



Planeamento de Carga e Rotas numa Empresa de Transportes

João Carlos dos Santos Teixeira

Relatório de projeto apresentado ao Instituto Superior de Contabilidade e Administração do Porto para obtenção do Grau de Mestre em Logística

Orientado por: Professora Doutora Isabel Cristina da Silva Lopes

Este relatório de projeto inclui as críticas e sugestões feitas pelo Júri.

Porto, outubro de 2023



Planeamento de Carga e Rotas numa Empresa de Transportes

João Carlos dos Santos Teixeira

Orientado por: Isabel Cristina da Silva Lopes

Porto, outubro de 2023

Resumo

O setor dos transportes, fruto da globalização e inerente movimentação de pessoas e mercadorias por todo o mundo, assume-se, cada vez mais, como elemento crucial no quotidiano. Desta forma, o transporte de mercadorias não é exceção, sendo importante que os seus processos estejam cada vez mais otimizados.

Desta forma, em virtude da necessidade de otimizar o processo de planeamento de carga, assim como das rotas adotadas, surge o presente projeto desenvolvido numa empresa de transportes. Com este projeto foi possível melhorar, numa primeira fase, o processo de planeamento desde o momento de recebimento dos *packing list*, até ao momento de entrega ao cliente, com a alteração e adoção de novos procedimentos diários considerados relevantes para um melhor funcionamento do processo. Numa segunda fase, foi desenvolvido um modelo matemático de roteamento de veículos com base no CVRP (*Capacitated Vehicle Routing Problem*) com vista a tornar mais eficiente o serviço de transporte prestado à empresa de produção de mobiliário, que pretende satisfazer as encomendas dos seus clientes em França.

Com as melhorias aplicadas, foi possível tornar o processo de planeamento mais eficiente, espelhando essa melhoria nos resultados apresentados ao cliente, com o aumento de celeridade nas respostas aos pedidos de entrega, assim como na capacidade de expedição, com o aumento de fluxo de entregas.

Palavras-Chave: Exportação, Logística; Transportes, *Vehicle Routing Problem*

Abstract

As a result of globalisation and the inherent movement of people and goods around the world, the transport sector is increasingly becoming a crucial part of everyday life. As such, the transport of goods is no exception, and it is important that its processes are increasingly optimised.

This project arises in a transport company to address the need to optimise the load planning process and the routes adopted. The aim was to make the transport service provided to a furniture manufacturing company, which wants to fulfil orders from its customers in France, more efficiently. With this project, it was possible to improve the planning process from the moment the packing list is received to the moment it is delivered to the customer, by adopting / changing the daily procedures considered relevant for better operation. In a second phase, a mathematical model was developed for the CVRP (Capacitated Vehicle Routing Problem).

With the improvements applied, it was possible to make the planning process more efficient, and this improvement was reflected in the results presented to the customer, with an increase in the speed of responses to delivery requests, as well as in the dispatch capacity, with an increase in the flow of deliveries.

Keywords: Exportation, Logistics, Transports, Vehicle Routing Problem

Resumen

Como resultado de la globalización y el movimiento inherente de personas y bienes en todo el mundo, el sector del transporte se está convirtiendo cada vez más en una parte crucial de la vida cotidiana. Como tal, el transporte de mercancías no es una excepción, y es importante que sus procesos estén cada vez más optimizados.

El origen de este proyecto es una empresa de transporte debido a la necesidad de optimizar el proceso de planificación de carga y las rutas adoptadas. El objetivo era hacer más eficiente el servicio de transporte prestado a una empresa de fabricación de muebles que quiere cumplir con los pedidos de sus clientes en Francia. Con este proyecto se logró mejorar el proceso de planificación desde que se recibe la lista de empaque hasta el momento de su entrega al cliente, adoptando/cambiando los procedimientos diarios considerados relevantes para una mejor operación. En una segunda fase, se desarrolló un modelo matemático de ruteo de vehículos basado en el CVRP (Capacitated Vehicle Routing Problem).

Con las mejoras aplicadas se logró hacer más eficiente el proceso de planificación, y esta mejora se reflejó en los resultados presentados al cliente, con un aumento en la velocidad de respuesta a las solicitudes de entrega, así como en la capacidad de despacho, con un aumento en el flujo de entregas.

Palabras Clave: Exportar, Logística, Transporte, Vehicle Routing Problem

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer à Joana Tavares pelo incansável apoio ao longo desta jornada, sem o seu incentivo este trabalho não teria sido o mesmo.

À minha orientadora, professora Cristina Lopes, por toda a ajuda, compreensão e partilha de conhecimento.

À Paula Monteiro e Daniel Santos pela oportunidade e por incentivarem e acreditarem no trabalho desenvolvido.

À minha família, pai, mãe e irmão, por estarem presentes, por me acompanhar, por acreditar e por me dar força.

Lista de Abreviaturas

CVRP	<i>Capacitated Vehicle Routing Problem</i>
EDI	<i>Electronic Data Interchange</i>
EN	Estrada Nacional
FIFO	<i>First In – First Out</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
IC	Itinerário Complementar
INE	Instituto Nacional de Estatística
IP	Itinerário Principal
ISCAP	Instituto Superior de Contabilidade e Administração do Porto
KM	Quilómetros
KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
M ³	Metros Cúbicos
OTD	<i>On Time Delivery</i>
RORO	<i>Roll-on Roll-Off</i>
VRP	<i>Vehicle Routing Problem</i>
VRPP	<i>Vehicle Routing Problem with Profits</i>
VRPPD	<i>Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery</i>
VRPTW	<i>Vehicle Routing Problem with Time Windows</i>

Índice

1	Introdução.....	3
1.1	Motivações do projeto.....	4
1.2	Estrutura do documento.....	5
2	Fundamentação Teórica	9
2.1	Logística	9
2.2	Transportes	9
2.3	Importância e impacto da movimentação de cargas	13
2.4	<i>Vehicle Routing Problem</i>	15
2.4.1	Formulação CVRP	17
2.4.2	Estado de Arte	18
3	Metodologia	23
4	Descrição do Processo	27
4.1	Análise e descrição do processo	27
4.2	Identificação de oportunidades de melhoria.....	31
4.3	Desenvolvimento e Implementação de um modelo de planeamento	32
5	Apresentação da Investigação.....	37
5.1	Aplicação do modelo	37
5.2	Análise de resultados	38
5.3	Sugestões de melhoria do processo	47
6	Conclusões e limitações	51
6.1	Conclusões.....	51
6.2	Limitações e Sugestões.....	51
7	Bibliografia e outras fontes de informação	55

Índice de Figuras

Figura 1 – Mapa de distribuição geográfica do cliente A e empresas B.....	4
Figura 2 – Estrutura da organização do relatório	5
Figura 3 – Reboque de lona	28
Figura 4 – Descrição do Processo.....	30
Figura 5 – Solução Gráfica – Conjunto de Dados 1	39
Figura 6 – Solução Gráfica – Conjunto de Dados 2	41
Figura 7 – Solução Gráfica – Conjunto de Dados 3	43
Figura 8 – Solução Gráfica – Conjunto de Dados 4	45
Figura 9 – Código Python no Colab	63

Índice de Tabelas

Tabela 1 – Volume Transportado – Conjunto de Dados 1.....	39
Tabela 2 – Número de Descargas – Conjunto de Dados 1	40
Tabela 3 – Número de Quilómetros – Conjunto de Dados 1.....	40
Tabela 4 – Volume Transportado – Conjunto de Dados 2.....	41
Tabela 5 – Número de Descargas – Conjunto de Dados 2.....	42
Tabela 6 – Número de Quilómetros – Conjunto de Dados 2.....	42
Tabela 7 – Volume Transportado – Conjunto de Dados 3.....	43
Tabela 8 – Número de Descargas – Conjunto de Dados 3.....	44
Tabela 9 – Número de Quilómetros – Conjunto de Dados 3.....	44
Tabela 10 – Volume Transportado – Conjunto de Dados 4	45
Tabela 11 – Número de Descargas – Conjunto de Dados 4.....	46
Tabela 12 – Número de Quilómetros – Conjunto de Dados 4	46
Tabela 13 – Análise aos Conjuntos de Dados.....	47

Capítulo I

1 Introdução

Num mercado global cada vez mais competitivo, a necessidade de movimentação de mercadoria com todo o mundo torna-se um elemento fundamental na vida das organizações. Por esta razão, inevitavelmente, os processos logísticos, quando geridos de forma eficiente, representam uma fonte de vantagem competitiva para as organizações.

De uma forma geral, neste caso com especial enfoque no setor dos transportes, as empresas necessitam de procurar metodologias que as permitam continuar a crescer, tornando os seus procedimentos cada vez mais rápidos e sustentáveis para assim, necessitando de menos recursos, consigam aumentar a sua eficiência interna.

Com o intuito de tornar mais eficiente o serviço de planeamento de carga e rota, como também as respetivas entregas, considerou-se pertinente, através do conhecimento profundo dos processos adotados, sob um olhar crítico, verificar quais as melhorias que se poderia introduzir com vista a, além de facilitar os procedimentos, tornar o modelo de negócio mais vantajoso para todos os intervenientes.

Com foco nas melhorias que poderiam ser implementadas, surge a motivação para o projeto desenvolvido na área dos transportes com vista a satisfazer as necessidades do cliente. Assim, com as melhorias apresentadas e a adoção de um modelo com base na problemática do *Vehicle Routing Problem*, a empresa de transportes consegue satisfazer o seu cliente em Portugal, que por sua vez consegue satisfazer os seus clientes espalhados por toda a França.

Para isso, o presente documento apresenta numa fase inicial a fundamentação teórica e a revisão de literatura, seguindo-se a metodologia adotada, os procedimentos existentes e as melhorias aplicadas. Por último, são explanados os resultados obtidos da aplicação do modelo desenvolvido que permitiram um processo de planeamento mais eficiente, assim como melhorias que poderão ser adotadas que visarão continuar a melhorar os procedimentos atualmente em vigor.

1.1 Motivações do projeto

O presente projeto inicia-se fruto da necessidade de melhoria do processo de planeamento de carga e descarga de uma empresa do ramo dos transportes (denominada ao longo do trabalho, como empresa T) que tem um cliente em Portugal (empresa/cliente A - ícone a verde no mapa da Figura 1) de produção mobiliária que exporta regularmente parte da sua produção para a sua rede de clientes em França (empresas/clientes B – ícones a vermelho no mapa da Figura 1).

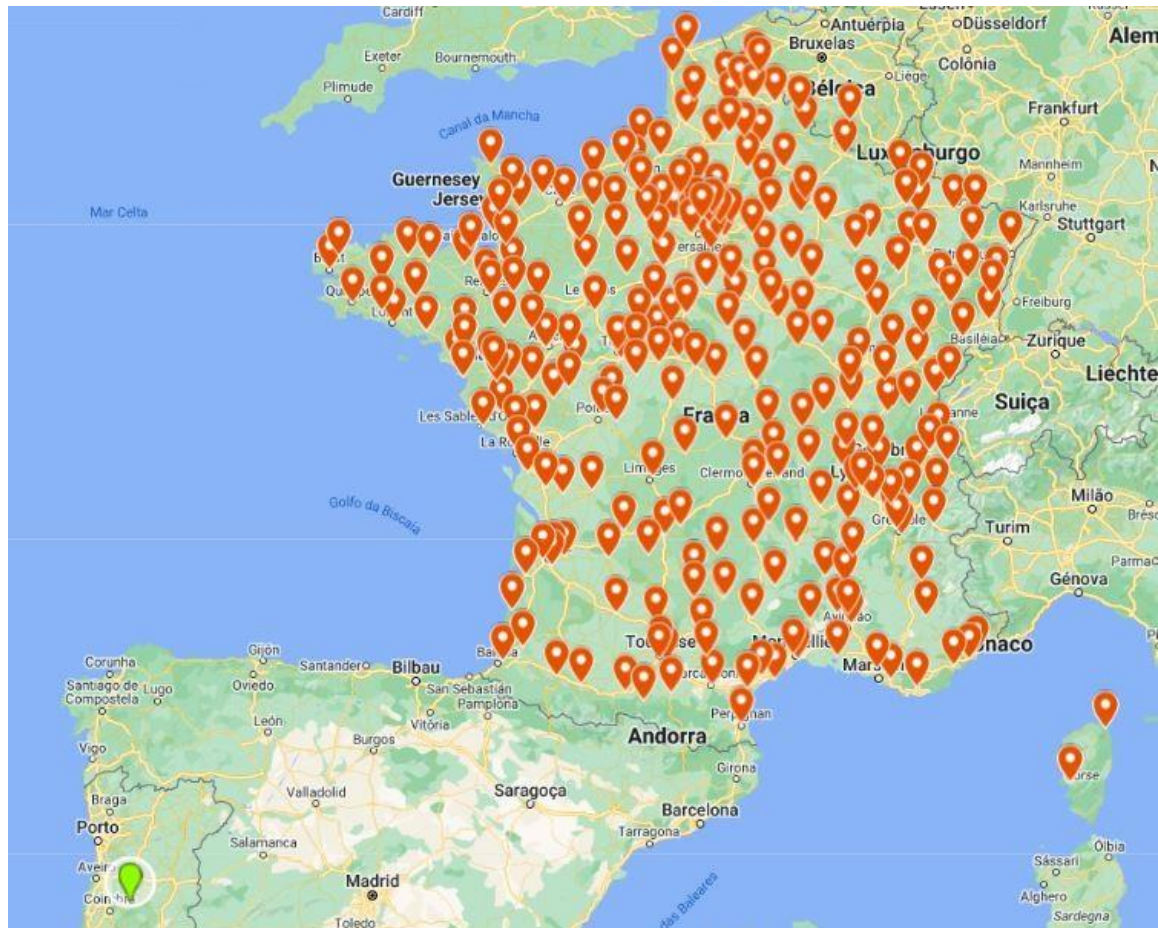


Figura 1 – Mapa de distribuição geográfica do cliente A e empresas B

De maneira a conseguir melhorar o processo de planeamento das entregas efetuadas por parte da empresa T na empresa alvo (clientes B), assim como todas as atividades envolvidas ao processo, os procedimentos internos foram analisados um a um com o intuito de conseguir melhorias para todos os intervenientes,

Desta forma, este trabalho pretende conjugar a definição das melhores rotas com a gestão de tempos de condução tornando-se uma mais-valia no auxílio da tomada de decisão sobre o que, como e quando carregar, transportar e descarregar. Também a visibilidade da informação, de braço dado com a eliminando duplicação de trabalho, se apresentam como pontos chave.

