



LISBON
SCHOOL OF
ECONOMICS &
MANAGEMENT

UNIVERSIDADE DE LISBOA

MESTRADO EM

**MÉTODOS QUANTITATIVOS PARA A DECISÃO
ECONÓMICA E EMPRESARIAL**

TRABALHO FINAL DE MESTRADO

RELATÓRIO DE ESTÁGIO

**REDE DE RETALHO NUM CONTEXTO DE MUDANÇA DE
PARADIGMA – CASO DA GALP ENERGIA**

**MARGARIDA ALBUQUERQUE DE MAGALHÃES DE
ALMEIDA MARQUES**

OUTUBRO - 2019



LISBON
SCHOOL OF
ECONOMICS &
MANAGEMENT

UNIVERSIDADE DE LISBOA

MESTRADO EM
MÉTODOS QUANTITATIVOS PARA A DECISÃO
ECONÓMICA E EMPRESARIAL

TRABALHO FINAL DE MESTRADO

RELATÓRIO DE ESTÁGIO

REDE DE RETALHO NUM CONTEXTO DE MUDANÇA DE
PARADIGMA – CASO DA GALP ENERGIA

MARGARIDA ALBUQUERQUE DE MAGALHÃES DE
ALMEIDA MARQUES

ORIENTAÇÃO:

PROF.^a DOUTORA MARIA CÂNDIDA VERGUEIRO MONTEIRO CIDADE MOURÃO

ENGENHEIRO ANTÓNIO DE JESUS RODRIGUES TEIXEIRA

OUTUBRO - 2019

- *Aos meus Avós*

Agradecimentos

No decurso da tese de mestrado, tive oportunidade de constatar que, apesar de todo o processo bastante solitário a que qualquer investigador está destinado, a mesma reúne contributos de várias pessoas. Trilhar este caminho só foi possível com o seu apoio, energia e força, a quem dedico especialmente este projeto de vida e estarei eternamente grata.

Particularmente à minha orientadora, *Professora Doutora Maria Cândida Mourão*, pelo seu total apoio, disponibilidade, trato simples, correto e científico, com que sempre abordou as nossas reuniões de trabalho, sempre com uma visão crítica, um empenho inexcedível e uma exigência salutar, os quais contribuíram não só para o meu crescimento pessoal como também para o enriquecimento de todas as etapas subjacentes a este relatório. Não esquecendo todas as *Coordenadoras e Professores do Mestrado em Métodos Quantitativos para a Decisão Económica e Empresarial*, a quem agradeço a oportunidade de partilha de conhecimentos, como também ao *Instituto Superior de Economia e Gestão*.

À *empresa Galp Energia* pela oportunidade de realizar um relatório tão estimulante, principalmente aos *Engenheiros Luís Soares e António Teixeira* por terem possibilitado a aplicação e concretização do mesmo. Deixo também um agradecimento especial a todos os colaboradores que tive o prazer de conhecer, *Engenheiro Vítor Piteira, Engenheira Maria João Correia, Engenheiro António Flores Monteiro, Filipe Ramos, António Mendes, Helena Matos, Elisa Neto, Rui Loureiro, Sérgio Charrua, Nuno Furtado, José Patrício, José Calisto, Márcia Figueiredo* por toda a disponibilidade que sempre demonstraram para ajudar, também, por toda a boa energia vivida ao longo do meu estágio, sem dúvida excelentes pessoas que nunca esquecerei.

Aos meus pais, pela educação que me deram e por me inculcaram o espírito de lutar constantemente para ser melhor; sem toda a sua cooperação, não teria esta oportunidade de lutar pelos meus sonhos e objetivos. *Ao meu irmão*, pelas palavras de incentivo e encorajamento valorizando todo o meu potencial e por ser a pessoa que mais acredita em mim.

Ao João, um agradecimento muito especial por estar sempre presente na minha vida, pela força que me dá, pela alegria que sinto quando estou com ele, por me fazer ser alguém melhor. *Aos meus amigos*, agradeço a convivência de todos os dias e o facto de serem também uma parte essencial na minha vida.

Resumo

Nas empresas, a logística incorpora as tarefas de planeamento e gestão de recursos, revelando-se uma das principais áreas responsável por manter as empresas competitivas. Uma das suas funções, designada por distribuição, tem como objetivo disponibilizar os produtos, no lugar certo, no momento certo e na quantidade certa, sendo necessário otimizar procedimentos para que as operações sejam rentáveis e lucrativas. Neste sentido, surge este relatório, que pretende analisar como é que a atividade de distribuição na empresa Galp Energia pode beneficiar com uma mudança de paradigma.

A última alteração do regulamento que fixa os pesos e as dimensões máximos autorizados para os veículos em circulação, possibilita uma renovação na capacidade dos veículos utilizados pela empresa na distribuição dos seus produtos. Assim, a Galp Energia, que se define como uma empresa inovadora e bastante competitiva no mercado da distribuição de produtos petrolíferos, sugere um trabalho académico que viabiliza uma análise do impacto da nova capacidade permitida na sua frota. Como os vários produtos comercializados são distribuídos por diferentes tipos de veículos, a empresa destaca os mais predominantes, isto é, os gasóleos e as gasolinas, designados por combustíveis brancos.

Os dados disponibilizados remetem ao primeiro semestre de 2018. Na realização deste relatório, descreve-se o que se observou na distribuição dos combustíveis brancos durante este período e apresenta-se um modelo matemático que tem como objetivo a minimização da distância percorrida pelos veículos, para satisfazer a procura de todos os clientes, tendo em conta as restrições do problema. Desenvolve-se, então, um modelo em Programação Linear Inteira (PLI), baseado em algumas variantes do *Vehicle Routing Problem* (VRP), em português, Problema de Planeamento de Rotas de Veículos.

Para implementar o modelo matemático recorre-se à construção do mesmo através do *Visual Basic for Applications* (VBA) que automatiza o processamento dos dados fornecidos pela empresa e que permite a ligação com o *software OpenSolver*, utilizado para a identificação das rotas ótimas em algumas instâncias. Assim, para o cenário atual da frota da empresa – capacidade dos veículos inalterada – e para os provenientes da mudança de paradigma – novas capacidades dos veículos –, realiza-se uma análise comparativa das soluções geradas.

Palavras-Chave: *Cluster*, Combustíveis Brancos, Mudança de Paradigma, *OpenSolver*, Programação Linear Inteira, VBA, VRP

Abstract

In companies, logistics takes on the tasks of planning and resource management, proving to be one of the main areas responsible for keeping companies competitive. One of its roles, called distribution, aims to make the right amount of products available at the right place at the right time, demanding for the optimization of procedures to make operations profitable and lucrative. This leads to this report, with the main purpose of analyzing how the distribution activity at Galp Energia can benefit from a paradigm shifting.

The latest amendment to the regulation setting the maximum authorized weights and dimensions for vehicles in circulation, enabled the renewal of the capacity of the vehicles used by the company to distribute its products. Thus, Galp Energia, which defines itself as an innovative and very competitive company in the petroleum products distribution market, suggested an academic work to analyze the impact of the new capacity allowed for its fleet. As the various products sold are distributed by different types of vehicles, the company highlights the most predominant ones, namely diesels and petrols, called white fuels.

The data available refer to the first half of 2018. In this report, it is described the observed distribution of white fuels during this period and it is presented a mathematical model that aims to minimize the distance traveled by vehicles, to satisfy the demand of all customers, taking into account the remaining constraints of the problem. An Integer Linear Programming (PLI) model, based on the Vehicle Routing Problem (VRP) and some variants is developed.

Resorting to VBA software, which automatizes the data supplied by the company, it is possible to implemente the mathematical model and, consequently, to connect this data to OpenSolver where the optimal routes can be identified, in case the problema may be solved. Through this method a comparative analysis between both scenarios of the company fleet, unchanged vehicle capacity and new vehicle capacities, can be done, and ergo understand if the considered changes in capacity would or not be beneficial to the company.

Keywords: Cluster, Integer Linear Programming, OpenSolver, Paradigm Shift, VBA, VRP, White Fuels

Índice

Agradecimentos	i
Resumo.....	ii
<i>Abstract</i>	iii
Índice.....	iv
Lista de Figuras.....	vi
Lista de Tabelas	viii
Lista de Abreviaturas	ix
CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO.....	1
Contexto do Caso de Estudo.....	1
Estrutura do Relatório	3
CAPÍTULO II: ENQUADRAMENTO DO CASO DE ESTUDO.....	3
A Galp Energia	3
História	3
Mercado	4
Estratégia	5
Segmentos de Negócio	6
Refinação	6
Comercialização de produtos petrolíferos	8
Distribuição de Combustíveis Brancos	9
Funcionamento da Rede de Distribuição.....	9
Características Técnicas da Cisterna	11
Mudança de Paradigma	12
Características do Problema	14
Simulação dos Cenários resultantes da Mudança de Paradigma.....	17
CAPÍTULO III: REVISÃO DA LITERATURA	19
Investigação Operacional e Logística	19
<i>Vehicle Routing Problem</i>	20
Variantes do VRP relacionados com o problema em estudo	21

<i>Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)</i>	21
<i>Multi-Compartment Vehicle Routing Problem (MC-VRP)</i>	22
<i>Vehicle Routing Problem with Split Delivery (VRPSD)</i>	22
CAPÍTULO IV: DEFINIÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA	23
Recolha e Análise de Dados	23
Perfil de Distribuição destes Combustíveis Brancos do Período em Análise	24
Formulação em Programação Linear Inteira (Mista)	29
CAPÍTULO V: RESOLUÇÃO DO CASO DE ESTUDO	33
Implementação do Modelo Matemático.....	34
Análise das Soluções Geradas	35
CAPÍTULO VI: CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	39
REFERÊNCIAS	41
ANEXOS.....	42
Anexo I – Fretes realizados em Portugal no 1º semestre de 2018	42
Anexo II – Fretes realizados em Portugal por <i>Cluster</i> no 1º semestre de 2018	43
Anexo III – Veículos utilizados em Portugal no 1º semestre de 2018	48
Anexo IV – Veículos utilizados por <i>Cluster</i> no 1º Semestre de 2018	49
Anexo V – Simulações de diferentes Cenários resultantes da Mudança de Paradigma por <i>Cluster</i>	52
Anexo VI – Programação em VBA do Modelo Matemático	53

