. Pearson Education Limited.
- Costa, J., J. Dias, and P. Godinho (2010). *Logística*. Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Coyle, J., C. Langley, B. Gibson, R. Novack, and E. Bardi (2008). *Supply Chain Management: A Logistics Perspective*. Cengage Learning.
- de Moura e Roxo Espírito Santo, M. S. (2008). Optimização de armazéns e fluxos na faurecia, assentos para automóvel lda. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- de Vasconcelos, J. P. P. (2017). Desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à gestão e controlo logístico. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Farahani, R., S. Rezapour, and L. Kardar (2011). *Logistics Operations and Management: Concepts and Models*. Elsevier insights. Elsevier Science.
- Fawcett, S. E. and M. Cooper (1998). Logistics performance measurement and customer success. *Industrial Marketing Management* 27(4), 341 – 357.
- Ferreira, M. I. R. (2015). Melhoria do planeamento e balanceamento de cargas na expedição. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Filipec, M., D. Skrlec, and S. Krajcar (2000). Genetic algorithm approach for multiple depot capacitated vehicle routing problem solving with heuristic improvements. *International Journal of Modelling and Simulation* 20, 320–328.

- Franceschini, F., M. Galetto, and D. Maisano (2007). *Management by Measurement: Designing Key Indicators and Performance Measurement Systems*. Springer Berlin Heidelberg.
- García-Arca, J., P. Prado, and A. Fernández-González (2018). Integrating kpis for improving efficiency in road transport. *International Journal of Physical Distribution Logistics Management* 48, 931–951.
- Goetschalckx, M. and C. Jacobs-Blecha (1989). The vehicle routing problem with backhauls. *European Journal of Operational Research* 42(1), 39 – 51.
- Golden, B., S. Raghavan, and E. Wasil (2008). *The vehicle routing problem: Latest advances and New challenges*, Volume 43. Springer US.
- Guedes, A. P. (2017a). *Introdução à Logística e à Gestão da Cadeia de Abastecimento*. Slides de Apoio à Disciplina de Logística. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Guedes, A. P. (2017b). *Planeamento Integrado e Gestão de Stocks*. Slides de Apoio à Disciplina de Logística. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Guedes, A. P. (2017c). *Transportes*. Slides de Apoio à Disciplina de Logística. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Ho, W., G. T. Ho, P. Ji, and H. C. Lau (2008). A hybrid genetic algorithm for the multi-depot vehicle routing problem. *Engineering Applications of Artificial Intelligence* 21(4), 548 – 557.
- Kasilingam, R. (1999). *Logistics and Transportation: Design and planning*. Springer US.
- Lopes, S. L. V. L. (2014). *Otimização de fluxos internos numa plataforma logística*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- Ogorelc, A. (2007). Outsourcing of transport and logistics services. *Promet - Traffic - Traffico* 19, 371–380.
- Ombuki, Beatrice, R. B. J. H. F. (2006). Multi-objective genetic algorithms for vehicle routing problem with time windows. *Applied Intelligence*.
- Pichpibul, T. and R. Kawtummachai (2012). An improved clarke and wright savings algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *ScienceAsia* 38, 307.
- Razzaque, M. and C. Sheng (1998). Outsourcing of logistics functions: A literature survey. *International Journal of Physical Distribution Logistics Management* 28, 89–107.
- Rushton, A., P. Croucher, and P. Baker (2014). *The Handbook of Logistics and Distribution Management: Understanding the Supply Chain*. Kogan Page.
- Sardinha, F. D. J. (2017). *A gestão de transportes na cadeia de logística*. Dissertação de mestrado, Instituto Superior de Gestão.
- Subramanya, K. N. and T. Rangaswamy (2012). Impact of warehouse management system in a supply chain. *International Journal of Computer Applications* 54.
- Szuster, M. (2010). Outsourcing of transport service - perspective of manufacturers. *Total Logistic Management*.

- Tavakkoli-Moghaddam, R., A. Saremi, and M. Ziaee (2006). A memetic algorithm for a vehicle routing problem with backhauls. *Applied Mathematics and Computation*.
- Tompkins, J. A. (1996). *Facilities planning* (2nd ed.). New York: John Wiley.
- Toth, P. and D. Vigo (2002). Models, relaxations and exact approaches for the capacitated vehicle routing problem. *Discrete Applied Mathematics* 123(1), 487 – 512.
- Vigo, P. T. D. (2001). *The Vehicle Routing Problem*. Monographs on Discrete Mathematics and Applications. SIAM.
- Waters, C., D. Waters, I. of Logistics, and T. G. Britain) (2003). *Global Logistics and Distribution Planning: Strategies for Management*. Kogan Page Series. Kogan Page.