1.2 Estrutura do documento

A presente secção visa apresentar a estrutura adotada no desenvolvimento do documento.

Este encontra-se dividido em cinco tópicos (esquematizado na Figura 2) sendo eles a fundamentação teórica, a metodologia adotada seguida da descrição do processo, a apresentação da investigação e por último as conclusões e limitações

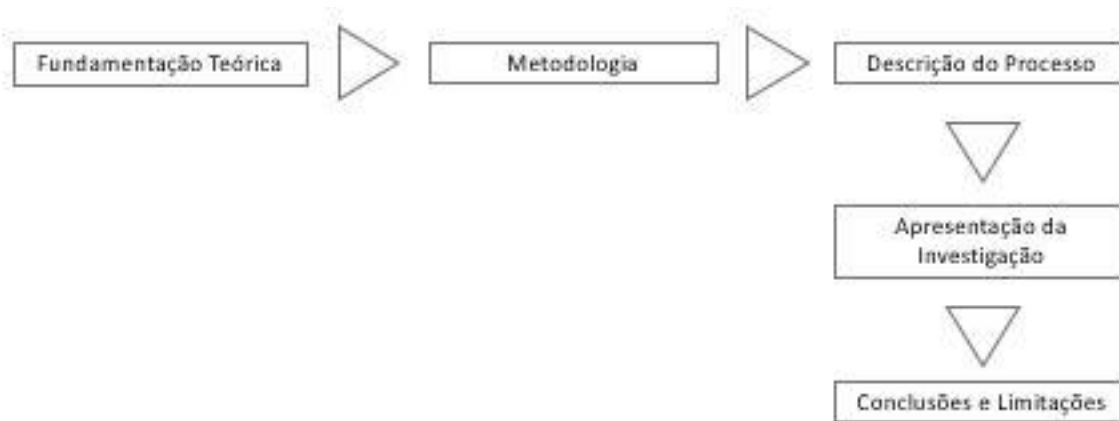


Figura 2 – Estrutura da organização do relatório

Na primeira etapa, optou-se pela elaboração de uma pesquisa sobre a temática por forma a aprofundar os conhecimentos da mesma, e assim sustentar a aplicação da metodologia, ferramentas e / ou conceitos e da obtenção de respostas / soluções para a análise.

Neste seguimento efetuou-se um estudo relativo à importância e impacto da logística, com especial enfoque na logística associada aos transportes. Sendo o trabalho em questão voltado para a exportação, considerou-se pertinente analisar o seu conceito, assim como o seu impacto no contexto nacional.

Fruto das envolventes do projeto, concluiu-se ser relevante a adoção da metodologia no formato de investigação-ação no qual será feita uma análise descrição dos processos de planeamento atuais, quais as problemáticas e oportunidades de melhoria e por último os passos dados em torno do desenvolvimento, e implementação do sistema de planeamento da carga e rota com carga em Portugal e destino em França.

Volvida a análise do problema, seguir-se-á a aplicação do modelo construído / aplicado, assim como a análise dos resultados obtidos, quais as limitações encontradas e quais as sugestões de melhoria consideradas relevantes.

Por último, segue-se a delineação de conclusões resultantes do projeto efetuado, na qual se incluiu uma reflexão dos resultados obtidos e impacto deste projeto para todos os intervenientes.

Capítulo II

2 Fundamentação Teórica

De maneira a melhor compreender e participar em ações de melhoria, considerou-se pertinente, primeiramente, fazer uma análise teórica dos conceitos envolvidos ao projeto.

2.1 Logística

O Conceito de Gestão da Cadeia de Abastecimento e o conceito de Logística são muitas vezes confundidos como sendo o mesmo. Contudo, de acordo com o Instituto de Logística citado em Cooper (1999) a cadeia de abastecimento consiste numa sequência de atividades que visam satisfazer o cliente, nos quais se incluem a distribuição, eliminação de desperdício, juntamente com o transporte, armazenamento e fluxos de informação. Já a Logística é a alocação de recursos relacionado com a estratégia de toda a cadeia de abastecimento, isto é, a Logística é um conceito integrante da cadeia de abastecimento.

Desta forma, à luz do *Council of Logistics Management* (Vitasek, 2013) a Gestão da Cadeia de Abastecimento inclui a gestão de fornecedores, de armazém, de materiais, gestão de *stocks* e armazenagem de produtos, a gestão de transportes, gestão de serviços e de toda a informação relacionada, desde o ponto de origem até ao ponto de consumo, com o intuito de satisfazer todas exigências dos clientes. O conceito de logística surge como função integradora que coordenada e otimiza as atividades logísticas com atividades como vendas, *marketing* e fluxos de informação.

De acordo com Moura (2006), o conceito de logística corresponde ao processo de gestão de fluxos de produtos, serviços e informação associada, reciprocamente entre fornecedores e clientes com o intuito de servir o que o cliente deseja (produtos ou serviços), onde quer que ele esteja, nas melhores condições. De uma forma resumida, a logística é a chave para a integração da cadeia de abastecimento (Cooper, 1999) tendo, cada vez mais, o reconhecimento de um dos elementos-chave da estratégia competitiva das empresas (Fries et al., 2018).

2.2 Transportes

Com um maior foco na temática do projeto, considera-se pertinente definir o conceito de transportes. Assim, segundo Carvalho et al. (2010), o transporte consiste no movimento de produtos, quer sejam matérias-primas ou produtos acabados, desde os produtores até ao consumidor final.

Numa dinâmica diária de globalização, as funções logísticas têm ganho cada vez maior relevância fruto da necessidade de movimentação de produtos entre qualquer ponto do globo, sendo reconhecida como essencial no seio de todas as organizações (Cooper, 1999). Desta forma, o transporte detém uma das funções mais importantes: colocar o produto no tempo, lugar e condições exigidas pelo cliente/consumidor (J. Carvalho & Dias, 2004).

Na ótica de movimentação de mercadorias, a globalização veio acentuar a dependência de transporte por forma a colocar as mercadorias nos locais desejados. Desta forma, são diversas as formas de satisfazer esta necessidade, sendo eles aquático (marítimo e fluvial), terrestre (rodoviário e ferroviário) que se aplicam e/ou se podem aplicar a este trabalho, e também o aéreo e condutas.

Dadas as particularidades das diferentes mercadorias transportadas, assim como as diferentes localizações e custos associados, ao conceito de transportes está de braço dado o conceito de intermodalidade. Este consiste no transporte de mercadorias (ou pessoas) desde um ponto de origem para o seu destino por sequência de, no mínimo, dois modos de transporte, sendo a transferência de um modo para o outro efetuada num terminal intermodal (Mathisen & Hanssen, 2014). Dependendo da combinação entre os vários tipos de transporte, estes podem ser denominados por *birdyback* (aéreo+rodoviário), *piggyback* (ferroviário+rodoviário) ou *fishyback* (marítimo+rodoviário).

- **Aquático**

O transporte aquático consiste na movimentação de mercadorias através de canais aquáticos, sejam eles mar ou rio. Em 2021, este representava cerca de 77 % do comércio externo europeu e 35 % de todo o comércio, em termos de valor, entre os Estados-Membros da UE, sendo, portanto, um elemento fundamental da cadeia de abastecimento internacional (Agência Europeia do Ambiente, 2023).

Em Portugal continental são 7 os Portos marítimos com maior impacto, sendo eles Viana do Castelo, Leixões, Aveiro, Figueira da Foz, Setúbal, Sines, Lisboa, dos quais se destacam-se, por ordem de importância Sines, Leixões, Lisboa, Setúbal e Aveiro. As ilhas, dadas as suas características geográficas, são compostas por vários portos, tendo a Madeira como principais o porto do Funchal, Caniçal e Porto Santo e nos Açores o porto de São Miguel, Santa Maria, Terceira, Graciosa e os do grupo ocidental (Portos de Portugal, 2023a).

No contexto deste projeto, o porto utilizado para movimentação de cargas é o de Leixões e dessa forma a análise feita será com base nesse porto.

De uma forma muito breve, o Porto de Leixões, 2º maior porto artificial de Portugal (Portos de Portugal, 2023b) encontra-se composto por cais convencionais de carga geral e graneis sólidos, cais de movimentação de graneis líquidos, terminal de petroleiros, terminal de contentores, terminal de RORO (*roll on – roll off*), terminal multiusos, terminal de cruzeiros, doca de recreio, doca de pesca e instalação especializadas (silos, depósitos e armazéns) (Administração dos Portos do Douro Leixões e Viana do Castelo, 2023a).

No ano de 2022 movimentou cerca de 2 434 navios e no que respeita a cargas de RORO, isto é, carregamento do navio através de equipamento rolante, sendo o mais utilizado, a entrada do reboque ou semi-reboque no navio e o transporte de automóveis, embora também possa ser mista, ou seja, tem a possibilidade de transportar carga rolante e carga contentorizada, entre Janeiro e novembro de 2022, foram carregados cerca de 111 navios (Administração dos Portos do Douro Leixões e Viana do Castelo, 2023b).

Este modo de transporte é considerado dos mais morosos, mas mais económicos e amigo do ambiente, contudo requer, em quase todos os casos, que haja outro meio de transporte associado, habitualmente o transporte ferroviário e/ou rodoviário por forma a entregar a carga no destino final.

No caso específico em análise, o veículo que serve de complemento é o trator do camião que se desloca ao terminal para deixar/recolher o semi-reboque com mercadoria.

- **Ferroviário**

O transporte ferroviário consiste na movimentação de bens/mercadorias efetuado através da via-férrea composta por carris.

Em Portugal a rede ferroviária é composta por uma extensão total de 3 621,6 km entre linhas e ramais dos quais 2 527 km se encontra sob exploração. No que concerne à rede eletrificada, esta abrange apenas 71% do total da rede explorada, com cerca de 1794km (Infraestruturas de Portugal, 2023).

No que respeita a operadores de transporte de mercadorias, existem apenas dois (MEDWAY e TAKARGO) a operar em Portugal, fazendo com que exista uma concorrência diminuta associada. Esta poderá ser explicada, pelo facto de o transporte ferroviário nacional e internacional apenas ter sido aberto à concorrência em 2007, sendo que só em 2008 começou a atividade em Portugal por parte da TAKARGO (Autoridade da Mobilidade e dos Transportes, 2021).

Dada a localização geográfica Portuguesa, esta encontra-se dependente da passagem por Espanha para chegar ao centro da Europa. Se por si só já tem esta condicionante, esta vê-se acentuada pelo facto de existir incompatibilidade entre a largura dos trilhos (denominada bitola) utilizados na ferrovia Ibérica e Europeia.

Se por um lado, a bitola ibérica (assim denominada por ser principalmente utilizada em Portugal e Espanha) é de 1 668 mm e se destaca por permitir o transporte de cargas mais pesadas e oferecer maior estabilidade e segurança, por outro lado a bitola europeia (1 435 milímetros) é a mais utilizada na Europa e em muitos outros países do mundo e é mais adequada para o transporte de cargas leves, sendo também mais económica. Em virtude desta diferença, não existe compatibilidade para que a totalidade dos comboios possam circular em ambas as linhas. Apesar de já existirem comboios com capacidade para ajustar os seus eixos à linha em que circulam, contudo, a sua expressão é baixa.

À semelhança dos dois meios de transporte abordados anteriormente, este também exige que a intermodalidade esteja associada dado que, muitas vezes, a mercadoria, inevitavelmente, necessita de um complemento por parte do transporte rodoviário por forma a chegar ao destino final, uma vez que são raras as empresas, nomeadamente no contexto nacional, que tem carris para o comboio “ao lado” ou até mesmo no interior das suas instalações.