Lista de Figuras

Figura 1 – Perfil de produção das refinarias em 2018.....	7
Figura 2 - Rede de estações de serviço Galp Energia pelo mundo	8
Figura 3 - Mapa dos <i>clusters</i> de programação e dos parques de armazenamento da Galp Energia	10
Figura 4 - Conjunto “veículo-a-motor-semirreboque”.....	11
Figura 5 - Compartimentação típica da atual cisterna.....	12
Figura 6 - Compartimentação da nova cisterna	14
Figura 7 - Lista de produtos presentes no problema	14
Figura 8 - Clientes por <i>cluster</i> observados no primeiro semestre de 2018.....	15
Figura 9 – Aumento da quantidade a transportar em cada cenário face ao atual.....	18
Figura 10 - Representação do Problema de Planeamento de Rotas (VRP).....	20
Figura 11 - Extensões do Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)	22
Figura 12 - Comparação entre soluções ótimas do VRP e do VRPSD	23
Figura 13 - Distância total (km) observada nos diferentes cenários	35
Figura 14 - Média dos <i>drops</i> por frete observado nos diferentes cenários.....	36
Figura 15 – Volume do <i>drop</i> médio dos fretes observado nos diferentes cenários	36
Figura 16 - Tipologia dos fretes (volume) observados nos diferentes cenários.....	36
Figura 17 - Tipologia dos <i>drops</i> (volume) observados nos diferentes cenários	37
Figura 18 - Distribuição de volumes em C0.....	37
Figura 19 - Distribuição de volumes em C2.....	37
Figura 20 - Distribuição de volumes em C1	38
Figura 21 - Distribuição dos fretes.....	42
Figura 22 – Tipologia dos fretes (volume).....	42
Figura 23 - Média do volume por frete	42
Figura 24 - Tipologia <i>drops</i> (volume).....	42
Figura 25 - <i>Drop</i> médio (m ³)	42
Figura 26 - Média dos <i>drops</i> por frete	42
Figura 27 - Perfil de ocupação por frete.....	43
Figura 28 - Tipologia dos fretes (<i>drops</i>)	43
Figura 29 - Distribuição de volumes.....	43
Figura 30 - Fretes realizados no <i>cluster</i> 1	43
Figura 31 - Fretes (volume) realizados no <i>cluster</i> 1	43
Figura 32 - Volume médio por ocupação dos fretes realizados no <i>cluster</i> 1.....	43
Figura 33 - Perfil de ocupação dos fretes realizados no <i>cluster</i> 1.....	43
Figura 34 - Distribuição dos volumes no <i>cluster</i> 1	44

Figura 35 - Fretes realizados no <i>cluster 2</i>	44
Figura 36 - Fretes (volume) realizados no <i>cluster 2</i>	44
Figura 37 - Volume médio por ocupação dos fretes realizados no <i>cluster 2</i>	44
Figura 38 - Perfil de ocupação de cada frete realizado no <i>cluster 2</i>	44
Figura 39 - Distribuição de volumes no <i>cluster 2</i>	44
Figura 40 - Fretes realizados no <i>cluster 3</i>	45
Figura 41 - Fretes (volume) realizados no <i>cluster 3</i>	45
Figura 42 - Volume médio por ocupação dos fretes realizados no <i>cluster 3</i>	45
Figura 43 - Perfil de ocupação de cada frete realizado no <i>cluster 3</i>	45
Figura 44 - Distribuição dos volumes no <i>cluster 3</i>	45
Figura 45 - Fretes realizados no <i>cluster 4</i>	45
Figura 46 - Fretes (volume) realizados no <i>cluster 4</i>	45
Figura 47 - Volume médio por ocupação dos fretes realizados no <i>cluster 4</i>	46
Figura 48 - Perfil de ocupação de cada frete no <i>cluster 4</i>	46
Figura 49 - Distribuição dos volumes no <i>cluster 4</i>	46
Figura 50 - Fretes realizados no <i>cluster 5</i>	46
Figura 51 - Fretes (volume) realizados no <i>cluster 5</i>	46
Figura 52 - Volume médio por ocupação dos fretes realizados no <i>cluster 5</i>	46
Figura 53 - Perfil de ocupação de cada frete realizado no <i>cluster 5</i>	46
Figura 54 - Distribuição dos volumes no <i>cluster 5</i>	47
Figura 55 - Fretes realizados no <i>cluster 6</i>	47
Figura 56 - Fretes (volume) realizados no <i>cluster 6</i>	47
Figura 57 - Volume médio por ocupação dos fretes realizados no <i>cluster 6</i>	47
Figura 58 - Perfil de ocupação de cada frete no <i>cluster 6</i>	47
Figura 59 - Distribuição de volumes no <i>cluster 6</i>	47
Figura 60 - Tipos de tratores	48
Figura 61 - Capacidade média da cisterna por frete.....	48
Figura 62 - Tipos de cisternas.....	48
Figura 63 - Aumento da quantidade a transportar em cada cenário face ao atual no <i>cluster 1</i>	52
Figura 64 - Aumento da quantidade a transportar em cada cenário face ao atual no <i>cluster 2</i>	52
Figura 65 - Aumento da quantidade a transportar em cada cenário face ao atual no <i>cluster 3</i>	52
Figura 66 - Aumento da quantidade a transportar em cada cenário face ao atual no <i>cluster 4</i>	52
Figura 67 - Aumento da quantidade a transportar em cada cenário face ao atual no <i>cluster 5</i>	52
Figura 68 - Aumento da quantidade a transportar em cada cenário face ao atual no <i>cluster 6</i>	53
Figura 69 - Declaração das variáveis e leitura dos inputs	53
Figura 70 - Criação da lista de produtos, das cisternas a utilizar e da função getLetra.....	53
Figura 71 - Criação das variáveis x.....	54

Figura 72 - Criação das variáveis f	54
Figura 73 - Criação das variáveis y.....	54
Figura 74 - Criação das variáveis w e introdução das variáveis de decisão, do objetivo como minimizar e das variáveis x e y como binárias no <i>OpenSolver</i>	54
Figura 75 - Criação e introdução no <i>OpenSolver</i> da função objetivo	54
Figura 76 - Criação e introdução no <i>OpenSolver</i> do grupo de restrições 4 e 2	55
Figura 77 - Criação e introdução no <i>OpenSolver</i> do grupo 5	55
Figura 78 - Criação e introdução no <i>OpenSolver</i> do grupo de restrições 3	55
Figura 79 - Criação e introdução no <i>OpenSolver</i> do grupo de restrições 8.....	55
Figura 80 - Criação e introdução no <i>OpenSolver</i> do grupo de restrições 16.....	56
Figura 81 - Criação e introdução no <i>OpenSolver</i> do grupo de restrições 15.....	56
Figura 82 - Criação e introdução no <i>OpenSolver</i> do grupo de restrições 7	56
Figura 83 - Criação e introdução no <i>OpenSolver</i> do grupo de restrições 9.....	56
Figura 84 - Criação e introdução no <i>OpenSolver</i> do grupo de restrições 11	57
Figura 85 - Criação e introdução no <i>OpenSolver</i> do grupo de restrições 13.....	57
Figura 86 - Criação e introdução no <i>OpenSolver</i> do grupo de restrições 12.....	57
Figura 87 - Criação e introdução no <i>OpenSolver</i> do grupo de restrições 19.....	57
Figura 88 - Criação e introdução no <i>OpenSolver</i> do grupo de restrições 20.....	58
Figura 89 - Criação e introdução no <i>OpenSolver</i> do grupo de restrições 20.....	58
Figura 90 - Criação e introdução no <i>OpenSolver</i> do grupo de restrições 14.....	58
Figura 91 - Criação e introdução no <i>OpenSolver</i> do grupo de restrições 18.....	58
Figura 92 - Criação e introdução no <i>OpenSolver</i> do grupo de restrições 17.....	59
Figura 93 - Criação e introdução no <i>OpenSolver</i> do grupo de restrições 10.....	59

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Exemplos de pesagens realizadas pela transportadora	13
Tabela 2 - Cenários provenientes da mudança de paradigma.....	17
Tabela 3 - Exemplo da capacidade útil (a transportar) de alguns conjuntos "veículo-a-motor-semirreboque" no cluster 1, onde P1 indica gasóleo e P2 gasolina	18
Tabela 4 - Caracterização dos Fretes	42
Tabela 5 - Caracterização dos veículos	48
Tabela 6 - Lista do conjunto "veículo-a-motor-semirreboque" do <i>cluster</i> 1	49
Tabela 7 - Lista do conjunto "veículo-a-motor-semirreboque" do <i>cluster</i> 2.....	49
Tabela 8 - Lista do conjunto "veículo-a-motor-semirreboque" do <i>cluster</i> 3.....	49
Tabela 9 - Lista do conjunto "veículo-a-motor-semirreboque" do <i>cluster</i> 4.....	50
Tabela 10 - Lista do conjunto "veículo-a-motor-semirreboque" do <i>cluster</i> 5	50
Tabela 11 - Lista do conjunto "veículo-a-motor-semirreboque" do <i>cluster</i> 6.....	51

Lista de Abreviaturas

ADR – Acordo Europeu Relativo ao Transporte Internacional de Mercadorias Perigosas por Estrada

ASRA – Acordo Sobre Segurança Rodoviária

cfr. – conforme

CLC – Companhia Logística de Combustíveis

CRGE – Companhias Reunidas de Gás e Eletricidade

CVRP – *Capacitated Vehicle Routing Problem*

E&P – Exploração e Produção

GDP – Gás de Portugal

G&P – Gás & Power

GPL – Gases de Petróleo Liquefeito

GNL – Gás Natural Liquefeito

I&D – Investigação e Desenvolvimento

IO – Investigação Operacional

MC-VRP – *Multi-Compartment Vehicle Routing Problem*

NRP – *Node Routing Problems*

PDT – *Portable Data Terminal*

PB – Peso Bruto

R&D – Refinação e Distribuição

SAP – *Systeme Anwendungen and Produkte*

SPP – Sociedade Portuguesa de Petroquímica

Ton – Toneladas

VRP – *Vehicle Routing Problem*

VRPSD – *Vehicle Routing Problem with Split Delivery*

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

Contexto do Caso de Estudo

A Galp Energia é uma empresa integrada de energia que fomenta a inovação e procura implementar estratégias para garantir vantagens competitivas, adaptando-se às necessidades quer dos clientes quer da sociedade em geral. Assim, a logística, que tem sido alvo de estudo por vários autores, assume um papel fundamental para melhorar a eficiência da empresa. Mostra-se ser uma das áreas mais marcantes na gestão das empresas modernas, assumindo atividades direcionadas para o controlo e gestão de fluxos suportados num adequado planeamento dos recursos existentes (Costa, Dias, & Godinho, 2017).

