



**Modelo de otimização e gestão de custos numa  
empresa de transporte de mercadorias**

Maria Inês Oliveira Azevedo

UMinho | 2021



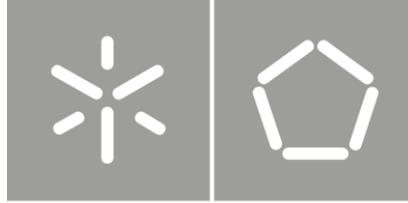
**Universidade do Minho**  
Escola de Engenharia

Maria Inês Oliveira Azevedo

**Modelo de otimização e gestão de  
custos numa empresa de transporte de  
mercadorias**

dezembro de 2021





**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Maria Inês Oliveira Azevedo

**Modelo de otimização e gestão de custos  
numa empresa de transporte de  
mercadorias**

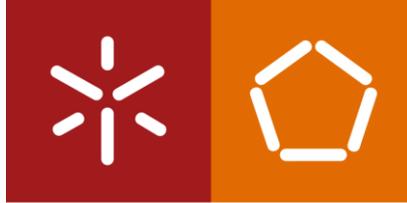
Dissertação de Mestrado em Engenharia Industrial  
Avaliação e Gestão de Projetos e da Inovação

Trabalho efetuado sob a orientação de

**Professor Doutor Paulo Sérgio Lima Pereira  
Afonso**

**Professor Doutor José António Vasconcelos  
Oliveira**

dezembro de 2021



**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Maria Inês Oliveira Azevedo

**Modelo de otimização e gestão de custos  
numa empresa de transporte de  
mercadorias**

Dissertação de Mestrado em Engenharia Industrial  
Avaliação e Gestão de Projetos e da Inovação

Trabalho efetuado sob a orientação de

**Professor Doutor Paulo Sérgio Lima Pereira  
Afonso**

**Professor Doutor José António Vasconcelos  
Oliveira**

dezembro de 2021

## **DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS**

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

### ***Licença concedida aos utilizadores deste trabalho***



**Atribuição**

**CC BY**

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## **AGRADECIMENTOS**

Esta dissertação é o culminar de uma jornada extraordinária, e levo com profundo orgulho todo o meu percurso académico até aqui. No entanto, tal como versa o hino da nossa academia “todo o destino é partir” e este é o momento de agradecer.

Em primeiro lugar, gostaria de expressar a minha gratidão aos meus orientadores, Professor Doutor Paulo Afonso e Professor Doutor José António Oliveira, pelo auxílio prestado ao longo da realização desta dissertação, bem como a disponibilidade, ajuda e conselhos prestados. Dificilmente poderia imaginar melhor orientação neste trabalho.

À Transpousada Transportes, pela oportunidade, e todos os seus colaboradores que me integraram no seu meio de trabalho e demonstraram sempre total disponibilidade para colaborar com este projeto.

Aos meus amigos e à minha família, em especial à minha mãe e à minha irmã, por acreditarem sempre em mim e no meu potencial, e por todo o apoio prestado durante esta jornada, sendo absolutamente essenciais ao meu crescimento e felicidade.

A todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

A todos, muito obrigada!

## **DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE**

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

# Modelo de otimização e gestão de custos numa empresa de transporte de mercadorias

## RESUMO

O setor dos transportes e logística é um setor altamente competitivo e em constante desenvolvimento, tendo em consideração a crescente globalização da economia. Neste contexto, a gestão de custos é de extrema importância para a competitividade de qualquer empresa do ramo, uma vez que representa uma poderosa ferramenta no planeamento e controlo das suas atividades, permitindo uma gestão eficiente dos seus recursos e fornecendo informações que auxiliam na tomada de decisão.

O presente trabalho, realizado em contexto empresarial, teve como finalidade compreender a estrutura de custos da empresa, e de que forma a sua gestão mais eficiente, bem como a otimização da utilização dos seus recursos, pode auxiliar a empresa a obter melhores resultados. Trata-se de uma empresa de transporte de mercadorias internacional, a operar na Europa, tendo como principais mercados a Espanha, a França, a Alemanha e a Bélgica.

A metodologia de estudo teve como base a obtenção de dados primários disponibilizados pela empresa relativos a quatro semanas de trabalho, referentes à realização de rotas distintas no transporte de cargas de um determinado cliente. Recorreu-se também à revisão da literatura sobre logística de transportes, no sentido de compreender o estado atual do conhecimento sobre os modelos atuais de otimização e gestão custos relacionados com o transporte rodoviário de mercadorias.

Através dos dados obtidos, foram aplicados os métodos referentes à otimização de rotas e gestão de custos, permitindo uma comparação dos resultados obtidos com os resultados da empresa. As conclusões retiradas deste estudo mostram que o modelo utilizado pela empresa atualmente necessita de ser melhorado e ajustado, a fim de se obterem resultados mais satisfatórios tanto a nível das rotas realizadas, como a nível da gestão dos custos e dos recursos da empresa. Existe uma grande margem de melhoria, e os modelos aplicados neste estudo demonstram essa mesma possibilidade, para que seja possível não só otimizar os recursos utilizados no transporte da carga e nas outras atividades da empresa geral, como também uma melhor gestão dos mesmos, visto que a metodologia permite detetar situações de prejuízo que se encontravam escondidas no aglomerado das despesas globais.

## PALAVRAS-CHAVE

Logística, *Time-Driven Activity-Based Costing*, Transporte de mercadorias, *Vehicle Routing Problem*

# Cost management and optimization model in a freight transport company

## **ABSTRACT**

The transports and logistics sector is a highly competitive and constantly developing sector, considering the growing globalization of the economy. In this context, cost management is extremely important for the competitiveness of any company in the sector, as it represents a powerful tool in the planning and control of its activities, allowing an efficient management of its resources and providing information that assists in the decision making.

This essay, carried out in a business context, aims to understand the company's cost structure, and how its more efficient management, as well as the optimization of its resources, can help the company to obtain better results. It is an international freight transport company, operating in Europe, with Spain, France, Germany, and Belgium as its main markets.

The study methodology was based on obtaining primary data provided by the company relating to four weeks of work, referring to the realisation of different routes in the transport of cargo for a particular customer. A bibliographical review on transport logistics was also used, in order to understand the current state of knowledge about the current optimization and cost management models related to the road transport of goods.

Through the obtained data, the methods referring to the optimization of routes and cost management were applied, allowing a comparison of the results obtained with the results of the company. The conclusions drawn from this study show that the current model used by the company needs to be improved and adjusted in order to obtain more satisfactory results both in terms of the routes carried out and in terms of cost and resource management of the company. There is a large margin for improvement, and the models applied in this study demonstrate this same possibility, so that it is possible not only to optimize the resources used in cargo transport and in other activities of the company in general, but also to better manage them, since the methodology makes it possible to detect loss situations that were hidden in the aggregate of global expenses.

## **KEYWORDS**

Freight Transport, Logistics, Time-Driven Activity-Based Costing, Vehicle Routing Problem

## ÍNDICE

Agradecimentos.....	iii
Resumo.....	v
Abstract.....	vi
Lista de Figuras.....	x
Lista de Tabelas.....	xi
Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos.....	xiii
1. Introdução.....	1
1.1 Enquadramento.....	1
1.2 Objetivos.....	4
1.3 Metodologia de investigação.....	5
1.4 Estrutura da dissertação.....	7
2. Revisão da Literatura.....	9
2.1 Logística de transporte e distribuição.....	9
2.2 <i>Travelling Salesman Problem</i> .....	13
2.3 <i>Vehicle Routing Problem</i> .....	14
2.3.1 <i>Capacitated VRP</i> .....	16
2.3.2 <i>Heterogeneous Vehicle Routing Problem</i> .....	16
2.3.3 <i>VRP with Time Windows</i> .....	17
2.3.4 <i>VRP with Backhauls</i> .....	17
2.3.5 <i>VRP with Pickup and Delivery</i> .....	18
2.4 Resolução do VRP.....	18
2.4.1 Métodos exatos.....	19
2.4.2 Métodos aproximados.....	20
2.5 Sistemas de custeio.....	24
2.6 Sistemas de custeio tradicionais.....	25
2.7 <i>Activity Based Costing</i> .....	26
2.8 Time-Driven Activity Based Costing.....	29
2.8.1 Formulação da equação de tempo.....	30
2.8.2 TDABC aplicado à logística.....	32

3.	Estudo de caso .....	35
3.1	A Transpousada Transportes .....	35
3.1.1	Caracterização da frota .....	36
3.1.2	Serviços prestados.....	36
3.1.3	Tipologia de clientes .....	37
3.1.4	Estrutura de custos.....	37
3.1.5	Problemas identificados.....	38
3.2	Modelação do caso de estudo em <i>MATLAB</i> .....	38
3.2.1	<i>MATLAB</i> .....	39
3.2.2	Aplicação do VRP – Problema de Roteamento de Veículos.....	40
3.2.3	Procedimento heurístico desenvolvido .....	41
3.2.4	Estudo para uma semana (semana 1) .....	42
3.2.5	Estudo para um mês .....	46
3.3	Sistema de custeio TDABC .....	51
3.3.1	Preparação e âmbito do projeto .....	53
3.3.2	Análise do projeto – desenvolvimento do modelo TDABC.....	54
3.3.3	Identificação dos recursos .....	54
3.3.4	Taxa de custo da capacidade .....	54
3.3.5	Estimativa de tempo .....	57
3.3.6	Equações de tempo .....	61
4.	Discussão dos resultados.....	67
4.1	Otimização de rotas .....	67
4.2	Implementação do sistema de custeio .....	70
5.	Conclusão .....	80
	Referências Bibliográficas .....	83
	Anexo 1 – Matriz de Custos <i>MATLAB</i> semana 1 .....	88
	Anexo 2 – Matriz de custos <i>MATLAB</i> semana 2.....	89
	Anexo 3 – Matriz de Custos <i>MATLAB</i> semana 3 .....	90
	Anexo 4 – Matriz de Custos <i>MATLAB</i> semana 4 .....	90
	Anexo 5 – Tempos mínimos, médios e máximos do transporte da mercadoria na semana 1.....	91

Anexo 6 – Tempos mínimos, médios e máximos do transporte da mercadoria na semana 2.....	92
Anexo 7 – Tempos mínimos, médios e máximos do transporte da mercadoria na semana 3.....	93
Anexo 8 – Tempos mínimos, médios e máximos do transporte da mercadoria na semana 4.....	94
Anexo 9 – Custos da viagem com tempos mínimos, médios e máximos .....	95
Anexo 10 – Resultados semana 2.....	95
Anexo 11 – Resultados semana 3.....	96
Anexo 12 – Resultados semana 4.....	96

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cadeia de abastecimento simplificada .....	2
Figura 2: Divisão modal de transporte de carga na UE, 2019 (% em toneladas-quilómetros).....	12
Figura 3: Exemplo de um TSP retirado de Amalia, Luiza & Cantão, Luiza & Stark, Felipe. (2021). .....	13
Figura 4: The Vehicle Routing Problem, adaptado de <a href="https://vehicle-routing-problem.github.io/">https://vehicle-routing-problem.github.io/</a> .....	15
Figura 5: Conceito de poupanças (Lysgaard, 1997).....	22
Figura 6: Estrutura do sistema ABC, adaptado de (Barros & Simões, 2014) .....	28
Figura 7: Organigrama da Transpousada Transportes .....	35
Figura 8: Camião-TIR Transpousada .....	37
Figura 9: Carrinha IVECO.....	36
Figura 10: Logótipo do MATLAB.....	39
Figura 11: Linguagem submetida no MATLAB para obtenção de otimização de rotas para a semana 1 .....	42
Figura 12: Rotas para a semana 1 resultantes do software MATLAB.....	43
Figura 13: Sequência das rotas obtidas pelo MATLAB para a semana 1 .....	44
Figura 14: Rota 3.2 MATLAB .....	50
Figura 15: Rota 3.2 empresa .....	48
Figura 16: Representação dos paralelos e meridianos no globo .....	49
Figura 17: Resultados TDABC.....	71
Figura 18: Margem financeira por cada semana de trabalho (tempos médios).....	72
Figura 19: Relação entre custo/km e preço/km.....	74
Figura 20: Tempo e custos cumulativos das atividades na semana 1 (em minutos e euros) .....	76
Figura 21: Variação na rentabilidade (mínima, média e máxima) .....	77
Figura 22: Utilização de recursos de cada unidade.....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resumo das características dos diferentes tipos de transporte .....	11
Tabela 2 - ABC versus TDABC.....	31
Tabela 3: Dimensões camião TIR.....	41
Tabela 4: Planeamento de rotas semana 1 pelo MATLAB.....	44
Tabela 5: Funções submetidas no MATLAB.....	45
Tabela 6: Planeamento de rotas semana 1 pela empresa.....	45
Tabela 7: Planeamento de rotas semana 2 pelo MATLAB.....	46
Tabela 8: Planeamento de rotas semana 2 pela empresa.....	47
Tabela 9: Planeamento de rotas semana 3 pelo MATLAB.....	47
Tabela 10: Planeamento de rotas semana 3 pela empresa.....	48
Tabela 11: Cálculo dos custos MATLAB da rota 3.2 .....	50
Tabela 12: Planeamento de rotas semana 4 pelo MATLAB.....	50
Tabela 13: Planeamento de rotas semana 4 pela empresa.....	51
Tabela 14: Capacidade prática dos recursos .....	56
Tabela 15: Taxa de custo de capacidade de cada recurso .....	56
Tabela 16: Tempo estimado consumido pelas subatividades da atividade de planeamento e controlo	58
Tabela 17: Tempo estimado consumido pelas subatividades da atividade de preparação da viagem ..	59
Tabela 18: Tempo estimado consumido pelas subatividades da atividade de transporte .....	60
Tabela 19: Tempo estimado consumido pelas subatividades da atividade de manutenção e reparação .....	60
Tabela 20: Tempo estimado consumido pelas subatividades da atividade de registos e controlo interno .....	61
Tabela 21: Tempo estimado consumido pelas subatividades da atividade de processo administrativo	61
Tabela 22: Cálculo do custo do total da atividade de planeamento e expedição na semana 1 .....	62
Tabela 23: Cálculo do custo do total da atividade de preparação da viagem na semana 1 .....	63
Tabela 24: Cálculo do custo total da atividade de viagem na semana 1 (tempos médios).....	64
Tabela 25: Cálculo do custo do total da atividade de manutenção e reparação na semana 1 .....	65
Tabela 26: Cálculo do custo do total da atividade de registos e controlo interno na semana 1 .....	66
Tabela 27: Cálculo do custo do total da atividade de processo administrativo na semana 1 .....	66
Tabela 28: Margem financeira por cada semana de trabalho.....	72

Tabela 29: Resultados semana 1 ..... 73

## **LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS**

**ABC** – *Activity Based Costing*

**CCR** – *Capacity Cost Rate*

**CMR** – *Contract for the International Carriage of Goods by Road*

**KM** – Quilómetro

**TCC** – Taxa de Custo de Capacidade

**TDABC** – *Time-Driven Activity-Based Costing*

**TSP** – *Travelling Salesman Problem*

**UE** – União Europeia

**VRP** – *Vehicle Routing Problem*

## **1. INTRODUÇÃO**

Neste capítulo inicial é apresentado um enquadramento do projeto de investigação e do tema que lhe está subjacente, bem como a descrição do seu objetivo principal, salientando a importância que a temática possui na atualidade. De seguida, define-se a metodologia de investigação adotada e, por fim, apresenta-se a estrutura da presente dissertação.

### **1.1 Enquadramento**

O transporte rodoviário de mercadorias é um setor bastante competitivo, com a presença de grandes operadores que, dado o seu grande volume de negócios, dominam o setor, e que o tornam muito difícil para novas empresas singrarem, constituindo esse facto um fator concorrencial forte. Portanto, o desenvolvimento de pequenas empresas torna-se muito difícil, uma vez que há poucas formas de diferenciação, ao mesmo tempo que se procura reduzir os custos, além da necessidade de enfrentarem os grandes operadores do setor. Da atual e crescente concorrência entre as empresas, surge a necessidade de muitas organizações serem reestruturadas para se manterem competitivas. Esta situação do mercado compele as empresas a procurarem meios para atingir a satisfação contínua dos clientes, uma vez que estes possuem um maior poder de negociação, visto que possuem alternativas e podem escolher entre os diferentes operadores.

Neste contexto, a gestão de custos é de extrema importância para a competitividade de qualquer empresa, uma vez que representa uma poderosa ferramenta no planeamento e controlo das suas atividades, permitindo uma gestão eficiente dos seus recursos e fornecendo informações que auxiliam na tomada de decisão (Silva, 2014). O custo de um produto ou serviço constitui uma informação relevante na maioria das empresas que atuam em ambientes de forte concorrência, uma vez que a competição tende a forçar uma redução mais acentuada das margens de lucro. Consequentemente, um conhecimento insuficiente dos custos reflete-se em preços menos competitivos e resultados mensais indesejados (Wernke, Mendes, & Lembeck, 2010).

As empresas que atuam no ramo do transporte de mercadorias não são exceção, pelo que necessitam de apurar convenientemente e compreender os custos dos serviços de transporte que realizam, a fim de maximizar as margens geradas (Sternad, 2019). Só conhecendo os custos associados a cada tipo de serviço a efetuar, é possível estudar alternativas de racionalização e otimização dos mesmos. Com a otimização e racionalização de todos os custos poderá ser acrescentado valor e maior

retorno económico face à concorrência. Impõe-se, assim, a necessidade de promover a inovação, a criatividade e o desenvolvimento de fatores diferenciadores para alcançar o sucesso. Conhecer o potencial das operações, da sua racionalização e otimização no domínio dos custos, sem comprometer o valor acrescentado do serviço ao cliente, é determinante para a tomada de decisão, sobre a estrutura de custos a considerar em cada serviço (Guedes, 2020).

Devido à globalização e maior complexidade da cadeia de abastecimento, a logística desempenha cada vez mais um papel crítico no desenvolvimento de uma rede de abastecimento bem-sucedida (Izadi, Nabipour, & Titidez, 2020). O transporte tem um papel de grande importância na gestão da cadeia de abastecimento uma vez que assegura a ligação entre os elos da cadeia proporcionando valor acrescentado através da criação da utilidade de lugar e tempo: movimentando os produtos para o local certo no momento desejado e nas condições (quantidade e qualidade) pretendidas (Carvalho, 2012). A mobilidade das mercadorias entre as origens e os destinos apenas é possível com a intervenção de equipamentos de transportes, com uma gestão específica, mas integrado na lógica global da circulação física de mercadorias ao serviço dos desígnios estratégicos dos sistemas logísticos de criação de valor (Dias, 2005).

Na Figura 1 é apresentada uma cadeia de abastecimento sintetizada, onde é possível compreender a importância do transporte na mesma. Todos os elementos da cadeia são, por norma, conectados pela transferência do material entre si através do transporte, independentemente do modo utilizado. A transferência da mercadoria do retalhista para o consumidor é o único ponto da cadeia de abastecimento onde existe geralmente uma passagem direta, sem utilização do transporte. Contudo, atualmente, devido ao crescimento exponencial do comércio online, existe cada vez mais a necessidade do uso do transporte para que o produto seja entregue do retalhista diretamente na casa do consumidor.

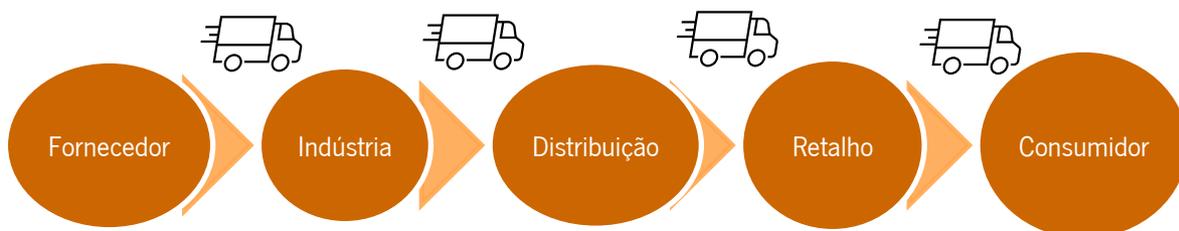


Figura 1: Cadeia de abastecimento simplificada

O setor de transportes e logística é altamente competitivo e em constante desenvolvimento, sendo o transporte rodoviário de mercadorias uma atividade essencial ao crescimento económico e um propulsor de competitividade. Este modo de transporte de mercadorias apresenta predominância relativamente aos outros modos de transporte, tanto em Portugal, como na União Europeia (INE, 2019). Por outro lado, o custo do transporte de mercadorias tornou-se um dos mais importantes indicadores da eficiência da cadeia de abastecimento, uma vez que tem um grande impacto na mesma. Os custos de transporte, são geralmente os custos mais importantes do processo logístico (Kovács, 2017).

Idealmente, todos os camiões funcionariam totalmente carregados em cada quilómetro percorrido, uma vez que se isso pudesse ser alcançado, os custos económicos e ambientais do transporte rodoviário de mercadorias seriam substancialmente reduzidos. Assim sendo, otimizar o sistema de transporte de mercadorias rodoviário poderia trazer grandes benefícios, uma vez que os custos de logística estão sobretudo relacionados com os custos de transporte. Deste modo, é importante encontrar estratégias que permitam aumentar a eficiência destes processos (Waters, 2010).

O grau de complexidade e diversidade nestes processos é elevado. De facto, a estrutura dos custos inerentes à organização de cada serviço ou cliente difere em cada tipologia de serviço específico. Efetivamente, a natureza das mercadorias possui características que condicionam as opções do equipamento envolvido, nomeadamente o tipo de veículo e o equipamento de carga e descarga, bem como se diferenciam os custos inerentes a cada tipo de serviço prestado. Desta forma, só conhecendo os custos associados a cada tipo de serviço a efetuar é possível estudar alternativas de otimização dos mesmos (Guedes, 2020).

Os principais fatores que afetam os custos das operações de transporte rodoviário são a dimensão do camião e como é efetuada a sua utilização, o padrão da procura e a sua influência no transporte de cargas de importação (viagem de retorno), a distância percorrida com o camião vazio, a disponibilidade de agendamento da carga, as condições da estrada e do trânsito, o preço dos inputs (fator trabalho, veículo, peças de reposição ou reparação e combustível), e a qualidade da gestão, sendo que estes fatores têm uma influência decisiva nos custos de transporte, nomeadamente por cada tonelada-quilómetro (Kulovic, 2004). Contudo, o transporte de bens por camião continua a ser o método mais barato, mais eficiente e mais robusto de entrega, não implicando, no entanto, que possa ser sempre a melhor solução. Ainda assim, o transporte rodoviário de mercadorias assume extrema importância, uma vez que a grande maioria dos bens são transportados por estrada, e mesmo que a maior parte da

distância tenha sido percorrida por via marítima, aérea ou ferroviária, o transporte rodoviário é quase sempre necessário para que o bem consiga chegar ao seu destino final (Cardoso, 2017).

## **1.2 Objetivos**

A realização desta dissertação teve por objetivo o desenvolvimento e aplicação de um modelo de otimização e gestão de custos numa empresa de transporte de mercadorias, que possibilite a elaboração de um sistema eficiente de gestão de custos, permitindo identificar oportunidades de melhorias dos seus processos.

A empresa estudada não controla totalmente os seus custos, limitando-se a acompanhar o mercado em termos de preço, sem saber se esta situação é de facto vantajosa ou não no que diz respeito aos seus resultados financeiros (Müller & Michel, 2001). A empresa não possui qualquer sistema de gestão de custos, e dificilmente consegue investir acertadamente os seus recursos, conseqüentemente perdendo qualidade e lucratividade nos serviços prestados (Becker, 2010). Assim, pretendeu-se identificar e definir os principais recursos envolvidos nas operações da empresa de modo a compreender melhor os custos incorridos pela empresa, assim como os principais fatores (i.e., indutores de custo) que influenciam esses custos, a fim de construir uma ferramenta de custeio que possibilite a identificação e análise de oportunidades de redução de custos e o impacto das decisões tomadas.

A empresa em estudo tem a sua atividade centrada essencialmente na prestação de um tipo de serviço, o transporte rodoviário de mercadorias internacional. No entanto, e de forma esporádica, a empresa presta também o serviço de transporte rodoviário de mercadorias nacional e o serviço de armazenagem. Dada a situação económica que se faz sentir, a administração tem questionado a rentabilidade dos vários serviços de transporte que realiza, suscitando dúvidas quanto à viabilidade de determinadas rotas e clientes, uma vez que os custos têm sido crescentes e as margens obtidas cada vez mais reduzidas. Desta forma, a eficiência pode ser melhorada através de boas escolhas de percursos, boas combinações de cargas a transportar e o recurso a um bom planeamento (Malta, 2015).

O desenvolvimento de modelos de otimização e gestão de custos permite avaliar a viabilidade de determinadas rotas e clientes, possibilitando a visualização dos resultados, quer positivos quer negativos, e conseqüentemente identificar problemas e oportunidades, a fim de melhorar o desempenho e a competitividade da empresa. A dinâmica de um setor extremamente competitivo, como é o do transporte de mercadorias, exige uma forte capacidade de organização, planeamento e de gestão que requer o domínio do conhecimento técnico e operacional relativos ao funcionamento da atividade.

Considerando a concorrência muito agressiva existente no mercado, é essencial compreender toda a cadeia de valor da empresa e sua ligação com os seus clientes e fornecedores, que progressivamente se aliam na consolidação dos seus modelos organizacionais, numa procura pela excelência do serviço prestado ao cliente final e na redução de custos de operação. Ter uma entrega de matérias-primas em qualidade é hoje uma regularidade que se impõe, sem atrasos, sem falhas e sem problemas. Os custos de operação estão por isso na primeira linha das preocupações, uma vez que a qualidade do serviço se constitui como uma normalidade.

Portanto, o objetivo deste estudo prendeu-se com o desenvolvimento e aplicação de um modelo de otimização de custos baseado no *Time-Driven Activity-Based Costing* (TDABC) numa empresa portuguesa do setor do transporte rodoviário de mercadorias, como forma de analisar a rentabilidade do serviço de transporte prestado. Um modelo TDABC permite medir com maior rigor os custos e a rentabilidade do negócio, possibilitando que as decisões estratégicas e operacionais sejam tomadas de forma mais sustentada.

Esta metodologia oferece um sistema de custeio alternativo que é interessante para as empresas do transporte rodoviário e logística. A complexidade causada pela variação nos recursos exigidos no que diz respeito ao transporte, pode ser mais bem compreendida pelo TDABC do que pelos modelos ABC (*Activity Based Costing*) tradicionais, uma vez que o TDABC tem em consideração que o custo de uma atividade pode diferir em termos do contexto específico em que essa atividade ocorre (R. S. Kaplan & Anderson, 2004). Assim, o modelo de custeio TDABC apresenta mais oportunidades em ambientes com atividades complexas, frequentemente encontradas em empresas do setor dos serviços, e em particular em empresas de logística e distribuição.

### **1.3 Metodologia de investigação**

A metodologia de investigação sustenta a forma como a investigação deve ser conduzida, bem como auxilia na estratégia mais adequada a aplicar de forma a atingirem-se os objetivos pretendidos, sendo crucial a sua definição antes de se iniciar o processo de investigação. A metodologia de investigação assenta num conjunto de fases, nomeadamente: a formulação e clarificação do tópico de investigação, a revisão crítica da literatura, a conceção da investigação, a recolha de dados, a análise dos dados e a redação dos relatórios finais com a apresentação e discussão dos resultados e conclusões principais (Saunders, Lewis, & Thornhill, 1997).

Como referem Saunders et al., 1997, no que diz respeito à formulação e clarificação do tópico de investigação, o tema que venha a ser escolhido deverá ter sempre em consideração a facilidade de

acesso à informação, bem como a capacidade intelectual, temporal e financeira do autor para desenvolver o projeto. Para além disso, é importante que o tema escolhido desperte o interesse do investigador, para que desta forma a sua realização seja motivadora. Durante a revisão crítica da literatura, é feita uma revisão aprofundada com o objetivo de se perceber quais os novos desenvolvimentos na área em questão, assim como as lacunas que ainda existem por colmatar, particularmente as que dizem respeito ao tema do projeto. Posteriormente, inicia-se a etapa do desenho de investigação, sendo que esta é provavelmente a etapa mais importante do projeto, visto que um mau planeamento da investigação levará a que não sejam atingidos os resultados pretendidos. Nesta fase é determinada a estrutura do projeto e é realizado um plano de trabalhos pelo qual o autor se poderá guiar ao longo do projeto. Finalmente, passa-se à fase de recolha de dados e análise dos mesmos, sendo que estas duas fases são realizadas inúmeras vezes até se atingirem os resultados pretendidos.

Este projeto de investigação foi desenvolvido em ambiente empresarial e a metodologia implementada caracteriza-se por ser de cariz qualitativo e carácter indutivo, uma vez que à medida que o investigador desenvolve conceitos, ideias e entendimentos a partir de padrões que encontra nos dados, passa a ter um maior envolvimento no contexto dos acontecimentos (B. Kaplan & Duchon, 1988). A abordagem dedutiva tem como base uma teoria já existente a partir da qual se obtêm os dados que permitem validar a teoria, sendo que a necessidade de explicar relações causais entre as variáveis, a recolha de dados quantitativos, a aplicação de mecanismos de controlo para assegurar a validade dos dados e a operacionalização de conceitos para assegurar a clareza de definições são algumas das características desta abordagem. O estudo assume também um carácter exploratório, tendo em conta que pretende compreender o modelo de otimização e gestão de custos aplicado na empresa, através da formulação de hipóteses sobre o mesmo, procurando novas compreensões (Saunders et al., 1997).

A estratégia da investigação utilizada foi a investigação-ação, uma vez que se foca na mudança e consequente melhoria das ferramentas e estratégias aplicadas na empresa. O ciclo da investigação-ação passa por cinco fases, nomeadamente o diagnóstico, planeamento da ação, execução da ação, avaliação e aprendizagem específica (Santos, Amaral, & Mamede, 2013). Para que a investigação-ação seja bem-sucedida, é muito importante definir a validade da mesma, sendo necessário questionar se as ações levam à resolução do problema em estudo ou a uma compreensão mais aprofundada do problema, verificando-se, contudo, que alguns estudos que utilizam esta estratégia são inconclusivos, quer por terem apenas um único diagnóstico do problema ou uma única estratégia de solução, quer por negligenciarem a resolução do problema (Anderson & Herr, 2016). A investigação-ação distingue-se dos métodos de investigação mais tradicionais pela sua vertente participativa em detrimento da observação

passiva, ou seja, tendo em consideração que se suporta na ação e na reflexão crítica, a participação do investigador no processo de construção e implementação da solução torna a compreensão do problema muito mais completa (Santos et al., 2013).

Neste caso, a metodologia de estudo teve como base a obtenção de dados primários disponibilizados pela empresa relativos a 4 semanas de trabalho, ou seja, num período de um mês, referente à realização de rotas distintas no transporte de cargas de um cliente em particular. Através dos dados obtidos, foram aplicados os métodos referentes à otimização de rotas e gestão de custos, permitindo uma comparação dos resultados obtidos com os resultados da empresa.