No contexto nacional, a movimentação de cargas por ferrovia está, maioritariamente, associada ao transporte de mercadorias pesadas (extrativas, madeira) sendo estas em vagões de graneis, contentores, líquidos. Apesar de existirem ligações entre Madrid e Valência ou no corredor Badajoz, Mérida e Sevilha, este é um serviço maioritariamente interligado ao serviço portuário, que apresenta como maiores quotas ferroviárias no transporte terrestre de mercadorias, as associadas ao Porto

de Sines e ao Porto de Setúbal com destaque do Porto de Sines, no que respeita a carga contentorizada (Autoridade da Mobilidade e dos Transportes, 2021).

Nos últimos 30 anos o conceito de desinvestimento e ferrovia seguiam de braços dados, até ao surgimento do plano Ferrovia 2020, o qual prevê, na vertente do transporte de cargas, investimentos nas acessibilidades ferroviárias aos portos, designadamente, nas ligações aos portos de Leixões (Linha de Leixões) e Setúbal (Linha do Sul), e intervenções que visam permitir o cruzamento de comboios de mercadorias com comprimentos até 750m (Autoridade da Mobilidade e dos Transportes, 2021).

Uma solução a ter em conta para a tipologia de negócio associada ao contexto descrito, seria a idêntica ao conceito de RORO, isto é, fazer o conjunto (camião (trator) + semi-reboque) ou apenas o semi-reboque seguir no comboio. Percebendo esta possibilidade e verificando a aplicação na prática, verifica-se que, uma vez que a mercadoria é transportada em reboques de lona, o risco associado é elevado, dado a mercadoria necessitar de permanecer totalmente imobilizada para que se evitem acidentes, por exemplo, no cruzamento entre comboios ou na passagem de túneis. Sendo esta mercadoria carregada peça a peça (apenas 2 referências de produtos são paletizadas), torna-se um risco bastante elevado, pelo que, neste momento, não é viável utilizar. No entanto é sempre uma hipótese a equacionar.

- **Aéreo**

O transporte aéreo consiste na movimentação de mercadorias pelo ar.

Uma vez que o território português é composto por continente e ilhas, este meio de transporte apresenta alguma relevância no que toca a trocas comerciais entre Portugal Continental e as Ilhas do Arquipélago dos Açores e Madeira. Desta forma, em Portugal Continental destaca-se o Aeroporto Francisco Sá Carneiro no Porto e Aeroporto Humberto Delgado em Lisboa e também o Aeroporto de Faro. Nas ilhas Açoreanas, o aeroporto de Ponta Delgada, de Santa Maria, Horta, Flores e Terceira (Base das Lajes) e nas ilhas da Madeira, Aeroporto da Madeira e Aeroporto de Porto Santo.

Dadas as suas características, à semelhança do transporte marítimo e fluvial este modo de transporte requer, em quase todos os casos, por forma a entregar “na casa” do cliente, que haja outro meio de transporte associado, habitualmente o transporte ferroviário e/ou maioritariamente, o rodoviário.

Apesar deste meio de transporte se assumir como sendo o mais rápido, é também o mais caro. Em todo o caso, não assenta nas especificidades do negócio em análise (movimentação de grandes volumes com planeamento com *transit time* alargado).

- **Conduitas**

O transporte por condutas consiste em num tipo de transporte em que o veículo utilizado compõe a própria infraestrutura construída. Esta tipologia tem um forte impacto no abastecimento energético dos países, uma vez que está muito enraizada nos serviços líquidos e gasosos, como petróleo, gás e água.

Dado as suas características dos produtos transportados esta tipologia de transporte em nada se enquadra no caso em estudo.

- **Rodoviário**

De acordo com (Regulamento (CEE) nº 3820/85, 1985) o Transporte Rodoviário consiste em qualquer deslocação por estradas abertas ao público, em vazio ou em carga, de um veículo afeto ao transporte de passageiros ou de mercadorias.

Esta tipologia de transporte é bastante regulada, como o caso do Regulamento (CEE) nº 3820/85 do Conselho, de 20 de dezembro de 1985 (assim como as suas atualizações), relativo à harmonização de determinadas disposições em matéria social no domínio dos transportes rodoviários que estabelece, de uma forma resumida, o período de condução diária, não deve ultrapassar 9 horas divididos, pelo menos em 4:30h com descanso mínimo de 45 min (ou 15+30 minutos) entre os dois períodos de 4:30h. Este período pode ser de 10 horas duas vezes por semana e a duração total de condução não deve ultrapassar 90 horas por cada período de duas semanas consecutivas. A cada período de 24 horas o condutor beneficia de um período de repouso diário de, pelo menos, 11 horas consecutivas, que pode ser reduzido a 9 horas consecutivas, no máximo 3 vezes por semana, desde que seja acordado o repouso correspondente antes do final da semana seguinte (Regulamento (CEE) nº 3820/85, 1985).

Como referido anteriormente, o transporte rodoviário de mercadorias, dadas as suas características, assume-se como principal agente da intermodalidade, dada a sua cobertura geográfica intensiva que permite suprir a necessidade de entrega no destino final, seja ele qual for.

O transporte rodoviário no contexto português, contou, em 2021, com a contribuição, de cerca de 106 380 pesados de mercadorias (camiões + tratores) (Instituto Nacional de Estatística, 2022) e dispõe de um total de cerca de 15 056km de rede rodoviária nacional, dos quais 2 325km considerados Itinerários Principais (IP), 1 925km Itinerários Complementares (IC) e 4 862km Estradas Nacionais (EN) (Infraestruturas de Portugal, 2023).

Associado aos tratores, maioritariamente estão os semi-reboques. Estes, mediante a finalidade que representam, podem ser abertos ou fechados (mediante a carga necessitar (ou não) de proteção), podem ser basculantes, frigoríficos, duplo *deck*, lonas, porta-contentores, porta-bobines, porta máquinas, cisternas, entre outros.

Dadas as suas características e a tipologia de negócio associada, o transporte terrestre é o meio de transporte mais utilizado no serviço descrito no relatório, seja para a totalidade do transporte, seja para, com base no conceito de intermodalidade, servir de complemento com o navio.

2.3 Importância e impacto da movimentação de cargas

Como referido anteriormente, a movimentação de cargas é fundamental para o quotidiano mundial, fruto da globalização inerente a praticamente todos os setores de atividade. Por essa razão

considerou-se relevante perceber o impacto dessa movimentação, sobretudo de mercadorias e o saldo da balança comercial portuguesa.

De acordo com os dados do Instituto Nacional de Estatística (2023) o valor das exportações, em 2022, foi de 119 995,9 milhões/€ dos quais 75 802,8 milhões/€ referentes a bens e 44 193,1 milhões/€ a serviços. No que respeita a valores das importações, estas totalizaram 124 934,4 milhões/€, divididas em 102 260,3 milhões/€ em bens e 22 674 milhões/€ em serviços. Pode-se concluir então que a balança comercial é deficitária, uma vez que o valor das importações é superior ao valor das exportações. Contudo, segundo AICEP (2023) as exportações apresentam bastante relevância no paradigma económico nacional, uma vez que em 2022 representaram cerca de 50% do PIB.

No que respeita ao setor do mobiliário, de acordo a AICEP (2020), através da publicação da revista *Resiliência e Confiança para enfrentar o futuro*, as exportações do setor mobiliário apresentaram um crescimento de 973 milhares de euros em 2015 para 1 168 milhares de euros em 2019. Estas, em 2019, têm como principais destinos França (cerca de 24,4%), seguido de Espanha com cerca de 20,1%, EUA com 11,8%, Reino Unido (7,2%) e a fechar o top5 a Alemanha com cerca 5,8% (AICEP, 2020).

Desta forma, pode-se concluir que o negócio do mobiliário se encontra em crescimento, apresentando impacto considerável no peso das exportações nacionais, assim como destinatário a França que se assume como principal destino do mobiliário.

Uma vez que, cada vez mais, as empresas têm clientes espalhados por todo o mundo, assim como vêm na otimização dos seus processos uma oportunidade de melhoria, a contratação dos serviços logísticos começa a ganhar cada vez mais expressão. Desta forma, surge, com crescente relevância, o conceito de *outsourcing*.

À luz deste conceito, de acordo com (Ogorelc, 2007), a transferência das atividades logísticas para um fornecedor subcontratado facilita a cooperação da cadeia de abastecimento permitindo que a empresa se concentre no seu propósito de negócio reduzindo os custos do serviço e / ou melhora a eficiência do processo.

Dado o conceito se tornar cada vez mais popular (Koszevska, 2004), considera-se pertinente, numa primeira fase, definir o conceito de *outsourcing*. Este é um conceito adotado com frequência pelas organizações e consiste em contratar empresas para fazer determinadas atividades que se faziam internamente e conseguir, dessa forma, reduzir alguns custos com, provavelmente, mão de obra mais especializada. Com a adoção deste conceito, as empresas conseguem reunir esforços nas atividades de valor agregado e competências essenciais para sobreviver e prosperar, enquanto delegam outras funções que não são críticas e não acrescentam valor para a empresa (Jonhson et al., 2016).

Ogorelc (2007) reconhece alguns dos benefícios do *outsourcing* tais como:

- Económico – maior especialização na prestação de serviços, uma vez que o *outsourcing* permite economias de escala;
- Qualidade – o acesso às *skills*, a competência e a orientação dos potenciais fornecedores e a cobertura geográfica são aumentados
- Inovação – a melhoria da qualidade através da inovação e o desenvolvimento de novos produtos e serviços podem conduzir a novas exigências.

De acordo com Somjai (2017), podem também ser vistos com aspetos vantajosos:

- a experiência e *know-how* das empresas no mercado, o conhecimento e equipamentos técnicos, uma vez que permite desenvolver e apresentar produtos / serviços, mas rapidamente e com melhor qualidade;
- a possibilidade das empresas se concentrarem nas atividades/processos principais do negócio;
- a partilha de risco, permitindo que cada um dos intervenientes possa ser responsabilizado pelas diferentes áreas que tem sob sua alçada;
- diminuição de custos, sejam eles de configuração, operacionais ou de recrutamento.

A adoção do conceito de *outsourcing* não apresenta somente vantagens, mas também desvantagens. Podem-se revelar como desvantagens, segundo Aswini et al. (2018):

- o risco de exposição de dados e tecnologias confidenciais;
- a existência de custos ocultos, nomeadamente custos de transportes, custos por atrasos de mercadoria, custos sobre defeitos ou perda de qualidade;
- falta de foco no cliente, uma vez que o fornecedor externo certamente que atende a vários clientes, perdendo-se o foco da unicidade;
- a escolha do parceiro errado.

Consciente deste universo de questões, uma vez que a empresa A não detém conhecimento profundo relativamente à área geográfica que atua, assim como das melhores rotas e inerente otimização, sendo o seu serviço *core* a produção e não o serviço de entregas, contratou, em regime de *outsourcing* a empresa T para satisfazer a sua rede de clientes.

2.4 Vehicle Routing Problem

O *Vehicle Routing Problem* (VRP) ou problema de roteamento de veículos é a nomenclatura usada para determinar um conjunto de problemas de fornecimento a clientes geograficamente dispersos com vários veículos – operando a partir de um depósito de bens comum (Christofides, 1976).

De acordo com Scutellà (2015), esta problemática surge em consequência da necessidade de determinar um conjunto de rotas, cada uma realizada por um único veículo que começa e termina em seu próprio depósito, de forma a que todos os requisitos do cliente sejam atendidos e todas as restrições operacionais sejam satisfeitas, minimizando o custo global de transporte.

Este problema consiste em determinar as rotas e, conseqüentemente, o número de veículos necessários para as satisfazer, onde uma rota é um percurso efetuado pelo veículo que começa no depósito, percorre um subconjunto de clientes numa determinada sequênciã e retorna ao depósito. Cada cliente deve ter atribuído uma das K rotas que devem visar minimizar o custo total da viagem considerando o volume de encomendas a satisfazer e salvaguardando que a soma das necessidades de entrega de cada cliente atribuídos a cada veículo não excede a capacidade do mesmo (Fisher, 1995).

Através da formulação matemática, tem-se como objetivo projetar rotas de entrega ótimas, isto é, de menor custo com o máximo de mercadoriã possível (nunca excedendo a capacidade do veículo), no qual cada veículo, com as mesmas características, parte de um depósito central e fica alocado a apenas uma rota. O modelo considera também que cada cliente seja visitado exatamente uma vez por um único veículo (Braekers et al., 2016).