A principal função da logística é a distribuição. Esta é responsável pela definição e gestão do conjunto de atividades estruturadas destinadas à comercialização de produtos e prestação de serviços. Os custos com a distribuição são muito elevados¹, nomeadamente no que respeita ao transporte. Para a maior parte dos produtos comercializados pelas empresas, o transporte representa uma percentagem significativa do custo final do produto apresentado ao consumidor². Logo, o mesmo é considerado como uma prioridade na gestão da distribuição, podendo a sua otimização ditar um aumento de competitividade para a empresa.

Com vista à otimização dos procedimentos e recursos utilizados no transporte, os problemas de planeamento de rotas de veículos (VRP – *Vehicle Routing Problem*) e suas variantes assumem cada vez maior importância, pelo que têm sido amplamente estudados na área da investigação operacional. Esta área científica define-se como sendo capaz “de fornecer aos departamentos executivos as bases quantitativas para a tomada de decisões sobre as operações que controlam” (Morse & Kimball, 1951).

A Galp Energia oferece serviços e produtos de valor acrescentado no setor energético, ambicionando ser vista como a marca número um nas preferências dos

¹ Considerando o preço total, com fiscalidade, os custos da logística secundária (distribuição a partir dos parques e das refinarias para os clientes), incluindo as margens comerciais, representam quase 10% (cerca de 9,3% nas gasolinas e cerca de 9,8% nos gasóleos). Como a fiscalidade representa cerca de 65% nas gasolinas e cerca de 55% nos gasóleos rodoviários, sem a fiscalidade os custos logísticos, com as margens, representam cerca de 20%. Como estão envolvidos grandes volumes, nomeadamente no caso do gasóleo, os custos logísticos são uma componente importante na conta de exploração.

² A APETRO (Associação Portuguesa de Empresas Petrolíferas) indica entre 10% a 15% para os custos de transporte no preço final dos combustíveis. Fonte: <https://www.noticiasaminuto.com/economia/1324679/combustiveis-devem-encarecer-apetro-nao-preve-crise-de-abastecimento>

consumidores. A empresa comercializa os vários tipos de produtos derivados do petróleo, uns dirigidos à indústria como matéria-prima e outros utilizados como combustíveis. Entre estes destacam-se as gasolinas e os gasóleos utilizados nos transportes. No caso dos transportes rodoviários, estes produtos são distribuídos por diferentes tipos de veículos rodoviários. Para além da classificação entre produtos combustíveis e produtos para a indústria (não utilizados como combustíveis) é também usual a divisão entre produtos pretos (fuelóleo e asfaltos, principalmente) e produtos brancos (gases, naftas, gasolinas, gasóleos, jets, etc). Como as gasolinas e os gasóleos utilizados são em geral os produtos mais representativos da indústria petrolífera, pertencem à classe dos produtos brancos e são principalmente utilizados como combustíveis, vamos designá-los por *combustíveis brancos*, mas tendo presente que existem na indústria outros combustíveis e outros produtos brancos, inclusive combustíveis brancos (GPL e jets, estes utilizados na aviação) para facilidade de exposição. Deste modo e tendo em conta que no ano de 2018 os combustíveis brancos rodoviários, gasóleos e gasolinas, mantiveram o predomínio na sua estrutura de produção e distribuição, a empresa sugere que o presente relatório se foque neste conjunto de produtos.

De modo a ser possível comercializar estes produtos, os veículos, utilizados nesta atividade da empresa, devem circular tendo como base os limites estabelecidos no regulamento que fixa os pesos e dimensões máximos.

No dia 11 de outubro de 2017, foi publicado no Diário da República o Decreto-Lei que aprova o novo regulamento para os veículos em circulação. Neste sentido, levanta-se a possibilidade de alterar a frota utilizada na atividade de distribuição. É neste contexto que surge o propósito deste relatório, o qual pretende realizar um estudo do impacto da mudança de paradigma, ou seja, da nova capacidade dos veículos permitida nas rotas de distribuição de combustíveis brancos realizadas pela empresa Galp Energia.

O objetivo deste relatório consiste assim em desenvolver um modelo matemático baseado no problema de planeamento de rotas de veículos, tendo em conta as características e restrições consideradas relevantes na atividade de distribuição da empresa, com vista a analisar e comparar as soluções geradas nos diferentes cenários provenientes da mudança de paradigma.

Para gerar as soluções referidas, o modelo matemático é implementado com recurso ao VBA, linguagem de programação incorporada no *Microsoft Excel*, fazendo uma ligação ao *software OpenSolver* que será utilizado na identificação das rotas ótimas do caso de estudo.

Estrutura do Relatório

O presente documento está estruturado em seis capítulos.

No primeiro capítulo faz-se uma introdução e contextualiza-se o caso de estudo, apresentando-se também os objetivos e estrutura do relatório.

No segundo capítulo realiza-se um enquadramento do caso de estudo e uma breve apresentação da empresa: caracteriza-se o funcionamento atual da distribuição de combustíveis brancos e dos veículos utilizados para os transportar; aprofunda-se a mudança de paradigma; descrevem-se as características do problema; e, termina-se, este capítulo, com uma análise de simulações realizadas para a capacidade dos veículos para os diferentes cenários provenientes da mudança de paradigma.

No terceiro capítulo analisa-se literatura existente sobre Investigação Operacional, Logística e o tema central do trabalho, o Problema de Planeamento de Rotas de Veículos e algumas das suas variantes.

No quarto capítulo define-se e desenvolve-se a metodologia, que consiste numa análise dos dados recolhidos, que remetem ao primeiro semestre de 2018, e à definição e formulação do modelo matemático para o problema.

No quinto capítulo implementa-se o modelo matemático desenvolvido em algumas instâncias e faz-se a análise dos resultados obtidos.

Finalmente, no sexto capítulo, indicam-se as conclusões do trabalho desenvolvido, bem como as suas limitações e propostas para futuras pesquisas.

CAPÍTULO II: ENQUADRAMENTO DO CASO DE ESTUDO

A Galp Energia

História³

A origem da Galp remonta ao século XIX. Em 1846, Lisboa começou a ser iluminada com os primeiros candeeiros a gás. Da iluminação a gás, ao petróleo e ao gás natural, passaram-se anos de evolução técnica, económica e social. Ao ritmo do aparecimento destas fontes de energia, surgem várias empresas – a CRGE (Companhias Reunidas de Gás e Electricidade), a Sonap, a Sacor, a SPP (Sociedade Portuguesa de Petroquímica), entre outras – que traçam os destinos do setor energético em Portugal e que mais tarde

³ Fonte: <https://www.galpennergia.com/PT/agalpennergia/Fundacao-Galp-Energia/Documents/Apres-Gasah-istorianatural.pdf>

darão origem à Galp Energia. Mas é somente em 22 de Abril de 1999 que a mesma se dá como constituída, com o nome de Galp – Petróleo e Gás de Portugal, SGPS, S.A., na sequência da fusão entre a Petrogal – a única empresa refinadora e principal distribuidora de produtos petrolíferos em Portugal – a GDP – Gás de Portugal, S.A., empresa envolvida na distribuição de gás à cidade de Lisboa e no projeto de gás natural, e a Transgás – Sociedade Portuguesa de Fornecimento de Gás Natural, SA., que assinou em 1993 o contrato de concessão de importação, transporte e armazenagem e fornecimento de Gás Natural com o Estado Português, geria o transporte de gás natural em alta pressão (por gasoduto) e tinha em construção o terminal de regaseificação de Sines. Posteriormente, parte da Transgás, nomeadamente o transporte, armazenagem e terminal de regaseificação, passaria para a REN – Redes Energéticas Nacionais, SA.

Conhecida por ser o operador português com mais experiência no sector energético, atravessando três séculos de história de sucesso, distingue-se atualmente como líder de mercado em Portugal e com uma presença cada vez mais marcante no mundo, como um operador integrado de multi-energia, na área do petróleo e do gás natural, e cada vez mais ativo nas energias renováveis, com atividades que se estendem desde a exploração e produção de petróleo e gás natural, à refinação e distribuição de produtos petrolíferos, à distribuição e venda de gás natural e à geração de energia elétrica.

Mercado⁴

A Galp é uma marca internacional que atua no mercado energético, sendo a empresa de referência a nível nacional. Em Espanha, presente desde 1979, está em todos os segmentos de negócio, desde o retalho ao industrial, incluindo combustíveis, GPL (Gases de Petróleo Liquefeito), químicos, gás natural e eletricidade. Em Angola, a rede de retalho da Galp é constituída por mais de 50 estações de serviço, através da Sonangalp que endossa igualmente a marca.

Em Cabo Verde distribui produtos petrolíferos através da Enacol, da qual é a principal acionista. Na Guiné-Bissau, os postos de abastecimento combinam a marca Galp e a Petromar nos seus postos, enquanto em Moçambique a rede de retalho cobre todo o território nacional e inclui 60 estações de serviço. Na atividade de exploração, a Galp está também presente no Brasil onde atingiu o marco histórico dos 100 milhões de barris de petróleo e gás produzidos e onde tem vindo a consolidar a sua posição como terceira maior produtora concessionária de petróleo e gás natural. Ainda na exploração,

⁴ Fonte: <https://www.galp.com/corp/pt/sobre-nos/presenca-no-mundo>

está envolvida num dos consórcios para exploração de gás natural na bacia do Rovuma, em Moçambique.

Em 2008 a Galp energia assina um acordo para a compra do negócio de distribuição de produtos petrolíferos da Royal Dutch Shell em Moçambique, na Suazilândia (atual eSwatini) e na Gâmbia. Esta aquisição insere-se na estratégia de reforçar a sua presença em África, aproveitando as excelentes relações de que goza no continente na atividade de exploração e produção e possibilitando colaborações futuras na área dos biocombustíveis. Para terminar, em 2011 a empresa prossegue a sua estratégia de crescimento no mercado africano, com a abertura de dois novos postos de abastecimento em Banjul, capital da Gâmbia e Mbabane, capital da eSwatini.