#### **1.4 Estrutura da dissertação**

Concluída a introdução no primeiro capítulo, onde é feito um pequeno enquadramento do tema e da pertinência do mesmo, os objetivos com o desenvolvimento do projeto, bem como uma breve descrição da metodologia de investigação adotada e a identificação da estrutura da dissertação, a presente dissertação prossegue com uma breve revisão de literatura acerca dos principais temas relevantes para a sustentação teórica do projeto. Esse propósito é concluído pelo segundo capítulo, no qual se aprofunda a análise do setor da logística de transporte e distribuição, e se apresentam e discutem as principais variantes do Problema do Roteamento de Veículos ou *Vehicle Routing Problem* (VRP), bem como os métodos de resolução mais utilizados. Para além disso, é feita uma análise dos sistemas de custeio emergentes bem como as eventuais mais-valias da aplicação do *Time-Driven Activity-Based Costing*.

No Capítulo 3 (Estudo de caso) faz-se uma apresentação da empresa onde foi realizado o estudo, a Transpousada Transportes Lda. Neste capítulo é também descrita a caracterização da frota da empresa, quais os serviços prestados, a tipologia dos seus clientes, e quais os problemas identificados.

Ao longo do quarto capítulo é feita a modelação do caso de estudo em *MATLAB*, iniciando-se com uma pequena apresentação da plataforma utilizada. De seguida, descreve-se os passos aplicados na resolução do problema, utilizando os dados recolhidos na empresa durante 4 semanas de trabalho. Este capítulo contém também a comparação dos resultados obtidos com o que a empresa executou, bem como as principais conclusões, dados os resultados obtidos.

No Capítulo 5 é apresentado o projeto de implementação do sistema de custeio TDABC, onde são descritos os recursos e as atividades da empresa, bem como as restantes fontes de informação que alimentam a solução desenvolvida. Posteriormente, é feita uma descrição de cada uma das partes do modelo, incluindo as relações e as equações que constituem a nova forma de alocação de custos da

empresa. Finalmente, e através do modelo concebido, é feita uma análise e um *report* financeiro sobre a atividade da empresa.

Por fim, no sexto capítulo, faz-se a síntese das conclusões obtidas, identificam-se as maiores dificuldades sentidas e sugerem-se alternativas para o desenvolvimento futuro do projeto.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

No presente capítulo figura a revisão da literatura realizada, expondo o enquadramento teórico que sustenta o trabalho desenvolvido. Relativamente às questões relacionadas com a otimização, é feita uma exposição dos problemas de roteamento de veículos, nomeadamente o *Vehicle Routing Problem*, com um estudo aprofundado das suas características e variantes mais conhecidas, e respetivos métodos de resolução, particularmente os métodos aproximados como é o caso das heurísticas.

Com o intuito de oferecer uma contextualização dos sistemas de custeio existentes, são abordados inicialmente os sistemas de custeio tradicionais, passando depois para os mais contemporâneos, como o caso do *Activity Based Costing*, finalizando com o *Time-Driven Activity Based Costing*, foco do estudo realizado.

### 2.1 Logística de transporte e distribuição

Segundo o *Council of Supply Management Professionals*, a logística define-se como o processo de planeamento, implementação e controlo dos procedimentos para um eficaz e eficiente transporte e armazenamento de mercadoria, incluindo serviços e informação relacionada, desde o ponto de origem até ao ponto de consumo, para fins de conformidade com os requisitos do cliente. Esta definição inclui movimentos de entrada, de saída, internos e externos.

Uma parte crucial da logística é a gestão de transportes. A distribuição e transporte é, muito provavelmente, a principal e mais importante atividade logística, não só por representar a maior percentagem de custos do total de custos logísticos, como também por ser responsável pela movimentação dos bens ao longo de toda a cadeia de abastecimento (Sanders, 2011). Esta atividade consiste na movimentação, armazenagem, processamento de pedidos e entrega de produtos de uma organização, sendo que a principal preocupação que as empresas têm com a distribuição é a disponibilização do produto ao cliente nas quantidades, locais e momentos certos, com a melhor opção de custo para o cliente e de acordo com as exigências do nível de serviço (Buller, 2012).

O transporte de mercadorias move os materiais e produtos entre os vários *players* da cadeia, utilizando diferentes combinações de meios e rotas de transporte, tendo, desta forma, uma grande influência na capacidade de resposta e eficiência de toda a cadeia (Chopra & Meindl, 2010). Apostar em meios de transporte rápidos, permite à cadeia de abastecimento ter uma melhor capacidade de resposta, no entanto reduz a sua eficiência, pois aumenta os custos e reduz a taxa de ocupação dos veículos. O tipo de transporte influencia também as decisões de uma empresa ao nível da política de gestão de

stocks e localização de armazéns (Sanders, 2011), sendo que este tipo de decisão deverá estar de acordo com as necessidades do cliente. Se o cliente valoriza e está disposto a pagar pela rápida entrega e satisfação da encomenda, então a empresa deverá utilizar o transporte como driver para atingir a capacidade de resposta desejável, sendo que o oposto também se aplica (Chopra & Meindl, 2010).

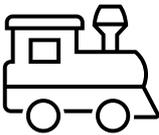
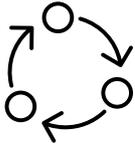
Ballou (1999) considera o transporte uma das atividades chave da logística, tendo como funções constituintes:

- a) Seleção do serviço e modo de transporte;
- b) Consolidação de carga;
- c) Definição de rotas de transporte;
- d) Calendarização de viagens;
- e) Escolha dos equipamentos;
- f) Processamento de ocorrências e reclamações;
- g) Verificação de preços e taxas.

As decisões desta atividade prendem-se com o alcance de modos de transporte adequados e o desenvolvimento de rotas adequadas e calendários de entrega, tendo em consideração as economias de escala, isto é, quanto maior a quantidade transportada de uma só vez, menor será o custo por unidade, e economias de distância, ou seja, quanto maior a distância percorrida de uma só vez, menor será o custo unitário. O desafio para os gestores de transporte resume-se em encontrar um equilíbrio entre estas diversas variáveis, assegurando sempre o cumprimento do nível de serviço ao cliente (Sanders, 2011).

De entre os modos de transporte de mercadorias existentes, podemos destacar quatro grandes grupos: aéreo, ferroviário, marítimo ou rodoviário. O tipo de transporte utilizado para realizar o transporte do produto acabado de uma empresa aos respetivos clientes depende de diversos fatores como é o caso da velocidade, disponibilidade, confiabilidade, capacidade e frequência de utilização (Buller, 2012). A Tabela 1 apresenta uma síntese dos diversos tipos de transporte atualmente.

Tabela 1: Resumo das características dos diferentes tipos de transporte, adaptado de (Chopra & Meindl, 2010)

Tipo de transporte	Descrição	Vantagens	Desvantagens
<p><b>Transporte rodoviário</b></p> 	<p>Transporte realizado por via terrestre, com recurso às redes de estradas disponibilizadas em cada país. Os principais veículos utilizados são os veículos ligeiros e pesados, podendo com menos frequência recorrer-se a motociclos e bicicletas.</p>	<p>⊕ tipo de transporte mais flexível em termos de percursos;                      ⊕ baixos custos fixos, uma vez que as estradas são da responsabilidade do estado;                      ⊕ transporte porta-a-porta.</p>	<p>⊖ custos variáveis moderados (combustível, manutenção);                      ⊖ poluição atmosférica;                      ⊖ elevado número de acidentes;                      ⊖ engarrafamentos.</p>
<p><b>Transporte ferroviário</b></p> 	<p>Transporte realizado por via terrestre, com recurso a linhas férreas. É efetuado através de comboios e carruagens, podendo também recorrer-se a metros e elétricos. Este tipo de transporte é ideal para cargas pesadas e longas distâncias.</p>	<p>⊕ grande capacidade de transporte com baixos custos variáveis;                      ⊕ económico em médias e longas distâncias;                      ⊕ seguro e cómodo;                      ⊕ pouco poluente.</p>	<p>⊖ elevados custos fixos (equipamentos e infraestruturas);                      ⊖ itinerário fixo.</p>
<p><b>Transporte marítimo</b></p> 	<p>Transporte realizado via marítima (navegação por mar) ou fluvial (navegação por rio), com recurso a barcos e navios. Este tipo de transporte é ideal para cargas pesadas e longas distâncias.</p>	<p>⊕ grande capacidade de transporte com baixos custos variáveis;                      ⊕ segurança no transporte de mercadorias;                      ⊕ económico em médias e longas distâncias.</p>	<p>⊖ velocidade de transporte lenta (viagens demoradas);                      ⊖ poluição das águas.</p>
<p><b>Transporte aéreo</b></p> 	<p>Transporte realizado por via aérea, com recurso a aviões e helicópteros. Utilizado preferivelmente para transportar pessoas ou mercadorias urgentes.</p>	<p>⊕ tipo de transporte mais rápido;                      ⊕ seguro e cómodo.</p>	<p>⊖ elevados custos fixos (equipamentos e infraestruturas);                      ⊖ elevados custos variáveis (combustível e manutenção);                      ⊖ poluição sonora e atmosférica;                      ⊖ elevado tráfego aéreo.</p>
<p><b>Transporte intermodal</b></p> 	<p>Trata-se da utilização de mais do que um meio de transporte no transporte de mercadoria e/ou passageiros até ao destino final, tendo em consideração as restrições de cada tipo de transporte, podendo ser necessário recorrer a mais do que um tipo de transporte.</p>	<p>⊕ oferta variada de empresas prestadoras deste tipo de serviço;                      ⊕ possibilidade de combinar diversos tipos de transporte, diminuindo custos e tempos de resposta.</p>	<p>⊖ complexidade da tarefa de combinar os diferentes tipos de transporte.</p>

O transporte de mercadorias é, sem dúvida, um dos temas mais estudados na literatura científica de logística até aos dias de hoje, principalmente pelos altos custos que esta componente costuma gerar em comparação com os custos logísticos totais enfrentados por qualquer tipo de indústria (Bravo & Vidal, 2013). Os custos logísticos são um fator de competitividade crítico para a concorrência internacional. Em Portugal os custos logísticos são maioritariamente mais elevados do que noutros países concorrentes, acentuando o efeito de Portugal como país limítrofe e, por essa razão, afetando a competitividade e atratividade das empresas e produtos do país.

A Figura 2 analisa a percentagem de utilização dos diferentes meios de transporte de mercadorias na União Europeia, isto é, a divisão modal calculada com base no desempenho do transporte, medido em toneladas-quilómetros, dos cinco modos de transporte: rodoviário, ferroviário, marítimo, aéreo e marítimo interior (sem sair do país).

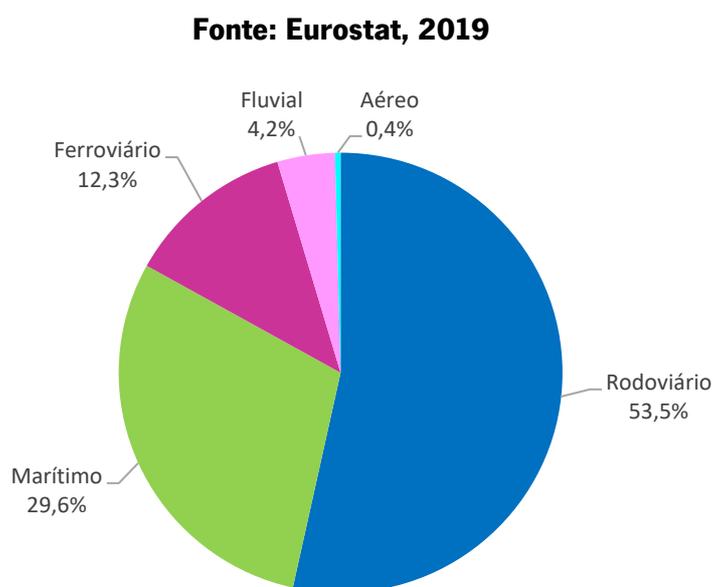


Figura 2: Divisão modal de transporte de carga na UE, 2019 (% em toneladas-quilómetros)

Como é possível constatar, o transporte rodoviário mantém a sua posição de liderança, seguido do transporte marítimo. Em 2019, o transporte rodoviário representou pouco mais de metade de todas as toneladas-quilómetro percorridas na UE (53,4%). O transporte marítimo veio em seguida, com menos de um terço do desempenho total do transporte (29,6%), seguido pelo ferroviário (12,3%) e fluvial (4,2%). Em termos de toneladas-quilómetro transportadas, o transporte aéreo desempenha apenas um papel marginal no transporte de mercadorias intra-UE, com uma percentagem de 0,4%.

O transporte rodoviário continua a ser o meio de transporte de mercadorias mais utilizado na União Europeia, correspondendo a mais de três quartos (76,3%) do total de transporte terrestre de carga no ano de 2019, com base em toneladas-quilómetros percorridos, atingindo desta forma um novo recorde desde 2008 (Eurostat, 2021).

Tendo em consideração que o transporte de mercadorias tem vindo a aumentar, nomeadamente o transporte rodoviário, acompanhando não só a evolução dos mercados como também os recentes confinamentos que dispararam o consumo online e conseqüentemente o número de entregas, torna-se cada vez mais difícil determinar quais os percursos mais curtos e económicos. Existem vários modelos de problemas de roteamento, sendo enunciados os mais estudados de seguida.

## 2.2 *Travelling Salesman Problem*

Um dos problemas de roteamento mais conhecidos e estudados no âmbito da otimização combinatória é o Problema do Caixeiro Viajante, designado na literatura de língua anglo-saxónica por *Travelling Salesman Problem* (TSP).

O Problema do Caixeiro Viajante tem como objetivo determinar uma rota que seja o circuito de menor custo, onde se visite um conjunto de  $n$  cidades, se garanta que todos esses nós sejam visitados e que o sejam apenas uma vez por rota. No final, o percurso percorrido tem de ser o de menor distância/menor custo (Hurkens & Woeginger, 2004).

Neste problema as cidades ou clientes a visitar estão representados num grafo por nodos/vértices e as ligações entre eles são arcos/arestas. Para obter a solução é necessário ter a distância/custo entre todos os vértices desse mesmo grafo. A Figura 3 é um exemplo do problema do caixeiro-viajante com 5 vértices, em que na 2ª sequência é apresentada a resolução do problema.

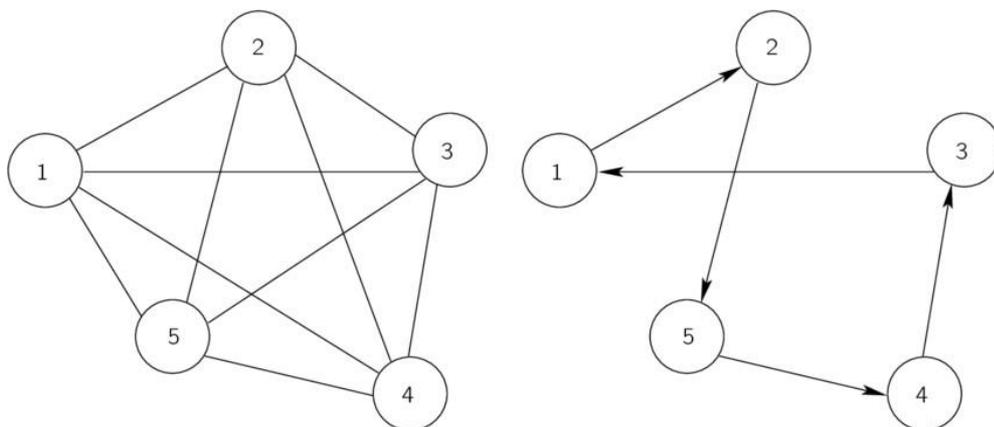


Figura 3: Exemplo de um TSP retirado de Amalia, Luiza & Cantão, Luiza & Stark, Felipe. (2021).

Tratando-se um problema de difícil resolução dada a sua grande complexidade computacional, os métodos para obtenção de soluções no TSP dividem-se entre métodos exatos e métodos aproximados, partilhando o mesmo tipo de abordagens de resolução do VRP, tais como as que são descritas mais abaixo. De facto, o VRP surgiu como uma extensão do TSP, para os casos em que a capacidade dos veículos é limitada, pelo que ambos os problemas estão intimamente relacionados.

### **2.3 *Vehicle Routing Problem***

O Problema do Roteamento de Veículos (VRP) é um problema clássico da otimização, onde há um depósito central onde se concentra a oferta, e um conjunto de clientes cuja procura tem de ser satisfeita (Martins, Frota, & Subramanian, 2012). Como objetivos principais, o processo de roteamento visa proporcionar um serviço de alto nível aos clientes, minimizando simultaneamente os custos operacionais e de capital (Oliveira & Coelho, 2015).

Dantzig & Ramser (1959) foram os primeiros a introduzir *“The Truck Dispatching Problem”*, modelando de que forma uma frota de camiões homogénea poderia satisfazer a procura de petróleo de vários postos de gasolina a partir de um ponto central e com uma distância mínima percorrida. Cinco anos mais tarde, Clarke & Wright (1964) generalizaram este problema para um problema de otimização linear que é frequentemente encontrado no domínio da logística e transporte, e que se caracteriza por determinar como servir um conjunto de clientes, geograficamente difundido na circunvizinhança de um depósito central, utilizando uma frota de camiões com capacidades variadas, tendo este ficado conhecido como *“O Problema de Roteamento de Veículos”*, designado na literatura de língua anglo-saxónica por *“Vehicle Routing Problem”* (VRP), um dos tópicos mais amplamente estudados no campo da Investigação Operacional (Braekers, Ramaekers, & Van Nieuwenhuysse, 2016). Desde então, o tema passou a ser alvo de estudo, tendo sido propostos modelos exatos e heurísticos para a obtenção de soluções a diferentes vertentes do VRP.

Os problemas de roteamento de veículos (VRP) são problemas de planeamento fundamentais nas áreas da logística e transporte, e requerem a determinação do conjunto ótimo de rotas a serem realizadas por uma frota de veículos para satisfazer um determinado conjunto de clientes, sendo um dos mais importantes e estudados problemas de otimização combinatória (Pablo Toth & Vigo, 2002).

Resumidamente, o problema do VRP é definido como um serviço, concedido num dado período de tempo, a um conjunto de clientes por um conjunto de veículos, que estão localizados num ou mais depósitos, executados por um conjunto de motoristas que realizam as suas movimentações através de uma rede de estradas. A solução de um VRP diz respeito à determinação de um conjunto de rotas, cada

uma realizada por um único veículo que inicia e acaba no seu próprio armazém, de maneira que todos os requisitos dos clientes são realizados, todas as restrições operacionais são satisfeitas, e o custo global de transporte é minimizado (Pablo Toth & Vigo, 2002).

O VRP genérico pode ser definido como um grafo direcionado  $G = (V, A)$  onde  $i \in V = \{0, 1, \dots, n\}$  representa o  $i$ -ésimo nó para o cliente se  $i > 0$  ou depósito se  $i = 0$ , e  $a_{ij} \in A, i, j \in V, i \neq j$  representa o arco do nó  $i$  até  $j$ . A procura de mercadorias a serem entregues ao nó  $i$  é  $q_i$ , a janela de tempo de serviço no nó  $i$  começa em  $s_i$  e termina em  $e_i$ . O objetivo do VRP é encontrar um ou vários ciclos Hamiltonianos (um caminho cíclico onde cada vértice é visitado exatamente uma vez) que satisfaçam a procura  $q_i, i \in V$ , sejam servidos por parte ou todos os veículos  $k$ , e com restrições sobre as janelas de tempo de serviço, as capacidades dos veículos, entre outras. O conjunto de ciclos Hamiltonianos será referido como uma solução a seguir (Gao et al., 2020).

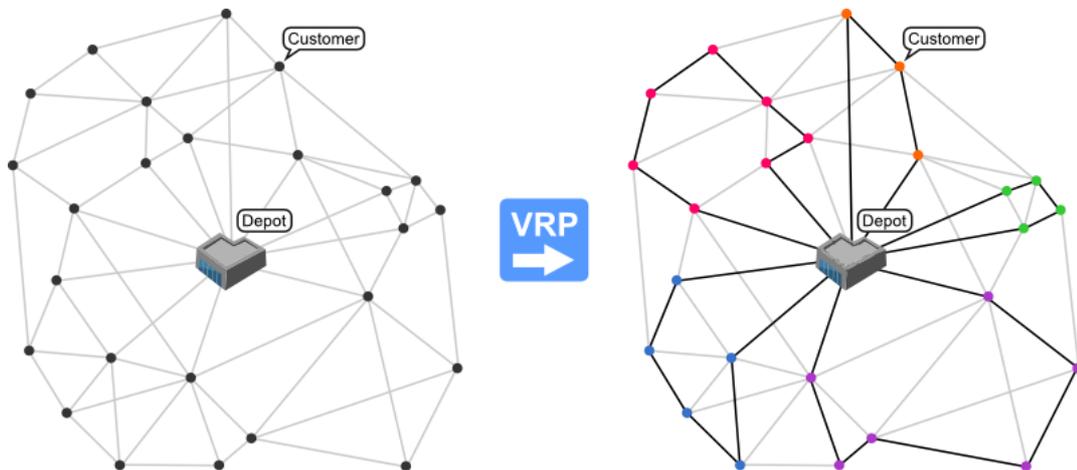


Figura 4: The Vehicle Routing Problem, adaptado de <https://vehicle-routing-problem.github.io/>

Todavia, os modelos VRP atuais são muito diferentes daqueles introduzidos por Dantzig & Ramser (1959) e Clarke & Wright (1964), dado que cada vez mais se procura incorporar as complexidades da vida real, tal como os tempos de viagem dependentes do tempo (refletindo o congestionamento do trânsito), janelas de tempo para a recolha e entrega da mercadoria, e informações de input (como por exemplo, informações sobre a procura) que se alteram dinamicamente ao longo do tempo, sendo que estas características trazem uma complexidade substancial.

Tendo isto em consideração, e dada a grande abrangência deste tipo de problemas, têm sido estudadas diversas variações do VRP, associadas com os vários tipos de restrições que são vulgares na transposição para a prática deste tipo de problemas. Tal como já foi referido, o objetivo primário da solução dos VRP é a redução de custos. No entanto, há outros objetivos que, podendo ser combinados

com este ou não, também são considerados no estudo do VRP, como por exemplo a minimização do número de veículos necessários para servir os clientes, o equilíbrio das rotas em termos de tempo de viagem ou de carga dos veículos, e a minimização das penalizações devidas a atrasos nas entregas (Casal, 2012).

Posto isto, os objetivos do VRP variam e adaptam-se consoante a natureza do problema, dando origem às diversas variantes do VRP, sendo descritas de seguida as mais consideradas ao longo dos anos.

### 2.3.1 *Capacitated VRP*

O VRP clássico, também conhecido como *Capacitated VRP* (CVRP), é a variante mais comum e mais vezes abordada no que se refere ao VRP. O CVRP deriva do VRP sendo que, neste caso, os veículos possuem capacidade limitada. Assim, a procura dos clientes é determinística, ou seja, é conhecida antecipadamente, e a encomenda de cada cliente não pode ser dividida, isto é, só pode ser satisfeita recorrendo apenas e só a um veículo. Deve-se ter em conta uma frota de veículos homogêneos com determinada capacidade e custo, tendo essa frota que partir de um determinado depósito e no final da rota regressar ao mesmo (Pisinger & Ropke, 2007). O objetivo é minimizar o custo total da distribuição, normalmente expresso através da distância percorrida necessária para satisfazer todos os clientes (Liu, Huang, & Ma, 2009).

O CVRP consiste em encontrar um conjunto de circuitos (cada um correspondendo a uma rota de um veículo) com custo mínimo, definido como a soma dos custos dos arcos que pertencem aos circuitos, de maneira que cada circuito visita o depósito apenas uma vez, cada vértice de cliente é visitado apenas por um circuito, e a soma da procura dos vértices visitados por um circuito não excede a capacidade do veículo (Pablo Toth & Vigo, 2002).

Resumidamente, os problemas CVRP têm em conta uma frota ilimitada e homogênea, sendo que a solução final deve determinar qual a menor distância percorrida pela frota e qual a quantidade mínima de veículos que serão necessários para tal, sem nunca ultrapassar a capacidade dos mesmos (Liu et al., 2009).

### 2.3.2 *Heterogeneous Vehicle Routing Problem*

Segundo Liu et al. (2009) existem algumas variantes nos problemas CVRP que consideram a possibilidade de existir frotas heterogêneas, onde existem veículos com capacidade e custo diferente. Uma dessas variantes é a "*Heterogeneous Vehicle Routing Problem*" (HVRP) em que podem existir veículos com diferente capacidade e custo.

A escolha do veículo adequado a ser atribuído a cada rota pode ter um impacto considerável tanto no custo total da solução, como a nível operacional, em que a frota heterogénea é dada, como também a nível estratégico, em que a composição ótima da frota tem que ser determinada (Paolo Toth & Vigo, 2014).

Contudo, no HVRP a frota é limitada, sendo um dos principais objetivos determinar o menor custo tendo em conta os veículos existentes. Esta variante associa-se mais à realidade das empresas, uma vez que estas não possuem frotas ilimitadas. (Liu et al., 2009)

### 2.3.3 *VRP with Time Windows*

O problema de roteamento de veículos com janelas temporais é uma das mais conhecidas variantes do VRP, e trata-se de uma extensão do CVRP que considera a existência de janelas temporais. Quando os clientes apresentam restrições ao nível do horário do seu atendimento, estamos perante um problema do roteamento de veículos com janelas temporais.

Neste caso a cada cliente  $i$  está associado uma janela temporal  $[a_i, b_i]$  com um tempo de serviço  $s_i$ , e o serviço de cada cliente deve começar dentro da janela de tempo associada. No caso de o veículo chegar mais cedo ao local do cliente  $i$ , o procedimento normal é o veículo esperar até atingir a hora estipulada  $a_i$  para efetuar a entrega (Pablo Toth & Vigo, 2002).

A existência de janelas temporais tornam esta variante do VRP muito complexa, visto que caso os clientes definam uma janela temporal muito curta para se efetuar a carga/descarga, originam a que em muitos casos sejam utilizados mais veículos e mais rotas do que o que seria necessário caso não existissem as janelas temporais (Fernandes, 2012). Apesar de as janelas temporais não serem consideradas nas outras variantes do VRP, não significam que não existam, visto que os clientes têm um horário laboral que deverá ser sempre considerado. No entanto, situações como descargas em sítios com limitação horária de circulação de veículos levam a que o VRPTW seja considerado como um problema diferente.

### 2.3.4 *VRP with Backhauls*

No VRPB os clientes são divididos em dois conjuntos, os clientes *linehaul*, a quem são feitas as entregas de mercadorias do depósito central, e os clientes *backhaul*, a quem são feitas as recolhas de mercadorias para serem transportadas para o depósito central (Paolo Toth & Vigo, 2014).

Este problema visa determinar um conjunto de rotas de veículos de modo que cada rota comece e termine no depósito, cada veículo realize exatamente uma rota, e cada cliente é visitado

por exatamente um veículo. Em cada rota, os clientes de *linehaul* são visitados primeiro, seguidos dos clientes de *backhaul*, e para cada rota, a procura total associada aos clientes de *linehaul* e de *backhaul* não excedem a capacidade do veículo. Novamente, o objetivo consiste em minimizar o custo total da viagem, e cada rota deve conter pelo menos um cliente de *linehaul*, pelo que as rotas que contêm apenas clientes de *back-haul* não são permitidas (Paolo Toth & Vigo, 2014).

Neste caso, as recolhas só podem ser realizadas no final da rota de entregas. O VRPB é muito comum em casos em que o material a distribuir não permita a recolha de outros materiais antes da descarrega de toda a carga, ou em situações que a capacidade possa ser excedida com as operações de recolha (Ganesh & Narendran, 2007).

### 2.3.5 *VRP with Pickup and Delivery*

No problema do roteamento de veículos com recolha e entrega, os clientes têm a possibilidade de solicitar um determinado número de pedidos de entrega e recolha, ou ambas as situações (Pisinger & Ropke, 2007). Neste caso, as entregas podem ser realizadas em simultâneo com as recolhas.

O principal objetivo do VRPPD, à semelhança das outras variantes, consiste em obter as rotas que percorram a menor distância, de modo a garantir que os custos no final sejam minimizados e todos os clientes sejam visitados (Pisinger & Ropke, 2007).

Neste problema, os clientes devem ser separados como cliente-entrega, cliente-recolha e cliente-entrega-recolha (Ganesh & Narendran, 2007). Esta variante do VRP, que permite a recolha e entrega de material, surgiu para dar resposta a situações reais e é muito comum em empresas que realizam exclusivamente serviços de transporte, sendo que no dia-a-dia as empresas têm de recolher dos seus clientes, aquando das entregas, mercadorias que sejam para devolução ou que possuam defeitos (Fernandes, 2012).

## 2.4 **Resolução do VRP**

Desde a apresentação do primeiro VRP, muitos algoritmos foram propostos para resolver este tipo de problemas, sendo possível diferenciar entre estes os algoritmos exatos, que procuram apenas a solução ótima, e os algoritmos heurísticos, que procuram soluções aproximadas, trocando a exatidão por outros benefícios posteriormente evidenciados.

#### 2.4.1 Métodos exatos

Os algoritmos exatos levam à obtenção de uma solução ótima, contudo exigem tempos de execução desgastantes e até proibitivos em problemas com alguma dimensão como é o caso do VRP, um problema considerado NP-difícil. De uma forma geral, dizer que um problema de otimização é NP-difícil significa que não é possível garantir que se encontre uma solução ótima para todas as instâncias deste problema em tempo polinomial. Outro ponto negativo deste tipo de método de solução é o facto de este ter limitações quando se pretende modelar os métodos para ajustar melhor às práticas da empresa (Casal, 2012).

Pablo Toth & Vigo (2002) referiram que até então as instâncias maiores com as quais era possível, recorrendo a algoritmos exatos, obter uma solução ótima, eram constituídas por cerca de 50 clientes, sendo que, problemas com instâncias superiores a esta são muito difíceis de resolver otimamente, havendo a possibilidade de obter soluções ótimas, mas exclusivamente em casos particulares.

Dos métodos exatos existentes, os algoritmos mais conhecidos na literatura são *branch and bound* e *branch and cut*.

##### a) Branch and Bound

O algoritmo *branch and bound* (partição e avaliação sucessivas) segundo Spoorendonk, (2008) é conhecido pela pesquisa em árvore com enumeração e limitação. Cada ramo da árvore representa um sub-problema do problema inicial, o problema é dividido sucessivamente em problemas menores (os ramos) e, em cada passo são calculados os limites (inferior e superior) de cada ramo a que a solução tem de obedecer para ser considerada viável. Quando é encontrada uma solução válida melhor que as restantes está-se perante um novo ramo, e esse ramo não sofre mais partições.

##### b) Branch and Cut

O algoritmo *branch and cut* é um método exato de programação inteiro, utilizado inicialmente para obter solução ao problema do caixeiro-viajante. Recorre-se a este método para melhorar o cálculo do limite inferior, sendo que a junção do paradigma da ramificação com os cortes é conhecido como o algoritmo *branch and cut* (Spoorendonk, 2008).