Dada a complexidade de variáveis e restrições que compõe o problema de otimização VRP, desde que o conceito foi introduzido por Dantzig & Ramser (1959) são várias as adaptações existentes de acordo com as especificidades de cada caso. O *Vehicle Routing Problem with Profits* (VRPP), pretende determinar as rotas de veículos que maximizam o lucro líquido, satisfazendo ao mesmo tempo a capacidade do veículo, a duração da rota e as restrições de consistência (Stavropoulou et al., 2019). O *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW) procura o roteamento ótimo de uma frota de veículos entre um depósito e um número de clientes que devem ser visitados dentro de um determinado intervalo de tempo específico (Kallehauge et al., 2006). O *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) assenta na exigência de que a carga em cada rota não pode exceder a capacidade do veículo (Xiao et al., 2012). O *Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery* (VRPPD) é destinado a mercadorias transportadas entre um fornecedor e os seus clientes, como também entre os clientes e o fornecedor (Wassan & Nagy, 2014). O *Vehicle Routing Problem with backhauls* destina-se a casos nos quais todas as entregas tem de ser satisfeitas antes das recolhas (Scutellà, 2015).

Por forma a ilustrar a problemática VRP, pode ser usada a representação em grafos. Um grafo consiste num par (V, A) em que V é um conjunto arbitrário de pontos denominados como vértices e A é um subconjunto de pares ordenados de pontos de V (arestas) (Feofiloff et al., 2005).

Para resolver o VRP, podem ser utilizados algoritmos exatos, como o caso do método *simplex* (algoritmo matemático que visa solucionar problemas de programação linear), *branch and bound* (algoritmo utilizado para encontrar soluções exatas para problemas de programação inteira (Morrison et al., 2016)) ou métodos heurísticos (procedimentos de resolução que visam encontrar uma solução admissível de forma mais rápida, mas que poderá não ser a solução ótima (Silver et al., 1980), tais como a heurística de *Clarke and Wright* (combinação de pontos nos quais os custos/dividendos são mais altos (em ordem decrescente) até ao veículo estar cheio) (Mittal et al., 2017) ou então as metaheurísticas, isto é, uma combinação de vários métodos heurísticos (Mittal et al., 2017).

São vários os métodos que podem ser utilizados para o resolver e dependendo do número de elementos presentes no problema, poderá não ser possível usar um método exato, mas sim uma heurística que encontre uma solução considerada admissível. No caso concreto em estudo, o problema é um CVRP para o qual foi formulado um modelo matemático que será resolvido através do *Gurobi*. O *Gurobi* é um *software* tipo *Solver* que tem incorporado o método *simplex* e *branch and bound* e que através do seu uso, permite obter a solução ótima.

2.4.1 Formulação CVRP

Assim o CVRP pode ser modelado, através de programação linear, da seguinte forma:

- **Parâmetros**

n = número de clientes

N = conjunto de clientes, $N = \{1, 2, 3, \dots, n\}$

V = conjunto de vértices, $V = \{0\} \cup N$

A = conjunto dos arcos, $A = \{(i, j) \in V^2 : i \neq j\}$

c_{ij} = custo de viajar no arco $(i, j) \in A$

Q = capacidade de carga de cada veículo

q_i = quantidade a ser entregue ao cliente $i \in N$

- **Variáveis**

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se a rota percorre o arco } (i, j) \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad \forall (i, j) \in A$$

u_i quantidade de carga no veículo à saída do nó $i \forall i \in V$

- **Função objetivo**

$$\text{Min} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

Através desta função, o objetivo é minimizar o custo total das viagens.

- **Restrições**

$$\sum_{j \in V, j \neq i} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i \in V, i \neq j} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in N \quad (3)$$

$$\text{if } x_{ij} = 1 \Rightarrow u_i + q_j = u_j \quad \forall (i, j) \in A: j \neq 0, i \neq 0 \quad (4)$$

$$q_i \leq u_i \leq Q \quad \forall i \in N \quad (5)$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in A \quad (6)$$

$$u_i \geq 0 \quad \forall i \in V \quad (7)$$

2.4.2 Estado de Arte

São vários os casos do cotidiano que têm por base a aplicabilidade do VRP. Além da típica recolha e entrega de produtos entre fornecedores e clientes, servem de exemplo as rotas de autocarros, recolha de resíduos, limpeza de ruas.

Dada esta envolvimento diária, são vários os artigos e estudos sobre a temática desde a primeira publicação feita por Dantzig & Ramser em 1959 intitulado por *The Truck Dispatching Problem*. Por este motivo, considerou-se pertinente analisar em diferentes bases de dados o impacto da temática.

Para uma pesquisa mais abrangente foram adotados termos em inglês. Nesse sentido, foi adotado como primeiro termo de pesquisa “*vehicle routing problem*” por forma a verificar o número de artigos existente. Esta pesquisa foi sempre feita com os termos entre aspas com o intuito de assegurar que as bases de dados considerassem como uma única palavra. De maneira a afunilar a pesquisa, e direcioná-la para o caso concreto em estudo, considerou-se relevante adicionar a *keyword* “*truck*” e o termo “*furniture*”.

Com o propósito de interligar os termos de pesquisa foi utilizado apenas o termo “*and*”. A sua utilização deu-se uma vez que o intuito da pesquisa se centrou em agregar resultados com todos os termos utilizados. Se porventura se pretendesse que os resultados contemplassem, pelo menos, um dos termos pesquisados seria empregue o termo “*or*”.

Iniciou-se a pesquisa em diferentes bases de dados disponíveis nomeadamente a *Scopus*, *B-on* e *Google Scholar*. A primeira pesquisa foi efetuada na base de dados multidisciplinar *Scopus*, na qual a busca por *keywords* teve por base a pesquisa em título de artigos, *abstract* e *keywords*.

Utilizando somente “*Vehicle routing problem*”, a base de dados reconheceu 3 525 documentos, a maioria datados posterior a 2009. Adicionando a este termo, de forma separada, os termos “*truck*” e “*furniture*”, foi possível deparar com 626 e 25, respetivamente. Aliando as três *keywords*, constatou-se somente 1 artigo, intitulado por *A routing vehicles model for the delivery of furniture and home appliances of a retail company in southern Brazil* (Fries et al., 2018).

Este artigo visa uma proposta de um modelo de roteamento, com base na combinação da heurística de *Clarke and Wright* com heurísticas próprias desenvolvidas, com o intuito de reduzir custos de transporte de empresas na distribuição de produtos, tendo como base, uma rede de lojas de móveis e eletrodomésticos no sul do estado de Santa Catarina, sul do Brasil. Para isto, levou-se em consideração a capacidade de carga e o intervalo de tempo para entrega ao consumidor.

Passando à análise da *B-on*, também ela uma base de dados multidisciplinar, com o termo de pesquisa “*vehicle routing problem*” deu origem a 36 826 resultados. Com essa *keyword* sempre presente, foi adicionada, de forma individual, as *keywords* “*truck*” e posteriormente “*furniture*” e as quais devolveram, pela ordem, o seguinte número de documentos, 8 057, 1 521. Conjugadas as três *keywords* em simultâneo traduziu-se em 986 resultados obtidos. De salientar que, apesar da pesquisa ser feita de forma sequencial, com as *keywords* entre aspas e separadas por “*and*”, nem todos os resultados contemplavam as três *keywords* em simultâneo.

Por último, à luz do Google Scholar, iniciou-se novamente a pesquisa pela temática principal do projeto "*Vehicle Routing Problem*", a qual devolveu cerca de 123 000 artigos. A utilização de "*vehicle routing problem*" and "*truck*" teve como resultados cerca de 21 000 documentos, enquanto "*vehicle routing problem*" and "*furniture*", cerca de 1 480. A reunião das três *keywords* apresentou cerca de 666 resultados, dos quais 123 referentes ao ano de 2023.

Dada a panóplia de artigos encontrados, os considerados com maior relevância, foram utilizados para melhor compreensão da temática em estudo assim como para o desenvolvimento do modelo de otimização de rotas.

Em jeito de conclusão foi possível verificar que, apesar de a temática ter mais de 50 anos, se verificou uma dominância de artigos com 10 anos, enaltecendo a recentidade da temática, motivo pelo qual ainda tem muito para crescer e se desenvolver fruto da exigência, cada vez maior, para que os processos estejam otimizados e representem fontes de agregação de valor para as organizações.

Capítulo III

3 Metodologia

A metodologia, segundo Freixo (2018), consiste num conjunto de métodos e de técnicas que orientam a elaboração do processo de investigação científica. Assim, esta secção pretende dar a conhecer a metodologia utilizada na realização deste documento.

Entre as diferentes opções, considerou-se, uma vez que se trata de um projeto associado ao quotidiano das tarefas e dado o envolvimento do aluno em todo o processo, que esta encaixaria na definição de metodologia investigação-ação.

Os estudos Investigação-Ação, segundo Coutinho (2006), têm como principal objetivo a intervenção direta do investigador num determinado contexto / situação com o propósito de solucionar os problemas reais. Para Elliott (2001), a investigação-ação é um estudo de uma situação social que tem como finalidade a melhoria da ação dentro da mesma. Lomax (1990) defende que a investigação-ação é “uma intervenção na prática profissional com a intenção de proporcionar uma melhoria”.

Após a análise das definições acima apresentadas é possível concluir que a investigação-ação se trata de uma metodologia de pesquisa prática e que se rege pela necessidade de solucionar problemas reais do quotidiano. Assim sendo, abaixo apresentam-se algumas das principais características desta metodologia de acordo com diferentes autores.

- Segundo Zuber-Skerritt (1992), a investigação-ação caracteriza-se como uma metodologia participativa e colaborativa, isto é, esta implica a participação de todos os intervenientes no processo.
- Para Coutinho (2006) a investigação-ação é prática e interventiva, uma vez que esta não se limita à teoria / descrição de uma realidade, mas sim intervém nessa realidade. A ação tem de estar ligada à mudança.
- Cortesão (1998) defende que a investigação é cíclica, visto que envolve uma espiral de ciclos. Desta forma, as descobertas iniciais geram possibilidades de mudança que são implementadas e avaliadas como introdução do ciclo seguinte, permitindo que exista uma constante interligação entre a teoria e a prática.
- Para Zuber-Skerritt (1992), esta metodologia é relevante na medida em que os participantes não procuram apenas melhorias no seu trabalho, como também atuam como agentes de mudança.
- Por último, a investigação-ação é autoavaliada, uma vez que as modificações são continuamente analisadas com a perspetiva de adaptação e produção de novos conhecimentos (Cortesão, 1998).

De acordo com Latorre (2005), são vários os benefícios da investigação-ação, como a melhoria do processo, a compreensão do processo e a melhoria da situação envolvente na qual decorre o processo. Este autor defende também que o objetivo da investigação-ação é inquirir os processos e os valores que estes têm, com o intuito de ser possível detalhá-los.

Para desenvolver esta metodologia, Zuber-Skerritt (1992) argumenta que esta implica um planeamento, atuação, observação e uma reflexão mais cuidadosa do que aquela que se pratica no dia-a-dia, de modo a que haja uma melhoria no conhecimento do processo e daí advenham induzidas melhorias aos métodos atuais.

Assim sendo, as metas da investigação-ação, de acordo com Latorre (2005), são:

- Melhorar / transformar os processos, enquanto se procura uma melhor compreensão do mesmo;
- Vincular permanentemente a investigação, a ação e a formação;
- A aproximação da realidade interligando a mudança com o conhecimento.

Sendo a investigação-ação o formato que se ajusta neste estudo, depois de feita a revisão bibliográfica na qual se espelharam conhecimentos sobre logística associadas aos transportes, sobre o impacto de movimentação de mercadorias e sobre a temática do VRP, será feita uma descrição dos procedimentos de trabalho que culminará com a construção de um mapeamento do processo de transporte, desde a chegada das encomendas até à entrega ao cliente.

Descritas todas as etapas do processo sob perspetiva de evolução, foi possível identificar quais apresentaram potencial de melhoria e quais as melhorias incrementadas, assim como algumas melhorias que se perspetivam adotar.

Além das possíveis alterações identificadas, uma vez que existem semelhanças no processo de entregas, na tentativa de o uniformizar, tornando-o mais eficiente, serão utilizados modelos matemáticos de programação linear com o intuito de otimizar as rotas de entrega. Além disso, deverão ser também considerados os tempos em trânsito, o tipo de mercadoria, dias e horários de carga e descarga

Este modelo será desenvolvido com vista a satisfazer o maior número de clientes B em França, tendo em conta a quantidade (em m³) de encomendas a satisfazer, a distância euclidiana entre os pontos de descarga e o mais próximo do retorno a Portugal. Este modelo será implementado na linguagem de programação *Python* com o *software Google Colab* e executado com o *solver Gurobi* versão 10.0.3.

Neste documento serão apresentados quatro conjuntos de dados selecionados de diferentes zonas geográficas de França, assim como com diferentes volumes de encomendas a satisfazer, com vista a espelhar o contributo do modelo na melhoria dos procedimentos atuais.

Capítulo IV

4 Descrição do Processo

A fim de melhor compreender o processo na sua globalidade, considerou-se importante descrevê-lo cuidadosamente e de seguida interpretá-lo em tom crítico, para que daí surjam ações de melhoria.

4.1 Análise e descrição do processo

Como referido anteriormente, este projeto incide na necessidade de melhoria do processo de planeamento de carga, rota e descarga de uma empresa do ramo dos transportes (denominada ao longo do trabalho, como empresa T) que tem um cliente em Portugal (empresa A - origem) de produção mobiliária que exporta regularmente parte da sua produção para a sua rede de clientes em França (empresas B - destinos).