Estratégia⁵

A Galp Energia ambiciona ser vista como a marca número um nas preferências dos consumidores, oferecendo-lhes serviços de valor acrescentado. É por isso que a Galp procura constantemente desenvolver soluções, principalmente ao nível da eficiência energética. A estratégia da empresa está suportada no desenvolvimento de um portefólio de Exploração e Produção (E&P) resiliente, integrado com um negócio de *downstream*⁶ eficiente e competitivo, suportado por soluções inovadoras e diferenciadoras que promovam a transição para uma economia de baixo carbono.

Sendo uma empresa que fomenta a inovação e a Investigação e Desenvolvimento (I&D) tecnológico, a Galp investe o seu capital principalmente no departamento de E&P, bem como em projetos que permitam alcançar um aumento de valor e uma diminuição de riscos. Em suma, o objetivo da empresa é, não só, continuar a inovar no processo de monitorização e sistemas de gestão energética e fornecimento de energia, como também ampliar a sua eficácia. Como resultado, a Galp mantém-se uma empresa sustentável e eficiente nas operações que realiza. De notar que, através das várias parcerias e de um relacionamento ativo com os seus *stakeholders* (clientes, fornecedores, Estado, acionistas, etc.), a Galp consegue obter benefícios fundamentais para o fortalecimento dos seus projetos inovadores e negócios que queira ver crescer.

⁵ Fonte: <https://www.galp.com/corp/pt/sobre-nos/a-galp/estrategia>

⁶ Representa a refinação e a parte logística, transporte dos produtos da refinaria até aos locais de consumo, compreendendo o transporte, distribuição e comercialização.

Segmentos de Negócio⁷

Os segmentos de negócio que integram a Galp são a Exploração & Produção (E&P), a Refinação & Distribuição (R&D) e Gás & *Power* (G&P).

- O segmento de E&P dedica-se à exploração, desenvolvimento e produção de petróleo e gás natural. O seu portefólio inclui mais de 50 projetos em diferentes fases de desenvolvimento, que compreendem duas das maiores descobertas de petróleo e gás natural realizadas nas últimas décadas. A empresa centra esta sua atividade em três países *core* – Brasil, Moçambique e Angola –, mas tem vindo a desenvolver importantes esforços para diversificar o seu portefólio a nível geográfico e geológico.
- A R&D preocupa-se com o processamento de matéria-prima, a distribuição de produtos refinados, a venda a terceiros e a exportação para países em que não distribui diretamente (nomeadamente da Europa e da América do Norte). Apesar de a sua atuação ser predominantemente ibérica, onde detém uma vasta rede de distribuição, tem também vindo a registar uma importante expressão em África. A Galp detém um sistema refinador integrado, constituído por duas refinarias em Portugal, operando em terminais marítimos e parques de armazenagem na Península Ibérica e estando a desenvolver infraestrutura logística própria em países africanos. O presente trabalho incide sobre esta área em Portugal Continental.
- Por último, o segmento G&P reúne as atividades de aprovisionamento, distribuição e comercialização de gás natural e ainda de produção de energias elétrica e térmica. A empresa atua também no mercado internacional de gás natural e gás natural liquefeito (GNL) através da atividade de *trading* (compra e venda nos mercados internacionais com instrumentos financeiros de cobertura).

Refinação⁸

A Galp é detentora de um sistema refinador integrado com uma capacidade de processamento de crude (petróleo em bruto) de 330 mil barris diariamente, do qual fazem parte as refinarias de Sines e de Matosinhos, as quais, em conjunto, representam cerca de

⁷ Fonte: <https://www.galp.com/corp/pt/sobre-nos/o-que-fazemos>

⁸ Fonte: <https://www.galp.com/corp/pt/sobre-nos/o-que-fazemos/refinacao-distribuicao/aprovisionamento-refinacao-e-logistica>

20% de toda a capacidade de refinação ibérica. Estas refinarias são geridas de forma integrada, com o objetivo de maximizar a margem de refinação, onde as suas respetivas características permitem um *mix* de produção equilibrado. Durante o ano de 2018, os gasóleos e as gasolinas mantiveram o predomínio na estrutura de produção, representando cerca de 37% e 23%, respetivamente, cfr. Figura 1 infra.

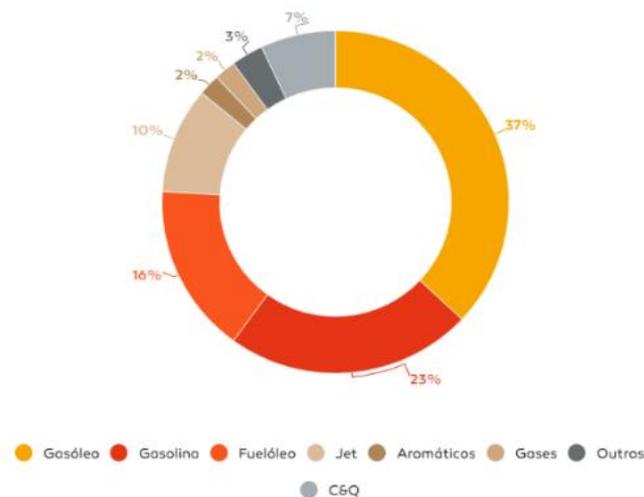


Figura 1 – Perfil de produção das refinarias em 2018
Fonte: *Website* oficial Galp Energia

A refinaria de Sines iniciou a sua laboração em 1978 e conta com uma área total de 320 hectares, sendo responsável por, aproximadamente, 70% do total da capacidade de refinação em Portugal, uma das maiores da Península Ibérica. Tanto a sua localização costeira como as infraestruturas de Sines são privilegiadas, não só para o aprovisionamento de crude, como para a exportação de produtos.

A refinaria de Matosinhos, localizada na costa noroeste de Portugal, iniciou a sua atividade em 1969. O complexo, que conta com uma área de 400 hectares, está interligado ao terminal para petroleiros no porto de Leixões por vários oleodutos, com cerca de dois quilómetros de extensão.

A Galp detém, ainda, uma participação de 65% na CLC – Companhia Logística de Combustíveis, S.A., a empresa de logística portuguesa proprietária do único oleoduto multiproduto existente em Portugal, com 147 quilómetros de comprimento e capacidade para transportar quatro megatoneladas de produtos petrolíferos de forma sequencial.

A empresa tira partido da integração das atividades de refinação e distribuição de produtos petrolíferos, detendo uma vasta rede de distribuição que tem como ponto de partida, não só, mas principalmente, uma das três infraestruturas anteriormente mencionadas.

Comercialização de produtos petrolíferos⁹

A Galp disponibiliza os diversos produtos petrolíferos para as mais variadas atividades do dia-a-dia. Estes podem ser divididos em cinco grandes famílias: Combustíveis, Betumes, Químicos, Óleos Base e Lubrificantes. Mais à frente será enunciada a lista dos produtos que fazem parte deste relatório.

O foco da sua atividade é a comercialização dos produtos sob a marca Galp anteriormente referidos, através de:

- Rede de estações de serviço da Empresa;
- Vendas diretas a clientes, designado em inglês por *wholesale*.

A Galp, através da atividade de empresas ou grossista, comercializa os seus produtos petrolíferos a vários segmentos: aviação, indústria, empreiteiros, marinha, entre outros. A sua estratégia nesta área de negócio consiste na fidelização dos clientes através do desenvolvimento de soluções integradas e na prestação de serviços de valor acrescentado, tais como:

- *E-ordering* – Encomendas Eletrónicas;
- *Serviexpress* – Serviço ibérico de distribuição direta de gasóleo a pequenos clientes comerciais e residenciais.

A comercialização de produtos petrolíferos a clientes diretos, quer através da rede de estações de serviço, quer através de venda a clientes *wholesale*, centra-se maioritariamente na Península Ibérica, como podemos observar na Figura 2, contando com 724 estações de serviço em Portugal e 565 em Espanha.



Figura 2 - Rede de estações de serviço Galp Energia pelo mundo
Fonte: Website oficial Galp Energia

⁹ Fonte: <https://www.galp.com/corp/pt/sobre-nos/o-que-fazemos/refinacao-distribuicao/distribuicao-de-produtos-petroliferos>

Distribuição de Combustíveis Brancos¹⁰

Com o intuito de melhor perceber e abordar as diversas perspetivas do problema em análise, é essencial compreender o funcionamento e características da atividade de distribuição dos combustíveis brancos.

Na atividade de distribuição de produtos petrolíferos, o objetivo principal da empresa é distribuir e comercializar os produtos petrolíferos sob a marca Galp Energia, maximizando o retorno dos ativos através de ganhos de eficiência e de sinergias. No entanto, este estudo apenas foca a distribuição dos combustíveis brancos, que incluem tanto as gasolinas como os gasóleos rodoviários (exclui os gasóleos e gasolinas destinados às bancas marítimas).¹¹ Como referência para este relatório, revelou-se muito interessante a dissertação de Gonçalves (2014), elaborada em conjunto, e também, com a Galp Energia, a qual permite observar as diferenças existentes entre a distribuição dos combustíveis aqui abordados e a do GPL.

Funcionamento da Rede de Distribuição

A atividade logística de distribuição é atualmente dirigida internamente, sendo o transporte assegurado por contratos *outsourcing* que são destinados à repartição de encomendas requeridas ao longo de um dia, de segunda a sábado. Para assegurar a disponibilidade de combustíveis brancos aos seus clientes e nos seus postos de abastecimento, a Galp Energia estabeleceu contratos com cinco empresas de transporte, sendo que a uma específica transportadora correspondem os *clusters* 1 e 2, e as restantes representam, cada uma, um *cluster* de programação. Cada um destes *clusters* tem como interlocutor um programador interno Galp. Na Figura 3 encontram-se representadas as seis áreas de programação em Portugal Continental.

¹⁰ Este relatório refere-se apenas aos combustíveis brancos rodoviários, dos quais fazem parte os gasóleos e as gasolinas.

¹¹ Os gasóleos, e também as gasolinas embora menos, são também utilizados como combustíveis marítimos (nas pescas, transportes e barcos de recreio, nomeadamente).