#### 2.4.2 Métodos aproximados

Como o VRP é um problema NP-difícil, algoritmos exatos são eficientes apenas para problemas de pequena dimensão. Heurísticas e meta-heurísticas são frequentemente mais adequadas para aplicações práticas, uma vez que os problemas da vida real são consideravelmente maiores em escala, tendo em consideração que uma empresa pode precisar de fornecer milhares de clientes localizados em dezenas de pontos, com vários veículos e sujeitos a uma variedade de restrições (Braekers et al., 2016). Tendo isto em conta, soluções aproximadas que sejam, por um lado, suficientemente precisas e, por outro lado, encontradas num período de tempo considerado aceitável, são toleráveis e até muitas vezes preferíveis, sendo então invocados para estes casos os métodos aproximados, isto é, as heurísticas (Casal, 2012).

Várias famílias de heurísticas têm sido propostas para o VRP. Estas podem ser amplamente classificadas em duas categorias principais: heurísticas clássicas, desenvolvidas essencialmente entre 1960 e 1990; e as meta-heurísticas, cujo crescimento tem ocorrido ao longo das décadas mais recentes.

Um método heurístico é um algoritmo iterativo, em que a solução obtida tende a aproximar-se da solução ótima. As heurísticas podem dividir-se em heurísticas construtivas, que procuram construir a solução gradualmente consoante os custos a ela associados; em heurísticas de duas fases, onde o problema é decomposto em dois componentes: agrupamento de vértices em rotas viáveis e construção da rota real, podendo haver a repetição destes passos; e dividir-se ainda em heurísticas de melhoria, em que a solução é encontrada através da troca de arestas ou de vértices entre ou dentro de rotas (Laporte, Gendreau, Potvin, & Semet, 2000).

A maioria dos procedimentos padrão de construção e melhoria pertencem às heurísticas clássicas. Estes métodos desempenham uma exploração relativamente limitada do espaço de pesquisa e normalmente produzem soluções de boa qualidade dentro de tempos de computação modestos. Para além disso, a maioria pode ser facilmente ampliado para ter em consideração a diversidade de restrições que surgem em contextos da vida real (Pablo Toth & Vigo, 2002).

As meta-heurísticas são métodos que têm sido desenvolvidos desde o início da década de 1980, com o intuito de resolver problemas de otimização complexos para os quais métodos de otimização e os métodos heurísticos não conseguem ser eficazes e eficientes. A qualidade das soluções produzidas por estes métodos é muito maior do que as obtidas com as heurísticas clássicas, mas o preço a pagar é um maior tempo de computação. Para além disso, os procedimentos são normalmente dependentes do contexto e requerem parâmetros finamente

ajustados, o que poderá fazer com que a sua extensão para outras situações mais difícil. De certa forma, as meta-heurísticas não são mais do que procedimentos de melhoria sofisticados, e podem simplesmente ser vistas como melhorias naturais das heurísticas clássicas. Algumas das meta-heurísticas mais conhecidas na literatura e estudadas são: *ant systems*, *simulated annealing*, *tabu search* e *genetic algorithms*. (Pablo Toth & Vigo, 2002).

Apesar das heurísticas e meta-heurísticas não oferecerem garantia de solução ótima, superam as limitações dos algoritmos exatos e são capazes de encontrar soluções próximas do ótimo num curto espaço de tempo, mesmo para instâncias muito grandes (Drexel, 2012).

Posto isto, e tendo em consideração que os problemas de roteamento de veículos (VRP) são de grande complexidade, o nosso foco neste caso concentra-se na abordagem heurística clássica, sendo descritos seguidamente os modelos mais estudados e de maior relevância para o estudo.

a) *Nearest Neighbour*

A heurística mais natural de resolução do VRP, é a famosa heurística do vizinho mais próximo, desenvolvida no contexto do problema do caixeiro-viajante. Neste algoritmo, a regra é ir sempre ao cliente ainda não visitado que se encontra mais próximo, sujeito às seguintes restrições: parte-se do depósito central, de cada *cluster* é visitado exatamente um vértice (cliente) e a soma de todas as procuras da rota atual não excede a capacidade  $Q$  do veículo. Se a soma de todas as procuras de uma rota exceder a capacidade do veículo, começa-se novamente a partir do depósito central e visita-se o seguinte cliente mais próximo de um *cluster* ainda não visitado. Se todos os clusters forem visitados, o algoritmo termina. O algoritmo do vizinho mais próximo é fácil de implementar e executa rapidamente, mas às vezes pode perder rotas mais curtas, devido à sua natureza gananciosa (Pop, Zelina, Lupse, Sitar, & Chira, 2011).

b) *Clarke and Wright Savings Heuristic*

Este clássico algoritmo construtivo foi publicado em 1964 e baseia-se no conhecido conceito de poupanças ou economias (*savings*). Como método heurístico que é, o "*Clarke and Wright*" não garante uma solução ótima, no entanto oferece frequentemente uma boa solução, ou seja, uma solução com um pequeno desvio da ótima (Lysgaard, 1997).

O conceito de poupanças expressa o custo das poupanças obtido pela junção de duas rotas em uma, conforme apresentado na figura abaixo, sendo que  $O$  representa o depósito e  $i$  e  $j$  representam clientes.

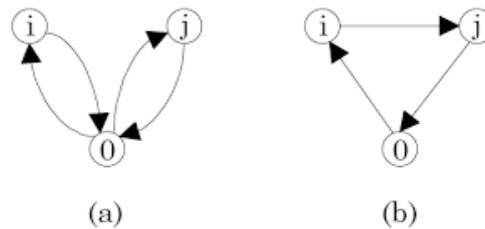


Figura 5: Conceito de poupanças (Lysgaard, 1997)

Analisando a Figura 5, é possível constatar que em (a), os dois clientes  $i$  e  $j$  são visitados em duas rotas separadas partindo do depósito 0, enquanto que em (b), ambos os clientes são visitados numa única rota.

O custo associado ao conjunto de rotas (a) seria:  $Custo(a) = C_{0i} + C_{i0} + C_{0j} + C_{j0}$

O custo associado à rota (b) seria:  $Custo(b) = C_{0i} + C_{ij} + C_{j0}$

Pelo que as poupanças combinadas por fazer apenas a rota (b) seriam:

$Poupança = Custo(a) - Custo(b)$ , isto é,  $S_{ij} = C_{i0} + C_{0j} - C_{ij}$

Este algoritmo simples possui a vantagem de ser intuitivo, fácil de implementar e rápido em termos de processamento, e é frequentemente utilizado para gerar uma solução inicial em algoritmos mais sofisticados (Laporte, Ropke, & Vidal, 2014). Além disso, esta heurística apresenta uma qualidade essencial: robustez, ou seja, capacidade de resolver satisfatoriamente problemas com diferentes restrições, sem degradação sensível na qualidade das soluções e nos tempos de processamento, sendo a falta de flexibilidade apontada como a sua maior falha (Cordeau, Gendreau, Laporte, Potvin, & Semet, 2002).

### c) *Sweep*

Este algoritmo caracteriza-se pela formação de *clusters* (agrupamentos) possíveis, traçando um raio a partir do depósito. Posto isto, é obtida a rota para cada *cluster*, através da resolução de um TSP (caixeiro-viajante). Algumas implementações incluem uma fase pós-otimização, que consiste na permuta de vértices entre *clusters* adjacentes, de forma a verificar se as rotas globais podem ser re-otimizadas. A descrição do algoritmo *Sweep* resume-se aos seguintes passos (Laporte et al., 2000):

1º passo – inicialização da rota: escolher um veículo  $k$  não utilizado.

2º passo – construção da rota: partindo de um vértice não afetado que faz menos ângulo com o depósito, distribuir os vértices ao veículo  $k$  sem que a sua capacidade ou comprimento máximo da rota sejam excedidos. Se no final ainda existirem vértices por afetar, repete-se o passo 1.

3º passo – Otimização da rota: otimizar cada uma das rotas obtidas através da resolução do TSP.

#### d) *Fisher and Jaikumar*

O algoritmo de Fisher e Jaikumar é provavelmente o mais conhecido algoritmo de duas fases *cluster-first, route second*. Ao invés de utilizar um método geométrico para formar os *clusters*, o algoritmo resolve um problema de afetação generalizada (*Generalized Assignment Problem – GAP*), que pode ser facilmente descrito como (Laporte et al., 2000):

1º passo – seleção das sementes: escolher os pontos para iniciar cada *cluster*  $k$ .

2º passo – alocação dos clientes às sementes: calcular o custo de alocar cada cliente  $i$  a cada *cluster*  $k$ .

3º passo – afetação generalizada: resolver um GAP com custos, peso de cada cliente e capacidade do veículo.

4º passo – solução TSP: resolver um problema de caixeiro-viajante (TSP) para cada *cluster* correspondendo à solução do GAP.

O número de rotas  $m$  é fixada à priori na heurística de Fisher e Jaikumar. A partir do momento em que os *clusters* são determinados, os TSP são resolvidos otimamente para que seja possível de se obter o menor custo possível (Laporte et al., 2000).

#### e) *Petal Algorithms*

Os algoritmos *Petal* (designados deste modo pela semelhança que as rotas têm com as pétalas de flores) pertencem ao grupo de métodos de duas fases e fazem parte das heurísticas clássicas de resolução do CVRP. Estes algoritmos são uma extensão natural do algoritmo *Sweep*, produzindo um grande conjunto de sobreposição de *clusters* (e rotas de veículos associadas) e selecionando de entre estes um grupo possível de rotas, que denominam de *petals* (pétalas) (Laporte et al., 2000).

Os algoritmos *Petal* são também particularmente adequados para problemas que contêm restrições, como janelas de tempo, além das restrições de capacidade e duração da rota. A criação

de colunas torna-se então uma metodologia de solução de escolha, especialmente para circunstâncias muito restritas (Laporte et al., 2014).

## **2.5 Sistemas de custeio**

A temática dos custos e dos sistemas de custeio está relacionada com a Contabilidade de Custos, a qual insere-se no campo de análise da Contabilidade de Gestão (Afonso, 2002). Os sistemas de custeio são, na sua essência, um sistema de informação e de suporte à tomada de decisão, e têm de estar baseados no conhecimento dos processos de produção e de negócio que caracterizam a empresa. A contabilidade de custos terá de contar cada vez mais com a contribuição de engenheiros ou gestores de produção e operações. De facto, quem calcula custos nas empresas com maior rigor são, na maior parte dos casos, profissionais ao nível da engenharia e da produção, visto serem estes os que melhor dominam o processo produtivo, conhecendo as suas características e especificidades (Afonso, 2002) e acompanham todo o processo produtivo, podendo ter influência nos custos e na direção que estes tomam (Coelho, 2011).

O controlo de custos complementa a contabilidade de custos, sendo que esta última corresponde à forma de conhecer os custos de produção de um bem ou serviço, e o controlo de custos já se preocupa com os meios disponíveis para otimizar os processos e reduzir de forma sustentada os custos. O controlo de custos surge como uma ferramenta para ajudar as empresas a definir e assegurar que estão a tomar as melhores decisões (Ribeiro, 2018). Desta forma, a contabilidade de custos, é cada vez mais uma engenharia de custos que permite conciliar as características da empresa ou dos processos estudados com os objetivos pretendidos (Afonso, 2002).

Um sistema de custeio tem cinco elementos básicos (Perčević & Hladika, 2016):

> **Objetos de custo** – qualquer coisa para a qual uma medida de custo é desejada. Normalmente, os objetos de custo são produtos ou serviços que determinada empresa fabrica ou fornece.

**Custos diretos de um objeto de custo** – são custos que podem ser atribuídos a um determinado produto ou serviço.

> **Custos indiretos de um objeto de custo** – são custos que não podem ser atribuídos apenas a um determinado produto ou serviço. Os custos indiretos precisam de ser alocados ou imputados aos objetos de custo utilizando um método de alocação adequado e recorrendo a bases de imputação ou indutores de custo apropriados.

> Centros de custos – conjunto homogéneo de custos indiretos a imputar aos objetos de custo. Os centros de custos são formados quando a empresa utiliza múltiplas bases de alocação de custos. No sistema *Activity-Based Costing* (ABC), os centros de custos são atividades às quais os custos indiretos são atribuídos.

> Base de alocação de custos – fator que vincula de forma sistemática um custo indireto (ou um grupo de custos indiretos) a um determinado objeto de custo específico.

## **2.6 Sistemas de custeio tradicionais**

Durante o século XIX, e de forma a apoiar a tomada de decisão de planeamento e controlo, surge a contabilidade de gestão nos setores têxtil, caminhos-de-ferro, indústria de metais e a distribuição de retalho, tornando-se num sistema de grande utilidade capaz de fornecer informação mais atempada e precisa para o controlo de custos, produtividade e melhoria dos processos produtivos. O seu surgimento adveio da necessidade das empresas monitorizarem e avaliarem os outputs dos seus processos internos. A atividade económica das empresas das indústrias referidas centrava-se na transformação dos recursos em produtos e serviços, e nesse contexto, o sistema de custeio utilizado era o sistema tradicional, baseado no volume (Johnson & Kaplan, 1987).

Ao alocar custos a produtos, o sistema tradicional de custos segue uma estrutura básica. Custos de produção diretos, como custos de material e de mão de obra direta, são atribuídos diretamente aos produtos. Custos indiretos de despesas gerais são alocados aos produtos com base numa taxa de despesas gerais de toda a empresa ou taxas de despesas gerais de vários departamentos. Custos com vendas, administrativos e gerais são classificados como custos do período e são excluídos dos custos do produto, apesar de alguns serem consumidos pelos produtos (Garrison, Noreen, & Brewer, 2012). Os custos não industriais não podem ser rateados depois pelos produtos acrescentando-se ao custo de produção apurado num primeiro momento.

O custo (de produção) do produto consiste na soma dos custos de material direto, mão-de-obra direta, e as despesas gerais de fabrico (Barros & Simões, 2014). Num sistema de custeio baseado no volume, os custos indiretos são imputados aos produtos, partindo do princípio de que cada produto consome recursos numa proporção direta do seu volume de produção, como o número de horas de trabalho direto, máquinas ou unidades produzidas (Afonso, 2002). Desta forma, a alocação de custos resultante está muito longe da precisão (Huang, 2018).

Tendo em consideração que os sistemas de custeio tradicionais surgiram em ambientes onde imperava a utilização da mão-de-obra direta e do custo dos materiais ser significativo, este método

acabava por se traduzir numa sobrecarga dos custos dos departamentos produtivos, e como consequência, pouca atenção era prestada no que diz respeito à atribuição de custos aos departamentos de suporte (Afonso, 2002).

Esta contabilidade de custos tradicional, que utiliza principalmente um único indutor (base de imputação ou *driver*) de custos, tal como a mão-de-obra direta ou o volume de produção para alocar os custos indiretos, distorce sistematicamente os custos do produto em ambientes modernos de produção e serviços, nos quais os custos indiretos são uma parte significativa dos custos do produto. Consequentemente, informações incorretas sobre o custo do produto podem levar a decisões erradas (Pingxin, Fei, Dinghua, & Lin, 2010).

Com o crescimento dos custos que não estavam diretamente ligados ao volume, tais como o aumento do suporte por parte da equipa de engenharia nos processos produtivos, tempos de *setup* mais longos e vendas mais dispendiosas, foram se ultrapassando os limites deste sistema tradicional. Os custos indiretos tornaram-se tão significativos, que não os imputar corretamente aos produtos revelou-se um problema, difícil de ignorar do ponto de vista financeiro (Afonso, 2002).

Posto isto, o sistema de custeio tradicional permite algum planeamento e controlo financeiro, sendo um sistema fácil de planear e implementar, no entanto, apesar da sua simplicidade, apresenta várias limitações. Este sistema acaba por não medir corretamente o custo dos recursos utilizados para conceber, produzir e comercializar os produtos, e não está preparado para prestar informação relevante para a tomada de decisão (R. Cooper & Kaplan, 1992).

Para além das limitações do sistema tradicional, o crescimento da competitividade nos mercados e da complexidade dos processos de produção e da tecnologia utilizada, implicaram a necessidade de desenvolvimento de novos sistemas de custo. Dado que as organizações necessitam de ter acesso a informação precisa e correta acerca do custo dos produtos e serviços, é evidente que os sistemas de custo tradicionais não são suficientemente eficazes e eficientes dada a sua natureza simplista (Kowsari, 2013).

## **2.7 Activity Based Costing**

À medida que as organizações se foram tornando mais competitivas e flexíveis ao longo das últimas décadas, compelidas a adequar-se aos novos contextos de mercado, os sistemas de custeio tradicionais tornaram-se inadequados, e diante disso, novos sistemas começaram a surgir (Pagano, 2016).

Para colmatar as deficiências do sistema de custeio tradicional, o sistema de custeio baseado em atividades (ABC) foi introduzido, como resultado do reconhecimento da diversidade dos custos indiretos numa empresa e da forma simplista como estes eram tratados nos sistemas de custeio tradicionais. Tal como já foi referido, nos sistemas de custeio tradicionais imputam-se os custos indiretos aos produtos através de bases únicas de imputação, geralmente de volume, como por exemplo as quantidades vendidas ou as horas trabalhadas. Contudo, os custos indiretos são de natureza muito heterogénea, sendo partilhados por mais de um produto e resultado de vários processos, pelo que não devem ser linearmente atribuídos aos diferentes produtos, serviços e demais objetos de custo. Posto isto, esta abordagem surge em resposta à necessidade do setor da produção de enfrentar a insatisfação com o uso do sistema de custeio tradicional, dado que a abordagem tradicional se torna desadequada no ambiente de produção moderno (Sarokolaei, Saviz, Moradloo, & Dahaj, 2013).

Inicialmente, o sistema ABC foi concebido para gerar informação de apoio ao cálculo do custo dos produtos e para melhorar a precisão ao nível do custeio do produto, no entanto, ao assumir-se como um modelo alargado de custeio, passou também a desempenhar funções ao nível da decisão estratégica (Afonso, 2002). Posto isto, o ABC foi-se ajustando às exigências do mercado, e enquanto numa fase inicial existia essencialmente a preocupação em melhorar o apuramento dos custos dos produtos e serviços, essa preocupação passou a recair sobre as atividades e os seus custos, passando de um instrumento de cálculo para um instrumento de auxílio na tomada de decisão e na compreensão da origem dos custos nas organizações (Teixeira, 2011).

Desta forma, o sistema ABC assume um papel importante enquanto fornecedor de informação útil para quem gere o processo produtivo. Este foca-se nas atividades que compõem o processo de fabrico, considerando que as atividades envolvidas nos processos são os primeiros responsáveis pelos custos. Os custos são atribuídos aos produtos a partir das atividades, com base no consumo dessas mesmas atividades durante o processo produtivo (Afonso, 2002).

A alocação dos custos indiretos aos produtos e/ou serviços difere dos sistemas tradicionais na medida em que o ABC assume que os objetos de custo criam a necessidade de atividades, e atividades criam a necessidade de recursos (Baykasoğlu & Kaplanoğlu, 2008). Isto significa que a principal premissa do sistema ABC é: os produtos requerem atividades, as atividades consomem recursos, e os recursos custam dinheiro (Afonso & Santana, 2016) Quer isto dizer que o princípio basilar subjacente a este sistema é que são as atividades que causam custos, e não os produtos. Estes somente consomem as atividades necessárias para a sua produção. Por conseguinte, há que fazer corresponder essas atividades ao produto ou serviço apropriado (Barros & Simões, 2014).

Assim sendo, este sistema de custeio caracteriza-se pela acumulação dos custos indiretos, provenientes dos recursos da organização, nas atividades, seguindo-se a aplicação dos custos das atividades aos objetos de custo (produtos, serviços, encomendas, entre outros) através de indicadores de consumo (*cost drivers*) (Major, 2007). Ou seja, este método de custeio atribui em primeiro lugar os custos indiretos às atividades e depois aos produtos, encomendas ou clientes, com base no consumo das diferentes atividades (R. Kaplan & Cooper, 1998). Posto isto, o custo do produto é igual ao custo dos materiais mais a soma do custo de todas as atividades requeridas para produzir esse produto.

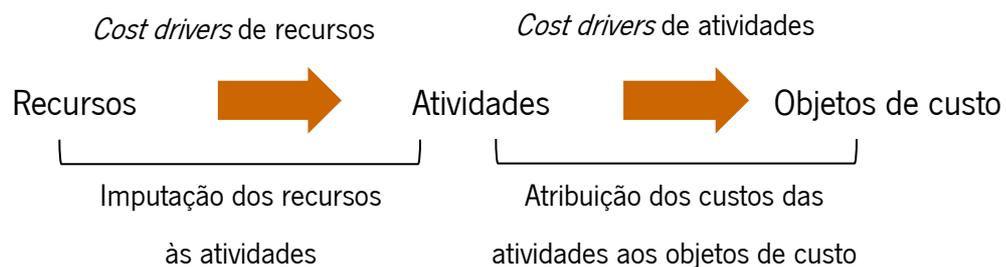


Figura 6: Estrutura do sistema ABC, adaptado de (Barros & Simões, 2014)

Depreende-se que numa primeira etapa, os custos com os recursos consumidos são imputados às diversas atividades desenvolvidas na organização, e para isso são utilizados os indicadores de consumo de recursos para proceder à distribuição dos custos consumidos por mais do que uma atividade. Desta forma, as atividades são o primeiro objeto de cálculo dos custos. Posteriormente, os custos com atividades são atribuídos aos objetos de custo em função do seu consumo, sendo que esta imputação é feita com recurso a indicadores de consumo de atividades (Major, 2007).

Ainda assim, apesar deste sistema se tratar de um modelo simples e aparentemente eficaz, foi alvo de algumas críticas na medida em que se provou ser de difícil implementação e utilização na prática. O alto investimento para implementação do modelo, a complexidade para o manter a funcionar, e a dificuldade para o modificar ou adaptar quando necessário, são algumas das limitações reconhecidas (R. S. Kaplan & Anderson, 2004).

Comparativamente aos sistemas de custeio tradicionais, é notório que o ABC é um método que requer, consideravelmente, mais dados para ser implementado graças à complexidade intrínseca das próprias atividades das organizações (Barros & Simões, 2014). Para além disso, o facto do ABC se basear na utilização de questionários aos colaboradores da empresa como forma de averiguar o tempo despendido destes, entre as várias atividades, constitui outra desvantagem deste sistema (R. S. Kaplan

& Anderson, 2004). Estes questionários submetidos numa base mensal, antes de se processar e calcular o custo dos produtos eram uma tarefa árdua (Stout & Propri, 2011).

Em suma, o ABC é apontado como um método dispendioso, de aplicação demorada, complexo de manter e sobretudo fracassava em captar a complexidade das operações quotidianas (R. S. Kaplan & Anderson, 2004). Deste modo, Kaplan e Anderson apresentaram-nos um novo método, que procura minimizar o impacto das dificuldades anteriormente descritas.

## **2.8 Time-Driven Activity Based Costing**

A gestão de custos tem vindo a evoluir de uma abordagem tradicional focada principalmente na alocação de custos indiretos aos produtos para uma análise mais completa da estrutura de custos da organização e gestão estratégica de custos.

Tendo em conta as limitações do modelo ABC, surge o *Time-Driven ABC* (TDABC) como uma metodologia mais transparente, escalável, fácil de implementar e atualizar, permitindo aos gestores obter informações importantes sobre custos e rentabilidade, de forma rápida e económica. É apresentado como um sistema mais simples e acessível comparativamente à abordagem ABC tradicional, simplificando o processo de custeio e eliminando a necessidade de pesquisas e entrevistas como no caso do ABC (R. S. Kaplan & Anderson, 2007).

O TDABC é um modelo refinado que tem uma maior capacidade de incorporar a heterogeneidade dos processos e alocar taxas de consumo de recursos mais precisas aos objetos de custo. De acordo com este sistema, os esforços de entrevistar regularmente os funcionários e a estimativa ambígua da percentagem de tempo dedicado a uma atividade individual no ABC são substituídos pela estimativa de dois parâmetros: a estimativa de tempo necessário para realizar cada atividade e a estimativa de custos e capacidades aplicadas em cada departamento. A estimativa de tempo é expressa numa equação de tempo, tendo em consideração as diferentes taxas de consumo para a mesma atividade em contextos diferentes (R. S. Kaplan & Anderson, 2004).

No geral, é possível afirmar que o sistema TDABC faz a alocação dos custos aos objetos de custo com base em unidades de tempo consumidas pelas atividades. O tempo é visto como um *cost driver* primário para a alocação de custos aos objetos de custo, uma vez que a maioria dos recursos, como mão-de-obra, equipamento e instalações possuem capacidades que podem ser mensuradas em termos de tempo (Barros & Simões, 2014)

Este método identifica a capacidade de cada departamento ou processo e aloca o custo desta capacidade de grupos de recursos sobre o objeto de custo com base no tempo necessário para realizar

uma atividade. Se a procura de trabalho nestes departamentos ou processos diminuir, o sistema TDABC consegue estimar a quantidade de recursos que passaram a estar disponíveis. Este, captura as diferentes características de uma atividade através de equações de tempo em que o tempo consumido por uma atividade é função de diferentes características. Esta equação atribui o tempo e o custo da atividade ao objeto de custo, baseando-se nas características de cada objeto (Kowsari, 2013).

Posto isto, o sistema TDABC é apresentado sob a forma de equações de tempo que refletem os custos dos diferentes objetos de custo tendo em consideração as particularidades de consumo de cada atividade por cada produto em particular, assumindo um tempo padrão de execução da atividade, mais um tempo incremental para a realização de atividades adicionais. Desta forma, é um modelo que atribui custos de recursos diretamente a objetos de custo (R. S. Kaplan & Anderson, 2007).

### 2.8.1 Formulação da equação de tempo

Matematicamente, o TDABC pode ser explicado utilizando equações de tempo (Bruggeman, Everaert, Anderson, & Levant, 2005). Numa equação de tempo, o tempo consumido pelo evento na atividade pode ser expresso em função de diferentes características chamadas drivers de tempo. A equação de tempo geral necessária para o evento E da atividade A com p de possibilidade é dada por:

$$t_{E,A} = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_p X_p$$

$t_{E,A}$  – tempo requerido para executar o evento E em termos de atividade A

$\beta_0$  – quantidade constante de tempo para a atividade A

$\beta_1$  – tempo consumido por unidade de indutor de tempo 1

$X_1$  – indutor de tempo 1

$X_p$  – indutor de tempo p

p – número de indutores necessários para realizar a atividade A

Converter um modelo ABC num modelo TDABC pode ser um processo relativamente simples. As relações entre os centros de custo de recursos, atividades e objetos de custo identificados num modelo ABC podem ser adotadas num modelo TDABC através dos “grupos de recursos”, e utilizando múltiplos indutores baseados no tempo para alocar os custos aos objetos de custo ou, eventualmente, utilizando um único indutor baseado no tempo se houver complexidades na coleta de dados (Afonso & Santana, 2016).

Tabela 2 - ABC versus TDABC, adaptado de Everaert, Bruggeman, Sarens, Anderson, & Levant (2008)

*Activity-Based Costing*

1º passo	Identificar as diferentes atividades gerais
2º passo	Atribuir os custos indiretos às diferentes atividades utilizando um indutor de recursos
3º passo	Identificar o indutor de atividade para cada atividade
4º passo	Determinar a taxa do indutor de atividade dividindo os custos totais da atividade pelo volume prático do indutor de atividade
5º passo	Multiplicar a taxa do driver de atividade pelo consumo do indutor de atividade para atribuir custos às encomendas, produtos ou clientes

*Time-Driven Activity-Based Costing*

1º passo	Identificar os vários grupos de recursos (departamentos)
2º passo	Estimar o custo total de cada grupo de recursos
3º passo	Estimar a capacidade prática de cada grupo de recursos
4º passo	Calcular o custo unitário de cada grupo de recursos dividindo o custo total do grupo de recursos pela capacidade prática
5º passo	Determinar a estimativa de tempo para cada evento, com base na equação para a atividade e as características do evento
6º passo	Multiplicar o custo unitário de cada grupo de recursos pela estimativa de tempo para o evento

O principal desenvolvimento do TDABC está na estimativa do tempo. O tempo de realização de uma atividade é estimado para cada caso específico, com base nas diferentes características da atividade em particular. Essas características são chamadas de “*time-drivers*”, porque “direcionam” o tempo gasto numa determinada atividade, sendo que as equações de tempo modelam como os *time-drivers* conduzem o tempo gasto na atividade. Em ambientes complexos, em que o tempo necessário para realizar uma atividade é direcionado por muitos *drivers* ou indutores, o TDABC pode incluir vários *drivers* em cada atividade (Everaert et al., 2008).

Através da inclusão de múltiplos indutores ou *drivers* de tempo, atividades complexas podem ser modeladas sem ser necessário expandir o número de atividades (R. S. Kaplan & Anderson, 2004). Desta forma, o TDABC aparenta oferecer várias oportunidades para projetar modelos de custo em ambientes

com atividades complexas, como o caso das empresas de logística e distribuição, hospitais, e empresas de prestação de serviços em geral (Everaert et al., 2008).

### 2.8.2 TDABC aplicado à logística

Os métodos tradicionais de contabilidade de custos ignoram alguns fatores que afetam a contabilidade dos custos indiretos, tais como a diversidade dos negócios das empresas de transporte, a complexidade dos processos e as mudanças nos requisitos do cliente, o que torna mais difícil fazer uma melhor gestão dos custos (R. S. Kaplan & Anderson, 2007).

No *report* da lucratividade de produtos e de clientes, os sistemas de custeio tradicionais tratam os custos logísticos como custos indiretos e alocam esses custos aos produtos/clientes com base em indicadores de volume, como por exemplo as horas de mão-de-obra direta, unidades vendidas ou volume de faturação (Robin Cooper & Kaplan, 1988). Utilizando regras de alocação baseadas em volume no cálculo dos custos logísticos pode levar à distorção dos custos e, conseqüentemente, da lucratividade. A gama cada vez maior de produtos e serviços oferecidos e a ampla variedade de clientes dificultam cada vez mais a modelação dos custos logísticos (Norek & Pohlen, 2001).

O método de custeio baseado em atividades (ABC) é um método de alocação de custos que aloca custos indiretos às atividades correspondentes com base na quantidade do fator trabalho, que pode ser o número de horas de trabalho ou o custo de operação, refinando o padrão de alocação de custos do produto. Este método aumenta a precisão do cálculo de custo, considerando a quantidade de recursos consumidos pela atividade vinculando o custo à quantidade de fator trabalho (Robin Cooper & Kaplan, 1988).

As informações de custo podem ser utilizadas para auxiliar na tomada de decisões estratégicas, como a melhoria de processos, redução de custos, inovação na orçamentação, ou avaliação de *outsourcing* (R. S. Kaplan & Anderson, 2007). Yan e Peng construíram um modelo básico baseado no custeio baseado em atividades, combinando custos logísticos com custos baseados em atividades, o que torna a logística mais ágil. A pesquisa comprovou a eficácia e precisão do controle de custos logísticos pelo método ABC, fornecendo uma base e suporte mais eficazes para a empresa tomar decisões (Yan & Peng, 2016). Fang aplicou o ABC à contabilidade de custos de construção, auxiliando os gestores a determinar a variação do custo dos materiais dos fornecedores aos componentes pré-fabricados de construção, e forneceu ao pessoal de gestão suporte de dados para os custos de construção (Fang & Ng, 2011).