Por forma a melhor compreender o processo, considerou-se pertinente descrevê-lo. A empresa A apresenta 2 produtos distintos, (produto C e produto M). O produto C tem um prazo máximo de entrega 35 dias desde a data de chegada das encomendas e o produto M tem um prazo máximo de entrega de 28 dias.

Estas encomendas chegam diariamente à posse da empresa A, que por sua vez disponibiliza à empresa T para que esta possa adicionar as novas encomendas e dar início ao planeamento. Maioritariamente estas surgem num formato FIFO (*first-in-first-out*) que significa “primeiro dentro, primeiro fora”. Este método suporta que as primeiras encomendas que chegam, devem ser as primeiras a ser entregues (Handorf et al., 2008), fazendo com que, as pendentes para planeamento na semana seguinte, sejam as que acabam de chegar. Contudo, existem encomendas que têm data de entrega diferente da *standard* que se traduz numa data de entrega num intervalo de tempo superior (nunca inferior).

O planeamento consiste em, com base nas encomendas de cada cliente B, constituir o número necessário de camiões com o objetivo de suprir as necessidades da semana, salvaguardando a disponibilidade de *stock* apresentada pelo cliente A. Para isso, são idealizados n camiões que podem ser compostos por 1, 2, 3 ou 4 descargas (o número de descargas corresponde ao número de clientes B no camião), tendo sempre em mente a capacidade máxima estipulada de 79m³, assim como a utilização da rota mais curta entre as mesmas, evitando “andar para trás”. Encontrados os clientes B a satisfazer, é proposto “um a um” o *packing list*, assim como o dia e hora de descarga (maioritariamente entre as 10:00h e as 17:00h). Esta proposta é denominada como pedido de *rendez-vous*.

A existência ou não do camião idealizado está sempre pendente da resposta positiva ao pedido de *rendez-vous*. Quando a recusa é proveniente de um cliente B de grande dimensão, isto é, com elevado volume de encomendas, há possibilidade de tentar manter o camião inicialmente concebido reajustando as restantes datas planeadas de acordo com a data pretendida por esta. Se a recusa for de um cliente com pouca expressão, existe a necessidade de procurar uma nova solução em rota para o camião e o *packing list* recusado volta para planeamento.

À medida que o planeamento vai sendo feito, entre aceitações, recusas e replaneamento, os camiões vão ganhando forma, dando origem ao plano de cargas enviado ao cliente A todas as 4^a feiras, no qual vai contemplado todas as cargas planeadas para a semana seguinte, estejam elas totalmente ou parcialmente confirmadas. Uma vez que maioritariamente o plano não segue fechado, à medida que se vão fechando os camiões, é feita essa atualização no ficheiro disponibilizado ao cliente para que este possa estar sempre a par.

Encontrando-se o camião fechado, compete ainda à empresa T a contratação do transporte entre o cliente A e os clientes B. Após contratação (devendo esta ser feita somente com reboques de lona (Figura 3) é necessário que seja feito um seguimento desde a chegada do camião ao local de carga (para tentar assegurar que este chegue no horário acordado ou em caso de atraso conseguir informar de imediato o cliente A) até ao momento que este fica vazio.



Figura 3 – Reboque de lona

Se porventura algum artigo for recusado no momento de descarga no cliente B (artigo danificado, sujo) compete também à empresa T conseguir uma solução para que a mercadoria retorne à empresa A. Idealmente é tentado que o transportador contratado consiga trazer a mercadoria, no entanto, dependendo da mercadoria que carregará de seguida poderá não ser possível. Na impossibilidade de o fazer, a empresa T recorre à sua rede de Agentes em França, nos quais guarda a mercadoria e assim que tiver um transporte desde esse Agente até Portugal, assegura o processo de retorno até ao cliente A.

Na eventualidade de, no momento de carga, alguma encomenda não ser totalmente carregada, essa informação consta no ficheiro recebido no dia seguinte de manhã e é recebida outra informação, individualizada, na qual constam os “não carregados” do dia, com o motivo pelo qual a mercadoria não seguiu no camião (por exemplo, falta de *stock*, falta de espaço, ...). Identificadas estas encomendas, as mesmas voltam ao planeamento.

Como referido anteriormente, com o intuito de melhor perceber todas as etapas no processo de uma forma resumida, considerou-se pertinente construir um fluxograma, como constante na Figura 4, com base nas tarefas diárias.

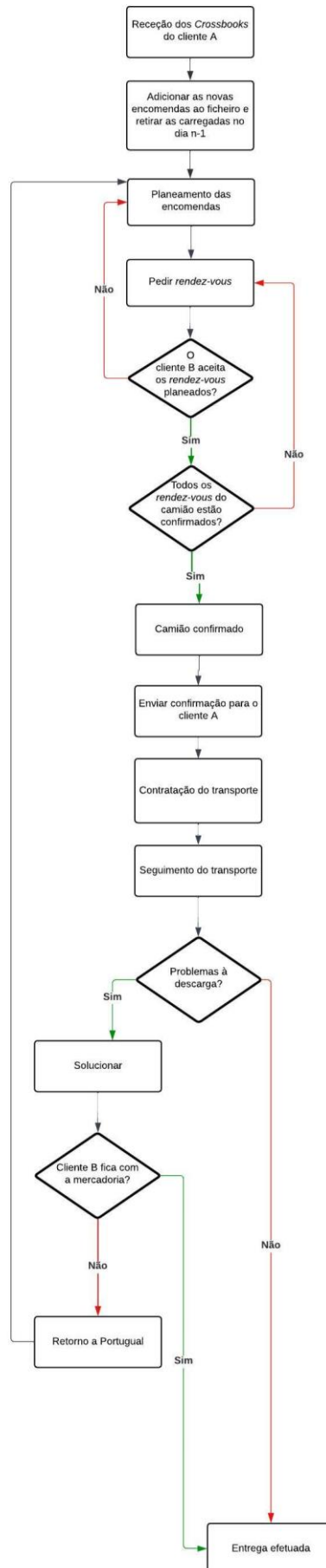


Figura 4 – Descrição do Processo

4.2 Identificação de oportunidades de melhoria

O negócio em análise começou a ser desenvolvido em 2020, e desde então têm sido feitas melhorias com vista a aprimorar o seu funcionamento para todos os intervenientes. Contudo, dada a pandemia instalada mundialmente (COVID-19) numa fase inicial do projeto e no ano seguinte, só em 2022 se conseguiu estabilizar e, apesar de pequenas comparações que poderiam ser estabelecidas, assim como pequenas ações de melhoria que foram incrementadas, só a partir desse ano em diante é que se poderá iniciar uma análise mais concreta.

Até ao final de 2022, o ficheiro proveniente do cliente A com as novas encomendas era recebido ao final do dia, juntamente com a informação dos produtos carregados e não carregados. Mas, uma vez que o período entre receção de encomendas, planeamento e expedição é curto, de forma “a ganhar” mais um dia para o planeamento, foi proposto ao cliente disponibilizar a informação relativa às novas encomendas em carteira, todas as manhãs. Desta forma o processo de planeamento ganhou 1 dia.

Atualmente o planeamento dos camiões têm como limite máximo 80m³ estabelecido entre a empresa T e a empresa A, e espera-se que no mínimo sejam 75m³ (podendo ser menos cubicagem, dependendo da localização em França e os valores acordados para as entregas). Até ao final de 2022, o valor mínimo situava-se nos 78m³ e o máximo 82m³, mas em virtude de “os legos serem sempre diferentes” e consequentemente ficarem vários artigos por carregar por falta de espaço, a cubicagem mínima e máxima associada ao planeamento teve de ser reajustada. Assim, foi possível diminuir a insatisfação causada aos clientes B pelo facto de estes contarem receber mercadoria que não se viria a confirmar. Neste caso, uma vez que a mercadoria transportada é considerada leve (mobiliário), não impacta o planeamento dos camiões dado nunca exceder o limite máximo de peso permitido.

Também o procedimento de pedido de *rendez-vous* foi alterado. Inicialmente este era feito com todos os clientes B em simultâneo, isto é, o camião era idealizado e os pedidos de *rendez-vous* feitos todos conjuntamente, levando a que, em caso da recusa do cliente ancora, isto é, o de maior volume de cada camião, hipotecasse, praticamente de imediato, a viabilidade do camião, ou obrigasse a ser necessário alterar possíveis confirmações. Além da necessidade de duplicação de troca de emails, gerava insatisfação nos clientes B. Assim, atualmente os pedidos de *rendez-vous* são feitos “cliente a cliente”, iniciado no cliente com maior volume de encomendas a satisfazer no momento, por forma a que, em caso de recusa, o ajuste possa ser feito de imediato e o *rendez-vous* pedido de seguida já contemple essas alterações (nomeadamente o dia e hora). Desta forma, apesar de o processo ser mais demorado, o mesmo permite que, uma vez firmado um dia e hora de entrega com o cliente, o mesmo não sofrerá alterações.

Fruto da indisponibilidade no que respeita ao dia e hora de descarga por parte de alguns clientes B que obriga a replaneamento, foram asseguradas algumas rotas com *rendez-vous* fixo, tendo diferentes periodicidades, dependendo do volume médio que apresentavam e na rota no qual estão inseridas.

Estes clientes B foram pré-selecionados pela empresa T, mediante uma lista enviada pelo cliente A, competindo à empresa T a sugestão do dia de carga/descarga, assim como a melhor rota a ser feita. Desta forma foi possível assegurar, além do dia e hora fixo por parte dos clientes B, a fidelização por parte de transportadores contratados, uma vez que, os que habitualmente tem preferências por essas zonas geográficas, ficam com a periodicidade registada para que melhor possam gerir as suas frotas.

Com o objetivo de controlar todo este processo, está agendada uma reunião semanal entre a empresa T e a empresa A na qual são discutidos e analisados os KPI da semana anterior e da semana corrente, assim como o previsual das semanas n+1 e n+2, referentes ao planeamento e entrega aos clientes B.

Estes indicadores de performance, como o caso de taxa de carregamento, tempos de cargas, cumprimento ou não dos horários de chegada dos camiões, *On time Delivery* (OTD), provinham de gráficos *excel*, no entanto, de maneira a tornar o procedimento mais célere no decorrer do mês de outubro de 2023, passará a ser utilizada a ferramenta POWER BI, espelhando à empresa A as métricas do trabalho desenvolvido pela empresa T junto do cliente B.

Dada a elevada quantidade de informação contida no ficheiro de trabalho diário, com o propósito de facilitar a leitura e a tornar clara, constará também no POWER BI disponível para o cliente A, “uma folha de rosto”, a qual espelhará somente as informações que este considera pertinentes para si relativamente ao cliente B, evitando o envio diário de uma cópia do ficheiro de trabalho e a necessidade de o cliente A trabalhar esse ficheiro.

Ficando esta ferramenta interligada com o ficheiro de trabalho diário, permitirá ao cliente A consultar, a qualquer instante, o estado geral do planeamento ficando conhecedor de todo o historial de qualquer encomenda, nomeadamente se as encomendas se encontram planeadas e se esse planeamento cumpre com o prazo máximo pretendido para a entrega ou se ainda se encontram por planear, se já se encontram com *rendez-vous* confirmados ou se ainda carecem de resposta por parte dos clientes B, assim como, por exemplo, os clientes com maior número de recusa. Aliado a isto, dada a informação fluir de uma forma mais rápida, ações de prevenção, assim como de correção ao trabalho desenvolvido podem ser feitas.

4.3 Desenvolvimento e Implementação de um modelo de planeamento

Com base na descrição feita anteriormente, é perceptível que existem semelhanças no processo. Assim, a fim de tentar uniformizar o planeamento com vista a torná-lo mais eficiente, surge como possibilidade os casos associados ao VRP, soluções essas que se propõem encontrar, numa fase inicial, rotas otimizadas tendo em conta a localização e volume de mercadoria dos clientes B tendo como ponto de partida o depósito do cliente A em Portugal.

Uma vez que o *core* do negócio se centra no planeamento, é perceptível a relevância da otimização da rota, não apenas do ponto de vista da redução de km e inerentes custos associados, mas também

do ponto de vista da satisfação dos clientes B, uma vez que permite reunir um maior número de clientes nas entregas semanais.

Deste modo, para possibilitar esta modelação, foi necessário, primeiramente, geocodificar o cliente da empresa T (cliente A) e todos os clientes B que necessitam de ser servidos, isto é, foi fundamental que se transformasse os endereços em coordenadas geográficas de forma a permitir a sua visualização em mapa. Para facilitar este procedimento foi utilizada a ferramenta do *GPS Visualizer* (Schneider, 2019).

De seguida foi estruturada uma base de dados com os elementos necessários para análise, nomeadamente, a identificação dos clientes B, assim como as respetivas localizações, quais as encomendas pendentes de planeamento e qual o volume associado a essas encomendas.