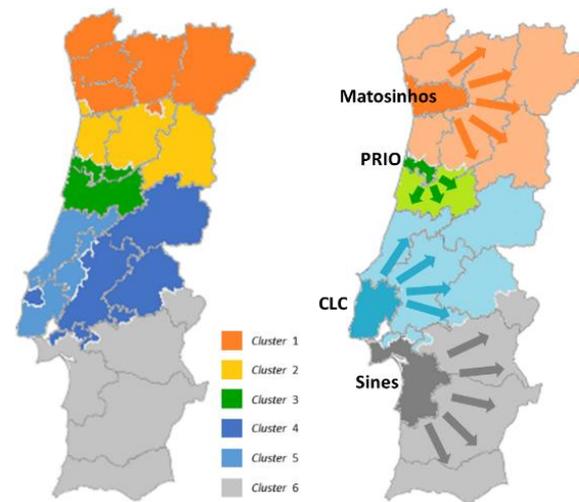


Figura 3 - Mapa dos *clusters* de programação e dos parques de armazenamento da Galp Energia

Os combustíveis em causa são entregues aos seus clientes a partir das infraestruturas, por conjuntos “veículos a motor-semirreboque” (explicado à frente), das refinarias de Sines e de Matosinhos (também conhecida como Parque Boa Nova), do Parque de Tanques da Prio (com o qual a empresa detém uma parceria), e da CLC que se encontram devidamente identificadas no mapa. A infraestrutura situada mais a norte assegura a distribuição do *cluster* 1 e 2, a distribuição do *cluster* 3 é garantida pelo parque da Prio, as entregas dos *clusters* 4 e 5 são asseguradas pela infraestrutura da CLC e, por último, a refinaria de Sines garante a distribuição do *cluster* 6.

Existem três procedimentos através dos quais se dá origem às encomendas de gasóleos e gasolinas. O primeiro diz respeito ao pedido direto de encomendas por parte dos clientes particulares, através dos meios de comunicação: fax, telefone e email. O segundo procedimento, que também se destina aos clientes particulares, diz respeito ao *e-ordering*, também designado por encomendas online, e é o serviço da Galp que permite aos seus clientes efetuarem as respetivas encomendas de uma forma fácil, rápida e segura. Por último, as encomendas, por parte dos postos de abastecimento geridos pela empresa, são geradas automaticamente pelo programa *Orion*, que tem em conta as vendas e medições dos níveis de combustível existente nos tanques, registados pelo gerente de cada estação de serviço e pelas medições efetuados pelos motoristas aquando da entrega de encomendas. Estes devem medir a capacidade de todos os tanques antes de os abastecer, introduzindo os seus valores no PDT (*Portable Data Terminal*), que é um objeto eletrónico utilizado para receber e enviar dados via *wireless*, que comunica com SAP (*Systeme Anwendungen and Produkte*) e que posteriormente se associa ao *Orion*.

A programação da distribuição é levada a cabo por cada programador, tendo em conta o *cluster* em que está a atuar, e é iniciada com a importação automática para *Orion* no dia anterior à sua entrega. Diariamente, o programador calcula as “ordens” para os dias seguintes para o caso de ser conveniente antecipar entregas. Esta análise compete ao programador juntamente com o ajuste dos volumes a entregar. Após as correções de dados, os pedidos de encomendas de combustíveis brancos, tanto dos postos de abastecimento como dos clientes particulares, são reunidos e registados em SAP, resultando numa listagem dos clientes a satisfazer.

Cada transportador recebe a listagem de clientes correspondente ao seu *cluster* e, através do programa *ShortRec*, fica responsável por alocar as diversas encomendas aos veículos cisterna. Nesta fase é também atribuído um número, designado por número de frete, que corresponde ao conjunto de encomendas que vai ser satisfeito por um veículo de uma só vez. Assim, um frete pertence a um veículo, mas a um veículo pode corresponder mais do que um frete, pois um veículo pode ser utilizado em várias rotas ao longo do dia. De seguida, o transportador reencaminha para o programador a listagem de fretes associada ao respetivo veículo e motorista.

Quando todas as encomendas estiverem alocadas aos veículos, é necessário exportá-las para o *Orion* e, posteriormente, integrá-las em SAP. Para terminar, esta informação é disponibilizada aos respetivos condutores através do PDT, para que toda a distribuição funcione bem no dia seguinte.

Características Técnicas da Cisterna

Estes combustíveis, considerados matérias perigosas, são transportados através de conjuntos “veículos-a-motor-semirreboque”, compostos por tratores e cisternas (como se ilustra na Figura 4).

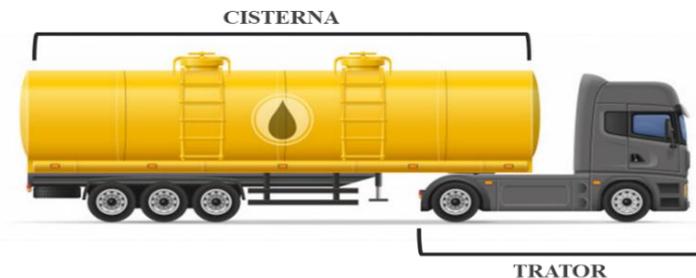


Figura 4 - Conjunto “veículo-a-motor-semirreboque”
Fonte: *Freepick*

Existem vários tipos de cisternas com as mais variadas capacidades e número de compartimentações. No entanto, no presente estudo, apenas se referenciam as

características que uma configuração tipo dos semirreboques cisterna, para o transporte de combustíveis “brancos” ao serviço da Galp Energia, deve possuir. Refere-se, portanto, a um semirreboque cisterna autoportante de alumínio, com a capacidade nominal de, aproximadamente, 36 000 litros, com seis compartimentos, destinado a um trator de dois eixos, de peso total bruto do conjunto de 40 toneladas.

O desenho, material, fabrico e testes da cisterna são efetuados de acordo com a legislação nacional e europeia em vigor, designadamente o A.D.R. (Acordo Europeu Relativo ao Transporte Internacional de Mercadorias Perigosas por Estrada) e, ainda, com as “Regras sobre Boas Práticas Comuns”, da APETRO, na sua última versão.

A cisterna e os equipamentos deverão ser construídos de modo a poderem ser carregados cinco compartimentos em simultâneo. Será dividida em seis compartimentos, preferencialmente com as capacidades úteis de 11000, 5000, 4000, 3000, 7000 e 6000 litros, respetivamente, considerados da frente para trás (ver Figura 5).



Figura 5 - Compartimentação típica da atual cisterna

São aplicadas divisórias falsas nos compartimentos com mais de 7 500 litros de capacidade, devendo ser garantida a continuidade elétrica entre todas as partes do semirreboque cisterna, incluindo equipamentos e acessórios.

Este relatório não aprofunda o tema respeitante ao carregamento dos veículos, mas apenas o da sua distribuição; apesar disso, a dissertação de Pereira (1993) permite perceber a importância da repartição de peso e do equilíbrio do veículo.

Mudança de Paradigma

No dia 11 de outubro de 2017, foi publicado no Diário da República o Decreto-Lei nº132/2017 que, transpondo a Diretiva (EU) nº 2015/719, aprovou o regulamento que fixa os pesos e as dimensões máximos autorizados para os veículos em circulação.

Este novo diploma legal veio estabelecer a seguinte alteração: o peso bruto máximo em circulação nacional passou a ser de 44 toneladas para o “conjunto-veículo-a-motor-semirreboque” de cinco ou mais eixos (artº10º, nº4, al.c)). Além desta, não foram modificados outros valores de pesos brutos máximos previstos na regulamentação anterior, nomeadamente os pesos brutos por eixo ou conjunto de eixos.

Contudo, somando os limites dos pesos brutos por eixo ou conjunto de eixos, verifica-se que o valor obtido não corresponde ao peso bruto máximo anteriormente referido, existindo, portanto, uma incongruência no referido diploma legal. Efetivamente, importa analisar os seguintes limites:

- (a) Peso bruto do eixo direcional do trator de 7,5 toneladas (artº14º, nº2, al. a));
- (b) Peso bruto do eixo motor do trator de 12 toneladas (artº14º, nº3, al. a));
- (c) Peso bruto máximo do trator completo de 19 toneladas (artº10, nº2, al. a));
- (d) Peso bruto do eixo triplo do semirreboque de 24 toneladas (artº14, nº4, al. b)).

Sendo o trator (c) composto pelo eixo direcional (a) e pelo eixo do motor (b), conclui-se que o limite máximo que se esgota primeiro, apenas para o trator, é o de 19 toneladas, pois se (a) e (b) atingissem o seu limite, (c) não se verificaria. Por outro lado, referindo-se (d) à cisterna, contabilizando todos os limites máximos por eixo, obtém-se um valor de 43 toneladas, (c)+(d). Assim, se o conjunto veículo a motor-semirreboque circular com um peso bruto superior a 43, um destes eixos ultrapassará o seu limite, correspondendo a uma violação ao disposto na legislação. Conclui-se, portanto, que não será possível a modificação para as 44 toneladas, mas sim para 43.

No entanto, após contactos efetuados com um representante de uma das empresas transportadoras contratadas pela Galp, foi indicado que é mais fiável recorrer a um peso bruto de 42 toneladas. De facto, através de pesagens realizadas por balanças que existem nos parques de armazenamento respeitando os valores máximos permitidos, verificou-se a possibilidade de não serem cumpridos os pesos máximos por eixo ou conjunto de eixos utilizando o peso bruto total de 43 toneladas (como se ilustra na Tabela 1).

Peso Bruto	Eixo Direcional (7,5 ton)	Eixo Motor (12 ton)	Trator (19 ton)	Eixo Triplo (24 ton)	Volume (m³)
39,640	6,820	11,660	18,480	20,960	32,381
42,940	6,940	12,340	19,280	23,560	36,631

Tabela 1 - Exemplos de pesagens realizadas pela transportadora

Face a estas situações é, então, sugerido pela Galp Energia uma análise quer para as 43 quer para as 42 toneladas.

Associado ao novo peso bruto estabelecido em outubro, surge também uma nova capacidade útil em litros da cisterna. Acordada recentemente na APETRO, a capacidade de cada compartimento, da frente para trás, para efeitos da regra 4.1.7 Compartimentação das Cisternas, da Secção I – Veículos, do Manual ASRA (Acordo Sobre Segurança Rodoviária), passará a ser 11000, 7000, 4000, 7000, 6000, 5000, correspondendo a um total de 40 mil litros (ver Figura 6).



Figura 6 - Compartimentação da nova cisterna

Características do Problema

Os combustíveis brancos estão entre os combustíveis petrolíferos processados nas refinarias. Destas, chegam até aos parques de armazenamento através de oleodutos ou por via marítima, sendo armazenados em tanques. Para chegar até ao consumidor final, os combustíveis são transportados por conjuntos “veículos-a-motor-semirreboque”. Todo este processo de distribuição dos combustíveis brancos apresenta algumas características fundamentais para o sucesso da atividade. De seguida, encontram-se retratadas as características observadas na recolha e tratamento de dados para a resolução do problema.