Ao longo de mais de duas décadas, muitas empresas desenvolveram com sucesso sistemas de custeio baseados em atividades (ABC) para atividades de logística. O ABC liga diretamente os custos de execução das atividades aos produtos, clientes ou canais de distribuição. Estas ligações são geralmente desconhecidas antecipadamente, e devem ser identificadas ao nível das atividades individuais nos diferentes departamentos (R. Kaplan & Cooper, 1998). No entanto, em ambientes muito complexos e dinâmicos, várias empresas abandonaram o custeio baseado em atividades, uma vez que este falhava frequentemente na compreensão da complexidade das operações reais, demorava muito tempo para ser implementado e era muito dispendioso para construir e manter (R. S. Kaplan & Anderson, 2004). Para resolver esses problemas, Kaplan e Anderson introduziram o conceito de custeio baseado em atividades orientado pelo tempo. O ABC orientado pelo tempo (TDABC) fornece a capacidade de identificar e reportar atividades complexas e especializadas de uma maneira simples, utilizando equações de tempo que podem incluir múltiplos *drivers* (Bruggeman et al., 2005).

Embora o custeio baseado em atividades seja preciso na contabilidade de custos e possa tornar o custo do produto mais competitivo, a implementação do custeio baseado em atividades é relativamente complicada. Apenas um pequeno número de empresas do mercado utiliza o ABC, e algumas delas não têm o sistema totalmente implementado. Isto deve-se ao facto do sistema de custeio ABC tradicional ser caro, difícil de usar e de manter, e não é fácil para a empresa modificá-lo de acordo as condições reais (Gosselin, 2007).

O TDABC é um método simplificado baseado no método ABC. Este evita os inconvenientes do método ABC e é amplamente implementado em vários setores, como a indústria médica e o setor da educação. Defourny et al., (2019) aplicou o TDABC ao campo da saúde, onde os custos dos recursos são alocados ao currículo do tratamento por meio das atividades realizadas, o que reduz substancialmente o custo da radioterapia. Jeong & Ahn, (2015) compararam cuidadosamente o custeio tradicional, o custeio baseado em atividades (ABC) e o ABC orientado pelo tempo (TDABC) em logística, provando que o TDABC é o mais útil e eficaz deles. Somapa, Cools, & Dullaert, (2012) estudaram a possibilidade de pequenas empresas de logística implementarem o TDABC. Por causa do alto custo do ABC, ele torna o ABC pouco propício para a implantação da empresa. O TDABC supera essas deficiências do ABC. Portanto, a implementação do TDABC é benéfica para melhorar a eficiência de logística em empresas de pequena dimensão.

Tal como já foi referido, as empresas que trabalham em logística enfrentam cada vez mais concorrência e desafios com a evolução tecnológica e o mercado global atual, tornando-se necessário que os processos logísticos se tornem cada vez mais sofisticados. O TDABC é o modelo mais indicado

para empresas com uma operação logística considerável, como é o caso, por exemplo, dos hospitais, em que dificilmente o modelo ABC consegue modelar toda a complexidade das operações e apresenta elevados custos de manutenção, ou para empresas que operam com armazém e transporte. A aplicação do modelo TDABC possibilita a identificação de operações especiais e complexas de uma maneira simples, recorrendo a uma equação de tempo para o efeito. Este modelo necessita então de ver cumpridos dois parâmetros: o custo unitário da capacidade fornecida, e o tempo necessário para realizar a atividade.

Resumidamente, o reitera-se a ideia de que o TDABC pode ser, por si só, um modelo de custos poderoso. As vantagens da sua aplicação têm vindo a ser comprovadas ao longo dos últimos anos em áreas tão diversas como a distribuição e o retalho (R. S. Kaplan & Anderson, 2007), os serviços (Choi, 2015), a indústria farmacêutica (Lourenço, 2013), e a gestão de catálogos de biblioteca (Siguenza-Guzman, den Abbeele, & Cattrysse, 2014).

### 3. ESTUDO DE CASO

#### 3.1 A Transpousada Transportes

A empresa Transpousada – Transportes, Lda foi fundada em 1999 pelo seu sócio-gerente, Abílio Martins Antunes, sendo um negócio familiar que tem como principal atividade o transporte de mercadorias. A sede da empresa onde funcionam os serviços administrativos está localizada no concelho de Braga, possuindo um complexo industrial próprio, composto por um armazém de 1 piso, com uma área total de 3,500 m<sup>2</sup> e uma área exterior de 1,100 m<sup>2</sup>.

Atualmente, a empresa emprega 24 trabalhadores e detém à presente data uma frota de 20 camiões semirreboques, tendo previsões de renovar a frota através do mecanismo de *renting* com o objetivo de alcançar os 35 veículos num prazo de 3 a 5 anos, o que representa uma expansão para 175%. Todo o tipo de manutenção e reparação de veículos é efetuada nas instalações da empresa pela equipa interna de conservação e manutenção de equipamentos.

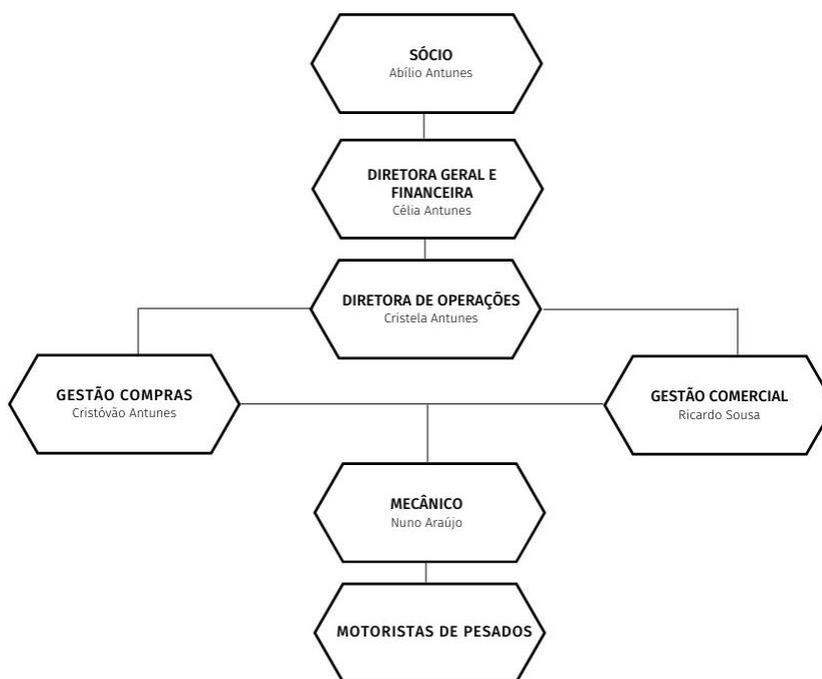


Figura 7: Organograma da Transpousada Transportes

A atividade da empresa centra-se no transporte internacional de mercadorias na Europa, e opera principalmente em países como França, Alemanha, Espanha, Luxemburgo, Bélgica e Holanda, exportando aproximadamente 50% dos seus serviços. O volume de faturação ascendeu aos 2.565.000€ no ano de 2019.

É de notar que este setor de atividade tem sofrido grandes desafios a nível económico, verificando-se dificuldades significativas a nível financeiro nestas empresas. A empresa objeto em estudo, conhece bem estas dificuldades, e atualmente tenta reunir todos os esforços para garantir a sua sobrevivência. Neste sentido, acentua-se a necessidade de praticar uma melhor gestão dos custos, de modo a poder afirmar-se no mercado e resistir às pressões sentidas no seio económico.

### 3.1.1 Caracterização da frota

A frota da Transpousada Transportes é maioritariamente homogénea tendo em consideração que 20 das 21 viaturas da frota são compostas por camiões-TIR semi-reboque, com capacidade de carga útil de 25 toneladas, ou seja, capacidade de 33 europaletes, sendo que o seu interior útil tem 13.6m de comprimento, 2.44m de largura e 2.75m de altura. Para além disso, possuem 1 carrinha IVECO de médias dimensões para transportes esporádicos de mercadorias dos clientes para o armazém.



Figura 8: Camião-TIR Transpousada



Figura 9: Carrinha IVECO

### 3.1.2 Serviços prestados

Os serviços de transporte prestados têm diferentes modalidades consoante a procura disponível, sendo que podem ser feitos por:

- > Carga completa – o camião está preenchido com mercadoria de um único cliente, podendo ter um ou mais destinos;
- > Grupagem – atividade de valor acrescentado, em que o camião está preenchido com mercadorias de vários clientes, com destinos diferentes, minimizando o custo de transporte;

> Serviço dedicado – baseia-se na integração da carga de um só cliente que possui diversos destinatários, emitindo assim também diversos documentos e guias de transporte independentes para cada um.

### 3.1.3 Tipologia de clientes

A tipologia de clientes da empresa segmentam-se em três tipos:

> Clientes diretos – os que se encontram em contacto direto com o transportador, fazendo os acordos relativos às condições de transporte, permitindo à empresa o conhecimento das suas necessidades;

> Transportadores – um concorrente que angaria cargas que a sua frota não é capaz de transportar e, no sentido de não colocar o seu nome em causa, recorre a outra transportadora com capacidade superior e qualidade idêntica ou superior;

> Transitários – representam um intermediário de informação entre clientes e empresas.

### 3.1.4 Estrutura de custos

Os tipos de custos existentes podem ser apresentados como custos fixos ou variáveis, custos diretos e indiretos. Entenda-se por custos variáveis aqueles que variam diretamente com o volume de produção, enquanto os custos fixos não variam de acordo com a quantidade produzida/vendida. Por sua vez, os custos diretos representam os recursos utilizados na produção e que se podem atribuir facilmente a cada unidade produzida como os custos com matéria-prima ou mão de obra, enquanto os custos indiretos se referem a gastos cujo consumo não é possível quantificar por unidades produzidas, sendo então utilizadas estimativas e aproximações para alocar o custo aos objetos de custo.

No caso da Transpousada Transportes, sendo uma empresa do ramo de transporte de mercadorias, os principais grandes grupos de custos dividem-se pelos custos de manutenção dos veículos, custos de combustível, custos de taxas e portagens impostas por cada país em que se circula e, finalmente, os custos relativos à mão de obra.

Os custos fixos dizem respeito às instalações, equipamentos, seguros, e custos com recursos humanos, sendo que estes custos se mantêm constantes e têm de ser suportados mesmo que a empresa não preste um único serviço.

Os custos variáveis, são custos que variam com o nível de prestação de serviços, como os custos do combustível, os custos da manutenção dos equipamentos, dos consumíveis, e ainda custos específicos com recursos humanos, sendo que por definição, estes custos têm valor zero quando o valor dos serviços prestados é zero.

### 3.1.5 Problemas identificados

Numa transportadora, a correta programação de rotas significa, além de vantagem económica, vantagem competitiva. De entre os fatores que devem ser considerados quando se está a fazer uma programação de rotas salientam-se: a hora de entrega, a prioridade, a qualidade, as horas de condução, a distância, o número de entregas a fazer, o tempo de carga e descarga e a velocidade. Esta programação pode tornar-se bastante complexa dependendo do número de fatores e variáveis que envolve, daí as empresas se poderem fazer valer, por vezes de diversas tecnologias e ferramentas (Drexl, 2012).

Neste contexto, foi possível identificar que os principais problemas da empresa estão relacionados com o facto de não possuírem qualquer *software* no auxílio da programação das rotas e da distribuição das cargas, o que tem um impacto direto nos custos da empresa, tendo em consideração que a capacidade dos veículos é mal aproveitada e há um excesso de quilómetros percorridos e consequente desgaste dos veículos. Para além disso, a falta de rigor na determinação do custo dos serviços prestados, bem como na identificação das flutuações no mesmo, resulta na falta de compreensão quando os resultados globais se traduzem em prejuízo.

Estes problemas acarretam inconvenientes e desperdícios para a empresa, e levam à insatisfação dos clientes. Posto isto, pretende-se propor à Transpousada Transportes a resolução destes problemas, minimizando o impacto dos mesmos nos resultados da empresa. Com a otimização da programação de rotas, bem como a implementação do modelo de custeio, tenciona-se um melhor controlo e conhecimento da estrutura de custos da empresa, para um melhor domínio dos mesmos.

A pesquisa foi limitada no que diz respeito ao horizonte temporal e área de negócio, sendo estudadas quatro semanas de trabalho da empresa com um cliente específico na modalidade de exportação, para uma melhor identificação e compreensão dos modelos e da viabilidade da sua execução. Esta restrição permitiu uma análise dos dados mais rigorosa, sendo esse o propósito primário e principal da empresa no momento. O objetivo passa por colocar em prática posteriormente aos restantes serviços prestados pela empresa, bem como aos restantes clientes, conforme a sua utilidade e o sucesso da sua aplicação.

## 3.2 Modelação do caso de estudo em *MATLAB*

No presente caso de estudo, identificou-se a necessidade de otimização de rotas e afetação de cargas, a fim de obter percursos mais vantajosos a nível de quilómetros percorridos, taxa de ocupação do camião, e consequentemente mais interessante a nível financeiro para a empresa. Para tal, recorreu-se a um software capaz de auxiliar no fornecimento de uma solução para o problema identificado.

Neste capítulo é apresentado todo o estudo realizado para a obtenção de rotas, que foi feito com recurso a um *software* de otimização, o *MATLAB*, sendo ao longo do mesmo realizadas comparações das rotas otimizadas obtidas, com as rotas efetivamente realizadas pela empresa.

### 3.2.1 MATLAB

O *MATLAB* é um software de alto desempenho voltado para a programação e computação numérica, desenvolvido pela *MathWorks Inc.*, sendo utilizado para analisar dados, desenvolver algoritmos e criar modelos.

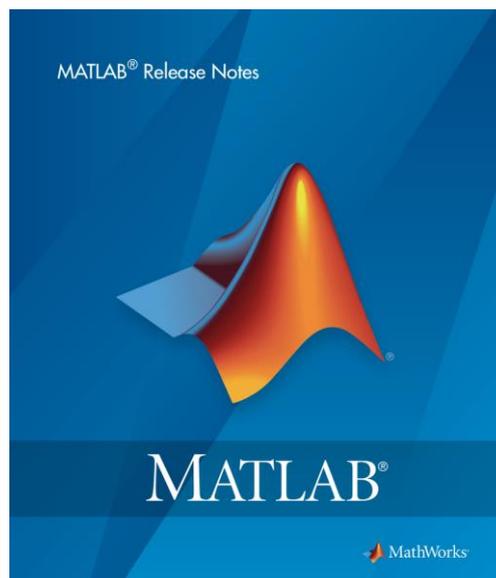


Figura 10: Logótipo do MATLAB

O *MATLAB* caracteriza-se por ser fácil de utilizar e incorpora análise numérica, cálculo de matrizes, processamento de sinais e construção de gráficos. É um sistema interativo que permite a resolução de muitos problemas numéricos em pouco tempo, onde as soluções dos problemas são expressas para uma fácil leitura. Quando se executa o *MATLAB* surge uma janela com diversos separadores e ferramentas e abre-se a Janela de Comando (*Command Window*). Através da utilização dos comandos certos, é possível obter facilmente gráficos que permitem visualizar os resultados e interpretá-los de uma forma clara e rápida, sendo que os comandos podem ser digitados na Janela de Comandos. Quando uma única linha de comando é introduzida, é imediatamente processada. É possível executar uma sequência de comandos armazenados em arquivos no *MATLAB*. Estes arquivos (*scripts*) possuem funções para determinados problemas e têm de no seu nome conter no final “.m” para puderem ser executados (*run*) no *MATLAB*.

O *MATLAB* possui *toolboxes* desenvolvidas por uma comunidade de especialistas interessados no desenvolvimento da ferramenta, testadas rigorosamente e documentadas na totalidade. Neste projeto será utilizada uma *toolbox* designada *MATLOG*. O *MATLOG* é um conjunto de dados e rotinas computacionais que podem ser utilizados dentro do *MATLAB* para implementar uma variedade de diferentes tarefas relacionadas com a área da logística e cadeia de abastecimento.

### 3.2.2 Aplicação do VRP – Problema de Roteamento de Veículos

Tendo em consideração que o objetivo do estudo é obter uma melhoria das rotas e distribuição de cargas por camião, foi necessário recorrer ao *MATLAB* e por consequência às suas heurísticas para obtermos uma solução para o problema do roteamento de veículos (VRP). O uso das heurísticas justifica-se pela complexidade do problema do VRP.

No *MATLAB* pode ser utilizada uma *toolbox*, sendo que neste caso em particular foi utilizada a *toolbox* *MATLOG* que contém heurísticas para solucionar o VRP.

Atendendo que a empresa possui uma frota homogénea, recorreu-se ao *MATLOG*, mais concretamente à função *VRPINSERT*, que representa um algoritmo de inserção para construção do VRP, para gerar rotas de distribuição da mercadoria.

Neste caso, focamo-nos na otimização de rotas a nível da exportação, segmento de negócio dominante, e estudamos um cliente em particular, tendo em consideração que representa o principal cliente da empresa atualmente, com maior volume de procura. De forma a simplificarmos, assumimos que há entrega de mercadoria nos diversos locais de descarga, considerando o negócio da exportação, e o retorno é ignorado em termos de custo, deixando a viatura livre no final da rota para dar início ao negócio da importação.

Foi tido em consideração que não é possível colocar nos reboques paletes ou mercadorias sobrepostas, porque, entre outras razões, a mercadoria que fica na parte de baixo pode acabar danificada, não sendo entregue ao cliente conforme o expectável e com a qualidade desejada.

Considerando que as ordens de carga são recebidas em LDM (*loading meter*), isto é, metro de estrada, assumiu-se que a capacidade total de cada camião é a área total do seu interior útil. Dado que um camião semirreboque normal tem 13.6m de comprimento, 2.44m de largura e 2.75m de altura, conclui-se que este tem uma área útil de 33.184 m<sup>2</sup>.

Tabela 3: Dimensões camião TIR

<b>Camião TIR Semirreboque</b>	<b>Interior útil</b>
Comprimento	13,6 metros
Largura	2,44 metros
Altura	2,75 metros
<b>Carga útil</b>	25 toneladas

### 3.2.3 Procedimento heurístico desenvolvido

Inicialmente, foi utilizada no estudo a *toolbox MATLOG* que contém a função *VRPINSERT*, uma heurística de construção, com o código adequado para a obtenção de uma solução para o problema do VRP, sendo que esta solução deriva da heurística presente na função.

Optou-se então pela definição de um procedimento heurístico baseado na utilização inicial da função *VRPINSERT*, utilizando-se posteriormente as funções *VRPSAVINGS* e *VRPSWEEP*, ambas heurísticas de construção do VRP, a fim de encontrar novas soluções, com maior qualidade do que as iniciais. Posteriormente, foram aplicadas as funções *VRPCROSSOVER* e *VRPEXCHANGE*, ambas heurísticas de melhoria da solução construída para o VRP pelos algoritmos heurísticos construtivos, a fim de verificarmos se ainda havia a possibilidade de aprimorar a solução inicial.

Neste estudo, foi analisada a exportação, principal vertente de negócio da empresa em questão. Posto isto, assume-se que os camiões saem do local de carga, distribuem essa mesma carga pelos diversos locais de descarga, e depois retornam ao ponto principal, tendo em consideração que é uma exigência do VRP, sem ser contabilizada esta distância no estudo, dado que o percurso de interesse para a análise é o percurso de ida.

#### **Descrição dos passos para o procedimento heurístico desenvolvido:**

1. Submissão da função *VRPINSERT* com as coordenadas dos locais de descarga para a primeira semana em estudo (semana 1), as quantidades a transportar para cada local, e a capacidade máxima do veículo. Posto isto, o *MATLAB* produz uma matriz de custos, à qual procedemos a alteração de todos valores da primeira coluna para 0, a fim de considerarmos que há apenas entrega da mercadoria no destino e retorno em vazio. Daqui resulta um conjunto de rotas.

2. Submissão da função *VRPSAVINGS* com os mesmos dados submetidos inicialmente, e verificar se há melhorias na solução encontrada.
3. Submissão da função *VRPSWEEP* com os mesmos dados submetidos inicialmente, e verificar se há melhorias na solução encontrada.
4. Após a verificação da heurística de construção que nos produz a melhor solução, submetemos as funções *VRPCROSSOVER* e *VRPEXCHANGE*, e verificamos se há melhorias na solução encontrada.
5. Repetir o processo anterior, submetendo as funções *VRPEXCHANGE* e *VRPCROSSOVER* (ordem inversa), e verificamos se há melhorias na solução encontrada.
6. Conforme a melhor solução encontrada, registrar o conjunto de rotas resultante.
7. Com recurso ao *Google Maps*, calcular os quilómetros totais percorridos da rota em questão, a fim de calcular os custos.
8. Repetir o processo para as restantes semanas em estudo.

### 3.2.4 Estudo para uma semana (semana 1)

O VRP assume que a procura em cada destino (vértice) nunca é superior à capacidade dos veículos. As coordenadas utilizadas foram as originais da ordem de carga, obtidas pelo *Google Maps*. A Figura 11 ilustra o código submetido para otimizar as rotas de uma semana de trabalho (1ª semana em estudo).

```

1  % SEMANA_1m =
2  % vrpcnl % Loads XV, q, Q, Id, and maxTC
3  %
4  % XY=[41.452574188208125 -8.14154098916349
5  % 48.7763378009237 8.933531040413914
6  % 45.56833992215588 3.713402226213356
7  % 48.586133784497284 2.6195807533610775
8  % 44.165366631986494 0.5963265
9  % 45.747376735888344 4.936905615341434
10 % 47.96872454512895 0.1604155832597224
11 % 45.55075251262808 2.8490642573438056
12 % 46.39528028246985 6.50981562744368
13 % 45.89071623323254 4.8196584693171305
14 % 45.80964632409531 1.7634911846583655
15 % 50.12402960228968 3.1772751341435
16 % 45.54909816063502 5.582926019725794
17 % 50.06185228545266 1.6062166562861122
18 % 46.480641092402266 0.7315809643831765
19 % 50.41220524605382 2.8244722615408286
20 % 48.8555256367307 7.604764084658567]
21 %
22 % Q=[0 21.472 1.7 8.4 7.076 15.616 1.8 6.588 2.925 7.32 3.42 14.762 2.04 2.04 12.2 7.2 4.225]
23 %
24 % Q=[33.184]
25 %
26 % Nc = dists(XY,XY,2);
27 %
28 % C=[0 18.5794239009572 12.5490689779618 13.1360671948752 9.14929347552046 13.7655763198709 10.5538017418295 11.8754
29 % 0 6.12707486373061 6.31743484417814 9.52733043697602 5.01473966548764 8.81020758499460 6.70855144474340 3.397634
30 % 0 6.12707486373061 0 3.5856824117078 3.41825538889119 1.23653459651644 4.2878420760750 0.945159455128338 2.916314
31 % 0 6.31743484417814 3.58856821417078 0 5.22813099610852 3.98240430742178 2.66131643721281 3.04404371588427 4.674030
32 % 0 9.52733043697602 3.41825538889119 5.22813099610852 0 4.61988981322484 3.82825652553961 2.87444431954364 6.319955
33 % 0 5.01473966548764 1.23653459651644 3.98240430742178 4.61988981322484 0 5.26775339688507 2.09772338242213 1.701114
34 % 0 8.81020758499460 4.2878420760750 2.66131643721281 3.82825652553961 5.26775339688507 0 3.36170078954864 6.541454
35 % 0 6.70855144474340 0.945159455128338 3.04404371588427 2.87444431954364 2.09772338242213 3.36170078954864 0 3.687630
36 % 0 3.3976329976951 2.9161665238372 4.67403086851746 4.31995010261246 1.70111626340896 6.5414564792073 3.6876395900
37 % 0 5.0250127832295 1.15227390696150 3.79762449077370 4.56216660914263 0.185184254066858 5.10163154426025 1.9715085341
38 % 0 7.7595693289023 1.96478655494184 3.28962703735808 2.01641491439525 3.17402531422104 2.68913811815356 1.0947853721
39 % 0 5.9114789300763 4.587084011742452 1.26741180697324 6.45378828502274 4.71697014787859 3.70803025834934 4.1843189784
40 % 0 4.63205579411005 1.86962271618715 4.53813056746767 5.17502538288514 0.675763726109189 5.93786071386974 2.7632094300
41 % 0 7.43922618276885 4.9636007246294 1.47786233680213 5.98234245001871 5.45052211408998 2.54391799524482 4.2948587281
42 % 0 8.5171711135696 3.11826360408486 3.13720207084627 2.31922176541812 4.26877412900254 1.59393224461887 2.1827774511
43 % 0 6.32428164426231 4.92476547196605 1.44071521946226 6.6231680525258 5.12084007387251 3.61493914653703 4.4615205099
44 % 0 1.28127696780156 5.1553410289233 5.0666625389849 8.49963478421552 4.14847272528047 7.57642756064550 5.6410846341
45 %
46 %
47 % h = pplot(XY,'r-');
48 % pplot(XY,maxCellsize(1:size(XY,1)))
49 % [loc,Tc] = vrpinser(c,[q,Q],[Id],('maxTCfeas',maxTC),[1,h]);
50 %
51 % loc[1,1]
52 % loc[1,2]
53 % loc[1,3]
54 % loc[1,4]

```

Figura 11: Linguagem submetida no MATLAB para obtenção de otimização de rotas para a semana 1

Da solução encontrada resultaram quatro rotas e um custo total de 62,782545. Este valor, denominado no *MATLAB* por TC (*Total Cost*), é dado pelo cálculo do custo total das sequências desenvolvidas, e tem em consideração uma matriz de custos ( $n \times n$ ) entre os  $n$  vértices, produzida pelo *software*. Este valor de custo não tem um significado real no problema, como por exemplo euros ou quilómetros, no entanto serve como forma de percebermos quais os resultados mais satisfatórios produzidos pelo *MATLAB*. Quanto menor este valor, melhor o resultado obtido.

A linguagem inserida na *script* submetida no *MATLAB* não dá diretamente as rotas nos resultados, produzindo apenas as ligações entre vértices que faz em cada rota, tal como está representado na Figura 12, onde é possível visualizar essas mesmas rotas.

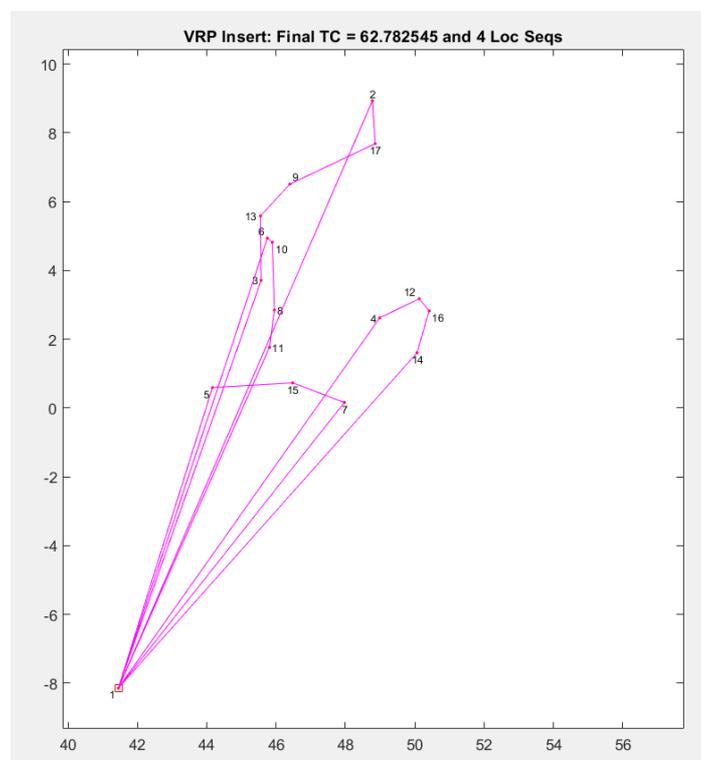


Figura 12: Rotas para a semana 1 resultantes do *software MATLAB*

Porém, para ser possível obter a sequência ordenada das rotas, isto é, qual o primeiro local de descarga bem como a ordem dos que se seguem, visto que não existe qualquer indicação da direção, adicionou-se a partir da linha 51 (inclusive) da linguagem inserida na função presente na Figura 11, o seguinte código: “loc {1,1} loc {1,2} (...)”. Este código pede para ser dado nos resultados a sequência das rotas, tal como é possível observar na figura. Desta forma, conseguimos perceber qual a ordem com que é feita a descarga da mercadoria.

```

Command Window
ans =
    1     3    13     9    17     2     1

ans =
    1    14    16    12     4     1

ans =
    1    11     8    10     6     1

ans =
    1     5    15     7     1

fx >>

```

Figura 13: Sequência das rotas obtidas pelo *MATLAB* para a semana 1

Com o intuito de auxiliar a análise da Figura 12 onde figuram as rotas obtidas, e tendo em consideração que já obtemos a sequência dos vértices de cada rota, apresentam-se de seguida as 4 rotas obtidas:

Tabela 4: Planeamento de rotas semana 1 pelo *MATLAB*

Semana 1 <i>MATLAB</i>	Percurso	Kms percorridos	Cap. utilizada	Taxa ocupação
Rota 1.1	1 → 3 → 13 → 9 → 17 → 2 → 1	2271	32,362m <sup>2</sup>	97,52%
Rota 1.2	1 → 14 → 16 → 12 → 4 → 1	1702	32,402m <sup>2</sup>	97,64%
Rota 1.3	1 → 11 → 8 → 10 → 6 → 1	1616	32,944m <sup>2</sup>	99,28%
Rota 1.4	1 → 5 → 15 → 7 → 1	1567	21,076m <sup>2</sup>	63,51%
	Total kms percorridos	7499		

Com os mesmos dados submetidos inicialmente, e aplicando as outras funções do VRP (*VRPINSERT*, *VRPSAVINGS*, *VRPSWEEP*, *VRPCROSSOVER*, *VRPEXCHANGE*), e respetivas combinações, obtemos os seguintes valores:

Tabela 5: Funções submetidas no *MATLAB*

<b>Função</b>	<b>Custo total</b>	<b>Melhoria?</b>
<i>VRPSAVINGS</i>	65,10	Não
<i>VRPSWEEP</i>	138,29	Não
<i>VRPINSERT+VRPCROSSOVER</i>	62,78	Igual
<i>VRPINSERT+VRPEXCHANGE</i>	62,78	Igual
<i>VRPSAVINGS+VRPINSERT</i>	63,70	Não
<i>VRP SAVINGS+VRPEXCHANGE</i>	63,70	Não
<i>VRPSWEEP+VRPCROSSOVER</i>	69,11	Não
<i>VRPSWEEP+VRPEXCHANGE</i>	65,67	Não

Após as várias interações entre as diferentes funções, e analisando as rotas obtidas, bem como o custo resultante, concluímos que a melhor solução é dada pela função *VRPINSERT*, com o custo e rotas supramencionados.