Capítulo V

5 Apresentação da Investigação

Consciente dos valores monetários associados ao transporte, nomeadamente o combustível (gasóleo e *ad blue*) e as portagens, a reparação e manutenção da frota, de uma forma geral, no que respeita à subcontratação de transportes (o mesmo se aplica em caso de utilização de meios próprios), quantos menos km efetuados para efetuar as entregas, menor será o custo despendido para o serviço.

Com a finalidade de tornar mais rápido e mais eficiente o processo de planeamento de encomendas, numa primeira instância, considerou-se pertinente adotar um modelo matemático (principalmente numa fase com mais encomendas, isto é, no início de planeamento da semana com as encomendas provenientes do fim de semana), com o objetivo de rotear os veículos (uma rota por veículo, começando e terminando no depósito) e assim atender à procura dos clientes tal que a distância total percorrida seja minimizada.

5.1 Aplicação do modelo

O CVRP é uma das variantes do *Vehicle Routing Problem*, limitada com questões de capacidade dos veículos. Com a ajuda da *Google Colab* (como constante no Apêndice I, Figura 9) e do *Gurobi* foi implementado o seguinte modelo matemático para o CVRP:

- **Parâmetros**

n = número de clientes B

N = conjunto de clientes, $N = \{1, 2, 3, \dots, n\}$

V = conjunto de vértices, $V = \{0\} \cup N$

A = conjunto dos arcos, $A = \{(i, j) \in V^2 : i \neq j\}$

c_{ij} = custo de viagem (distância euclidiana) $(i, j) \in A$

$Q_{máx}$ = capacidade de carga máxima de cada veículo (79,99m³)

Q_{min} = capacidade de carga mínima de cada veículo (73,99m³)

q_i = quantidade a ser entregue ao cliente $i \in N$

- **Variáveis**

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se algum veículo percorre o arco } (i, j) \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad \forall (i, j) \in A$$

u_i quantidade de carga (m³) no veículo à saída do nó $i \forall i \in V$

- **Função objetivo**

$$\text{Min} \sum_{(i,j) \in A} c_{ij} x_{ij} \quad (8)$$

Com a adoção desta função, o objetivo é minimizar o custo total associado às viagens, custo esse dado através da distância euclidiana e não em valor monetário.

- **Restrições**

$$\sum_{j \in V, j \neq i} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N \quad (9)$$

$$\sum_{i \in V, i \neq j} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in N \quad (10)$$

$$\text{if } x_{ij} = 1 \Rightarrow u_i + q_j = u_j \quad \forall (i,j) \in A: j \neq 0, i \neq 0 \quad (11)$$

$$q_i \leq u_i \leq Q_{\text{máx}} \quad \forall i \in N \quad (12)$$

$$Q_{\text{min}} \leq u_0 \leq Q_{\text{máx}} \quad (13)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in A \quad (14)$$

$$u_i \geq 0 \quad \forall i \in V \quad (15)$$

Neste modelo as restrições (9) e (10) garantem que os clientes são visitados uma única vez (existe continuidade no fluxo). A restrição (11) garante a soma dos volumes dos diferentes clientes.

Por forma a certificar que a quantidade a ser entregue ao cliente i é inferior à quantidade de carga (m^3) no veículo à saída do nó j e que a capacidade de carga do camião não é excedida, surge a restrição (12). E para certificar a capacidade de carga dos camiões não é deficitária, nem excedida, colocou-se a restrição (13).

A restrição (14) garante que a variável é binária e com o objetivo que haja quantidade de carga no veículo à saída do nó i , foi adotada a restrição (15).

5.2 Análise de resultados

O modelo anteriormente descrito foi aplicado a quatro conjuntos de dados em diferentes zonas de França, com base nos códigos postais e volume de mercadoria pendente para entrega. Por questões de confidencialidade, a empresa não permitiu a apresentação desta informação no relatório. Como referido anteriormente, os resultados obtidos terão por base a distância euclidiana entre os diferentes clientes B a satisfazer.

Para o primeiro conjunto de dados, foi selecionado um total de $340,36m^3$ repartidos por 16 clientes B situados perto da fronteira com Espanha (zonas de Toulouse e Bordéus).

Com a aplicação do modelo, foi possível obter, em cerca de 180,02 segundos, com 1591763 iterações Simplex, cerca de 70 variáveis contínuas e 242 binárias, como se verificará na Tabela 13, uma solução com um total de 5 camiões (ver solução gráfica apresentada na Figura 5).

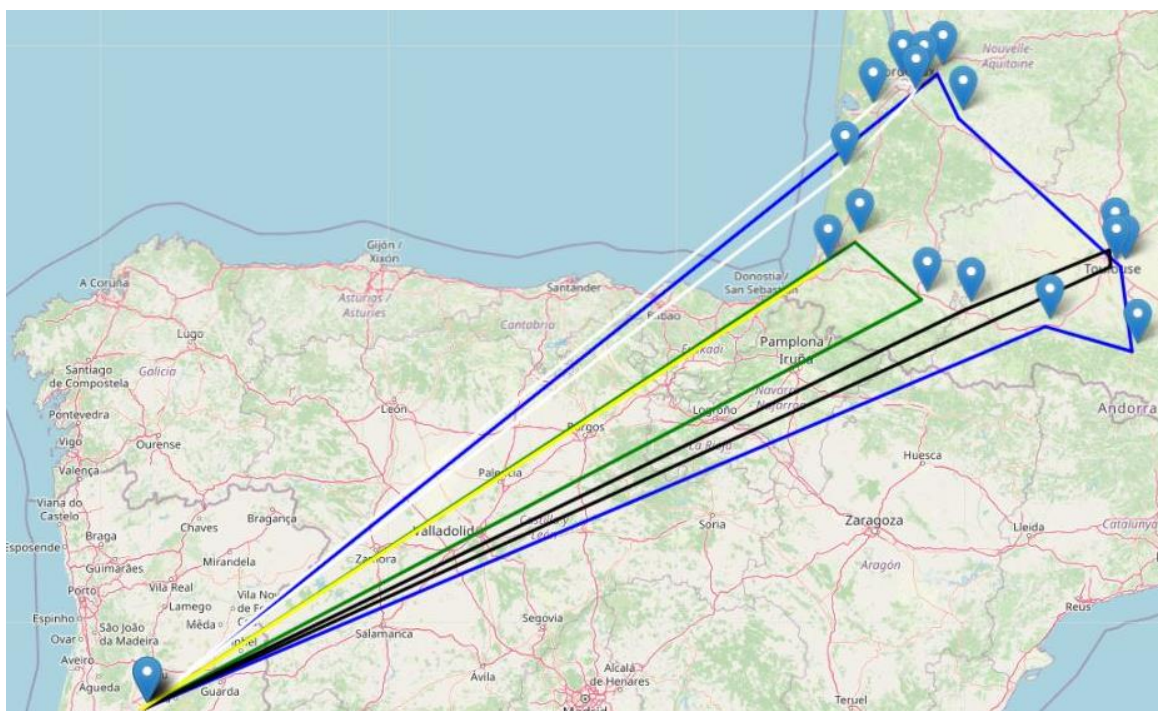


Figura 5 – Solução Gráfica – Conjunto de Dados 1

Dos cinco camiões, como é possível verificar na Tabela 1, apenas quatro são válidos, uma vez que um deles (camião 1) não cumpre com a cubicagem mínima para seguir viagem. Assim, os válidos são compostos por 78,55m³, 76,65m³, 79,52m³ e 78,02m³ respetivamente.

Tabela 1 – Volume Transportado – Conjunto de Dados 1

Camiões	Volume transportado	Média m ³ transportado	Desvio-padrão
Camião 1*	27,62	*Uma vez que não cumpre o requisito da cubicagem mínima, não será considerado como opção válida	
Camião 2	78,55	78,19	1,20
Camião 3	76,65		
Camião 4	79,52		
Camião 5	78,02		

A cubicagem que “sobra” fruto do camião que não é considerado válido, poderá ser utilizada (caso a rota de mantenha viável do ponto de vista operacional) na eventualidade de algum dos clientes selecionado primeiramente, recusar o *rendez-vous* proposto. Como também é possível retirar da Tabela 1, a média planeada para os quatro camiões válidos é de 78,19m³ com um desvio-padrão de 1,20, verificando-se homogeneidade no conjunto de soluções encontrado.

Dos camiões válidos, como constante na Tabela 2, o camião 2 apresenta-se com cinco descargas, o camião 3 com três descargas, o camião 4 com cinco descargas e o camião 5 somente com uma descarga, perfazendo uma média de 3,5 descargas por camião, com um desvio-padrão de 1,91.

Tabela 2 – Número de Descargas – Conjunto de Dados 1

Camiões	Número de descargas	Média de descargas	Desvio-padrão
Camião 1*	2	*O camião 1 não entra nos cálculos por não ser considerado válido	
Camião 2	5	3,50	1,91
Camião 3	3		
Camião 4	5		
Camião 5	1		

De acordo com a Tabela 3 no que respeita ao número de quilómetros percorrido, com base no *Google Maps*, os quatro camiões válidos percorrem em média 2039km cada, desde a saída do cliente A até efetuar todas as entregas e regressar às instalações do cliente A, com um desvio padrão de 345,09. O valor do desvio-padrão assume-se elevado refletindo uma elevada dispersão nos valores obtidos, principalmente quando confrontado com o camião 5, com somente uma descarga junto à fronteira com Espanha e os camiões 2 e 4 com cinco descargas nas zonas de Bordéus e Toulouse.

Analisando a Tabela 3 de forma individual, o camião 2 percorre uma distância de cerca de 2408 km entre a saída do cliente A, descargas nos clientes B e regresso ao cliente A, o camião 3, percorre cerca 2167 km entre a saída do cliente A, descargas nos clientes B correspondentes e regresso ao cliente A, o camião 4 percorre cerca de 1992km tendo como ponto de partida e chegada o cliente A e as descargas nos seus correspondentes clientes B e por último o camião 5, apresenta-se com um total de 1589 km desde o ponto de carga viagem até ao ponto de descarga e retorno novamente ao seu fornecedor.

Tabela 3 – Número de Quilómetros – Conjunto de Dados 1

Camiões	Número de km	Média de km	Desvio-padrão
Camião 1*	1780	*O camião 1 não entra nos cálculos por não ser considerado válido	
Camião 2	2408	2039	345,09
Camião 3	2167		
Camião 4	1992		
Camião 5	1589		

Na Figura 6 é possível verificar a solução gráfica apresentada proveniente do segundo conjunto de dados selecionado através da utilização do modelo desenvolvido. Este, representado por 16 clientes B situados nos arredores de Marselha até à zona fronteiriça com Itália, reuniu um total de 382,29m³ de encomendas. O modelo continha um total de 17 variáveis contínuas e 272 variáveis discretas e atingiu um tempo de resolução de 180,02 segundos, como será possível constatar na Tabela 13.



Figura 6 – Solução Gráfica – Conjunto de Dados 2

Este conjunto de dados deu origem a cinco camiões, compostos por 70,26m³, 75,34m³, 79,03m³, 77,71m³ e 79,94 m³ respetivamente. Neste caso, à semelhança do conjunto de resultados anterior, como constante na Tabela 4, existe um camião que não é válido do ponto de vista da capacidade de carga transportada, uma vez que não está completo (camião 1).

Tabela 4 – Volume Transportado – Conjunto de Dados 2

Camiões	Volume transportado	Média m ³ transportado	Desvio-padrão
Camião 1*	70,26	*Uma vez que não cumpre o requisito da cubicagem mínima, não será considerado como opção válida	
Camião 2	75,34	78,01	2,00
Camião 3	79,03		
Camião 4	77,71		
Camião 5	79,94		

Contudo, este poderia ser considerado como solução admissível do ponto de vista operacional, uma vez que todos os dias são suscetíveis de chegar encomendas novas e dessa forma poderia ser proposto um acréscimo de mercadoria a um cliente B (qualquer que pertença ao camião, preferencialmente dos primeiros a carregar para evitar que no momento de carga, o acréscimo pedido fique de fora) para completar o camião. Outra hipótese poderia ser transferir do camião 5

para o camião 1 o cliente B que tem cerca de 3,84m³ pendentes para entrega, ficando com 76,10m³ e 74,01m³ respetivamente.

Apesar destas diferentes soluções apresentadas no parágrafo anterior, para a análise efetuada, não serão consideradas, ficando o conjunto de dados representado por uma média de 78,01m³ e desvio-padrão de 2,0.

Averiguando, com a ajuda da Tabela 5, a distribuição do número de descargas por camião válido, concluiu-se que estes são compostos por três, um, quatro e cinco clientes B respetivamente, totalizando uma média de 3,25 por camião, com desvio-padrão de 1,71,

Tabela 5 – Número de Descargas – Conjunto de Dados 2

Camiões	Número de descargas	Média de descargas	Desvio-padrão
Camião 1*	3	*O camião 1 não entra nos cálculos por não ser considerado válido	
Camião 2	3	3,25	1,71
Camião 3	1		
Camião 4	4		
Camião 5	5		

De acordo novamente com o *Google Maps*, os quatro camiões considerados válidos, a fim de satisfazer os clientes B, desde a saída do cliente A, realizar as entregas e retornar ao cliente A, percorrem, como constante na Tabela 6, uma média de 3085,75 quilómetros, frutos dos 3440km percorridos pelo camião 2, dos 2907km percorridos pelo camião 3, 2912km do camião 4 e 3084km do camião 5, apresentando um desvio-padrão de 250,09 fruto do diferencial resultante entre as quatro viagens.