- **Produtos**

A Galp Energia disponibiliza diversos tipos de gasolina e de gasóleo, incluídos na classe dos combustíveis brancos (os outros combustíveis brancos são os GPL - butano e propano - e os *jets*)¹², estando representados na Figura 7 apenas os que interessarão e farão parte do problema a resolver. Assim, podem-se contar oito produtos pertencentes ao grupo dos gasóleos e sete que pertencem ao grupo das gasolinas, totalizando quinze produtos.

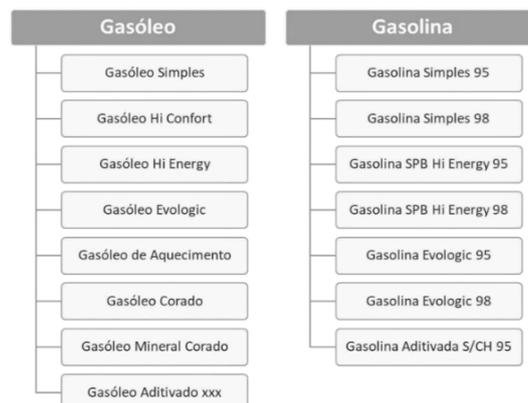


Figura 7 - Lista de produtos presentes no problema

¹² Os GPL (Gases de Petróleo Liquefeitos) são transportados para os clientes em veículos específicos e têm uma logística própria. Os *jets* são enviados para os aeroportos em carros-tanque, semelhantes aos que transportam gasolinas e gasóleos, ou por pipeline (nalguns casos).

- Conjunto “Veículo-a-Motor-Semirreboque”

O conjunto de veículos que constituem a frota da transportadora consoante o *cluster* de atuação, foram identificados e encontram-se representados no Anexo IV, indicando-se as respetivas taras, capacidades das cisternas e homologação dos tratores. Esta informação foi especialmente importante na simulação posteriormente efetuada para as capacidades do conjunto de veículos, tendo em conta os diferentes cenários provenientes da mudança de paradigma.

Um conjunto trator mais cisterna pode ser utilizado várias vezes no mesmo dia e a transportadora compromete-se a satisfazer todas as encomendas da empresa, sendo, assim, possível considerar a existência de uma frota ilimitada.

- Clientes

Neste trabalho consideram-se dois tipos de clientes: os postos de abastecimento geridos pela empresa e os clientes particulares. Tendo em conta o primeiro semestre de 2018, foram servidos 639 postos de abastecimento e 1098 clientes particulares, com a distribuição por *cluster* presente na Figura 8. Assim, pode-se afirmar que se observou um maior número de clientes no *cluster* 1, serviram-se 193 postos de abastecimento e 239 particulares, e que no *cluster* 3, o menor tanto geograficamente como a nível de clientes, foram visitados apenas 33 postos de abastecimento e 96 clientes particulares.

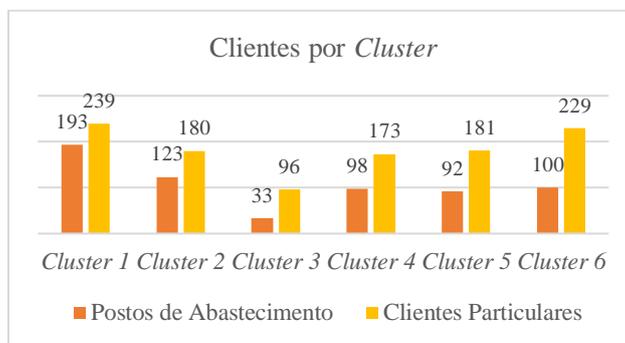


Figura 8 - Clientes por *cluster* observados no primeiro semestre de 2018

- Parques de Armazenamento (Depósito)

Como anteriormente referido, existem quatro parques de armazenamento dos quais partiram os veículos. Assim, se se estiver a atuar nos *clusters* 1 e 2, utiliza-se como depósito o Parque Boa Nova, situado em Matosinhos, no *cluster* 3 inicia-se a distribuição no Parque de Tanques da Prio, os *clusters* 4 e 5 têm como depósito a CLC e a Refinaria de Sines satisfaz os clientes no último *cluster*.

- Procura de produtos por Cliente

A quantidade de litros de cada produto solicitado por cada cliente a cada dia da semana é outro dado relevante para o problema.

Contudo, nos dados fornecidos pela empresa, observou-se que alguns valores de procura eram iguais a zero para determinados fretes. Tal pode ser justificado por alterações nos fretes resultantes de questões de segurança. De facto, sempre que um motorista distribui produto a um posto de abastecimento, deve, antes de abastecer os tanques, realizar o teste de deteção de água. No caso de se verificar a existência da mesma, o motorista não pode abastecer o tanque e deve contactar o programador para que este indique outro posto de abastecimento próximo que possa receber o produto em questão. Resulta assim uma alteração na distribuição face ao planeado e a quantidade entregue ao cliente inicialmente previsto igualada a zero.

Por forma a simplificar os dados a utilizar na metodologia, as procuras com o valor zero foram retiradas.

- Matriz de Distâncias

Para implementar o modelo é essencial conhecer quer a distância entre os clientes (incluindo os postos de abastecimento) quer a distância entre o depósito e os clientes. As coordenadas fornecidas pela Galp Energia dos postos de abastecimento juntamente com as recolhidas no *Google Maps* dos clientes particulares (através das moradas disponibilizadas pela empresa), foram utilizadas para calcular, de forma simples, as distâncias euclidianas entre cada par de pontos, permitindo a construção da matriz de distâncias em cada *cluster*.

Dado o número de clientes particulares e de postos de abastecimento existentes por *cluster* (ver Figura 8), não será possível mostrar as matrizes desenvolvidas.

Uma vez apresentadas as características do problema, juntamente com algumas das limitações encontradas no processo de distribuição, consideram-se as seguintes restrições para a modelação do problema:

- A procura total tem que ser satisfeita;
- A capacidade do conjunto “veículo-a-motor-semirreboque”, decretada na lei, não pode ser ultrapassada;
- A capacidade de cada compartimento da cisterna não pode ser ultrapassada;
- Um compartimento não pode transportar mais de um produto;

- Um compartimento só pode ser descarregado uma única vez em cada frete, o que significa que a um compartimento corresponde não mais de um cliente;
- Um cliente pode ser visitado mais do que uma vez em cada dia, por mais de uma cisterna;
- Uma cisterna pode transportar produto(s) em mais de um compartimento para um mesmo cliente;
- Cada rota começa e termina no mesmo parque de armazenamento;
- Os veículos apenas realizam tarefas de distribuição.

Simulação dos Cenários resultantes da Mudança de Paradigma

Nesta fase do relatório tornou-se essencial analisar todos os cenários provenientes da possível alteração na frota utilizada na rede de distribuição, permitindo averiguar em qual existiria um maior impacto nas quantidades a transportar pelo “veículo”. Tendo em conta a existência de um novo peso bruto e de uma nova compartimentação da cisterna, os cenários que se pretendem analisar são os indicados na Tabela 2:

Cenário	Volume (m ³)	Peso Bruto (toneladas)
C1	40	43
C2	40	42
C3	36	43
C4	36	42
C5	40	40

Tabela 2 - Cenários provenientes da mudança de paradigma

Assim, recorrendo à informação disponibilizada relativa ao primeiro semestre, foi efetuada uma simulação da capacidade disponível para transporte, em cada uma das áreas e considerando cada um dos cenários anteriormente mencionados.

Existindo duas categorias de produtos com densidades diferentes, estas simulações foram realizadas tendo em conta a possibilidade de carregar as cisternas ou só com gasóleos ou só com gasolinas. Nos cálculos efetuados, assumiu-se uma densidade média para os gasóleos (P1) de 0,84g/cm³ e para as gasolinas (P2) de 0,74g/cm³.

Para calcular a capacidade a transportar em cada uma das combinações, foram utilizadas as taras dos tratores e das cisternas, os pesos brutos, a capacidade (em metros cúbicos) das cisternas e a taxa de segurança de 96%. Esta taxa de segurança, definida pela Galp Energia, indica a quantidade máxima com que uma cisterna pode ser carregada. Para cada combinação foi então definida a quantidade máxima a transportar na cisterna como sendo o menor valor de entre:

- $(\text{Peso Bruto} - \text{Tara do Trator} - \text{Tara da Cisterna}) \div \text{Densidade do Produto}$
- Capacidade da cisterna em $\text{m}^3 \times 0,96$

Cisterna		Trator		Cenário											
Tara	Capacidade	Tara	Capacidade	Atualmente		C5		C4		C3		C2		C1	
				P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2	P1	P2
5,3	36	7,3	40	32,6	34,6	32,6	37	34,6	34,6	34,6	34,6	36,2	38,4	35	38,4
5,3	36	7,2	40	32,7	34,6	32,7	37,1	34,6	34,6	34,6	34,6	36,3	38,4	35,1	38,4
5,3	36	7	40	33	34,6	33	37,4	34,6	34,6	34,6	34,6	36,6	38,4	35,4	38,4
5,3	36	6,7	40	33,3	34,6	33,3	37,8	34,6	34,6	34,6	34,6	36,9	38,4	35,7	38,4
5,3	36	7,6	40	32,3	34,6	32,3	36,7	34,6	34,6	34,6	34,6	35,8	38,4	34,6	38,4

Tabela 3 - Exemplo da capacidade útil (a transportar) de alguns conjuntos "veículo-a-motor-semirreboque" no *cluster* 1, onde P1 indica gasóleo e P2 gasolina

Utilizando este procedimento para cada uma das combinações trator/cisterna e para cada *cluster*, obteve-se uma média da hipotética capacidade útil de transporte (quantidade máxima que é possível transportar) para cada um dos cenários, podendo comparar os resultados encontrados com o valor, também calculado da mesma maneira, da capacidade média verificada no período em análise (ver Tabela 3).

As simulações efetuadas por *cluster* encontram-se representadas no Anexo V, e neste relatório apenas se analisa a simulação global, ou seja, a simulação da capacidade da frota de Portugal Continental.