Tabela 6: Planeamento de rotas semana 1 pela empresa

Semana 1 Empresa	Percurso	Kms percorridos	Cap. utilizada	Taxa ocupação
Rota 1.1	1 → 3 → 9 → 18 → 2 → 1	2263	30,322m <sup>2</sup>	91,38%
Rota 1.2	1 → 8 → 14 → 11 → 6 → 1	1702	31,564m <sup>2</sup>	95,12%
Rota 1.3	1 → 5 → 4 → 13 → 1	1616	30,238m <sup>2</sup>	91,12%
Rota 1.4	1 → 12 → 16 → 7 → 15 → 17 → 1	1567	26,66m <sup>2</sup>	80,34%
Total kms percorridos		7883		

Comparando a melhor solução obtida pelo *software* e a solução aplicada pela empresa, conseguimos perceber que a melhor solução obtida traduz-se numa poupança no total de quilómetros percorridos de 383 quilómetros, bem como uma distribuição mais eficiente da carga pelos camiões, com uma ocupação total muito perto dos 100%, à exceção do camião da rota 1.4 que teve uma ocupação de 63,51%, o que significa que ainda havia 36,49% de camião livre que poderia ser ocupado com mais mercadoria.

### 3.2.5 Estudo para um mês

Após ter sido verificada uma melhoria das rotas para uma semana de trabalho, pretendeu-se estudar para um mês de trabalho, para comprovarmos a utilidade e funcionamento do modelo, bem como a existência de alguma limitação. Para tal, recorreu-se novamente à recolha das coordenadas dos locais de descarga com recurso à ferramenta *Google Maps*, conforme as ordens de carga semanais enviadas pelo cliente.

#### > **Semana 2**

Tal como anteriormente, na função *VRPINSERT* colocou-se as coordenadas e a procura dos locais de descarga da semana, bem como a capacidade máxima de cada camião. Posto isto, procedeu-se à alteração dos valores da primeira coluna da matriz de custos obtida para zero, a fim de considerarmos que há apenas entrega da mercadoria no destino e retorno em vazio. Daqui resulta um conjunto de cinco rotas e um custo total de 67,57.

Com os mesmos dados submetidos inicialmente, e aplicando as outras funções do VRP (*VRPINSERT*, *VRPSAVINGS*, *VRPSWEEP*, *VRPCROSSOVER*, *VRPEXCHANGE*) e respetivas combinações, obtemos a solução ótima que deriva das funções *VRPINSERT+VRPCROSSOVER* com um custo total de 63,32 e um conjunto de 5 rotas.

Tabela 7: Planeamento de rotas semana 2 pelo *MATLAB*

Semana 2 <i>MATLAB</i>	Percurso	Kms percorridos	Cap. utilizada	Taxa ocupação
Rota 2.1	1-15-6-13-14-7-2-1	2158	33,036	99,55%
Rota 2.2	1-3-10-9-11-12-1	2735	30,615	92,26%
Rota 2.3	1-5-8-1	1412	32,94	99,26%
Rota 2.4	1-4-1	1292	33,184	100,00%
Rota 2.5	1-17-16-1	1714	33,184	100,00%
	Total kms percorridos	9311		

Tabela 8: Planeamento de rotas semana 2 pela empresa

Semana 2 Empresa	Percurso	Kms percorridos	Cap. utilizada	Taxa ocupação
Rota 2.1	1-5-8-1	1412	32,94	99,26%
Rota 2.2	1-17-16-1	1714	33,184	100%
Rota 2.3	1-13-3-10-2-1	2499	12,645	38,11%
Rota 2.4	1-6-14-7-1	1756	19,263	58,05%
Rota 2.5	1-4-1	1292	33,184	100%
Rota 2.6	1-15-12-11-9-1	1923	31,77	95,74%
	Total kms percorridos	10596		

Comparando os resultados das rotas obtidas no modelo em MATLAB com as funções do MATLOG, e as rotas realizadas pela empresa, conseguimos concluir que na segunda semana em estudo houve não só uma poupança de 1285 quilómetros no total de quilómetros percorridos, como também houve uma poupança no número de camiões utilizados, visto que a empresa utilizou 6 camiões nas entregas de mercadoria, enquanto a experiência computacional nos deu uma solução com a utilização de apenas 5 camiões. Além disso, foi possível identificar que existem três rotas que coincidem em ambos os casos.

### > **Semana 3**

Solução otimizada: *VRP INSERT* = 34,66

Tabela 9: Planeamento de rotas semana 3 pelo *MATLAB*

Semana 3 <i>MATLAB</i>	Percurso	Kms percorridos	Cap. utilizada	Taxa ocupação
Rota 3.1	1-7-6-5-1	2176	32,94	99,26%
Rota 3.2	1-4-3-2-1	1934	33,184	100%
	Total kms percorridos	4110		

Tabela 10: Planeamento de rotas semana 3 pela empresa

Semana 3 Empresa	Percurso	Kms percorridos	Cap. utilizada	Taxa ocupação
Rota 3.1	1-7-6-5-1	2176	32,94	99,26%
Rota 3.2	1-3-4-2-1	1839	33,184	100%
Total kms percorridos		4015		

Neste caso em particular, verificamos que a rota 3.1 coincide em ambos os casos, no entanto a rota 3.2 produzida pelo *software MATLAB* resulta num número superior de quilómetros percorridos comparativamente à rota realizada pela empresa, com uma diferença de 95 quilómetros, sendo que as rotas apenas diferem na ordenação dos primeiros dois destinos. Apesar da diferença ser relativamente pequena, o *software* produz rotas com distâncias em linha reta, considerando as coordenadas dos locais, sem identificar a presença de limites à circulação, como a existência de mar, rio, montanhas, florestas, entre outros fatores que possam condicionar a circulação em linha reta, obrigando ao contorno dos mesmos. Posto isto, a distância real percorrida poderá variar consideravelmente quando comparada à distância em linha reta.

Recorrendo ao *Google Maps*, é possível calcular a distância em linha reta entre os pontos de entrega, tal como está representado nas seguintes figuras.

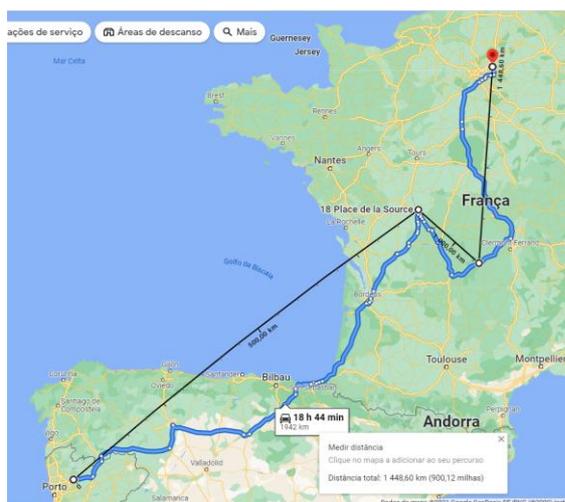


Figura 14: Rota 3.2 MATLAB

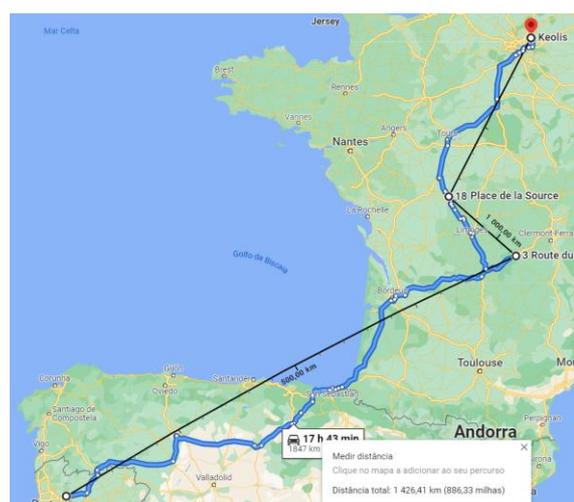


Figura 15: Rota 3.2 empresa

Ao verificar os quilômetros percorridos em linha reta, a diferença de quilômetros percorridos entre ambas as rotas diminui para aproximadamente 22 quilômetros, no entanto os quilômetros percorridos pela empresa continuam a ser inferiores aos quilômetros percorridos pela rota elaborada pelo *MATLAB*. Este resultado advém da existência de escalas desajustadas, isto é, distorção das escalas que o *MATLAB* considera, quando comparadas às escalas reais. O uso das coordenadas geográficas como forma de calcular as distâncias no *MATLAB* não produzem soluções totalmente corretas dada a existência desta distorção, uma vez que o *software* ao produzir o gráfico das rotas, considera os pontos no plano cartesiano, em que 1 unidade de  $x$  equivale a 1 unidade de  $y$ . Na realidade, as coordenadas geográficas no planisfério não têm esta relação linear como no plano cartesiano.

A título de exemplo, considerando um ponto no mapa com as coordenadas (41.608138239426886, -8.343458086590667), se adicionarmos 3 unidades à latitude (44.608138239426886, -8.343458086590667), que corresponde ao eixo das abscissas no plano cartesiano, a distância percorrida em linha reta é de 334,57 quilômetros na vertical. Por outro lado, se adicionarmos 3 unidades à longitude (41.608138239426886, -5.343458086590667), que corresponde ao eixo das ordenadas no plano cartesiano, a distância percorrida em linha reta é de 249,34 quilômetros na horizontal. Isto significa que 3 unidades de  $x$  não equivalem a 3 unidades de  $y$  no planisfério, sendo que esta diferença varia tendo em consideração que os paralelos e os meridianos têm medidas diferentes ao longo do globo, consoante nos afastamos ou nos aproximamos da linha do equador ou do um dos polos do hemisfério.

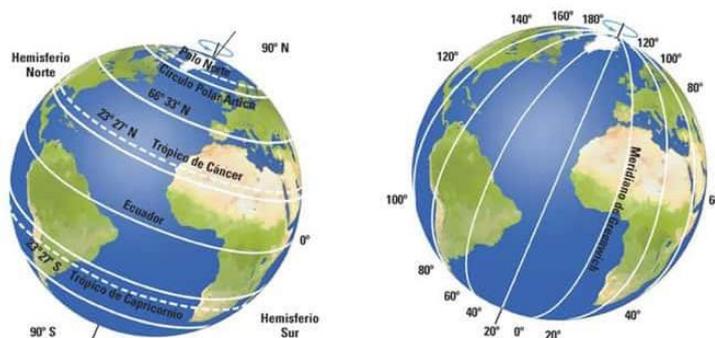


Figura 16: Representação dos paralelos e meridianos no globo

Neste caso em particular, e uma vez que os pontos 3 e 4 estão relativamente próximos, o *MATLAB* produz este resultado, dada a existência desta limitação. Para contornar esta situação, seria necessário uma metodologia adaptada que permitisse adequar as coordenadas, de modo a converter as escalas para o mesmo diferencial através de um mecanismo de conversão.

Olhando para a matriz de custos produzida pelo *MATLAB* (Anexo 3), conseguimos perceber que os custos totais da rota 1→4→3→2→1 (*MATLAB*) são inferiores aos custos da rota 1→3→4→2→1 (Empresa). Calculando os valores, obtemos:

Tabela 11: Cálculo dos custos *MATLAB* da rota 3.2

Rota <i>MATLAB</i>	Custo	Rota Empresa	Custo
1-4	10,19603	1-3	11,19064
4-3	1,828455	3-4	1,828455
3-2	3,472095	4-2	3,13675
<b>Total</b>	15,49658	<b>Total</b>	16,15584

Tendo em consideração a matriz de custos, podemos concluir que a solução produzida pelo *MATLAB* justifica-se pela presença de um menor custo associado. Caso não houvesse a presença das limitações identificadas, o *software* trabalharia com dados ainda mais coerentes e adaptados à realidade, mais especificamente se forem utilizadas as distâncias em quilómetros reais por estradas disponíveis, produzindo resultados com um maior nível de otimização.

#### > **Semana 4**

Solução otimizada: *VRPINSERT/VRPSAVINGS* = 63,935336. Nesta semana, tanto a função *VRPINSERT* como a função *VRPSAVINGS* dão origem ao mesmo melhor resultado.

Tabela 12: Planeamento de rotas semana 4 pelo *MATLAB*

Semana 4 <i>MATLAB</i>	Percurso	Kms percorridos	Cap. utilizada	Taxa ocupação
Rota 4.1	1-10-7-4-1	1839	33,11	99,78%
Rota 4.2	1-2-8-5-3-6-1	3336	14,2	42,79%
Rota 4.3	1-9-1	1292	33,184	100%
Rota 4.4	1-11-1	1288	33,184	100%
	Total kms percorridos	7755		

Tabela 13: Planeamento de rotas semana 4 pela empresa

Semana 4 Empresa	Percurso	Kms percorridos	Cap. utilizada	Taxa ocupação
Rota 4.1	1-8-10-4-7-1	2098	34,13	102,85%
Rota 4.2	1-5-2-3-6-1	2734	13,18	39,72%
Rota 4.3	1-9-1	1292	33,184	100%
Rota 4.4	1-11-1	1288	33,184	100%
	Total kms percorridos	7412		

Como é possível observar, as rotas produzidas pelo software *MATLAB* resultam num número total de quilómetros percorridos superior, quando comparadas com o número total de quilómetros percorridos pelas rotas realizadas pela empresa.

Neste cenário, verificamos que a rota 4.1 realizada pela empresa apresenta uma taxa de ocupação de 102,85%, o que significa que a ocupação máxima do camião foi excedida, havendo, portanto, sobreposição de carga. O *software MATLAB* não considera a sobreposição de carga, e normalmente esta situação não se verifica, uma vez que esta sobreposição pode dar origem a danos. No entanto, em casos excepcionais, isto poderá acontecer, pela natureza da mercadoria, estando esta decisão sempre dependente da deliberação humana.

Comparando ambos os casos, a poupança de quilómetros nas rotas realizadas pela empresa está relacionada com o facto de uma das rotas exceder a taxa de ocupação do camião, permitindo desta forma realizar uma rota mais vantajosa, que o *software* não consegue determinar visto que tem sempre em consideração a capacidade máxima do camião, sem nunca a exceder.

### 3.3 Sistema de custeio TDABC

No caso da logística, a alocação de custos surge, por vezes, como um problema central. O peso dos recursos partilhados, tais como armazém, viaturas, ou pessoal dedicado à gestão de carga, é muito significativo. Comparativamente ao setor da produção, no qual se pode, a título de exemplo, contabilizar a quantidade de matéria-prima que incorpora o produto final, em logística são poucos os recursos diretamente imputáveis a um só serviço ou cliente.

É do conhecimento económico geral que o lucro de uma empresa pode crescer por duas vias: aumento das receitas e redução de custos. Nos anos que se seguiram à crise financeira de 2008, parte da economia mundial mergulhou num período já apelidado de “Grande Recessão”, que modificou o

comportamento da maioria das empresas (Boyle, 2020). A luta pela sobrevivência a que se assiste em muitos dos setores de atividade, aliada à redução generalizada do poder de compra dos clientes, dificulta o crescimento das vendas e coloca maior pressão no lado dos custos.

Dada a saturação do mercado em que opera, a Transpousada Transportes já era obrigada a focar-se na redução de custos, para poder praticar preços competitivos. Uma gestão eficiente de custos implica uma monitorização detalhada de custos (Varila, Seppänen, & Suomala, 2007), pelo que antes de se implementarem mudanças de ordem estratégica ou operacional baseadas em demonstrações financeiras, convém assegurar a fiabilidade das informações que as alimentam (Bruggeman et al., 2005). Por este motivo, a necessidade de reduzir custos trouxe à Transpousada Transportes a necessidade de melhorar as suas práticas de custeio.

Com o novo sistema de alocação de custos, a Transpousada Transportes espera conseguir detetar e corrigir as ineficiências escondidas da sua atividade, para conseguir reduzir custos ou aproveitar melhor a capacidade atualmente instalada. Na prática, estes objetivos poderão vir a ser atingidos através de ações como por exemplo o abandono de um serviço que, pelas suas características, constitua prejuízo recorrentemente, e, da mesma forma, reforçar os esforços em torno das atividades e dos mercados mais rentáveis.

Confrontada com as necessidades referidas, a administração da empresa decidiu testar a implementação de um novo método de custeio que cumprisse os requisitos desejados e que fosse capaz de ajudar a materializar os potenciais benefícios identificados. Posto isto, o estudo incide sobre a metodologia *Time-Driven Activity-Based Costing*, visto que em Logística, o tempo é um fator determinante para os custos de serviço, pelo que o foco do custeio deverá recair na investigação daquilo que influencia o tempo despendido (Varila et al., 2007).

Um projeto de implementação de TDABC é constituído por quatro fases principais (Kaplan e Anderson, 2007):

1. Preparação – definição do objetivo, do âmbito e da equipa de projeto; preparação da estrutura do modelo (interligação entre dimensões de negócio e níveis de custeio).
2. Análise – mapeamento dos processos; estimação e medição dos tempos por atividade; definição dos *cost drivers*; recolha e triagem de dados transacionais; definição e valorização dos centros de custo.
3. Modelo Piloto – construção de equações de tempo e alocação dos custos aos processos e às dimensões de negócio; conceção do modelo de cálculo; teste e validação do modelo de cálculo; apresentação de *reports* preliminares.

4. Rollout – adaptação do modelo de cálculo a outras áreas da organização; apresentação de *reports* integrando a informação de todas as áreas da organização.

O projeto desenvolvido na Transpousada Transportes seguiu as três primeiras etapas propostas, focando-se na aplicação restrita, mas rigorosa, de um modelo TDABC, num período de tempo reduzido. A fase de expansão para outras áreas da empresa não abrangidas pelo modelo piloto poderá, ou não, ser executada futuramente, dependendo do grau de satisfação da administração perante a metodologia.

### 3.3.1 Preparação e âmbito do projeto

O projeto foi proposto para um horizonte temporal de quatro semanas. O principal objetivo definido para o projeto foi a criação e validação de um modelo piloto de TDABC que permita alocar uma maior percentagem de custos indiretos às dimensões de negócio mais relevantes para o Controlo de Gestão. Em segundo lugar, a nova estrutura de custeio deveria produzir análises de rentabilidade capazes de evidenciar situações de prejuízo escondidas. Finalmente, a administração também esperava que o projeto pudesse encontrar oportunidades de melhoria ao nível da execução dos processos internos e da utilização da capacidade estabelecida.

O produto final esperado consistia numa ferramenta de cálculo da metodologia, sendo que esta deveria ser capaz de ser carregada mensalmente com os dados transacionais, da forma mais automatizada possível e recorrendo ao mínimo de manutenção por parte dos *controllers* da empresa.

Deveria, ainda, ser capaz de calcular e apresentar em tempo útil toda a informação do modelo sobre uma dada dimensão de negócio escolhida, possibilitando análises gráficas dinâmicas e de fácil interpretação. Na ausência de um software especializado, o modelo deveria ser construído em Microsoft Excel.

Dada a limitação de tempo imposta, o âmbito de atuação foi restringido ao segmento de negócio com maior expressão para a empresa, a exportação. Para além disso, decidiu-se aplicar a nova metodologia no estudo de um cliente em particular, tendo em consideração que é um cliente com o qual se trabalha semanalmente de forma regular, o que nos permite maior facilidade na obtenção de dados.

No capítulo que se segue, faz-se o relato da Fase de Análise, que integra todo o trabalho de investigação desenvolvido na empresa e que culmina com a apresentação de uma base conceptual para o novo modelo de custeio.

### 3.3.2 Análise do projeto – desenvolvimento do modelo TDABC

Após a definição dos objetivos, o âmbito e as etapas de implementação do projeto, considera-se concluída a Fase de Preparação – assim designada na ótica sugerida por Kaplan & Anderson, (2007). Nesta secção, apresenta-se a fase de análise, onde será dado seguimento à descrição do projeto, relatando os passos seguidos até à proposta de novas orientações para um modelo de custeio baseado no tempo (*time-driven*).

Para dar início ao projeto de implementação do modelo TDABC, foram identificados os principais recursos da empresa, e respetivos custos, a fim de serem calculadas as taxas de custo da capacidade. Posteriormente, foram determinadas as médias de tempo para desempenhar cada atividade, e formuladas as equações de tempo do modelo TDABC aplicado ao cenário referido.

### 3.3.3 Identificação dos recursos

A empresa em estudo divide os seus recursos em quatro departamentos principais, nomeadamente a unidade de planeamento e controlo, a unidade financeira e de contabilidade, a unidade de armazém, e finalmente a unidade de transporte, que inclui os motoristas e os veículos.

A unidade de planeamento e controlo é responsável por todas as questões relacionadas com o tráfego, desde a comunicação com os clientes, formulação de preços, criação de rotas, controlo da documentação necessária e dos horários de viagem, bem como os quilómetros percorridos. Resumidamente, todas as questões que dizem respeito ao planeamento e acompanhamento da viagem, são da responsabilidade deste departamento.

A unidade financeira e de contabilidade é responsável pela vertente financeira da empresa, desde a emissão de faturas, pagamentos e recebimentos, controlo das receitas e das despesas, bem como a gestão dos recursos humanos.

A unidade de armazém é responsável pela manutenção e reparação dos veículos, bem como o aprovisionamento do material necessário.

A unidade de transporte, composta pelos motoristas e pelos veículos, assegura o transporte da mercadoria, desde o carregamento da carga, à sua descarga, através das viagens.

### 3.3.4 Taxa de custo da capacidade

Para calcular a taxa de custo da capacidade (TCC) é necessário saber quais são os custos que os recursos da empresa acarretam, isto é, o custo da capacidade fornecida e a capacidade prática dos

recursos. Como custo da capacidade fornecida foram considerados os custos incorridos pela empresa, desde os recursos humanos aos recursos materiais.

Consequentemente, é necessário calcular, antes de mais, a capacidade teórica dos recursos. A capacidade teórica calculada teve como base a multiplicação do número de horas de trabalho diárias (8h), pelo total de trabalhadores de cada unidade, e pelo número de dias trabalhados no mês em estudo, tal como está apresentado na Tabela 14.

No caso da unidade de transporte, foi necessário verificar as regras relativas às horas de condução e períodos de repouso de veículos pesados, tendo em conta a legislação. Portugal está sujeito ao Regulamento (CE) n.º 561/2006, que estabelece as regras relativas às horas de condução máximas diárias e quinzenais, bem como os períodos de repouso mínimos diários e semanais. A condução abrangida por estas regras relativas às horas de condução tem de ser registada num tacógrafo, e o seu cumprimento está sujeito à monitorização contínua, tanto a nível nacional como internacional, através da verificação dos registos do tacógrafo na estrada e nas instalações.

De acordo com o regulamento, os condutores não devem conduzir mais do que:

- 9 horas por dia (período que pode ser alargado para 10 horas duas vezes por semana);
- 56 horas por semana e 90 horas por quinzena.

Para além disso, os condutores devem:

- Descansar pelo menos 11 horas todos os dias (período que pode ser reduzido para 9 horas de repouso três vezes entre dois períodos de repouso semanais);
- Gozar um período de repouso de 45 horas contínuas todas as semanas ou de 24 horas a cada duas semanas. O repouso semanal deve ser gozado após seis dias de trabalho consecutivos;
- Ter pelo menos uma pausa de 45 minutos (separável numa pausa de 15 minutos seguida por uma de 30 minutos) após um máximo de 4,5 horas de condução.

Feitas as contas, e assumindo que as horas de condução nunca são ultrapassadas e que as horas de descanso são sempre respeitadas, conclui-se que cada motorista tem disponível 9 horas de trabalho diárias, e 24 dias de trabalho disponíveis no mês em estudo, sendo que as horas trabalhadas ao fim-de-semana são pagas conforme, bem como as horas extra e as horas noturnas.

Para além disso, no que diz respeito à unidade de transporte, assumiu-se que a capacidade prática dos veículos é igual à capacidade prática dos motoristas, tendo em consideração que os veículos apenas se movimentam com a condução dos motoristas.

Para a capacidade prática é importante frisar que esta difere da capacidade teórica, sendo considerado para este cálculo 80% da capacidade teórica. Esta percentagem foi adotada para considerar

o tempo ocioso, isto é, o tempo gasto com pausas/intervalos, reuniões, formações e chegadas e partidas (relativamente à mão de obra) e em manutenções, reparações e programações (para os equipamentos).

Tabela 14: Capacidade prática dos recursos

Recursos	Nº de recursos	Capacidade diária (min)	Dias de trabalho num mês	Capacidade teórica mensal	Capacidade prática mensal (80% x cap. teórica)
Unidade de planeamento e controlo	2	480	21	20160	16128
Unidade financeira e de contabilidade	1	480	21	10080	8064
Unidade de armazém	2	480	21	20160	16128
Unidade de transporte (motoristas)	19	540	24	246240	196992
Unidade de transporte (veículos)	20	540	24	259200	207360

Depois de apurada a capacidade prática dos recursos, calculou-se a taxa de custo de capacidade de cada recurso. Para o cálculo da taxa de custo de capacidade de cada recurso, foi considerado o custo mensal que existe com os recursos e esse valor foi dividido pela capacidade prática mensal. O valor da taxa de custo de capacidade dos recursos dá-nos o custo incorrido por unidade de tempo pelo recurso, que neste caso são minutos.

Tabela 15: Taxa de custo de capacidade de cada recurso

Recursos	Custo total (euros)	Capacidade prática	Taxa de custo de capacidade
Unidade de planeamento e controlo	16821,58	16128	1,043004712
Unidade financeira e de contabilidade	15221,58	8064	1,887596726
Unidade de armazém	16887,58	16128	1,047096974
Unidade de transporte (motoristas)	37995,21	196992	0,192876919
Unidade de transporte (veículos)	115318	207360	0,556124614

Após o cálculo da taxa de custo de capacidade dos recursos, é necessário identificar as atividades desempenhadas na realização de uma semana completa de trabalho, sendo que a fase seguinte esclarece cada uma delas e o tempo necessário para as desempenhar. As operações que envolvem a concretização de uma semana de trabalho podem ser divididas em cinco atividades principais, sendo elas: “Planeamento da expedição”, “Condução/viagem”, “Manutenção e reparação”, “Registos e controlo interno” e “Processo administrativo”. Cada uma destas atividades principais divide-se em subatividades, sendo que estas devem ser contabilizadas na análise do tempo necessário para desempenhar cada uma das atividades principais.

### 3.3.5 Estimativa de tempo

Nesta fase apresentam-se as atividades e respetivas subatividades por ordem cronológica de acontecimento e o respetivo tempo necessário para desempenhar cada uma delas.

A estimação de tempos de execução nas tarefas constituiu um desafio especial, dada a heterogeneidade das operações e o ambiente mais informal em que acontecem. Embora os processos estejam bem delineados em termos gerais, algumas tarefas em particular são feitas de forma menos metódica ou sem obedecer à sequência prevista.

Para fazer a aferição dos tempos, observou-se diretamente o desenrolar do trabalho. Facilmente se confirmou a separação entre as tarefas administrativas e operacionais, uma vez que os recursos envolvidos não são os mesmos e têm um custo diferente. No que diz respeito às funções de escritório, verificou-se que o grau de normalização é elevado, ou seja, não há grande variabilidade nos tempos de execução.

Na vertente operacional, a situação já não é tão linear, devido à multiplicidade de fatores que causam maior ou menor demora na concretização do transporte da mercadoria. Entre os mais importantes, destacamos:

- A distância entre o local de carga e o primeiro local de descarga
- O número de locais de descarga da mercadoria
- A localização dos locais de descarga
- A distância entre cada local de descarga
- A distância entre o último local de descarga e o armazém
- Tempo adicional devido a imprevistos

Sabendo que o TDABC usa a taxa de custo da capacidade para alocar os custos dos recursos aos objetos de custo, serão apresentadas nesta subsecção as estimativas de tempo para a realização das atividades e subatividades. Estes dados foram obtidos através do acompanhamento e observação das atividades realizadas, sendo apresentados de seguida os valores médios.

### > **Planeamento da expedição**

Iniciando pela atividade de planeamento da expedição, esta é da responsabilidade da unidade de planeamento e controlo, e diz respeito ao planeamento das viagens. A partir do momento em que se recebe as ordens de carga do cliente, é feito um acordo das condições contratuais, ou seja, definem-se os preços da carga consoante as quantidades e locais descarga. Posto isto, é feito o planeamento do serviço, onde se definem as rotas e agrupam as respetivas cargas, para de seguida se comunicar ao cliente a programação em curso e os horários de chegada, bem como comunicar as instruções de carga ao motorista. Por fim, é feito o preenchimento do mapa de planeamento de cargas semanal.

Os tempos necessários para as subatividades podem ser analisados na Tabela 16.

Tabela 16: Tempo estimado consumido pelas subatividades da atividade de planeamento e controlo

Subatividade	Tempo
Receber ordens de carga	0,75 minutos ( $\beta_1$ )
Acordar condições contratuais – preços	5 minutos ( $\beta_2$ )
Planear o serviço – agrupar e definir as rotas e as ordens de carga	45 minutos ( $\beta_3$ )
Comunicar ao cliente a programação em curso e os horários	2,5 minutos ( $\beta_4$ )
Comunicar instruções de carga ao motorista	2,5 minutos ( $\beta_5$ )
Preenchimento do mapa de planeamento semanal	2 minutos ( $\beta_6$ )

### > **Preparação da viagem**

A atividade que antecede a viagem em si, denominada “Preparação da viagem” é desempenhada pela unidade de transporte, da qual fazem parte os motoristas e os veículos. Esta inicia-se a partir do momento em que o motorista recebe as instruções de carga, e prepara-se para iniciar a viagem, verificando a conformidade do camião. Antes de iniciar a viagem de longo curso, desloca-se do armazém da empresa até ao local de carga, onde é feito o carregamento da mercadoria a transportar. Carregada a mercadoria, é feita a verificação da conformidade da carga, ou seja, cada motorista prepara

devidamente o camião e a documentação necessária para a viagem, confirma o acondicionamento do material e cinto o camião para proteger o material. Os tempos necessários à realização destas subatividades podem ser analisados na Tabela 17.

Tabela 17: Tempo estimado consumido pelas subatividades da atividade de preparação da viagem

Subatividade	Tempo
Receber instruções de carga	0,75 minutos ( $\beta_1$ )
Verificar conformidade do camião	10 minutos ( $\beta_2$ )
Deslocação em vazio entre o armazém e o local de carga	42 minutos ( $\beta_3$ )
Carregamento da mercadoria	180 minutos ( $\beta_4$ )
Verificar conformidade da carga	5 minutos ( $\beta_5$ )
Preenchimento do CMR e outros documentos	1 minuto ( $\beta_6$ )

### > Transporte

Concluída a preparação da viagem, inicia-se o transporte da mercadoria para os respetivos destinos. Inicialmente, é feito o transporte da mercadoria do local de carga ao local da primeira descarga, seguindo-se o transporte entre os vários locais de descarga, e por fim o transporte da mercadoria entre o local da última descarga e o armazém da empresa.

De notar que o tempo médio consumido pelas subatividades de transporte da mercadoria entre os vários locais de descarga está dependente das ordens de carga do cliente, uma vez que a mercadoria é entregue em diferentes locais todas as semanas. Tendo em consideração que o período em análise é de 4 semanas, calculou-se os tempos médios de transporte da mercadoria consoante as rotas realizadas em cada semana, conforme é possível consultar nos Anexos 5, 6, 7 e 8.