Tabela 6 – Número de Quilómetros – Conjunto de Dados 2

Camiões	Número de km	Média de km	Desvio-padrão
Camião 1*	2640	*O camião 1 não entra nos cálculos por não ser considerado válido	
Camião 2	3440	3085,75	250,09
Camião 3	2907		
Camião 4	2912		
Camião 5	3084		

Tabela 8, o camião 1 acarreta com nove clientes B, o camião 2 com três clientes B e o camião 3, com quatro clientes B.

Tabela 8 – Número de Descargas – Conjunto de Dados 3

Camiões	Número de descargas	Média de descargas	Desvio-padrão
Camião 1*	9	*O camião 1 não entra nos cálculos por não ser considerado válido do ponto de vista operacional	
Camião 2	3	3,50	0,71
Camião 3	4		

Uma vez que o camião 1 apresenta um número elevado de clientes B a satisfazer, isto implicaria que seria necessário mais do que dois dias para ser possível satisfazer todas as entregas, pelo que, do ponto de vista operacional seria bastante difícil encontrar transportador que assegurasse o serviço de entregas com camião internacional e se se conseguisse, teria um custo demasiado dispendioso não condizente com as características do negócio.

Além desta hipótese, os clientes poderiam ser satisfeitos reunindo a mercadoria pendente dos clientes B com menor volume de encomendas com uma descarga num Agente de distribuição na zona de maneira que este assegurasse as várias entregas “porta a porta”. Contudo, esta solução também traria custos bastante mais elevados.

À semelhança do primeiro conjunto de dados analisado, se porventura existirem recusas por parte das lojas escalonadas inicialmente para os dois camiões válidos, poderia ser hipótese substituir por alguma destas. Não sendo possível, será necessário que os clientes B em análise aumentem o volume de encomendas (ou clientes circundantes), por forma a que com outra configuração, as entregas possam ser satisfeitas.

Assim, considerando apenas os camiões válidos, a média de descargas centra-se em 3,50 e o desvio-padrão em 0,71.

Verificando na Tabela 9 apenas as soluções consideradas admissíveis, de acordo com o *Google Maps*, o camião 2 percorre um total de 3291 quilómetros desde a saída do cliente A, entrega aos clientes B e retorno à sede do cliente A e o camião 3 percorre 3501 quilómetros, perfazendo uma média de 3396 quilómetros percorridos.

Tabela 9 – Número de Quilómetros – Conjunto de Dados 3

Camiões	Número de km	Média de km	Desvio-padrão
Camião 1*	3866	*O camião 1 não entra nos cálculos por não ser considerado válido do ponto de vista operacional	
Camião 2	3291	3396,00	148,49
Camião 3	3501		

Analisando o quarto conjunto dados, como representado na Figura 8, este centrou-se novamente em 16 clientes B, com um total de 239,45m³ na zona norte de França (zona fronteiriça com a Bélgica). Para a sua resolução, foram necessárias 17 variáveis contínuas e 272 binárias num total de 360,03 segundos de tempo máximo definido para resolução (ver Tabela 13).

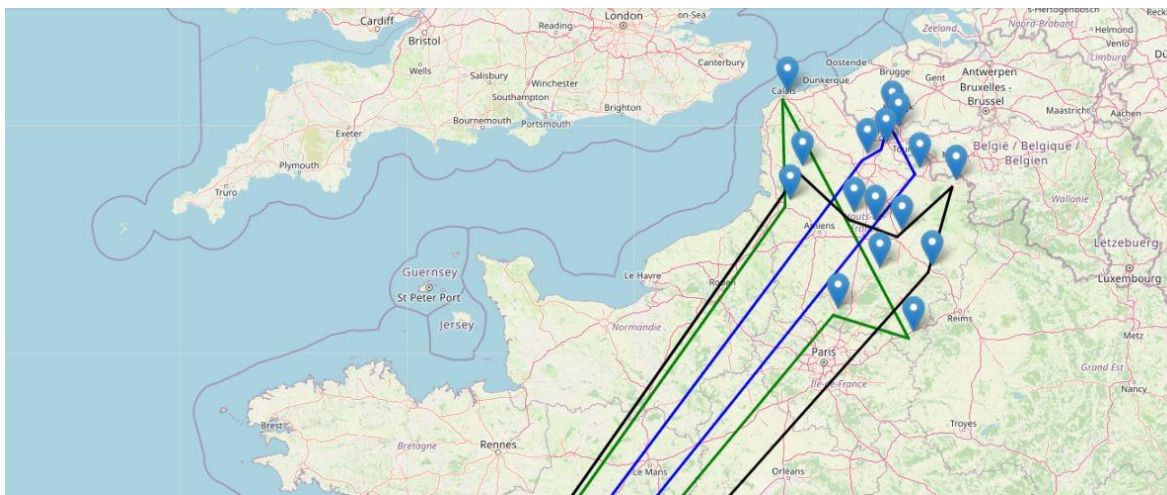


Figura 8 – Solução Gráfica – Conjunto de Dados 4

O conjunto de dados anteriormente descrito deu origem a três camiões, sendo estes compostos por 79,86m³, 79,89m³ e 79,70m³ (ver Tabela 10).

Tabela 10 – Volume Transportado – Conjunto de Dados 4

Camiões	Volume transportado	Média m ³ transportado	Desvio-padrão
Camião 1	79,86	79,82	0,10
Camião 2	79,89		
Camião 3	79,70		

Este último conjunto de dados analisado apresenta a média mais alta dos conjuntos de dados analisados, com cerca de 79,82m³ transportado. Também o desvio-padrão, com 0,10, se apresenta com o melhor valor (mais próximo de zero). Podemos assim afirmar que, no que respeita a todos os conjuntos de dados analisados, este é o conjunto mais homogéneo.

À semelhança dos resultados do conjunto de dados anterior, como é possível compreender através da leitura da Tabela 11, este também apresenta um camião com número de descargas excedentário do ponto de vista operacional. No entanto, dado um dos clientes que compõe o camião 3 só ter cerca de 2,38 m³, poderia ser solução retirar este cliente do camião, ficando o mesmo com cinco descargas e viável para seguir viagem. Contudo, fruto dos resultados provenientes do modelo, este camião não será considerado para a análise.

Tabela 11 – Número de Descargas – Conjunto de Dados 4

Camiões	Número de descargas	Média de descargas	Desvio-padrão
Camião 1	5	5	0
Camião 2	5		
Camião 3*	6	*O camião 3 não entra nos cálculos por não ser considerado válido do ponto de vista operacional	

Os restantes dois camiões, apresentam-se ambos com cinco clientes, fazendo com que o valor associado à média seja esse mesmo, assim como o desvio-padrão igual a 0.

Em concordância com a Tabela 12, o somatório do camião 1 e 2 representam um total de 7411 quilómetros percorridos, repartidos entre 3809km + 3602km quilómetros referentes a ida + volta com vista a satisfazer este conjunto de dados.

Tabela 12 – Número de Quilómetros – Conjunto de Dados 4

Camiões	Número de km	Média de km	Desvio-padrão
Camião 1	3809	3705,50	146,37
Camião 2	3602		
Camião 3*	3713	*O camião 3 não entra nos cálculos por não ser considerado válido do ponto de vista operacional	

Dada a localização destes clientes, estes seriam os que poderiam ser satisfeitos através do conceito de intermodalidade associado ao RORO, conjugando o transporte rodoviário em Portugal desde o momento de carga até chegada ao Porto de Leixões, seguido do transporte marítimo até Zeebrugge (Bélgica) e novamente o transporte rodoviário para satisfazer as entregas.

Para isso seria necessário verificar os cálculos de forma a certificar a viabilidade do ponto de vista dos custos e em caso de ser viável, seria necessário que os pedidos de *rendez-vous* fossem feitos por ordem inversa. De uma forma geral, sempre pendente de validação na ótica do custo, mais do que três descargas, torna inviável esta combinação.

De acordo com a Tabela 13, os quatro conjuntos de dado analisados tiveram por base um tempo máximo pré-definido de resolução de 180,02 segundos e 360,03 segundos, uma vez que se esperam encontrar soluções rápida. Inicialmente o tempo era de 180,02 segundos para todos os conjuntos, mas como o valor do Gap se apresentava bastante elevado (apesar de ainda se encontrar), decidiu-se dobrar o tempo máximo de resolução para os conjuntos 3 e 4 na tentativa de encontrar uma melhor solução, ficando estes, mesmo assim, com 87,38% e 90,20% respetivamente.

Tabela 13 – Análise aos Conjuntos de Dados

Conjunto de Dados	Tempo de Resolução	Iterações Simplex	Best Objective	Best Bound	Gap
1	180,02 segundos	1591763	9,127141444	2,551614641	72,04%
2	180,02 segundos	1629046	1,396354401	4,065055504	70,89%
3	360,03 segundos	3483655	9,579968024	1,208931669	87,38%
4	360,03 segundos	4536518	9,499080314	9,311400486	90,20%

Em jeito de conclusão, a utilização do modelo permite fazer uma melhor racionalização no número de clientes B a satisfazer. Assim é possível verificar um maior número de camiões, com um maior número de clientes B satisfeitos, permitindo que a sua satisfação seja maior, uma vez que a rotatividade de entrega apresentada é maior.

5.3 Sugestões de melhoria do processo

Dado maioritariamente a mercadoria seguir avulso, considera-se pertinente a uniformização de cargas com recurso a paletes. Desta forma, permite reduzir drasticamente os tempos e custos associados a operações de carga e descarga, assim como diminui as dificuldades associadas “ao lego” que é necessário construir. Por outro lado, ganha também relevância o facto de os artigos seguirem mais protegidos e de chegar ao local de descarga sem danos.

Igualar o tempo de entrega do produto C e do produto M também se apresenta como um ponto benéfico (preferencialmente os 35 dias), uma vez que permitirá que a chegada das encomendas possa ser analisada de forma igualitária e o planeamento feito com base nas datas iguais, sendo assim possível que o planeamento possa ser olhado com mais uma semana de antecedência do que atualmente.

Uma vez iniciada (com sucesso) a utilização de rotas com *rendez-vous* fixos, poderá ser o próximo passo manter o paradigma, mas associar ao conceito de intermodalidade, isto é, conseguir definir uma ou duas rotas que possam ser satisfeitas com base no conceito de RORO. Com isto será possível, não só dar mais capacidade e diferentes soluções ao cliente, como também dotar o serviço de entregas com recurso a meios de transporte mais ecológicos, contribuindo para que seja dado um pequeno passo no campo da sustentabilidade ambiental.

Capítulo VI

6 Conclusões e limitações

O presente capítulo surge com vista a refletir sobre o trabalho desenvolvido no ponto de vista das conclusões obtidas e das limitações encontradas.

6.1 Conclusões

Com o objetivo de fazer evoluir o negócio, as empresas devem olhar para os seus procedimentos, com periodicidade regular, sob um ponto de vista de melhoria, recorrendo a procedimentos que possam dotar o dia-a-dia de tarefas que acrescentem valor à empresa e reduzindo ou eliminando as restantes.

Neste seguimento, o contexto do projeto, que incidiu na melhoria dos procedimentos de planeamento de carga e rota, trouxe mais valias que foram muito importantes para um melhor funcionamento do negócio, tanto na vertente do planeamento e entrega assegurado pela empresa de transportes, como do cliente A e na satisfação dos clientes B.

Uma das melhorias implementadas foi a chegada do *crossbook* um dia mais cedo. Com isto foi possível começar a trabalhar mais cedo as novas encomendas. Também a adoção de rotas fixas trouxe a possibilidade de retenção de transportadores, assim como tornar os procedimentos *standard* e diminuição de tempos de espera nas descargas. Começando a fazer os pedidos de rendez-vous feitos “um a um” foi possível diminuir a insatisfação gerada nos clientes B, assim como levou ao aumento de número de camiões completos.

Com a adoção do POWER BI no decorrer do mês de outubro, a fluidez de informação vai aumentar de forma exponencial, perspetivando-se reduzir consideravelmente o número de *emails* trocados entre a empresa T e a empresa A.

De acordo com a revisão de literatura, foi possível verificar que a temática do VRP se encontra ainda em estudo dada a importância que a mesma apresenta no seio das empresas de transportes para que estas se possam tornar mais competitivas, alocando menos recursos, nomeadamente no que respeita ao custo do transporte, satisfazendo o mesmo ou um maior número de clientes.

Além das melhorias supramencionadas, a criação e adoção do modelo revelou-se uma ferramenta importante na medida em que aumentou o número de clientes B satisfeitos em cada semana, em virtude de uma melhor conjugação de volumes e rotas.