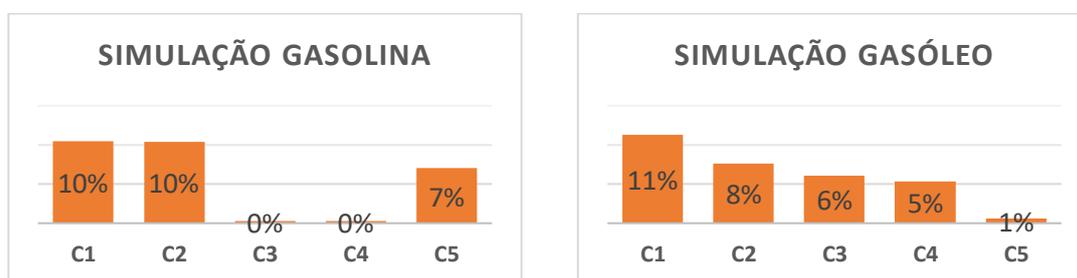


Figura 9 – Aumento da quantidade a transportar em cada cenário face ao atual

Assim, focando inicialmente a análise apenas nas gasolinas (Figura 9), observa-se que, a capacidade média útil de transporte por cada conjunto “veículo-a-motor-semirreboque”, aumenta 10% se considerado ou o cenário C1 ou o C2, face ao que se verificava antes da mudança de paradigma. Introduzir apenas os novos pesos brutos de 43 (C3) toneladas ou 42 toneladas (C4) não revela qualquer impacto na capacidade média. No entanto, utilizando só a nova cisterna (C5) já se obtém um aumento de 7%.

Relativamente aos gasóleos, destaca-se o cenário C1, com um aumento na capacidade de 11% comparativamente à capacidade atual (ver Figura 9). Atualizar a frota conforme o C2 conduz a um crescimento de 8%, C3 origina um aumento de 6% e C4 um acréscimo de 5%. Neste caso, o cenário menos compensatório é C5, ou seja, a introdução de apenas uma nova cisterna, que nos indica um crescimento de apenas 1%.

As diferenças encontradas nas percentagens para as gasolinas e para os gasóleos devem-se, essencialmente, ao facto de estes produtos terem densidades diferentes. Se uma cisterna for carregada unicamente com gasolina, tendo esta uma densidade inferior, conseguirá transportar mais quantidade de produto em volume (litros), do que com gasóleo. Logo, os 0% encontrados no aumento de capacidade nas gasolinas, nos cenários em que apenas se altera só peso bruto do trator (C3 e C4), resultam efetivamente de que se apenas for transportada gasolina na cisterna, a capacidade desta não considera o peso bruto do trator, atingindo o máximo permitido pela taxa de segurança.

Assim, pode-se concluir que, para ambos os produtos, o cenário com maior impacto na capacidade é C1 (a alteração da frota para a nova cisterna com o novo peso bruto de 43 toneladas), seguindo-se C2 (nova cisterna com novo peso bruto de 42 toneladas). É então sobre estes dois cenários que se vai focar o estudo, observando como seriam as rotas se os mesmos tivessem sido implementados.

CAPÍTULO III: REVISÃO DA LITERATURA

Investigação Operacional e Logística

O aumento da complexidade das organizações após a Revolução Industrial do século XIX, trouxe consigo a proliferação da divisão de tarefas, bem como a segmentação das responsabilidades de gestão nas empresas. Como consequência, a existência de conflitos de interesses entre departamentos tornou-se num problema corrente. Desta forma, alocar os recursos disponíveis com o intuito de aumentar a eficiência da organização como um todo tornou-se num desafio difícil, mas de importância extrema. A Investigação Operacional (IO), que começa a desenvolver-se durante a Segunda Guerra Mundial para ajudar a solucionar problemas ligados a operações militares, tenta exatamente dar resposta às situações mencionadas.

A abordagem utilizada em IO tem início com a observação e formulação cuidadosa do problema a tratar. Depois, procede-se à recolha cuidadosa dos dados relevantes. Na etapa seguinte desenvolve-se uma metodologia, por exemplo um modelo matemático, que deve dar resposta à essência do problema real. Por forma a verificar se a metodologia representa de forma suficientemente precisa as características do problema, são realizados testes. Caso seja necessário, são introduzidas alterações para adequar, tanto quanto possível, ao problema real. De acordo com Hillier & Lieberman (*ob. cit.*, 2001), a aplicabilidade da IO é bastante vasta e tem sido utilizada para resolver

problemas de produção, transporte, planeamento financeiro, assistência médica, militares, em serviços públicos, entre outros. A logística destaca-se como uma das áreas mais dinâmicas nas empresas pela sua procura constante de ganhos de eficiência. Christopher, (ob. cit. 2011) define logística como o “processo de gerir estrategicamente a compra, transporte e armazenamento de matérias, componentes e produtos acabados (bem como fluxos de informação) ao longo da organização e dos seus canais de marketing, por forma a maximizar o lucro atual e futuro, através do cumprimento eficiente, em termos de custos, das encomendas”. Da definição anterior, torna-se óbvia a preocupação em maximizar o lucro através da minimização dos custos.

Vehicle Routing Problem

O *Vehicle Routing Problem* (VRP) é um problema de otimização combinatória muito estudado em todo o mundo. Este foi inicialmente formulado por Dantzig & Ramser, (1959), que em 1959 introduziram o *Truck Dispatching Problem*, mostrando como uma frota de veículos heterogéneos pode servir a procura de petróleo de várias estações de serviço, partindo de um *hub*, e minimizando a distância total percorrida. Cinco anos depois, Clarke & Wright, (1964) generalizaram este problema para um problema de otimização linear que é mutuamente utilizado no universo de logística e transporte, ou seja, visa não só satisfazer um conjunto de clientes, geograficamente dispersos, a partir de um depósito central, como também usar uma frota de veículos com as mesmas capacidades. Este ficou então conhecido como o Problema de Planeamento de Rotas de Veículos (VRP), um dos estudados no campo das operações, representado na Figura 10. De facto, conhecem-se atualmente inúmeros exemplos da sua aplicação em casos reais da logística, distribuição e transporte, não apenas em mais diversos sectores de atividade, tendo como objetivo minimizar os custos operacionais que envolvem, normalmente, a redução do número de veículos que constituem a frota da empresa e da distância ou tempo total das rotas por estas efetuadas.

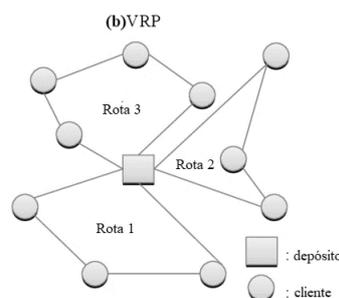


Figura 10 - Representação do Problema de Planeamento de Rotas (VRP)

Fonte: *ResearchGate*

O VRP é considerado um problema com procura nos vértices (*Node Routing Problems* – NRP), uma vez que os clientes são representados por vértices do grafo, onde se localiza a procura. Dada uma frota de veículos com iguais capacidades, um ponto de partida comum (depósito) e diferentes clientes que constituem pontos de procura, o VRP pretende encontrar o conjunto de rotas que simultaneamente minimiza o custo total e permite satisfazer toda a procura. As rotas devem começar e acabar no depósito e a procura total dos vários clientes pertencentes a uma determinada rota, não pode exceder a capacidade dos veículos (Ghiani, Laporte, & Musmanno, 2006).

Devido à complexidade inerente a um problema real, a modelação matemática pode ajudar a estruturar o problema e a identificar a modelação matemática para o resolver. Um modelo, para além da função objetivo, que indica o critério de escolha, inclui um conjunto de restrições que descrevem os condicionalismos do problema e que têm inevitavelmente de ser satisfeitas. Descreve-se de seguida, em pormenor, um modelo de VRP apresentado em *Vehicle Routing - Problems, Methods and Applications* (Toth & Vigo, 2014), que está na base dos problemas de identificação de rotas.

Variantes do VRP relacionados com o problema em estudo

Devido às necessidades específicas de algumas organizações, o problema clássico de rotas de veículos tem vindo a ser adaptado num conjunto de variantes que têm origem na modificação ou adição de restrições e/ou de variáveis ao mesmo.

Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)

O CVRP é a variante mais elementar do VRP. Neste, uma frota de veículos homogénea serve um conjunto de clientes com uma procura antecipadamente conhecida, a partir de um único depósito. Difere do VRP na medida em que inclui restrições adicionais de capacidade dos veículos, garantindo que a soma da procura da totalidade dos clientes servidos numa rota não excede a capacidade do veículo.

O objetivo deste problema consiste em minimizar os custos totais, quer em termos do número de veículos da frota, quer no que respeita à execução das rotas, tendo em conta a capacidade de cada veículo. A solução final indica como deverão ser alocados os veículos disponíveis nas várias rotas (Lee, et al., 2010). Existem, na literatura, diversas extensões apresentadas para este problema, por exemplo, se se acrescentar uma restrição obtém-se um outro tipo de problema de planeamento de rotas, algumas das quais se ilustram na Figura 11.

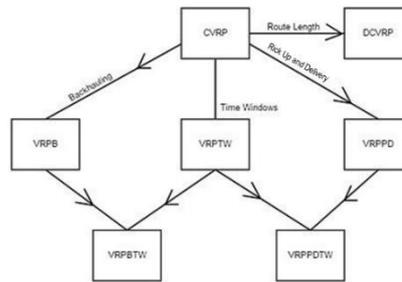


Figura 11 - Extensões do *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP)
 Fonte: *ResearchGate*

Multi-Compartment Vehicle Routing Problem (MC-VRP)

No *Multi-Compartment Vehicle Routing Problem* (MC-VRP) há apenas um depósito que armazena um conjunto de produtos que têm de ser entregues aos clientes por um conjunto de veículos homogêneos constituídos por m compartimentos de capacidade limitadas. Cada compartimento do veículo está reservado para transportar um determinado tipo de produto. Assim, cada tipo de produto, solicitado pelo cliente, só pode ser entregue por um compartimento do veículo, mas o mesmo veículo pode entregar ao cliente mais do que um produto. No entanto, se encomendar vários tipos de produtos, pode ser visitado por um ou mais veículos em diferentes alturas do dia (Fallahi, Prins, & Calvo, “2008”).

Entre as imposições adicionais, considera-se que os clientes podem ter diferentes valores de procura para cada um dos produtos solicitados e que os produtos devem permanecer separados durante a operação de transporte. O objetivo do MC-VRP é definir um conjunto de rotas que comecem e acabem no depósito, satisfazendo toda a procura e garantindo que nenhum dos compartimentos tem a sua capacidade ultrapassada.