Tendo em consideração que existem diversos fatores que podem influenciar o tempo necessário à realização do trajeto, tais como a velocidade média, a circulação em estradas dentro de localidades ou autoestradas, trânsito, obras na via, condições climatéricas, entre outros, foram também calculados os tempos máximos e mínimos a fim de avaliar o impacto destas variações no resultado final.

Tabela 18: Tempo estimado consumido pelas subatividades da atividade de transporte

Subatividade	Tempo
Transporte da mercadoria do local de carga à primeira descarga	Depende da rota ( $\beta_1$ )
Transporte da mercadoria durante os vários locais de descarga	Depende da rota ( $\beta_2$ )
Transporte da mercadoria entre o local da última descarga e o armazém	Depende da rota ( $\beta_3$ )

### > **Manutenção e reparação**

À chegada da viagem, é feita a manutenção preventiva e limpeza dos veículos, para garantir que está tudo em conformidade para a próxima viagem a ser realizada. Se houver alguma avaria ou a necessidade de trocar algum componente, será necessário proceder à reparação mecânica do veículo. Estas subatividades são da responsabilidade da unidade de armazém, e os tempos necessários à sua realização podem ser analisados na Tabela 19.

Tabela 19: Tempo estimado consumido pelas subatividades da atividade de manutenção e reparação

Subatividade	Tempo
Limpeza do veículo	90 minutos ( $\beta_1$ )
Manutenção preventiva do veículo	30 minutos ( $\beta_2$ )
Reparação do veículo	240 minutos ( $\beta_3$ )

### > **Registos e controlo interno**

A atividade referente aos registos e controlo interno é da responsabilidade da unidade de planeamento e controlo e diz respeito ao acompanhamento e supervisão da viagem durante a sua realização. A comunicação frequente entre o tráfego e os motoristas durante a viagem para verificar se está a prosseguir conforme o planeado, a receção dos documentos da viagem (CMRs) e mapas de registo de quilómetros, abastecimento e horas de condução, bem como a verificação destes documentos e controlo dos gastos da viagem, são subatividades que pertencem à atividade principal de registos e controlo interno.

Os tempos necessários à sua realização podem ser consultados na Tabela 20.

Tabela 20: Tempo estimado consumido pelas subatividades da atividade de registos e controlo interno

Subatividade	Tempo
Comunicação frequente entre o tráfego e os motoristas	5 minutos ( $\beta_1$ )
Receção dos documentos da viagem	0,75 minutos ( $\beta_2$ )
Verificação dos documentos da viagem	5 minutos ( $\beta_3$ )
Controlo dos gastos da viagem	10 minutos ( $\beta_4$ )

### > **Processo administrativo**

O processo administrativo é uma atividade da responsabilidade do departamento financeiro e de contabilidade. Quando todo o processo da viagem está concluído, trata-se do processo administrativo que envolve emitir faturas aos clientes, receber e conferir notas de pagamento e preparar o relatório financeiro. Os tempos necessários a estas subatividades podem ser analisados na Tabela 21.

Tabela 21: Tempo estimado consumido pelas subatividades da atividade de processo administrativo

Subatividade	Tempo
Emitir faturas a clientes	2 minutos ( $\beta_1$ )
Receber e conferir notas de pagamento	2,5 minutos ( $\beta_2$ )
Preparar relatório financeiro	90 minutos ( $\beta_3$ )

#### 3.3.6 Equações de tempo

A ferramenta de cálculo do custeio TDABC foi desenvolvida no *Microsoft Excel*, sendo que para desenvolver o modelo atual, foram necessárias várias tentativas para que o modelo conseguisse contemplar todas as particularidades e restrições existentes em cada uma das atividades, até ser possível implementar o modelo diretamente no *Excel*.

O modelo foi aplicado no estudo das rotas realizadas no transporte de mercadoria para um cliente específico da Transpousada Transportes, durante 4 semanas de trabalho. Cada equação de tempo foi construída tendo em consideração a realização de uma semana de trabalho, pelo que de seguida serão apresentadas as equações de tempo que têm como objetivo distribuir o recurso (tempo) pelas atividades. A formulação destas equações facilitou o desenvolvimento do modelo em *Excel*.

$$> \text{Planeamento da expedição} = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_1 + \beta_3 X_1 + \beta_4 X_1 + \beta_5 X_1 + \beta_6 X_1$$

Onde  $X_1$  = número de rotas realizadas na semana em estudo

Através da equação de tempo apresentada, é possível obter o tempo necessário para o planeamento da expedição e quais os recursos necessários para o fazer, sendo neste caso a unidade de planeamento e controlo. Utilizando os dados da Tabela 22 referentes à primeira semana de trabalho, onde se aplicou a equação de tempo de planeamento da expedição, tornou-se possível afirmar que na primeira semana, tendo em consideração o número de rotas realizadas ( $X_1 = 4$ ), seriam necessários 231 minutos para o planeamento da expedição, o que representaria um custo de 240,93€.

Tabela 22: Cálculo do custo do total da atividade de planeamento e expedição na semana 1

Subatividade	Tempo	$X_1$	Tempo total	CCR	Custo total
$\beta_1$	0,75	4	3	1,043	3,1290141
$\beta_2$	5	4	20	1,043	20,860094
$\beta_3$	45	4	180	1,043	187,74085
$\beta_4$	2,5	4	10	1,043	10,430047
$\beta_5$	2,5	4	10	1,043	10,430047
$\beta_6$	2	4	8	1,043	8,3440377

$$\begin{aligned} \text{Custo do planeamento da expedição} &= (\beta_1 X_1 + \beta_2 X_1 + \beta_3 X_1 + \beta_4 X_1 + \beta_5 X_1 + \beta_6 X_1) \times 1,043\text{€} \\ &= (3 + 20 + 180 + 10 + 10 + 8) \times 1,043\text{€} = 231 \times 1,043\text{€} \\ &= 240,93\text{€} \end{aligned}$$

$$> \text{Preparação da viagem} = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_1 + \beta_3 X_1 + \beta_4 X_1 + \beta_5 X_1 + \beta_6 X_1$$

Onde  $X_1$  = número de rotas realizadas na semana em estudo

Através da equação de tempo apresentada, é possível obter o tempo necessário para a preparação da viagem e quais os recursos necessários para o fazer. Esta atividade em particular,

consome múltiplos recursos, nomeadamente na subatividade  $\beta_3$  (deslocação em vazio entre o armazém e o local de carga), onde é utilizada a unidade de transporte referente tanto aos motoristas como aos veículos. Utilizando os dados da Tabela 23 referentes à primeira semana de trabalho, onde se aplicou a equação de tempo de planeamento da expedição, tornou-se possível afirmar que na primeira semana, tendo em consideração o número de rotas realizadas ( $X_1 = 4$ ), seriam necessários 955 minutos para a preparação da viagem, o que representaria um custo de 563,50€.

Tabela 23: Cálculo do custo do total da atividade de preparação da viagem na semana 1

Subatividade	Tempo	$X_1$	Tempo total	CCR	Custo total
$\beta_1$	0,75	4	3	0,556	1,6683738
$\beta_2$	10	4	40	0,566	22,244985
$\beta_3$	42	4	168	0,566 + 0,193	125,83226
$\beta_4$	180	4	720	0,566	400,40972
$\beta_5$	5	4	20	0,566	11,122492
$\beta_6$	1	4	4	0,566	2,2244985

Custo da preparação da viagem =  $(\beta_1 X_1 + \beta_2 X_1 + \beta_4 X_1 + \beta_5 X_1 + \beta_6 X_1) \times 0,556€ + \beta_3 X_1 \times (0,556€ + 0,193€)$

$$= (787 \times 0,556€) + (168 \times 0,749€) = 563,50233€$$

> **Transporte** =  $\beta_1 + \beta_2 X_1 + \beta_3$

Onde  $X_1 = 1$  (se houver vários locais de descarga) 0 (se camião só tem uma descarga)

Através da equação de tempo apresentada, é possível obter o tempo necessário para a atividade de transporte da mercadoria e quais os recursos necessários para o fazer, sendo que tal como na atividade anterior, há consumo de múltiplos recursos nesta atividade, onde é utilizada a unidade de transporte na sua totalidade, isto é, tanto os motoristas como os veículos, sendo a taxa de custo de capacidade desta atividade equivalente à soma da TCC de ambos os recursos. No caso desta atividade, uma vez que os tempos variam sempre consoante a rota realizada, é necessário estimar o tempo médio consumido por cada rota, e somar o tempo total de todas as rotas realizadas na semana, a fim de determinar o custo total.

Utilizando os dados da Tabela 24 referentes à primeira semana de trabalho, onde se aplicou a equação de tempo do transporte, tornou-se possível afirmar que na primeira semana, tendo em consideração o tempo médio da viagem, seriam necessários 9000 minutos para o transporte da mercadoria, o que representaria um custo de 6741,01€. Tendo em consideração que o transporte da mercadoria está sujeito a várias condicionantes com impacto no tempo, estimou-se também o custo da atividade tendo em consideração os tempos mínimos e os tempos máximos necessários à realização da atividade de transporte, tal como é possível consultar no Anexo 9.

Tabela 24: Cálculo do custo total da atividade de viagem na semana 1 (tempos médios)

<b>Rota 1</b>	Tempo médio	$X_1$	CCR	Custo total
$\beta_1$	819	-	0,749	613,4322555
$\beta_2$	602	1	0,749	450,8989229
$\beta_3$	1208	-	0,749	904,7938519
<b>Rota 2</b>	Tempo médio	$X_1$	CCR	Custo total
$\beta_1$	751	-	0,749	562,5001513
$\beta_2$	256	1	0,749	191,7443924
$\beta_3$	883	-	0,749	661,3683536
<b>Rota 3</b>	Tempo médio	$X_1$	CCR	Custo total
$\beta_1$	572	-	0,749	428,4288769
$\beta_2$	518	1	0,749	387,9827941
$\beta_3$	1052	-	0,749	787,9496127
<b>Rota 4</b>	Tempo médio	$X_1$	CCR	Custo total
$\beta_1$	720	-	0,749	539,2811038
$\beta_2$	557	1	0,749	417,1938539
$\beta_3$	1062	-	0,749	795,439628

<b>Tempo total</b>	9000
--------------------	------

<b>Custo total</b>	6741,013797
--------------------	-------------

$$\begin{aligned}
 \text{Custo do transporte} &= (\beta_1 + \beta_2 X_1 + \beta_3) \times 0,749 \\
 &= [(819 + 602 + 1208) \times 0,749] + [(751 + 256 + 883) \times 0,749] + [(572 + 518 + \\
 &1052) \times 0,749] + [(720 + 557 + 1062) \times 0,749] \\
 &= 6741,013797\text{€}
 \end{aligned}$$

> **Manutenção e reparação** =  $\beta_1 X_1 + \beta_2 X_1 + \beta_3 X_2$

Onde  $X_1$  = número de rotas realizadas na semana em estudo

$X_2$  = número de veículos a reparar

Através da equação de tempo apresentada, é possível obter o tempo necessário para a atividade de manutenção e reparação dos veículos, e quais os recursos necessários para o fazer. Utilizando os dados da Tabela 25 referentes à primeira semana de trabalho, onde se aplicou a equação de tempo de manutenção e reparação, tornou-se possível afirmar que na primeira semana, tendo em consideração o número de rotas realizadas ( $X_1 = 4$ ) e o número de veículos que necessitaram de reparação ( $X_2 = 1$ ), seriam necessários 720 minutos para a manutenção e reparação dos veículos, o que representaria um custo de 753,91€.

Tabela 25: Cálculo do custo do total da atividade de manutenção e reparação na semana 1

Subatividade	Tempo	$X_1$	$X_2$	Tempo total	CCR	Custo total
$\beta_1$	90	4	-	360	1,047	376,95491
$\beta_2$	30	4	-	120	1,047	125,65164
$\beta_3$	240	-	1	240	1,047	251,30327

$$\begin{aligned} \text{Custo manutenção e reparação} &= [(\beta_1 X_1 + \beta_2 X_1) + (\beta_3 X_2)] \times 1,047\text{€} \\ &= 720 \times 1,047\text{€} = 753,90982\text{€} \end{aligned}$$

> **Registos e controlo interno** =  $\beta_1 X_1 + \beta_2 X_1 + \beta_3 X_1 + \beta_4 X_1$

Onde  $X_1$  = número de rotas realizadas na semana em estudo

Através da equação de tempo apresentada, é possível obter o tempo necessário para a atividade de registos e controlo interno, e quais os recursos necessários para o fazer, que neste caso é a unidade de planeamento e controlo. Utilizando os dados da Tabela 26 referentes à primeira semana de trabalho, onde se aplicou a equação de tempo de registos e controlo interno, tornou-se possível afirmar que na primeira semana, tendo em consideração o número de rotas realizadas, seriam necessários 83 minutos para a realização dos registos e controlo interno, o que representaria um custo de 86,57€.

Tabela 26: Cálculo do custo do total da atividade de registos e controlo interno na semana 1

Subatividade	Tempo	$X_1$	Tempo total	CCR	Custo total
$\beta_1$	5	4	20	1,043	20,860094
$\beta_2$	0,75	4	3	1,043	3,1290141
$\beta_3$	5	4	20	1,043	20,860094
$\beta_4$	10	4	40	1,043	41,720188

$$\begin{aligned} \text{Custo registo e controlo interno} &= (\beta_1 X_1 + \beta_2 X_1 + \beta_3 X_1 + \beta_4 X_1) \times 1,043\text{€} \\ &= 83 \times 1,043\text{€} = 86,569391\text{€} \end{aligned}$$

$$> \text{Processo administrativo} = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_1 + \beta_3 X_1$$

Onde  $X_1$  = número de rotas realizadas na semana em estudo

Através da equação de tempo apresentada, é possível obter o tempo necessário para o processo administrativo, e quais os recursos necessários para o fazer, que neste caso é a unidade financeira e de contabilidade. Utilizando os dados da Tabela 27 referentes à primeira semana de trabalho, onde se aplicou a equação de tempo do processo administrativo, tornou-se possível afirmar que na primeira semana, tendo em consideração o número de rotas realizadas, seriam necessários 138 minutos para a realização do processo administrativo, o que representaria um custo de 260,49€.

Tabela 27: Cálculo do custo do total da atividade de processo administrativo na semana 1

Subatividade	Tempo	$X_1$	Tempo total	CCR	Custo total
$\beta_1$	2	4	8	1,8876	15,1008
$\beta_2$	2,5	4	10	1,8876	18,876
$\beta_3$	30	4	120	1,8876	226,512

$$\begin{aligned} \text{Custo processo administrativo} &= (\beta_1 X_1 + \beta_2 X_1 + \beta_3 X_1) \\ &= 138 \times 1,8876\text{€} = 260,4888\text{€} \end{aligned}$$

## 4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 4.1 Otimização de rotas

Possuindo toda a base necessária no que diz respeito ao tema e à empresa, foram selecionadas quatro semanas de trabalho da empresa com um cliente em particular, e com o auxílio do *MATLAB* foram realizados estudos para a obtenção de rotas tendo em conta o VRP. Apesar de quatro semanas não ser um período de tempo representativo do ponto de vista estatístico, havendo a necessidade de realizar mais experiências, os resultados preliminares obtidos são promissores, podendo ser expandidos não só a mais semanas de trabalho, como também a mais clientes e outros segmentos de negócio como o caso da importação.

Os resultados obtidos com o procedimento heurístico desenvolvido foram bastante satisfatórios, na medida em que foi possível obter rotas em que a junção dos locais de descarga é feita tendo em conta o fator de proximidade e conseqüente poupança, respeitando, contudo, o facto de os veículos possuírem uma capacidade máxima. Após realizado o estudo, foi possível comparar os resultados obtidos com o que a empresa efetivamente realizou e, para além das poupanças estimadas nos quilómetros percorridos e da melhoria na taxa de ocupação dos veículos, a rapidez na obtenção das rotas e respetiva distribuição da carga pelos camiões é também um fator muito importante a ter em conta para a empresa em questão.

Posto isto, se a empresa recorresse ao VRP e conseqüentemente a um método de obtenção de uma solução, poderia alcançar inúmeras poupanças e aumentaria a satisfação dos seus clientes através de uma resposta mais rápida e eficaz, o que perante o mercado competitivo existente, constituem fatores cruciais para a sobrevivência de qualquer empresa.

No entanto, além da grande importância de um roteamento de veículos eficaz e eficiente para as empresas, existe também a relevância macroeconómica do roteamento de veículos que não deve ser negligenciada. A prevenção de rotas desnecessárias ou desnecessariamente longas, bem como a baixa utilização da capacidade dos veículos, origina um melhor fluxo de tráfego, ajuda a reduzir as emissões de CO<sub>2</sub> e contribui de forma sustentada para a diminuição dos efeitos nocivos dos transportes.

No entanto, a metodologia adotada para a obtenção de otimização de rotas apresenta algumas limitações, nomeadamente ao nível dos quilómetros reais percorridos. O *software MATLAB* produz rotas de distribuição de carga considerando as coordenadas dos locais de entrega e as respetivas quantidades, produzindo circuitos nos quais as distâncias entre cada ponto são dadas em linha reta (distância euclidiana), considerando como métrica o valor das escalas geográficas, isto é, os valores das

coordenadas geográficas. Traduzindo o percurso em quilômetros recorrendo ao *Google Maps*, e tendo em consideração o trajeto onde é efetivamente permitido circular, podem existir diversas particularidades que influenciam a trajetória, dado que a distância entre dois pontos medida em termos de comprimento, diverge da distância real na superfície terrestre. Cerca de 70% da superfície terrestre é formada por oceanos e mares, e mesmo nos restantes 30%, existem vários fatores que condicionam a circulação, como a existência de montanhas e outras formas de relevo que obrigam ao seu contorno. Assim, as rotas reais definem trajetos nas vias destinadas à circulação de veículos, nomeadamente os camiões TIR.

Esta questão tem influência na otimização das rotas, dado que um determinado circuito pode ser ótimo com distâncias em linha reta, e não o ser com distâncias reais. Daquilo que foi possível identificar para as quatro semanas em estudo, a divergência assenta sobretudo na ordem dos destinos de entrega da mercadoria, sendo que a afetação da carga pelos camiões se manteve adequada.

Para além disso, constitui também uma limitação a existência de escalas desajustadas à realidade. As unidades no planisfério diferem das unidades no plano cartesiano, originando uma distorção na comparação das escalas reais com as escalas do software. Enquanto no plano cartesiano as unidades de  $x$  e de  $y$  têm uma relação linear, o mesmo não acontece no planisfério, pelo que o uso das coordenadas geográficas como forma de calcular distâncias no *MATLAB* não é totalmente verosímil dada a existência desta distorção. Este cenário verifica-se principalmente quando consideramos pontos relativamente próximos no mapa, onde se torna mais complexa a distinção, tendo em consideração as distâncias quilométricas reais.

Consequentemente, apesar destas limitações, a ferramenta não deixa de constituir um instrumento de grande utilidade para a empresa, tendo em consideração que atualmente todo o processo de afetação das cargas e construção das rotas é feito manualmente, traduzindo-se em várias horas de trabalho. Este *software* permite numa questão de minutos, afetar as cargas de forma adequada e construir rotas para a distribuição das mesmas. De qualquer forma, as rotas produzidas seriam sempre verificadas, e desta forma, é sempre possível colmatar algum tipo de divergência que possa surgir dada a limitação anteriormente enunciada.

Paralelamente, o modelo VRP construído, com base nas heurísticas usadas, não considera a sobreposição de cargas, ou seja, existindo na vida real a possibilidade de sobreposição, esta terá de ser confirmada, consoante a afetação de carga e as respetivas rotas desenvolvidas. De notar que, regra geral, a sobreposição de cargas não existe, a fim de evitar danos na mercadoria transportada. Eventualmente, poderá existir essa possibilidade, mas apenas com deliberação humana será possível

chegar a essa conclusão. Assim sendo, podemos concluir que a nível geral, a ferramenta produz o resultado desejado, ou seja, a obtenção de rotas com um maior nível de otimização num curto espaço de tempo.

## 4.2 Implementação do sistema de custeio

Depois de apresentadas as equações de tempo e alguns exemplos práticos que ajudaram a esclarecer a forma como os resultados foram alcançados, surge o momento onde se apresentam os resultados obtidos depois de correr o modelo.

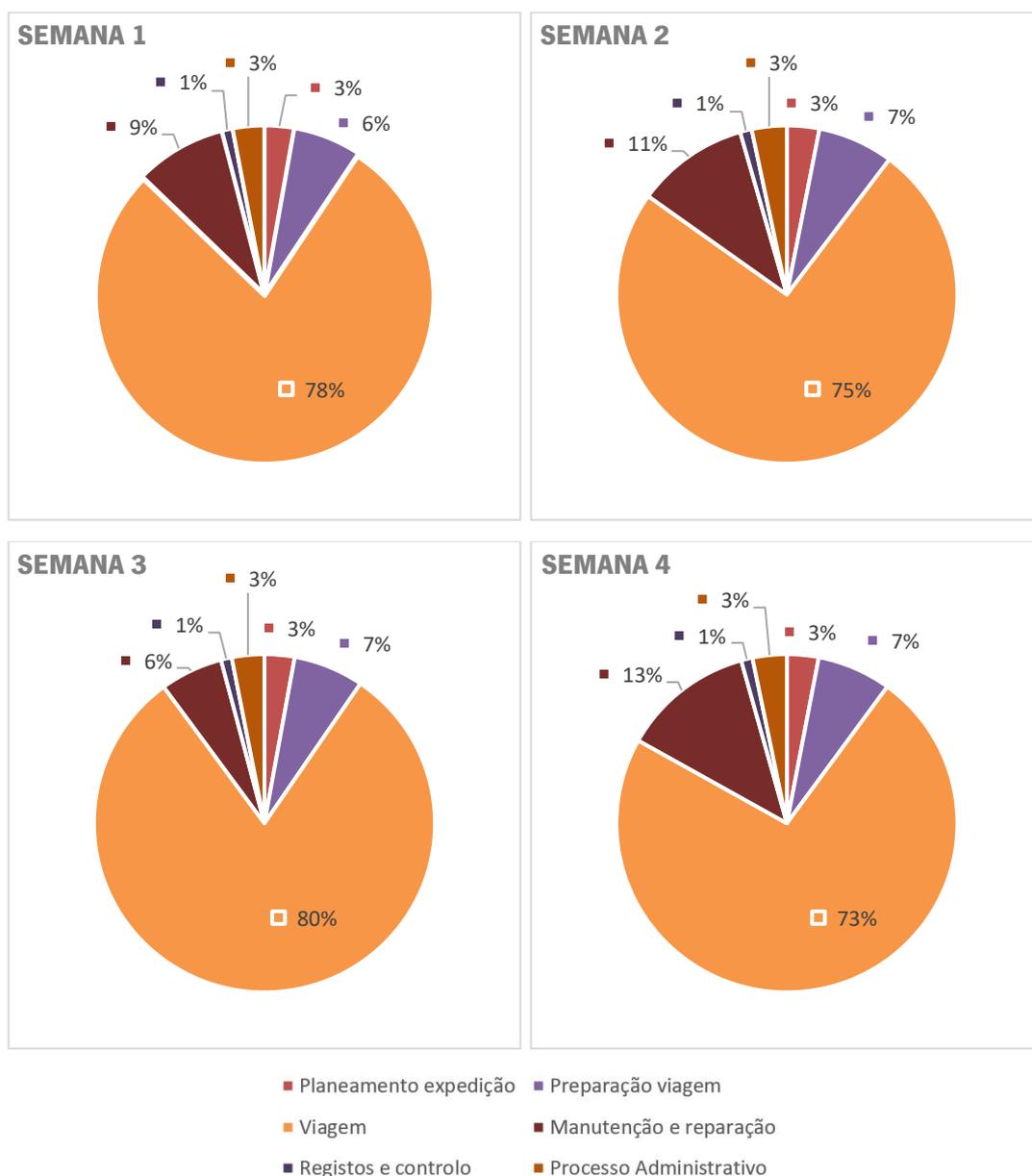
O processo de cálculo dos custos pelo método de custeio apresentado segue três etapas. O primeiro passo passa por identificar os custos de uma atividade individual, aplicando os tempos de atividade aos custos dos recursos relevantes (taxa de custo de capacidade). Algumas atividades, tal como já foi referido, consomem vários recursos em simultâneo (camiões e mão de obra). A segunda etapa consiste em calcular os custos do processo, somando os custos das atividades do processo. Finalmente, a última etapa resulta no cálculo do custo do processo, sendo estes posteriormente analisados para entender a rentabilidade e a oportunidade potencial de redução de custos.

Posto isto, após calculados os custos através do método *Time-Driven Activity-Based Costing* para as quatro semanas de trabalho, obtemos a Figura 17, com a divisão dos custos por atividade principal, nomeadamente o planeamento e expedição, a preparação da viagem, a viagem, a manutenção e reparação, os registos e controlo, e o processo administrativo, mostrando de que forma cada uma dessas atividades contribui para o custo total obtido.

Pela observação da figura, é possível deduzir de forma praticamente imediata que os custos mais expressivos estão relacionados com a viagem, ou seja, o transporte da mercadoria ao seu destino. Neste caso, o cálculo dos custos da viagem teve em consideração os tempos médios da viagem. Esta situação é previsível, uma vez que a atividade do transporte da mercadoria desde a sua origem ao seu destino é a atividade que consome mais tempo, o que se reflete num maior consumo de recursos e consequentemente num maior custo. Os custos com maior relevância nas contas da empresa, nomeadamente gasóleo, portagens, bem como os vencimentos dos motoristas, inserem-se nesta atividade de viagem, pelo que além de ser a atividade que consome mais tempo, é também aquela que tem maior peso a nível de custos. Posto isto, é expectável esta representatividade desta atividade nos gráficos.

As restantes atividades, têm um valor percentual muito semelhante em todas as semanas, sendo que a atividade de manutenção e reparação tem também um valor relativamente expressivo, uma vez que quando é necessária a reparação de algum veículo, esta pressupõe mais tempo despendido bem como mais despesa operacional, o que se reflete na percentagem dos custos semanais.

Figura 17: Resultados TDABC



Comparando os custos incorridos pela empresa recorrendo ao método TDABC, com a receita obtida nas quatro semanas de trabalho em análise, percebemos pela Figura 18, que a margem financeira semanal é positiva nas primeiras três semanas, com exceção da semana 4. As perdas incorridas na semana não lucrativa são subsidiadas pelos lucros obtidos nas semanas lucrativas, dando origem a um resultado global positivo. A divisão dos detalhes de receita e custo por semanas de trabalho permite à unidade financeira a concentração dos esforços nas áreas que precisam de mais atenção.



Figura 18: Margem financeira por cada semana de trabalho (tempos médios)

Olhando para os valores da Tabela 28, percebemos de forma mais concreta que as perdas incorridas na semana não lucrativa são suportadas pelos lucros obtidos nas semanas lucrativas, dando origem a um resultado positivo no final das quatro semanas. Ou seja, ao ser feita uma análise mensal, o resultado é positivo e o mês é aparentemente lucrativo, no entanto com a análise semanal conseguimos constatar que há semanas que auferem prejuízo, pelo que tem que ser feita uma análise mais pormenorizada, nomeadamente uma análise por rota, a fim de se determinar a origem desse prejuízo.

Tabela 28: Margem financeira por cada semana de trabalho

SEMANA	Custos TDABC	Receita	Margem
1	8646,418227	9210	563,58
2	11759,80924	13425,7	1665,89
3	4223,77253	5450	1226,23
4	8022,138708	7972	-50,14
<b>TOTAL</b>	32652,13871	36057,7	3405,56

A análise financeira presente da empresa foca-se sempre na análise por camião, não havendo uma análise da margem financeira das rotas e, conseqüentemente, dos clientes. Recorrendo a este método, é possível perceber a viabilidade das parcerias com os clientes, e qual a necessidade de ajustar valores para conseguir um resultado satisfatório. Sem este tipo de análise, a empresa não consegue

perceber em que semana as viagens não foram rentáveis, olhando apenas para o resultado mensal. Desta forma, não consegue atuar na raiz do problema. Através desta análise, é possível determinar a rentabilidade por cliente, semana e rota, contrariamente ao que se vem a fazer até agora, em que apenas eram analisados os custos e receitas por camião.

Se analisarmos estes dados individualmente, explorando as diferentes semanas de trabalho com mais pormenor, é possível determinar quais as rotas que foram rentáveis, e quais as rotas que deram origem a prejuízo. Para além disso, tendo em consideração os quilómetros percorridos em cada rota, conseguimos calcular qual o custo por quilómetro, e qual a receita por quilómetro. Estes dados são importantes na medida em que algumas viagens são pagas ao quilómetro, e desta forma consegue-se praticar um preço ao quilómetro mais adequado, tendo em vista o custo. Para a primeira semana de trabalho, obtemos os valores da Tabela 29.

Tabela 29: Resultados semana 1

<b>SEMANA</b> <b>1</b>	CUSTO TOTAL	RECEITA TOTAL	MARGEM	QUILÓMETROS PERCORRIDOS	CUSTO/KM	RECEITA/KM	REPARAÇÃO	CUSTO/KM (S/REP)
ROTA 1	2383	2590	207	2263	1,05	1,14	NÃO	-
ROTA 2	1829	2070	241	1702	1,07	1,22	NÃO	-
ROTA 3	2018	2200	182	1891	1,07	1,16	NÃO	-
ROTA 4	2417	2350	-67	2026	1,19	1,16	SIM	1,07

A rota 4 é a única que apresenta um resultado negativo, uma vez que o custo por quilómetro foi superior ao preço praticado por quilómetro. Neste caso, o camião associado a esta rota foi alvo de uma reparação, e o custo global ultrapassou a receita obtida com a viagem. Esta situação verifica-se também na grande maioria das outras rotas que têm associado um resultado negativo nas outras semanas de trabalho, ou seja, regra geral, rotas que incluem uma reparação de um veículo, têm resultado negativo, sendo que os valores das restantes semanas podem ser consultados nos Anexos 9, 10 e 11. As avarias e consequentes reparações dos camiões têm um grande impacto no resultado uma vez que envolvem investimentos elevados. Apesar do resultado global semanal não transparecer esta situação, a análise individual das rotas permite reconhecer esta limitação, o que significa que as restantes viagens estão a subsidiar estas viagens não lucrativas. Apesar do preço praticado pela viagem ser aparentemente adequado para cobrir os custos habituais, em caso de avaria do camião, a viagem deixa de ser rentável. A reparação dos camiões e respetivos custos associados devem ser alvo de intervenção, quer pela vertente comercial, procurando alternativas que sejam mais compatíveis com o orçamento, quer pela

vertente de manutenção, apostando numa manutenção mais preventiva e não tanto corretiva, de forma a prevenir e evitar avarias.

A Figura 19 mostra a relação entre o custo por quilómetro e o preço praticado por quilómetro nas quatro semanas de trabalho, refletindo os dados da tabela anterior. É possível constatar que, regra geral, o preço praticado ao quilómetro é superior ao custo ao quilómetro, no entanto, existem algumas rotas em que o custo ultrapassa o preço, refletindo-se em viagens não lucrativas.