6.2 Limitações e Sugestões

O modelo desenvolvido encontra-se adaptado às necessidades que a empresa A tem, isto é, satisfazer todos os clientes que têm encomendas pendentes de entrega sendo ponto de partida e chegada a sua sede. Contudo, o cliente é somente de exportação, pelo que a importação que será feita pelo transportador poderá ficar distante da sede da empresa A, podendo inviabilizar o carregamento na semana seguinte do mesmo camião.

Apesar do modelo recomendar soluções com a menor distância, essas soluções têm um número de clientes B elevado (entre 6 e 10). Para estas soluções, existe uma dificuldade operacional associada que é a impraticabilidade de poder ser satisfeita por um caminhão internacional, uma vez que para satisfazer 10 clientes B, o mesmo necessitaria de cerca de 3 a 4 dias para as entregar, o que além de não se encontrar solução no mercado, traria custos elevadíssimos para o negócio. Para estes casos, existem sempre a solução de agentes locais para entrega “porta a porta”, mas as entregas também veem o seu custo aumentar. Em trabalhos futuros, poderá fazer-se um desenvolvimento do modelo que impeça mais do que 4 descargas por caminhão.

Outra limitação encontrada no estudo é que este não comporta as distâncias entre os clientes B em km, pelo que, por vezes sendo a solução mais próxima “em linha reta”, poderá não se traduzir na realidade no que respeita ao tempo/km. Para ficar correto, deverá sempre existir uma verificação, por exemplo, no *Google Maps*. Em trabalhos futuros poderá ser dado ao modelo uma matriz de distâncias personalizada com os km reais entre os clientes B.

Para análise foram sempre considerados 16 clientes em simultâneo, isto porque para utilização do modelo foi utilizada uma licença académica fazendo com que os conjuntos de dados selecionados fosse restringida. Uma vez que a capacidade de análise se torna limitada, não permitindo reunir todos os clientes B em simultâneo, para sempre a possibilidade de que reunindo todos os clientes em simultâneo, diferentes rotas poderiam ser construídas. Também para futuro, poderá ser feita uma análise de *clusters* prévia para agrupar estatisticamente os clientes mais próximos.

A necessidade de uma resposta “rápida” também faz com que o tempo pré-definido para a resolução do modelo seja diminuto, levando a que os gap's dos conjuntos de dados analisados fossem bastantes elevados. Permitindo o modelo correr mais tempo, seria possível diminuir o valor do gap ou até encontrar a solução ótima.

Como referido anteriormente, o fluxo de mercadoria iniciou-se em pleno ano pandémico pelo que tanto esse como o seguinte foram considerados anos atípicos. Por este motivo, uma nova e aprofundada análise deverá ser feita no final de 2023 com os dados desse ano, comparados com o período homólogo do ano anterior para que novas e melhores melhorias possam ser implementadas de maneira a todos os intervenientes possam ficar mais satisfeitos.

Bibliografia e Outras Fontes de Informação

7 Bibliografia e outras fontes de informação

- Administração dos Portos do Douro Leixões e Viana do Castelo. (2023a). Cais e Terminais. <https://www.apdl.pt/caracteristicas/cais-e-terminais>
- Administração dos Portos do Douro Leixões e Viana do Castelo. (2023b). Estatísticas Navios. <https://www.apdl.pt/estatisticas/navios2>
- Agência Europeia do Ambiente. (2023). Transportes marítimos da UE: o primeiro relatório de impacto ambiental reconhece os progressos realizados no sentido da sustentabilidade e confirma que são necessários mais esforços para preparar a procura crescente. <https://www.eea.europa.eu/pt/highlights/transportes-maritimos-da-ue-o>
- AICEP. (2020). Exportações Portuguesas: Resiliência e Confiança Para Enfrentar o Futuro. Portugal Global, 134. www.portugalglobal.pt
- AICEP. (2023). Exportações atingem 50% do PIB em 2022. Portugal Global. <https://www.portugalexporta.pt/noticias/exportacoes-atingem-50-por-cento-pib-2022>
- Aswini, K., Com, M., & Phil, M. (2018). Advantages and Disadvantages of Outsourcing. *International Journal of Commerce*, 6. <https://doi.org/doi.org/10.5281/zenodo.1438164>
- Autoridade da Mobilidade e dos Transportes. (2021). Ecossistema ferroviário português 2019. Observatório Do Ecossistema Da Mobilidade e Dos Transportes. https://www.amt-autoridade.pt/media/3108/relatorio_ecossistema_ferrovuario_portugues_2019.pdf
- Braekers, K., Ramaekers, K., & Van Nieuwenhuysse, I. (2016). The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers & Industrial Engineering*, 300–313. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.12.007>
- Carvalho, J. C., Guedes, A. P., Martins, A. L., Póvoa, A. P. B., Luís, C. A., Dias, E. B., & Ramos, T. (2010). *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento* (Edições Si.).
- Carvalho, J., & Dias, E. (2004). *Estratégias Logísticas - Como servir o cliente a baixo custo*. Edições Sílabo.
- Christofides, N. (1976). *The Vehicle Routing Problem*. Recherche Opérationnelle. http://www.numdam.org/item?id=RO_1976__10_1_55_0
- Cooper, J. (1999). *Global Logistics and Distribution Planning* (D. Waters (ed.); 3rd ed.). Taylor & Francis.
- Cortesão, L. (1998). Da Necessidade de Vigilância Crítica à Importância da Prática da Investigação-Ação. *Revista de Educação*, VII (1), 27–33. <https://hdl.handle.net/10216/94829>
- Coutinho, C. (2006). Aspectos Metodológicos da Investigação em Tecnologia Educativa (1985-2000). *Association Francophone Internationale de Recherche Scientifique En Education*, 4–26. <https://doi.org/10.7476/9788599662755.0002>
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6(1), 80–91. <http://www.jstor.org/stable/2627477>
- Elliott, J. (2001). *Action Research for Educational Change* (8th ed.). Open University Press. <https://books.google.com/books?id=TX5EBgAAQBAJ&pgis=1>
- Feofiloff, P., Kohayakawa, Y., & Wakabayashi, Y. (2005). Uma Introdução Sucinta à Teoria dos Grafos. <http://www.lcad.icmc.usp.br/~jbatista/edados/mat/TeoriaDosGrafos.pdf>
- Fisher, M. B. T.-H. in O. R. and M. S. (1995). Vehicle Routing. In M. O. Ball, T. L. Magnanti, C. L. Monma, & G. L. Nemhauser (Eds.), *Network Routing* (Vol. 8, pp. 1–33). Elsevier.

- [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0927-0507\(05\)80105-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0927-0507(05)80105-7)
- Freixo, M. J. V. (2018). *Metodologia científica: fundamentos, métodos e técnicas* (5th ed.). Instituto Piaget.
- Fries, C. E., Vinholi, L. A., & Vargas, D. B. (2018). A routing vehicles model for the delivery of furniture and home appliances of a retail company in southern Brazil. *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*.
<http://ieomsociety.org/southafrica2018/papers/279.pdf>
- Handorf, T., Christian, N., Ebenhöf, O., & Kahn, D. (2008). An environmental perspective on metabolism. *Journal of Theoretical Biology*, 252(3), 530–537.
<https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2007.10.036>
- Infraestruturas de Portugal. (2023). Rede Ferroviária. <https://www.infraestruturasdeportugal.pt/pt-pt/infraestruturas/rede-ferroviaria>
- Instituto Nacional de Estatística. (2022). Veículos rodoviários motorizados em circulação: total e por tipo de veículos.
<https://www.pordata.pt/portugal/veiculos+rodoviaros+motorizados+em+circulacao+total+e+por+tipo+de+veiculos-3100>
- Instituto Nacional de Estatística. (2023). Balança Comercial.
<https://www.pordata.pt/portugal/balanca+comercial-2594>
- Jonhson, P. F., Leenders, M. R., & Flynn, A. E. (2016). *Purchasing and Supply Management*. In *A Practical Introduction to Supply Chain* (40th ed.). McGraw-Hill.
<https://doi.org/10.1201/b21595-5>
- Kallehauge, B., Madsen, Oli, B. ., Larsen, J., & Madsen, K. (2006). On the vehicle routing problem with time windows (Issue January). <https://doi.org/10.1007/0-387-25486-2>
- Koszewska, M. (2004). Outsourcing as a modern management strategy prospects for its development in the protective clothing market. *AUTEX Research Journal*, 4(4), 228–231.
- Latorre, A. (2005). *La Investigación-Acción, Conocer y Cambiar la Práctica Educativa*. In Grao (3rd ed.). Editorial Graó. <https://www.uv.mx/rmipe/files/2019/07/La-investigacion-accion-conocer-y-cambiar-la-practica-educativa.pdf>
- Lomax, P. (1990). *Managing Staff development in Schools* (3rd ed.). Multilingual Matters.
- Mathisen, T. A., & Hanssen, T. E. S. (2014). The academic literature on intermodal freight transport. *Transportation Research Procedia*, 3(2352), 611–620.
<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2014.10.040>
- Mittal, P., Garg, N., Ambashta, H., & Mehndiratta, C. (2017). Solving VRP in an Indian Transportation Firm through Clark and Wright Algorithm: A Case Study. *International Journal of Emerging Technologies in Engineering Research (IJETER)*, 5(10), 163–168.
www.ijeter.everscience.org
- Morrison, D. R., Jacobson, S. H., Sauppe, J. J., & Sewell, E. C. (2016). Branch-and-bound algorithms: A survey of recent advances in searching, branching, and pruning. *Discrete Optimization*, 19, 79–102. <https://doi.org/10.1016/j.disopt.2016.01.005>
- Moura, B. do C. (2006). *Logística: conceitos e tendências* (Vol. 1). Centro Atlântico.
<https://doi.org/10.3390/app122412844>
- Ogorelc, A. (2007). Outsourcing of transport and logistics services. *Promet - Traffic - Traffico*, 19(6), 371–380.

- Portos de Portugal. (2023a). APP Portos de Portugal. <https://www.portosdeportugal.pt/indexG.php>
- Portos de Portugal. (2023b). Porto de Leixões.
<https://www.portosdeportugal.pt/app/portos/leixoes.php>
- Regulamento (CEE) no 3820/85. (1985). Regulamento (CEE) no 3820/85 do Conselho, de 20 de Dezembro de 1985, relativo à harmonização de determinadas disposições em matéria social no domínio dos transportes rodoviários. <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31985R3820:PT:HTML>
- Schneider, A. (2019). GPS Visualizer: Do-It-Yourself Mapping. <https://www.gpsvisualizer.com/>
- Scutellà, M. G. (2015). Logistics. Università Di Pisa.
- Silver, E. A., Victor, R., Vidal, V., & de Werra, D. (1980). A tutorial on heuristic methods. *European Journal of Operational Research*, 5(3), 153–162. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0377-2217\(80\)90084-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0377-2217(80)90084-3)
- Somjai, S. (2017). Advantages and Disadvantages of Outsourcing. *The Business and Management Review*, 9. https://cberuk.com/cdn/conference_proceedings/conference_21121.pdf
- Stavropoulou, F., Repoussis, P. P., & Tarantilis, C. D. (2019). The Vehicle Routing Problem with Profits and consistency constraints. *European Journal of Operational Research*, 274(1), 340–356. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.09.046>
- Vitasek, K. (2013). Supply Chain Management Terms and Glossary. *Council of Logistics Management*, 1–222. <https://doi.org/10.1159/000219771>
- Wassan, N., & Nagy, G. (2014). Vehicle Routing Problem with Deliveries and Pickups: Modelling Issues and Meta-heuristics Solution Approaches. *International Journal of Transportation*, 2(1), 95–110. <https://doi.org/10.14257/ijt.2014.2.1.06>
- Xiao, Y., Zhao, Q., Kaku, I., & Xu, Y. (2012). Development of a fuel consumption optimization model for the capacitated vehicle routing problem. *Computers and Operations Research*, 39(7), 1419–1431. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2011.08.013>
- Zuber-Skerritt, O. (1992). *Action Eesearch in Higher Education: Examples and reflections*. Kogan Page.

Apêndices

Apêndice I

Coding the model in Python

```
[ ] mdl = Model('CVRP')
```

```
[ ] x = mdl.addVars(A, vtype=GRB.BINARY)
    u = mdl.addVars(V, vtype=GRB.CONTINUOUS)
```

```
[ ] mdl.modelSense = GRB.MINIMIZE
    mdl.setObjective(quicksum(x[i, j]*c[i, j] for i, j in A))
```

```
[ ] mdl.addConstrs(quicksum(x[i, j] for j in V if j != i) == 1 for i in N)
    mdl.addConstrs(quicksum(x[i, j] for i in V if i != j) == 1 for j in N)
    mdl.addConstrs((x[i, j] == 1) >> (u[i]+q[j] == u[j])
                   for i, j in A if i != 0 and j != 0)
    mdl.addConstrs(u[i] >= q[i] for i in N)
    mdl.addConstrs(u[i] <= Qmax for i in V)
    mdl.addConstr(u[0] >= Qmin)
    mdl.update()
```

Figura 9 – Código *Python* no *Colab*