Figura 19: Relação entre custo/km e preço/km



Olhando para os valores das rotas individualmente, e comparando o custo por quilómetro com e sem o valor referente à reparação do veículo, verificamos que a rota 2 da semana 4 continua com uma margem negativa, mesmo calculando os valores sem ter em consideração a reparação de que o veículo desta rota foi alvo. Este resultado negativo pode significar que, ou o preço praticado está demasiado abaixo daqueles que são os custos expectáveis da viagem, ou a própria avaria do camião causou transtornos que vão para além do custo da própria reparação, como uma paralisação mais prolongada com impacto na duração da viagem, mais quilómetros percorridos porque foi necessário um desvio, ou até mais consumo de gasóleo. As avarias dos veículos têm impactos durante a viagem e no veículo que vão para além do custo da reparação em si, e esta rota poderá espelhar um desses casos.

No entanto, existe também a possibilidade de o preço acordado para a realização desta viagem estar abaixo daqueles que foram os custos incorridos, devido a uma estimativa antecedente incorreta dos custos da viagem.

Reconhecendo as perceções de custo e de lucro da análise TDABC, existem duas vias de gestão: redução de custos e melhoria na utilização de recursos. Para identificar oportunidades de redução de custos, pode-se partir da comparação de tempo e custo das atividades. A comparação, conforme ilustrado na Figura 20 referente à primeira semana de trabalho, revela as áreas distintas onde o tempo e o custo acumulados aumentam consideravelmente quando as atividades são realizadas. Assim que se iniciam as atividades que envolvem o transporte da mercadoria, relativas à atividade principal da viagem/transporte, tanto o tempo como os custos sofrem um aumento expressivo, e variam numa proporção muito semelhante. Uma vez que o nível de custo depende de dois parâmetros – consumo de tempo e taxas de custo de capacidade – as melhorias no custo estão relacionadas com um ou com ambos os fatores. Em relação ao transporte em si, pode-se optar por avaliar e renegociar os custos relativos à viagem, que estão diretamente relacionados com despesas como é o caso do gasóleo, portagens, de maneira a reduzir o custo da capacidade dos camiões.

É igualmente importante melhorar a eficácia do tempo consumido pelos recursos relacionados com esta atividade, nomeadamente a unidade de transporte, para que este valor também possa diminuir. Isto pode ser alcançado através da eliminação dos tempos de espera antes e depois de carregar o camião, pela marcação horária das cargas e descargas nos respetivos locais.

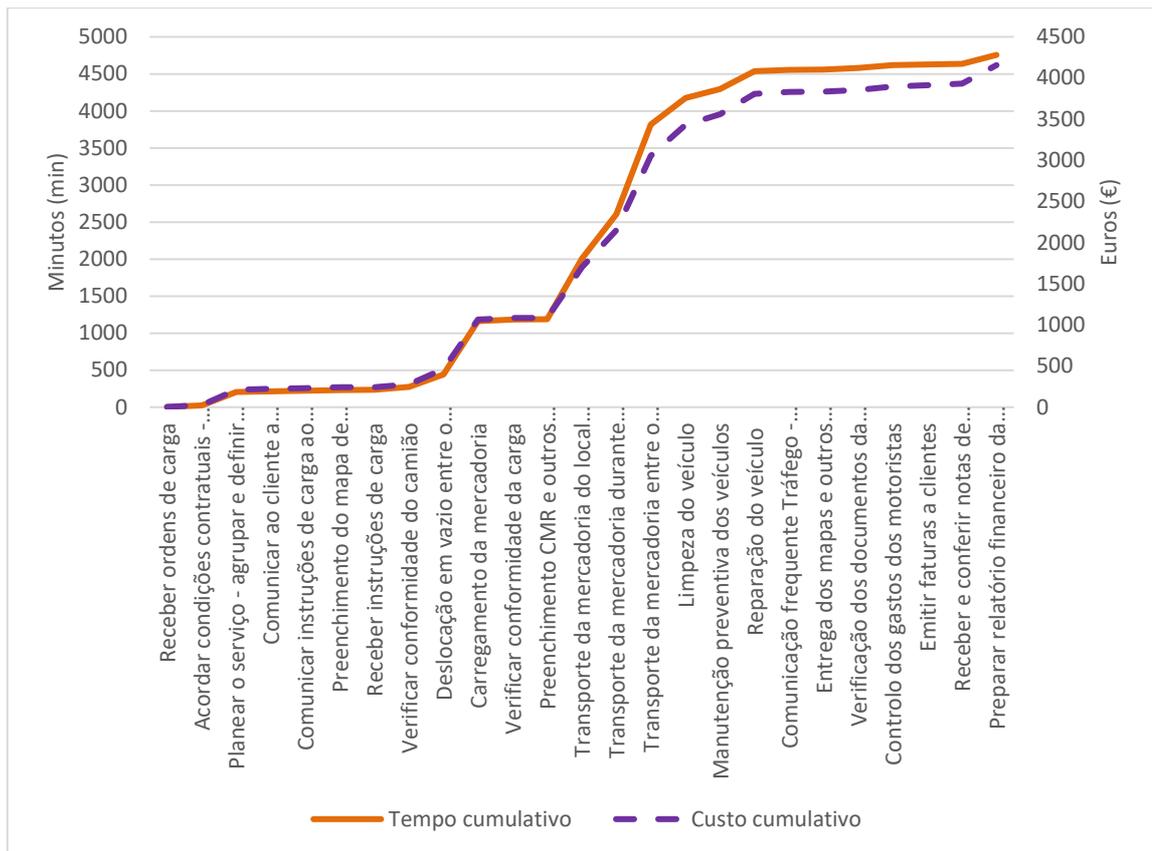


Figura 20: Tempo e custos cumulativos das atividades na semana 1 (em minutos e euros)

Para conseguirmos perceber o impacto dos tempos da atividade de viagem na margem financeira da empresa, foram calculados os custos totais semanais tendo em consideração esta variação, a fim de percebermos o impacto que a variação dos tempos de viagem tem nos custos e consequentemente na rentabilidade da empresa. Uma viagem completa está sempre sujeita a variações no tempo total despendido, uma vez que há vários fatores que podem influenciar esta variável. Ao percebermos o seu impacto nos custos, podemos ajustar o preço em conformidade, como por exemplo em situações de paralisações prolongadas em locais de descarga, que são da responsabilidade dos clientes e não da empresa, o que implica que o preço ajustado para que seja cobrado um valor justo que cubra este custo adicional.

Para identificarmos melhor este impacto, é apresentada na Figura 21 a margem financeira da empresa calculada tendo em consideração a variação estimada nos tempos de viagem, denominados de tempos máximos de viagem, tempos médios, e tempos mínimos, que correspondem à margem financeira mínima, média e máxima, respetivamente.

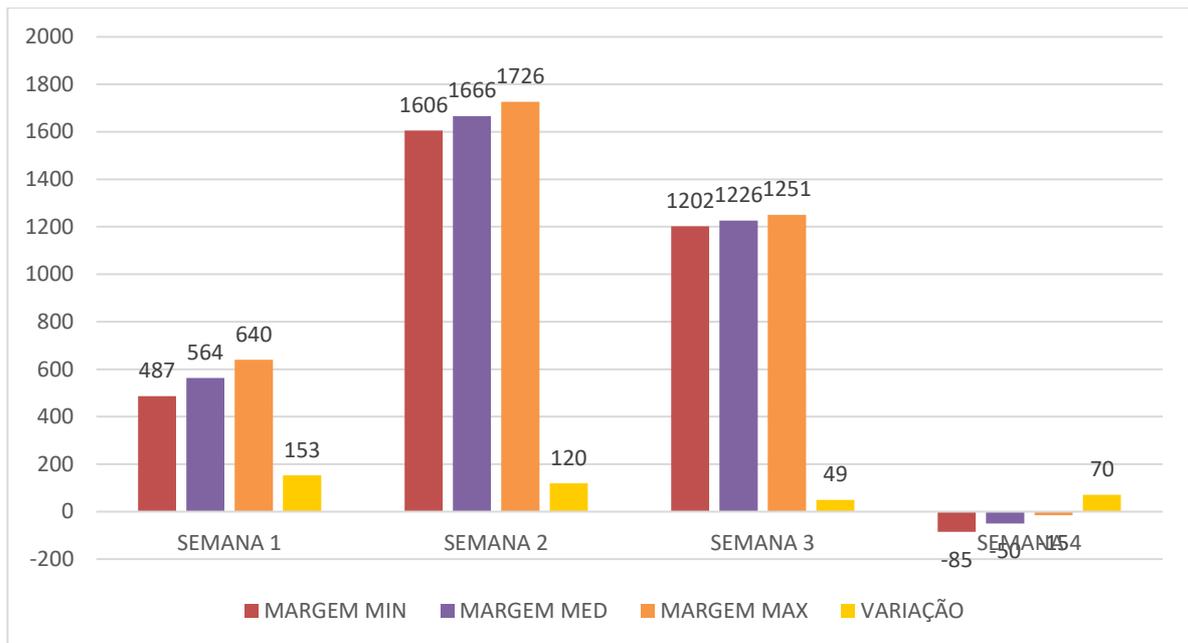


Figura 21: Variação na rentabilidade (mínima, média e máxima)

Através da Figura 21, rapidamente conseguimos perceber que existem diferenças no que diz respeito à margem financeira máxima, média e mínima, sendo que à medida que o tempo da viagem aumenta, a margem da rota diminui. Este cenário é expectável, dado que quanto maior a duração da atividade, maior número de recursos estão a ser utilizados, logo maiores custos estão a ser incorridos.

Quanto maior a variação na rentabilidade, maior o risco associado. Olhando apenas para a questão da variação nos tempos de viagem, a primeira semana é aquela que apresenta um maior risco, tendo em consideração que é aquela que apresenta uma maior variabilidade na margem financeira. Analisando a média de quilómetros percorridos nesta semana, verificamos que apresenta a segunda maior média de quilómetros percorridos comparativamente às restantes, refletindo-se na variação. De notar que a terceira semana é a que apresenta a maior média de quilómetros percorridos, no entanto não tem associada reparações de veículos, o que se reflete diretamente na margem financeira, e consequentemente na variação da rentabilidade.

Se calcularmos a diferença da margem financeira calculada com os tempos mínimos e a margem financeira calculada com os tempos máximos, obtemos um valor de aproximadamente 392€ para as quatro semanas de trabalho. Este valor torna-se relevante se considerarmos um ano inteiro de trabalho com este cliente, equivalente a 52 semanas, sendo que no final do ano, a diferença rondaria os 4700€. Se pensarmos num ano de trabalho com todos os clientes que a empresa possui, estaríamos a falar de um valor bastante expressivo e com grande impacto nos resultados da empresa. Daí ser importante atuar sobre esta variável, que poderá ditar o sucesso ou insucesso de parcerias com determinados clientes.

Quanto à capacidade dos recursos, a filosofia TDABC evidencia a taxa de utilização e a percentagem que fica por alocar. Caso se registre uma baixa ocupação, os números devem ser analisados com cautela, ponderando, não só a eventual ociosidade dos departamentos, como todas as restantes causas possíveis, tais como tempos mal estimados, atividades que ficaram por considerar ou erros nas equações definidas.

Neste caso em particular, ao se analisar a taxa de utilização da capacidade dos recursos, esta tem percentagens muito baixas, ficando uma percentagem muito alta por alocar, dado que apenas foram estudadas as viagens realizadas para um cliente em particular. Posto isto, a análise da taxa de utilização da capacidade dos recursos, poderá ser analisada no sentido de se perceber qual a percentagem de recursos utilizada no trabalho desenvolvido com este cliente.

A análise da utilização dos recursos de cada unidade na prestação de serviços a um determinado cliente, no decorrer das quatro semanas de trabalho em estudo é apresentada na Figura 22.

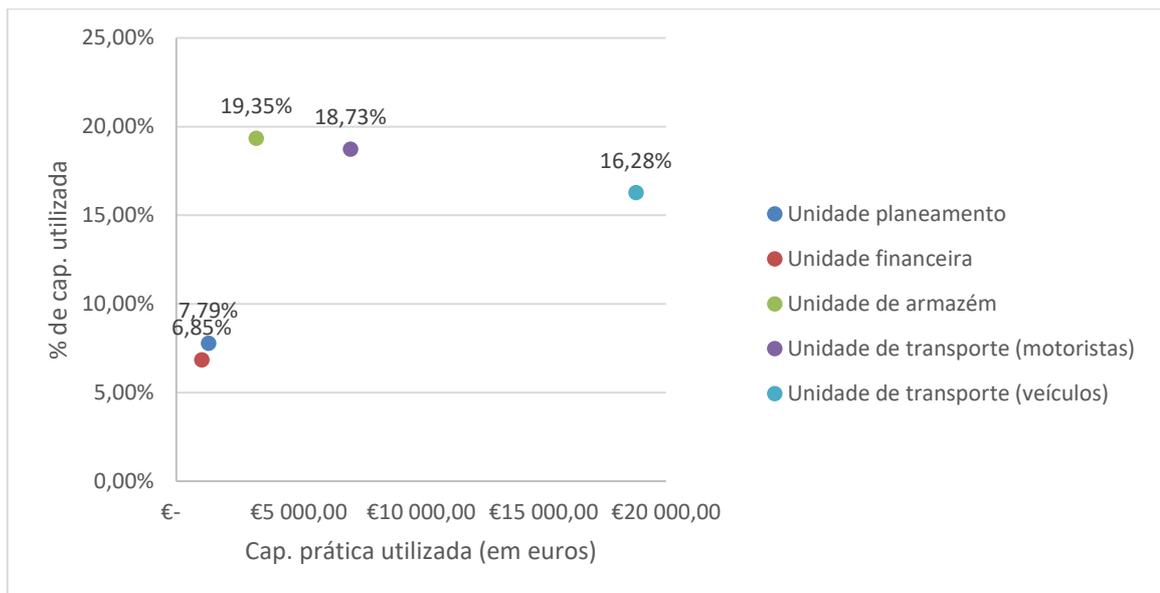


Figura 22: Utilização de recursos de cada unidade

A utilização dos recursos refere-se ao tempo de operação comparado à capacidade prática dos recursos utilizada. A análise revela uma taxa de utilização relativamente baixa pela unidade de planeamento e controlo (7,79%) e pela unidade de financeira e de contabilidade (6,85%), contrariamente às unidades de armazém e transporte que apresentam taxas muito mais elevadas quando comparadas com as outras unidades. É expectável que a unidade de transporte se traduza em percentagens elevadas de capacidade utilizada uma vez que é a unidade responsável pelo transporte da mercadoria, atividade que consome mais tempo no total das atividades. Por outro lado, a elevada percentagem da capacidade

utilizada pela unidade de armazém deve-se aos recursos humanos limitados, tendo em consideração o tempo despendido na manutenção e reparação dos veículos, traduzindo-se numa percentagem muito mais alta do que, por exemplo, a unidade de planeamento e controlo que também é composta por dois elementos e que tem uma percentagem muito mais baixa quando comparados os valores.

Globalmente, podemos concluir que os resultados mostram que, das semanas de trabalho em análise, existe uma semana que a empresa incorre em prejuízo, uma vez que os custos incorridos no serviço prestado não são cobertos pelo valor pago pelo cliente. Ao ser feita a rentabilidade financeira semanal, por rota e por cliente, é possível não só identificar este prejuízo, como também aferir as causas do mesmo, e de que forma este pode ser convertido. O mesmo não acontece com a análise da rentabilidade financeira mensal que é feita atualmente pela empresa, uma vez esta é feita apenas tendo em consideração a rentabilidade por camião, não havendo averiguação da lucratividade de determinados clientes.

Se a empresa não conhece quais os custos que suporta ao trabalhar com os seus diferentes clientes e para diferentes localizações, pode, como vimos, incorrer em perdas, ou alguns clientes podem estar a subsidiar outros. Nestes casos, os clientes lucrativos estão a pagar mais do que o necessário, e a empresa pode perdê-los a médio ou longo prazo. Se isso acontecer, a quantidade de clientes não lucrativos irá aumentar, e a margem média, bem como o lucro global irão diminuir de forma sistemática, mesmo que a participação no mercado aumente.

Em consonância com o que foi analisado ao longo da revisão bibliográfica, a aplicação do modelo TDABC demonstrou que o modelo é modelável à complexidade das atividades logísticas, conseguindo contabilizar todas as atividades e subatividades que a empresa desempenha na vertente em análise (exportação), funcionando assim como uma excelente ferramenta para a empresa perceber qual a sua necessidade de recursos e qual o custo que cada uma das atividades representa.

Em suma, o TDABC veio confirmar que é uma boa ferramenta de gestão de custos para a empresa em questão, permitindo uma análise mais rigorosa das informações de custo. Este modelo pode ser uma ferramenta valiosa no fornecimento de informações mais completas e precisas sobre os custos logísticos e a rentabilidade real dos diferentes clientes e as margens de lucro das diferentes zonas de distribuição, tendo em consideração as rotas realizadas em cada semana. Para além disso, fornece informações acerca dos clientes com os quais potencialmente não se deve trabalhar ou, em particular, quais os preços que devem ser praticados. Por fim, o estudo dos custos logísticos pode fornecer informação relativamente às atividades mais dispendiosas, e de que forma estas podem ser reestruturadas, de forma a otimizar o processo logístico da empresa.

## 5. CONCLUSÃO

A logística, e particularmente o transporte, representam uma das grandes fontes de despesa de uma empresa. Para qualquer empresa que preste o serviço de transporte, possuir uma gestão logística eficiente é muito importante para que esta possa ser competitiva e diferenciadora no mercado.

Um dos grandes objetivos deste estudo passava por otimizar as rotas de distribuição da empresa, a fim de, não só reduzir os seus custos logísticos, como também auxiliar a otimização na gestão do tráfego, automatizando o processo de distribuição das cargas, que até então era executado manualmente, sem auxílio de qualquer tipo de ferramenta.

Foi efetuada uma revisão bibliográfica que incidiu nos temas mais importantes relacionados com o objetivo principal delineado com o intuito de perceber os estudos que têm vindo a ser feitos relacionados com a temática em estudo: TSP e VRP. Através desta revisão bibliográfica, foi possível compreender as variantes do VRP assim como os modelos que existem e que são utilizados como forma de obtenção de soluções para problemas de roteamento de veículos.

A aplicação do modelo de resolução do VRP apresentado, permitiu aferir quais as possibilidades de otimização e poupança nas rotas realizadas pela empresa, consoante a procura do cliente. A utilização do *MATLAB* no auxílio da sua resolução cumpriu com o objetivo proposto, isto é, obtenção de rotas com um maior nível de otimização num curto espaço de tempo.

A problemática do custeio não é nova para as empresas, mas voltou a ser tema de debate em anos recentes, dadas as novas características internas das organizações e o novo contexto económico externo. No caso particular do setor do transporte de mercadorias rodoviário em Portugal e na Europa, onde predominam as empresas de pequena dimensão e a diferenciação é reduzida, o foco na competitividade deve manter-se firme. Nesse sentido, as inovações no âmbito da análise de custos pode ser um contributo valioso para a afirmação das empresas, lembrando que uma visibilidade mais definida permite um controlo mais eficaz.

A implementação proposta do sistema de custeio apresentado na Transpousada Transportes enquadra-se nas últimas tendências da área de Controlo de Gestão, que defendem a utilização de metodologias de custeio orientadas por processos e baseadas na utilização dos recursos, como substituição dos métodos tradicionais. O seu objetivo consistia em desenvolver um modelo piloto de um sistema *Time-Driven Activity-Based Costing* (TDABC) na empresa, cuja atividade se centra no transporte rodoviário de mercadorias. Como produto final, esperava-se uma ferramenta de cálculo dos custos, que fosse capaz de incorporar os encargos indiretos da empresa, evidenciando o consumo de recursos induzido por cada atividade. Com esta nova visualização dos resultados, a Transpousada Transportes

esperava afinar o cálculo da sua margem operacional, reconhecendo em que momentos da sua atividade, em que recursos e para que dimensões de negócio ocorrem as principais despesas. Consequentemente, uma vez que passaria a conhecer, em detalhe, a rentabilidade dos seus departamentos e dos seus clientes, tinha como expectativa reavaliar os seus processos internos e a sua carteira comercial, promovendo uma melhoria na sua performance global.

Ainda assim, embora as pequenas e médias empresas de transportes rodoviários e logística possam beneficiar da aplicação do TDABC dado o processo mais simplificado comparativamente ao ABC tradicional, estas podem encontrar algumas limitações difíceis de ultrapassar. O primeiro problema está relacionado com a falta de dados quantitativos essenciais para apoiar a construção de equações de tempo e o cálculo dos custos da capacidade. A falta de dados quantitativos sobre os direcionadores de custos é o principal obstáculo ao desenvolver o TDABC numa empresa de pequena dimensão. Em empresas de grande dimensão, os registos das transações podem ser obtidos através de bases de dados próprias previamente construídas, no entanto nas pequenas empresas, a aquisição desse tipo de dados deve ser feita manualmente. Construir um modelo baseado no tempo pode ser difícil se for aplicado numa empresa que não possui uma base de dados conveniente.

O segundo problema é a dificuldade em estimar o tempo para certas atividades, especialmente aquelas que não funcionam de forma contínua. Embora as pequenas empresas beneficiem das estimativas de tempo simplificadas fornecidas pelo TDABC, a ferramenta não é necessariamente apropriada em todas as situações. Quando a quantidade de tempo não pode ser prevista com eficácia, como vimos no caso das estimativas dos tempos de viagem, pode ser necessário um sistema de controlo de tempo mais formal. Apesar de muitas organizações estabelecerem procedimentos padrão para medir o tempo decorrido nos processos, estes podem não existir em pequenas empresas, tornando difícil estimar o tempo para atividades que não são padronizadas.

A Transpousada Transportes é uma pequena média empresa (PME) que apresenta um notório crescimento, quer em termos de instalações, que foram recentemente alvo de uma grande expansão, quer a nível de colaboradores e da necessidade de cada vez mais aumentar a equipa com colaboradores formados em áreas diversificadas. A área da logística e distribuição desta empresa necessita de adquirir novas ferramentas capazes de assegurar o controlo e a eficiência de todos os processos envolventes. Uma ferramenta essencial para auxiliar o colaborador responsável pelo tráfego seria um *software* adaptado às necessidades da empresa, que perante as ordens de carga enviadas pelos clientes, gerasse rotas para os vários veículos. Esta ferramenta permitiria dar continuidade ao trabalho desenvolvido na presente dissertação, ou seja, passaria pela implementação em *software* de um algoritmo adequado à

realidade da empresa, ou então, através da aquisição de um *software* existente no mercado que proceda ao planeamento de rotas e que responda às necessidades da empresa.

Para além disso, um controlo dos custos mais rigoroso irá permitir detetar as áreas da empresa que devem ser alvo de intervenção, a fim de colmatar as perdas incorridas. Com o modelo TDABC, é possível identificar quais as rotas e clientes que geram perdas para a empresa, bem como determinar a causa da perda, introduzindo o caminho para a potencial redução de custos. Para além disso, o estudo evidencia que os modelos TDABC podem ser construídos e mantidos em programas normais de folhas de cálculo, como o caso do Excel. O TDABC tem vantagens relativamente ao ABC tradicional, que funciona bem no ambiente limitado em que foi inicialmente aplicado, como é o caso do segmento de negócio da exportação. Quando implementando em grande escala de forma contínua pode se tornar de aplicação mais difícil, no entanto em pequenas e médias empresas como é o caso da Transpousada Transportes, as possibilidades de sucesso são maiores.

De entre os indicadores de custo mais importantes para uma empresa de transporte rodoviário de mercadorias, destacam-se o custo por quilómetro percorrido, o custo por camião, o custo por rota e o custo por cliente. Isto significa que há vários caminhos na análise dos custos incorridos pela empresa, de acordo com as métricas mais importantes. A extensão do modelo de custos a outras métricas, permite explorar outras vertentes e perceber as diferentes formas de se analisar o impacto dos custos nos resultados da empresa. Na análise do custo por camião que é feita atualmente pela empresa, são identificados prejuízos em determinados camiões, muitas vezes sem se perceber a origem do mesmo. Porém, se olharmos para diferentes métricas de análise igualmente relevantes, tal como o custo por cliente ou o custo por rota, é possível inferir a causa da margem negativa com maior facilidade. Assim sendo, este modelo de gestão de custos pode não só ser alargado a outras rotas, outros clientes e a mais semanas de trabalho, como também permite o estudo de diferentes cenários, como o estudo de novas rotas, a aquisição de novos veículos e conseqüente renovação da frota, a criação de novos serviços e a exploração de novos mercados. Esta ferramenta permite auxiliar nestes aspetos na medida em que o modelo construído possibilita a introdução dos valores que se pretende analisar, facilitando o estudo dos diferentes cenários possíveis a considerar.

Em conclusão, este trabalho suporta a tese de que o TDABC é uma forma ágil e económica de se atestar a rentabilidade dos objetos de custos relevantes para uma organização. Para um futuro próximo, recomenda-se o aperfeiçoamento do modelo com a incorporação do segmento de negócio da importação, bem como dos outros clientes com que a empresa trabalha diariamente, a fim de obtermos a margem de rentabilidade de todo o negócio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Afonso, P. (2002). *Sistemas de Custeio no Âmbito da Contabilidade de Custos: O Custeio Baseado nas Atividades, um Modelo e uma Metodologia de Implementação*. 274.
- Afonso, P., & Santana, A. (2016). Application of the TDABC model in the logistics process using different capacity cost rates. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(5), 1003–1019.
- Anderson, G., & Herr, K. (2016). *O docente-pesquisador: a investigação-ação como uma forma válida de geração de conhecimentos*. 24, 4–24.
- Ballou, R. H. (1999). *Business logistics management* (Fourth). Prentice-Hall International.
- Barros, R. S., & Simões, A. M. D. (2014). Do Custeio Tradicional ao Time-Driven Activity-Based Costing: Revisão de Literatura e Sugestões de Investigação Futura. *Revista Iberoamericana de Contabilidad de Gestión*, 12(24), 1–18.
- Baykasoğlu, A., & Kaplanoğlu, V. (2008). Application of activity-based costing to a land transportation company: A case study. *International Journal of Production Economics*, 116(2), 308–324.
- Becker, D. M. (2010). *Gestão de custos no transporte rodoviário de cargas* (Universidade Federal do Rio Grande do Sul). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10183/29823>
- Boyle, M. (2020). The Impact of Recessions on Businesses. Retrieved September 12, 2021, from <https://www.investopedia.com/articles/economics/08/recession-affecting-business.asp>
- Braekers, K., Ramaekers, K., & Van Nieuwenhuyse, I. (2016). The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers and Industrial Engineering*, 99, 300–313. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.12.007>
- Bravo, J. J., & Vidal, C. J. (2013). Freight transportation function in supply chain optimization models: A critical review of recent trends. *Expert Systems with Applications*, 40(17), 6742–6757. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.06.015>
- Bruggeman, W., Everaert, P., Anderson, S. R., & Levant, Y. (2005). Modeling Logistics Costs using Time-Driven ABC : A Case in a Distribution Company. *Conceptual Paper and Case Study*, (1), 01–51.
- Buller, L. S. (2012). *Logística Empresarial*. IESDE Brasil S.A.
- Cardoso, W. (2017). *Automatic Calculation of: Cost, Distance and Duration of International Road Freight*. Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.
- Carvalho, J. C. (2012). *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento* (E. Silabo, Ed.).
- Casal, A. V. (2012). *Vehicle Routing Problems: Investigação e construção de um Sistema de Informação Geográfica* (Universidade do Minho). Universidade do Minho. Retrieved from <http://hdl.handle.net/1822/22289>
- Choi, S. (2015). Application of Time-Driven Activity-Based Costing (TDABC) for Total Productive Maintenance (TPM) and Cost of Quality (COQ) Processes. *Journal of the Korea Safety Management & Science*, 17, 321–335. <https://doi.org/10.12812/ksms.2015.17.1.321>
- Chopra, S., & Meindl, P. (2010). Supply chain management: strategy, planning, and operation. In *Economic Annals* (Fifth Edit, Vol. 51). Pearson Education, Inc. <https://doi.org/10.2298/eka0670067a>
- Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, 12(4), 568–581. <https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568>
- Coelho, A. (2011). *Os Sistemas de Custeio e a Competitividade da Empresa* (Instituto Superior de Contabilidade e Administração do Porto). Instituto Superior de Contabilidade e Administração do Porto. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10400.22/374>
- Cooper, R., & Kaplan, R. (1992). Activity-Based Systems: measuring the costs of resource usage.

- Accounting Horizons*, 6(3), 1.
- Cooper, Robin, & Kaplan, R. S. (1988). Measure Costs Right: Make the Right Decisions. *Harvard Business Review*, 66(5), 96–103.
- Cordeau, J.-F., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J.-Y., & Semet, F. (2002). A guide to vehicle routing heuristics. *Journal of the Operational Research Society*, 53(5), 512–522. <https://doi.org/10.1057/palgrave/jors/2601319>
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science*, 6(1), 80–91. <https://doi.org/10.1287/mnsc.6.1.80>
- Defourny, N., Perrier, L. P., Borrás, J.-M., Coffey, M., Corral, J., Hoozée, S., ... Lievens, Y. (2019). *National costs and resource requirements of external beam radiotherapy: A time-driven activity-based costing model from the ESTRO-HERO project*. 138:187-194. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2019.06.015>
- Dias, J. C. Q. (2005). *Logística Global e Macrologística* (E. Silabo, Ed.).
- Drexler, M. (2012). Rich vehicle routing in theory and practice. *Logistics Research*, 5(1–2), 47–63.
- Eurostat. (2021). Freight transport statistics - modal split. *Eurostat*. Retrieved from [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Modal\\_Split\\_of\\_inland\\_freight\\_transport,\\_2014,\\_%25\\_of\\_total\\_tkm\\_new.png#file](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Modal_Split_of_inland_freight_transport,_2014,_%25_of_total_tkm_new.png#file)
- Everaert, P., Bruggeman, W., Sarens, G., Anderson, S. R., & Levant, Y. (2008). Cost modeling in logistics using time-driven ABC: Experiences from a wholesaler. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 38(3), 172–191.
- Fang, Y., & Ng, S. T. (2011). Applying activity-based costing approach for construction logistics cost analysis. *Construction Innovation*, 11(3), 259–281. <https://doi.org/10.1108/14714171111149007>
- Fernandes, A. J. S. (2012). *Aplicação de métodos heurísticos no planeamento de rotas: o caso da Tecniwood-Soluções*. Retrieved from <http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/22220>
- Ganesh, K., & Narendran, T. T. (2007). CLOVES: A cluster-and-search heuristic to solve the vehicle routing problem with delivery and pick-up. *European Journal of Operational Research*, 178(3), 699–717. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.01.037>
- Gao, L., Chen, M., Chen, Q., Luo, G., Zhu, N., & Liu, Z. (2020). *Learn to Design the Heuristics for Vehicle Routing Problem*. 1–10.
- Garrison, R., Noreen, E., & Brewer, P. (2012). *Managerial Accounting* (14th Edition). New York: McGraw-Hill/Irwin.
- Gosselin, M. (2007). *A review of Activity-Based Costing: Technique, Implementation, and Consequences*. Handbook of Management Accounting Research.
- Guedes, A. (2020). *O controlo de custos de operações no transporte rodoviário de mercadorias e logística - O Caso Atalaia* (Instituto Superior de Administração e Gestão). Instituto Superior de Administração e Gestão. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10400.26/33621>
- Huang, Q. (2018). Traditional Cost System vs. Activity-Based Cost System – A Managerial Accounting Case Study. *Applied Finance and Accounting*, 4(2), 55.
- Hurkens, C. A. J., & Woeginger, G. J. (2004). On the nearest neighbor rule for the traveling salesman problem. *Operations Research Letters*, 32(1), 1–4. [https://doi.org/10.1016/S0167-6377\(03\)00093-2](https://doi.org/10.1016/S0167-6377(03)00093-2)
- INE. (2019). *Estatísticas dos Transportes e Comunicações*. Instituto Nacional de Estatística.
- Izadi, A., Nabipour, M., & Titidez, O. (2020). Cost Models and Cost Factors of Road Freight Transportation : A Literature Review and Model Structure. *Fuzzy Information and Engineering*, 00(0), 1–21. Retrieved from <https://doi.org/10.16168658.2019.1688956>
- Jeong, J.-Y., & Ahn, K.-M. (2015). A Case Study on Costing Management of a Logistics Warehouse in Port

- Distri-park by Time-Driven ABC and Contribution Margin Analysis. *Journal of Korea Port Economic Association*, 31, 167–186. Retrieved from <https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO201534164960188.j>
- Johnson, H. T., & Kaplan, R. S. (1987). The Rise and Fall of Management Accounting. *IEEE Engineering Management Review*, 15(3), 36–44.
- Kaplan, B., & Duchon, D. (1988). Combining qualitative and quantitative methods in information systems research: A case study. *MIS Quarterly: Management Information Systems*, 12(4), 571–586.
- Kaplan, R., & Cooper, R. (1998). *Cost & Effect, Using Integrated Cost Systems to Drive Profitability and Performance*. Boston, Massachusetts: Harvard Business School Press.
- Kaplan, R. S., & Anderson, S. R. (2004). Time-driven activity-based costing. *Harvard Business Review*, 82(11).
- Kaplan, R. S., & Anderson, S. R. (2007). *Time-Driven Activity-Based Costing: a simpler and more powerful path to higher profits*. Harvard Business School Press.
- Kovács, G. (2017). First cost calculation methods for road freight transport activity. *Transport and Telecommunication*, 18(2), 107–117.
- Kowsari, F. (2013). Changing in Costing Models from Traditional to Performance Focused Activity Based Costing (PFABC). *European Online Journal of Natural and Social Sciences*, 2(3), 2497–2508.
- Kulovic, M. (2004). *FREIGHT TRANSPORT COSTS MODEL BASED ON TRUCK FLEET OPERATIONAL PARAMETERS*. 16(6), 321–325.
- Laporte, G., Gendreau, M., Potvin, J.-Y., & Semet, F. (2000). Classical and modern heuristics for the vehicle routing problem. *International Transactions in Operational Research*, 7(4–5), 285–300. <https://doi.org/10.1111/j.1475-3995.2000.tb00200.x>
- Laporte, G., Ropke, S., & Vidal, T. (2014). Heuristics for the Vehicle Routing Problem. In *Vehicle Routing*. <https://doi.org/10.1137/1.9781611973594.ch4>
- Liu, S., Huang, W., & Ma, H. (2009). An effective genetic algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problems. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 45(3), 434–445. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2008.10.003>
- Lourenço, A. G. (2013). *Analyzing Cost and Profitability using Process-based ABC*. Instituto Superior Técnico de Lisboa.
- Lysgaard, J. (1997). *Clarke & Wright's Savings Algorithm*. Aarhus.
- Major, M. (2007). Activity-Based Costing & Management: a critical review. In T. Hopper, D. Northcott, & R. Scapens (Eds.), *Issues in Management Accounting Research* (3th editio).
- Malta, S. (2015). *Análise económica do transporte rodoviário de mercadorias entre Portugal e Alemanha*. Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa.
- Martins, D., Frota, Y., & Subramanian, A. (2012). *Uma heurística para o problema de roteamento de veículos com múltiplas viagens*. Rio de Janeiro.
- Müller, C. J., & Michel, F. D. (2001). *Análise de custos para empresas de transporte rodoviário de carga*. Retrieved from [http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2001\\_TR32\\_0933.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2001_TR32_0933.pdf)
- Norek, C. D., & Pohlen, T. L. (2001). Cost Knowledge: A Foundation for Improving Supply Chain Relationships. *The International Journal of Logistics Management*, 12(1), 37–51. <https://doi.org/10.1108/09574090110806217>
- Oliveira, J. R., & Coelho, A. S. (2015). Abordagens heurísticas de solução para Problemas de Roteamento de Veículos (PRV). *Revista Espacios*, 36 (Nº 13).
- Pagano, R. de S. S. (2016). *Time-Driven Activity-Based Costing (TDABC): uma revisão sistemática de aplicações* (Universidade Federal da Paraíba). Universidade Federal da Paraíba. Retrieved from <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/17544>
- Perčević, H., & Hladika, M. (2016). Movement From Traditional to Modern Cost Accounting Methods in Manufacturing Companies (\*). *Muhasebe ve Finans Tarihi Araştırmaları Dergisi*, (10), 155–180.

- Retrieved from <http://dergipark.gov.tr/muftad/issue/30119/324945>
- Pingxin, W., Fei, D., Dinghua, L., & Lin, T. W. (2010). The Choice of Cost Drivers in Activity-Based Costing: Application at a Chinese Oil Well Cementing Company. *International Journal of Management*, 27(2), 367–380. Retrieved from <http://ezproxy.library.capella.edu/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=53160334&site=ehost-live&scope=site>
- Pisinger, D., & Ropke, S. (2007). A general heuristic for vehicle routing problems. *Computers and Operations Research*, 34(8), 2403–2435. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2005.09.012>
- Pop, P. C., Zelina, I., Lupse, V., Sitar, C. P., & Chira, C. (2011). Heuristic algorithms for solving the generalized vehicle routing problem. *International Journal of Computers, Communications and Control*, 6(1), 158–165. <https://doi.org/10.15837/ijccc.2011.1.2210>
- Ribeiro, O. M. (2018). *Contabilidade de Custos* (10th editi; E. Saraiva, Ed.). São Paulo.
- Sanders, N. R. (2011). *Supply chain management: a global perspective*. Wiley Global Education.
- Santos, V., Amaral, L., & Mamede, H. (2013). Utilização do método Investigação- Ação na investigação em Criatividade no Planeamento de Sistemas de Informação. *Iberian Conference on Information Systems and Technologies, CISTI*, (April 2016).
- Sarokolaei, M. A., Saviz, M., Moradloo, M. F., & Dahaj, N. S. (2013). Time Driven Activity based Costing by Using Fuzzy Logics. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 75, 338–345. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.04.038>
- Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (1997). *Research methods for business students* (Fifth edit). Pearson Education Limited.
- Siguenza-Guzman, L., den Abbeele, A. Van, & Cattrysse, D. (2014). Time-Driven Activity-Based Costing Systems for Cataloguing Processes: A Case Study. *Liber Quarterly: The Journal of European Research Libraries*, 23(3), 160–186.
- Silva, B. D. (2014). *Análise gerencial de custos em uma empresa de transporte rodoviário de cargas*.
- Somapa, S., Cools, M., & Dullaert, W. (2012). Unlocking the potential of time-driven activity-based costing for small logistics companies. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 15(5), 303–322. <https://doi.org/10.1080/13675567.2012.742043>
- Spoorendonk, S. (2008). *Cut and Column Generation* (University of Copenhagen). University of Copenhagen. Retrieved from <https://orbit.dtu.dk/>
- Sternad, M. (2019). *Cost calculation in road freight transport*. Slovenia.
- Stout, D., & Propri, J. (2011). Implementing Time-Driven Activity-Based Costing at a Medium-Sized Electronics Company. *Management Accounting Quarterly*, 12(3), 1.
- Teixeira, T. M. (2011). *Aplicação do ABC no Sector de Transporte Público Rodoviário de Mercadorias* (Instituto Superior de Contabilidade e Administração do Porto). Instituto Superior de Contabilidade e Administração do Porto. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10400.22/522>
- Toth, Pablo, & Vigo, D. (2002). *The Vehicle Routing Problem*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Toth, Paolo, & Vigo, D. (2014). Vehicle Routing Problems, Methods, and Applications. In *Society for Industrial and Applied Mathematics Mathematical Optimization Society* (Second Edi).
- Varila, M., Seppänen, M., & Suomala, P. (2007). Detailed cost modelling: A case study in warehouse logistics. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37(3), 184–200. <https://doi.org/10.1108/09600030710742416>
- Waters, D. (2010). *Global Logistics: New Directions in Supply Chain Management* (6th editio). Kogan Page Limited.
- Wernke, R., Mendes, E., & Lembeck, M. (2010). ABC versus TDABC : estudo de caso em transportadora. *XVII Congresso Brasileiro de Custos*, 16.
- Yan, L., & Peng, Z. (2016). The Research of Cost Control about the Third Party Logistics Enterprise Based

on Activity-Based Costing Model. *Proceedings - 8th International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation, ICICTA 2015*, 1018–1021.  
<https://doi.org/10.1109/ICICTA.2015.282>

## ANEXO 1 – MATRIZ DE COSTOS MATLAB SEMANA 1

0	18.57943980 09572	12.54906897 79618	13.13606719 48752	9.149293475 52046	13.76557631 98709	10.55380174 18295	11.87547943 97041	15.46261214 18595	13.69999256 25648	10.82098609 00832	14.25903004 09515	14.32279663 10619	13.00532385 10279	10.19871315 39015	14.16080630 85170	17.47214987 10592
0	0	6.127074863 73061	6.317434844 17814	9.527330436 97602	5.014739865 48764	8.810207584 99460	6.708551444 74340	3.397636299 76951	5.025012783 22995	7.759556932 89023	5.911477893 08763	4.652055794 11005	7.439226182 76885	8.517171111 35696	6.324291644 26231	1.251276967 80156
0	6.127074863 73061	0	3.588568214 17078	3.418255388 89119	1.236534596 91644	4.287842070 60750	0.945159459 128338	2.916116652 38372	1.152273906 96150	1.964786554 94184	4.587084017 43452	1.869622716 18715	4.963060072 46294	3.118263604 08486	4.924765471 96605	5.155341026 92233
0	6.317434844 17814	3.588568214 17078	0	5.228130996 10852	3.982404307 42178	2.661316437 21281	3.044043715 88427	4.674030868 51746	3.797624490 77370	3.289827037 35808	1.267411806 97334	4.538130567 46767	1.477862336 80213	3.137202070 84627	1.440715219 46226	5.066866253 89849
0	9.527330436 97602	3.418255388 89119	5.228130996 10852	0	4.619889813 22484	3.828256525 53961	2.874444319 54364	6.319950102 61246	4.562166609 14263	2.016414914 39525	6.493788285 02274	5.175025382 88514	5.982342450 01871	2.319221765 41812	6.632316805 22538	8.499634784 21592
0	5.014739865 48764	1.236534596 91644	3.982404307 42178	4.619889813 22484	0	5.267753396 88507	2.097723382 42213	1.701116263 40896	0.185184254 066858	3.174025314 22104	4.716970147 87789	0.675763726 109189	5.450522114 08998	4.268774129 00254	5.120840073 87251	4.148672725 28047
0	8.810207584 99460	4.287842070 60750	2.661316437 21281	3.828256525 53961	5.267753396 88507	0	3.361700789 54864	6.541456467 92073	5.101631544 26025	2.689138118 15356	3.708030258 36934	5.937860713 86974	2.543917995 24482	1.593932244 61887	3.614939196 53703	7.576427560 64550
0	6.708551444 74340	0.945159459 128338	3.044043715 88427	2.874444319 54364	2.097723382 42213	3.361700789 54864	0	3.687639590 18553	1.971508534 88044	1.094705372 50053	4.186198754 56394	2.763209430 04495	4.294858728 94245	2.182777451 53795	4.461520509 74212	5.641086434 03324
0	3.397636299 76951	2.916116652 38372	4.674030868 51746	6.319950102 61246	1.701116263 40896	6.541456467 92073	3.687639590 18553	0	1.763857602 55266	4.782315002 61316	5.000656019 58957	1.255034209 27579	6.122842176 38436	5.778865467 29014	5.451387041 40976	2.726454305 13368
0	5.025012783 22995	1.152273906 96150	3.797624490 77370	4.562166609 14263	0.185184254 066858	5.101631544 26025	1.971508534 88044	1.763857602 55266	0	3.057242352 51065	4.540582037 66225	0.836229789 610539	5.265413967 75852	4.130422378 62103	4.942128174 86196	4.122994622 01294
0	7.759556932 89023	1.964786554 94184	3.289827037 35808	2.016414914 39525	3.174025314 22104	2.689138118 15356	1.094705372 50053	4.782315002 61316	3.057242352 51065	0	4.540260165 48629	3.828311351 60237	4.255113490 27000	1.230882887 11969	4.723264705 22267	6.658754956 92354
0	5.911477893 08763	4.587084017 43452	1.267411806 97334	6.493788285 02274	4.716970147 87789	3.708030258 36934	4.186198754 56394	5.000656019 58957	4.540582037 66225	4.540260165 48629	0	5.168654195 32900	1.572738611 87977	4.388382842 15567	0.455887272 094606	4.682139346 23333
0	4.652055794 11005	1.869622716 18715	4.538130567 46767	5.175025382 88514	0.675763726 109189	5.937860713 86974	2.763209430 04495	1.255034209 27579	0.836229789 610539	3.828311351 60237	5.168654195 32900	0	6.014912065 21986	4.939971769 12205	5.590963929 43966	3.917954054 13744
0	7.439226182 76885	4.963060072 46294	1.477862336 80213	5.982342450 01871	5.450522114 08998	2.543917995 24482	4.294858728 94245	6.122842176 38436	5.265413967 75852	4.255113490 27000	1.572738611 87977	6.014912065 21986	0	3.686470019 24333	1.267633194 87008	6.197087853 00207
0	8.517171111 35696	3.118263604 08486	3.137202070 84627	2.319221765 41812	4.268774129 00254	1.593932244 61887	2.182777451 53795	5.778865467 29014	4.130422378 62103	1.230882887 11969	4.388382842 15567	4.939971769 12205	3.686470019 24333	0	4.453918575 36665	7.347581915 18035
0	6.324291644 26231	4.924765471 96605	1.440715219 46226	6.632316805 22538	5.120840073 87251	3.614939196 53703	4.461520509 74212	5.451387041 40976	4.942128174 86196	4.723264705 22267	0.455887272 094606	5.590963929 43966	1.267633194 87008	4.453918575 36665	0	5.103489412 11211
0	1.251276967 80156	5.155341026 92233	5.066866253 89849	8.499634784 21592	4.148672725 28047	7.576427560 64550	5.641086434 03324	2.726454305 13368	4.122994622 01294	6.658754956 92354	4.682139346 23333	3.917954054 13744	6.197087853 00207	7.347581915 18035	5.103489412 11211	0

## ANEXO 2 – MATRIZ DE CUSTOS MATLAB SEMANA 2

0	14.25876362 96668	7.835907523 89029	12.306202431 2758	6.477918606 51380	11.19068832 47279	13.139061742 9025	13.136713028 4316	13.91770714 75162	10.41791877 17761	14.80555406 73238	13.76535764 58109	10.53194437 07682	12.854866264 5260	8.305373087 17454
0	0	7.451157662 52614	6.5013753416 2907	8.773779429 01922	4.687417371 46873	1.2707268059 4606	6.5289920452 3055	2.003076076 44192	4.367250283 17627	3.576406769 09153	4.717109442 48834	3.728925571 46285	1.4740806545 7965	6.498493849 17115
0	7.451157662 52614	0	9.1072392271 4052	5.612554813 25140	6.785285329 02641	6.6807749082 9580	9.7769785298 6400	7.977252554 39771	3.091773826 61505	9.461136363 53197	9.235393423 09016	4.149825849 70191	6.3644958753 4279	4.785332173 02101
0	6.501375341 62907	9.107239227 14052	0	5.843676756 68921	2.501130698 34247	5.4724097739 6122	0.8308480717 65048	4.619038618 55429	7.403624674 33877	3.966399459 83191	2.293804844 26207	5.724578021 14178	5.5087042348 9273	4.637747466 93169
0	8.773779429 01922	5.612554813 25140	5.843676756 8921	0	4.868458573 45322	7.5223960904 0530	6.6743292992 9336	7.912947930 72906	6.227327971 39722	8.514079868 93780	7.335287776 44631	5.399847129 89355	7.2999176327 6271	2.275292065 46196
0	4.687417371 46873	6.785285329 02641	2.5011306983 4247	4.868458573 45322	0	3.4721820306 3032	3.0398956898 6330	3.246332349 18647	4.902701606 57933	3.647148427 24581	2.663481521 35307	3.223607173 98289	3.4046234772 9404	2.912908058 69386
0	1.270726805 94606	6.680774908 29580	5.4724097739 6122	7.522396090 40530	3.472182030 63032	0	5.6120939714 4050	1.517178799 15287	3.699683506 09032	3.244856859 50334	3.969878148 66751	2.683725031 85636	0.3164122539 12193	5.248498532 39904
0	6.528992045 23055	9.776978529 86400	0.8308480717 65048	6.674329299 29336	3.039895689 86330	5.6120939714 4050	0	4.564633246 22735	7.899658262 44045	3.616022357 25883	1.957292639 97622	6.216624687 86108	5.6938489310 6413	5.413801568 36320
0	2.003076076 44192	7.977252554 39771	4.6190386185 5429	7.912947930 72906	3.246332349 18647	1.5171787991 5287	4.5646332462 2735	0	5.114544758 79787	1.731778665 65541	2.715676996 27016	3.843862365 45118	1.7824851870 3512	5.713802743 30855
0	4.367250283 17627	3.091773826 61505	7.4036246743 3877	6.227327971 39722	4.902701606 57933	3.6996835060 9032	7.8996582624 4045	5.114544758 79787	0	6.737112200 78438	6.878355324 69839	1.683581921 14635	3.3897171208 0887	4.342355889 87180
0	3.576406769 09153	9.461136363 53197	3.9663994598 3191	8.514079868 93780	3.647148427 24581	3.2448568595 0334	3.6160223572 5883	1.731778665 65541	6.737112200 78438	0	1.681535184 88026	5.317547047 69095	3.4957130212 1982	6.500322946 61586
0	4.717109442 48834	9.235393423 09016	2.2938048442 6207	7.335287776 44631	2.663481521 35307	3.9698781486 6751	1.9572926399 7622	2.715676996 27016	6.878355324 69839	1.681535184 88026	0	5.263423488 13351	4.1202002267 7694	5.56457919 38444
0	3.728925571 46285	4.149825849 70191	5.7245780211 4178	5.399847129 89355	3.223607173 98289	2.6837250318 5636	6.2166246878 6108	3.843862365 45118	1.683581921 14635	5.317547047 69095	5.263423488 13351	0	2.3772281869 8778	3.225711150 97208
0	1.474080654 57965	6.364495875 34279	5.5087042348 9273	7.299917632 76271	3.404623477 29404	0.3164122539 12193	5.6938489310 6413	1.782485187 03512	3.389717120 80887	3.495713021 21982	4.120200226 77694	2.377228186 98778	0	5.024627636 86002
0	6.498493849 17115	4.785332173 02101	4.6377474669 3169	2.275292065 46196	2.912908058 69386	5.2484985323 9904	5.4138015683 6320	5.713802743 30855	4.342355889 87180	6.500322946 61586	5.56457919 38444	3.225711150 97208	5.0246276368 6002	0

### ANEXO 3 – MATRIZ DE CUSTOS MATLAB SEMANA 3

0	13.1390254464344	11.1906392954188	10.1960313625569	18.5790566256778	14.3222336254406	13.7745900629478
0	0	3.47209547781817	3.13674996274071	6.30716102766501	4.52438421552228	3.85666363768624
0	3.47209547781817	0	1.82845490741056	7.40366047569403	3.29961603790538	2.64668227597221
0	3.13674996274071	1.82845490741056	0	8.52052867806428	4.94422964133030	4.22559665769270
0	6.30716102766501	7.40366047569403	8.52052867806428	0	4.65185944006257	4.96812559392862
0	4.52438421552228	3.29961603790538	4.94422964133030	4.65185944006257	0	0.745282116762736
0	3.85666363768624	2.64668227597221	4.22559665769270	4.96812559392862	0.745282116762736	0

### ANEXO 4 – MATRIZ DE CUSTOS MATLAB SEMANA 4

0	7.83502361181442	12.8545428642667	15.4634920756563	10.8207708357044	15.0788689559425	13.7654045493072	9.99777748882441	12.3062291311282	13.1371752778144	12.3389290119353
0	0	6.36489078581685	10.6421213816865	6.19702795980688	8.02237358342578	9.23623321869772	7.03143247393000	9.10783252939395	9.77750609759372	9.14766738531567
0	6.36489078581685	0	4.89839036254394	3.16675780323549	2.45101525767592	4.12091117716647	5.17279729700686	5.50919196314918	5.69377407188682	5.53607067558453
0	10.6421213816865	4.89839036254394	0	4.78305984997931	5.61716287894220	1.70226393396950	5.57313443451627	3.73111605501168	3.12050382841338	3.71875543044757
0	6.19702795980688	3.16675780323549	4.78305984997931	0	5.55455219625751	3.17402595703570	2.01012425269469	3.06840485364658	3.63041364264680	3.10610093208456
0	8.02237358342578	2.45101525767592	5.61716287894220	5.55455219625751	0	5.56033542715203	7.53109351690666	7.45129587066810	7.42870924329901	7.47058054263847
0	9.23623321869772	4.12091117716647	1.70226393396950	3.17402595703570	5.56033542715203	0	3.88111215059458	2.29377680597524	1.95638491002331	2.29385975651219
0	7.03143247393000	5.17279729700686	5.57313443451627	2.01012425269469	7.53109351690666	3.88111215059458	0	2.39240707727811	3.21004231690440	2.42963882900406
0	9.10783252939395	5.50919196314918	3.73111605501168	3.06840485364658	7.45129587066810	2.29377680597524	2.39240707727811	0	0.831262373137814	0.0399503977079234
0	9.77750609759372	5.69377407188682	3.12050382841338	3.63041364264680	7.42870924329901	1.95638491002331	3.21004231690440	0.831262373137814	0	0.798246623991366
0	9.14766738531567	5.53607067558453	3.71875543044757	3.10610093208456	7.47058054263847	2.29385975651219	2.42963882900406	0.0399503977079234	0.798246623991366	0

## **ANEXO 5 – TEMPOS MÍNIMOS, MÉDIOS E MÁXIMOS DO TRANSPORTE DA MERCADORIA NA SEMANA 1**

<b>Semana 1</b>	Tempo mínimo	Tempo médio	Tempo máximo
ROTA 1 - Transporte da mercadoria do local de carga à primeira descarga	807	819	831
ROTA 1 - Transporte da mercadoria durante os vários locais de descarga	593	602	611
ROTA 1 - Transporte da mercadoria entre o local da última descarga e o armazém	1192	1208	1224
ROTA 2 - Transporte da mercadoria do local de carga à primeira descarga	740	751	762
ROTA 2 - Transporte da mercadoria durante os vários locais de descarga	248	256	264
ROTA 2 - Transporte da mercadoria entre o local da última descarga e o armazém	872	883	894
ROTA 3 - Transporte da mercadoria do local de carga à primeira descarga	566	572	578
ROTA 3 - Transporte da mercadoria durante os vários locais de descarga	512	518	524
ROTA 3 - Transporte da mercadoria entre o local da última descarga e o armazém	1046	1052	1058
ROTA 4 - Transporte da mercadoria do local de carga à primeira descarga	715	720	725
ROTA 4 - Transporte da mercadoria durante os vários locais de descarga	551	557	563
ROTA 4 - Transporte da mercadoria entre o local da última descarga e o armazém	1056	1062	1068

## ANEXO 6 – TEMPOS MÍNIMOS, MÉDIOS E MÁXIMOS DO TRANSPORTE DA MERCADORIA NA SEMANA 2

<b>Semana 2</b>	Tempo mínimo	Tempo médio	Tempo máximo
ROTA 1 - Transporte da mercadoria do local de carga à primeira descarga ( $\beta_1$ )	367	373	379
ROTA 1 - Transporte da mercadoria durante os vários locais de descarga ( $\beta_2$ )	413	419	425
ROTA 1 - Transporte da mercadoria entre o local da última descarga e o armazém ( $\beta_3$ )	792	797	802
ROTA 2 - Transporte da mercadoria do local de carga à primeira descarga ( $\beta_1$ )	695	700	705
ROTA 2 - Transporte da mercadoria durante os vários locais de descarga ( $\beta_2$ )	339	343	347
ROTA 2 - Transporte da mercadoria entre o local da última descarga e o armazém ( $\beta_3$ )	1065	1070	1075
ROTA 3 - Transporte da mercadoria do local de carga à primeira descarga ( $\beta_1$ )	797	803	809
ROTA 3 - Transporte da mercadoria durante os vários locais de descarga ( $\beta_2$ )	675	678	681
ROTA 3 - Transporte da mercadoria entre o local da última descarga e o armazém ( $\beta_3$ )	1050	1055	1060
ROTA 4 - Transporte da mercadoria do local de carga à primeira descarga ( $\beta_1$ )	698	702	706
ROTA 4 - Transporte da mercadoria durante os vários locais de descarga ( $\beta_2$ )	300	304	308
ROTA 4 - Transporte da mercadoria entre o local da última descarga e o armazém ( $\beta_3$ )	956	961	966
ROTA 5 - Transporte da mercadoria do local de carga à primeira descarga ( $\beta_1$ )	728	732	736
ROTA 5 - Transporte da mercadoria durante os vários locais de descarga ( $\beta_2$ )	0	0	0

ROTA 5 - Transporte da mercadoria entre o local da última descarga e o armazém ( $\beta_3$ )	745	749	753
ROTA 6 - Transporte da mercadoria do local de carga à primeira descarga ( $\beta_1$ )	533	537	541
ROTA 6 - Transporte da mercadoria durante os vários locais de descarga ( $\beta_2$ )	570	575	580
ROTA 6 - Transporte da mercadoria entre o local da última descarga e o armazém ( $\beta_3$ )	914	919	924

### **ANEXO 7 – TEMPOS MÍNIMOS, MÉDIOS E MÁXIMOS DO TRANSPORTE DA MERCADORIA NA SEMANA 3**

<b>Semana 3</b>	Tempo mínimo	Tempo médio	Tempo máximo
ROTA 1 - Transporte da mercadoria do local de carga à primeira descarga ( $\beta_1$ )	862	867	872
ROTA 1 - Transporte da mercadoria durante os vários locais de descarga ( $\beta_2$ )	411	417	423
ROTA 1 - Transporte da mercadoria entre o local da última descarga e o armazém ( $\beta_3$ )	1188	1192	1196
ROTA 2 - Transporte da mercadoria do local de carga à primeira descarga ( $\beta_1$ )	697	702	707
ROTA 2 - Transporte da mercadoria durante os vários locais de descarga ( $\beta_2$ )	392	399	406
ROTA 2 - Transporte da mercadoria entre o local da última descarga e o armazém ( $\beta_3$ )	952	958	964

## ANEXO 8 – TEMPOS MÍNIMOS, MÉDIOS E MÁXIMOS DO TRANSPORTE DA MERCADORIA NA SEMANA 4

<b>Semana 4</b>	Tempo mínimo	Tempo médio	Tempo máximo
ROTA 1 - Transporte da mercadoria do local de carga à primeira descarga ( $\beta_1$ )	585	590	595
ROTA 1 - Transporte da mercadoria durante os vários locais de descarga ( $\beta_2$ )	618	622	626
ROTA 1 - Transporte da mercadoria entre o local da última descarga e o armazém ( $\beta_3$ )	892	896	900
ROTA 2 - Transporte da mercadoria do local de carga à primeira descarga ( $\beta_1$ )	720	724	728
ROTA 2 - Transporte da mercadoria durante os vários locais de descarga ( $\beta_2$ )	930	934	938
ROTA 2 - Transporte da mercadoria entre o local da última descarga e o armazém	1108	1113	1118
ROTA 3 - Transporte da mercadoria do local de carga à primeira descarga ( $\beta_1$ )	733	737	741
ROTA 3 - Transporte da mercadoria durante os vários locais de descarga ( $\beta_2$ )	0	0	0
ROTA 3 - Transporte da mercadoria entre o local da última descarga e o armazém	738	744	750
ROTA 4 - Transporte da mercadoria do local de carga à primeira descarga ( $\beta_1$ )	727	732	737
ROTA 4 - Transporte da mercadoria durante os vários locais de descarga ( $\beta_2$ )	0	0	0
ROTA 4 - Transporte da mercadoria entre o local da última descarga e o armazém ( $\beta_3$ )	733	739	745

## ANEXO 9 – CUSTOS DA VIAGEM COM TEMPOS MÍNIMOS, MÉDIOS E MÁXIMOS

Semana	Custo Viagem Tempos Mínimos (euros)	Custo Viagem Tempos Médios (euros)	Custo Viagem Tempos Máximos (euros)
1	6664,615641	6741,013797	6817,411953
2	8716,13084	8776,050962	8835,971085
3	3372,004902	3396,721952	3421,439003
4	5830,227933	5865,431005	5900,634077

## ANEXO 10 – RESULTADOS SEMANA 2

SEMANA 2	CUSTO TOTAL	RECEITA TOTAL	MARGEM	QUILÓMETROS PERCORRIDOS	CUSTO/KM	RECEITA/KM	REPARAÇÃO	CUSTO/KM (S/REP)
ROTA 1	1604	1946	342	1412	1,14	1,38	NÃO	-
ROTA 2	1996	2000	4	1714	1,16	1,17	NÃO	-
ROTA 3	2564	2400	-164	2499	1,03	0,96	SIM	0,93
ROTA 4	1887	2490	603	1756	1,07	1,42	NÃO	-
ROTA 5	1774	1600	-174	1292	1,37	1,24	SIM	1,18
ROTA 6	1935	2990	1055	1923	1,01	1,55	NÃO	-

**ANEXO 11 – RESULTADOS SEMANA 3**

<b>SEMANA 3</b>	CUSTO TOTAL	RECEITA TOTAL	MARGEM	QUILÓMETROS PERCORRIDOS	CUSTO/KM	RECEITA/KM	REPARAÇÃO	CUSTO/KM (S/REP)
ROTA 1	2268	3250	982	2176	1,04	1,49	NÃO	-
ROTA 2	1956	2200	244	1839	1,06	1,20	NÃO	-

**ANEXO 12 – RESULTADOS SEMANA 4**

<b>SEMANA 4</b>	CUSTO TOTAL	RECEITA TOTAL	MARGEM	QUILÓMETROS PERCORRIDOS	CUSTO/KM	RECEITA/KM	REPARAÇÃO	CUSTO/KM (S/REP)
ROTA 1	1992	2500	508	2098	0,95	1,19	NÃO	-
ROTA 2	2740	1700	-1040	2734	1,00	0,62	SIM	0,91
ROTA 3	1774	1550	-224	1292	1,37	1,20	SIM	1,18
ROTA 4	1515	2222	706	1288	1,18	1,73	NÃO	-