Vehicle Routing Problem with Split Delivery (VRPSD)

O VRPSD foi introduzido na literatura há mais de 20 anos por Dror & Trudeau, (1989). Estes autores motivaram o estudo do VRPSD, mostrando que podem existir vantagens de permitir entregas repartidas. Nesta variante do VRP é relaxada a restrição que obriga os clientes a serem visitados uma única vez, se tal conduzir a uma redução global dos custos. Assim, neste modelo é adicionado um novo tipo de variável de decisão que define a quantidade de produto da procura total de um determinado cliente que cada veículo transporta.

O objetivo é a distância total percorrida para satisfazer a procura de todos os clientes e, conseqüentemente, diminuir o número de veículo utilizado. Uma solução possível tem que satisfazer todas as restrições de um VRP tradicional, exceto que os

clientes passam a poder ser servidos mais do que uma vez e por vários veículos. A opção de separar as entregas torna possível servir um cliente cuja quantidade procurada exceda a capacidade do veículo. A divisão das entregas também pode permitir uma redução dos custos, associados quer à distância percorrida quer ao número de veículos utilizados, como se pode verificar no exemplo da Figura 12, onde se consideram veículos de capacidade 100.

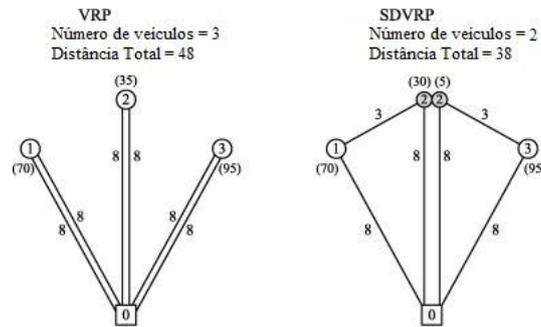


Figura 12 - Comparação entre soluções ótimas do VRP e do VRPSD
Fonte: *ResearchGate*

CAPÍTULO IV: DEFINIÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA

Após efetuada a revisão da literatura e tendo em conta as características e restrições consideradas no caso de estudo, concluiu-se que se pretende resolver um Problema de Planeamento de Rotas de Veículos com entregas repartidas, frota homogénea, multi-compartimentos e multi-produtos, não só relativamente ao cenário atual, mas também aos destacados na mudança de paradigma.

Assim, neste capítulo, descreve-se a recolha e análise de dados envolvida na mudança de paradigma, bem como um modelo matemático para a geração de soluções.

Recolha e Análise de Dados

A recolha de dados é um passo muito importante, na medida em que dependendo da qualidade dos dados, os resultados irão ou não caracterizar da melhor forma o caso real, permitindo simultaneamente aprofundar o conhecimento do problema.

Os dados recolhidos no presente trabalho remetem ao primeiro semestre de 2018 e, para melhor entender o âmbito deste relatório, foi realizada, inicialmente, uma análise, geral e por *cluster*, do que se observou neste período.

Perfil de Distribuição destes Combustíveis Brancos do Período em Análise

Durante o primeiro semestre de 2018 foram realizados 28219 fretes (Tabela 4 do Anexo I), sendo um frete um conjunto de entregas a clientes que é servido por um “veículo a motor-semirreboque”, desde que sai do parque de armazenamento até que a este retorna. Entre estes fretes, 25% pertencem ao *cluster* 1, 19% a cada um dos *clusters* 4 e 6, 17% correspondem ao *cluster* 5, 14% ao *cluster* 2 e, por último, ao *cluster* 3 resta uma percentagem de 6% (Figura 21, Anexo I). Estas percentagens podem considerar-se como sendo proporcionais às respetivas ocupações territoriais em Portugal. De todos estes fretes, 90% igualaram ou ultrapassaram os de 31 m³ (Figura 22, Anexo I), querendo isto dizer que, em 90% das cisternas utilizadas foram sempre transportados mais de 31 m³ do conjunto dos gasóleos e das gasolinas. Em todos os *clusters* obtiveram-se fretes com uma ocupação média compreendida entre os 31,5 e 32 m³, destacando-se o *cluster* 2 por ter sido o que operou com maior rentabilidade a nível de capacidade da cisterna, uma vez que foi o em que se atingiu, em média, maior quantidade de litros por frete efetuado/cisterna utilizada (Figura 23, Anexo I).

A totalidade dos produtos transportada nos compartimentos de um veículo para apenas um cliente é considerada um *drop*. Dos *drops* efetuados 53% compreenderam volumes entre os 10 e os 20 m³, em 29% ocuparam-se mais de 31 m³, em 21% menos de 10 m³ e 17% entre 20 e 31 m³ (Figura 24, Anexo I). O *drop* médio no *cluster* 5 foi ligeiramente superior a 20 m³, significando, que, em média, nesta área, cada cliente recebeu/solicitou mais de 20 mil litros de combustíveis brancos. Os *drops* médios nos restantes *clusters* ficaram próximos dos 20 m³, à exceção do 3 que se encontra mais perto dos 25 m³ (Figura 25, Anexo I).

Relativamente à média de *drops* por frete, o *cluster* 3 foi o que apresentou maior valor, aproximando-se de dois, ou seja, em média, nesta área, serviram-se sensivelmente dois clientes por frete, tornando-se possível afirmar que, provavelmente, a procura dos seus clientes não é muitas vezes suficiente para encher uma cisterna. Podem ainda destacar-se os *clusters* 1 e 4 com *drops* médios de 1,5, aproximadamente (Figura 26, Anexo I).

O perfil de ocupação por frete é idêntico ao longo de Portugal Continental, estando os fretes com transportes superiores a 31 m³ a aproximar-se dos 90% em praticamente todos os *clusters*, exceção feita ao *cluster* 2 que ultrapassa os 95% e ao 3 que não chega

aos 84%. A destacar, negativamente, os fretes em que se transportaram entre 29 a 31 m³ no *cluster* 4, pois ultrapassaram os 15%, e os fretes em que a quantidade transportada foi inferior a 29 m³ no *cluster* 6 que se aproximaram dos 3%. É, portanto, esta a área que mais utiliza veículos em a quantidade transportada se distancia mais da sua capacidade útil (Figura 27, Anexo I).

Da totalidade de fretes realizados, ligeiramente mais de metade foi de apenas um *drop*, ou seja, mais de metade das rotas destinaram-se a servir apenas um cliente, transportando o veículo alocado a cada um desses fretes a procura total (ou parte da procura para os casos em que esta ultrapassava a capacidade da cisterna) desse mesmo cliente (Figura 28, Anexo I).

Dos 896 631 m³ de produtos distribuídos neste semestre, 47% foi realizado por fretes com apenas um *drop* e que, simultaneamente, preencheram a sua cisterna com mais de 31 m³ (Figura 29, Anexo I). Refira-se que esta percentagem é a que melhor traduz o desempenho da atividade da empresa, apesar de ser também bastante influenciada por fatores externos e não controlados pela mesma.

Dos 207 tratores utilizados refira-se que apenas três se encontram homologados para as 43 toneladas, o que corresponde a menos de 2% do total (Figura 60, Anexo III). No entanto, pode verificar-se que, no período em análise, já foram introduzidos tratores com as alterações permitidas pelo novo decreto-lei nas transportadoras dos *clusters* 4 e 5 (Tabela 5, Anexo III).

Relativamente às cisternas, a grande maioria dos fretes utilizou cisternas com capacidade de 36 m³. Também aqui se pode visualizar a influência da mudança de paradigma, uma vez que a rede de distribuição já empregou cisternas com a nova capacidade útil, bem como com as respetivas compartimentações (Figura 62, Anexo III).

Por último, a análise da ocupação média da capacidade das cisternas utilizadas nos fretes de cada área, faz destacar o *cluster* 4, pois, em média, a quantidade transportada em cada cisterna utilizada em cada frete deste *cluster* foi de, aproximadamente, 40 m³ (Figura 61, Anexo III). Apesar de os tratores nesta área ainda apresentarem no seu livrete um peso bruto máximo de 40 toneladas, a maior parte das cisternas utilizadas já vão ao encontro das alterações estipuladas.

De seguida, apresenta-se a análise por *cluster* que inclui os tipos de *drops*, o volume, o volume médio por ocupação, o perfil de ocupação e a distribuição de volumes dos fretes realizados no primeiro semestre de 2018.

- **Cluster 1**

Dos 7102 fretes realizados nesta área, 53% foram de apenas um *drop*, 39% realizaram dois *drops* e somente 8% efetuaram três ou mais *drops* (Figura 30, Anexo II). Logo, mais de metade dos veículos utilizados destinaram-se a apenas um cliente ou posto de abastecimento, ocupando toda a sua cisterna com a procura do mesmo. Analisando a ocupação destes mesmos fretes, consegue-se afirmar que 93% das cisternas transportaram mais de 31 m³ de combustíveis brancos (Figura 31, Anexo II).

No grupo de fretes que circularam com uma ocupação superior a 31 m³, independentemente do número de *drops* associado, sabe-se que, em média, cada cisterna foi carregada com 32 m³, correspondendo praticamente à respetiva capacidade útil (Figura 32, Anexo II).

Repare-se ainda que dos fretes que serviram apenas um cliente, ou seja, um *drop*, mais de 90% foram ocupados com mais de 31 m³ do conjunto de produtos, análise esta idêntica para os fretes com dois ou mais *drops* (Figura 33, Anexo II). No entanto, é de salientar que, aproximadamente, oito por cento dos fretes com apenas um cliente, transportaram entre 29 a 31 m³, percentagem esta que, embora possa parecer baixa, representa o dobro da dos fretes que serviram mais do que um cliente.

Observando o gráfico de distribuição de volumes nesta área (Figura 34, Anexo II), nota-se que, aproximadamente, 50% do volume total distribuído foi transportado em veículos que realizaram fretes com um *drop* com uma ocupação superior a 31 m³. Assim quase metade da procura total foi satisfeita por rotas com apenas uma viagem a um cliente e com entregas superiores a 31 m³ de produto. Foram também realizados, ligeiramente, mais de 36% de fretes de dois *drops* e 8% de três ou mais *drops*, com uma ocupação superior aos 31 m³.

- **Cluster 2**

Nesta área efectuaram-se 3864 fretes, correspondendo a mesma percentagem, de 43%, tanto aos de apenas um *drop* como aos de dois *drops*. Três ou mais *drops*, representaram 14% do total de fretes (Figura 35, Anexo II). Comparando o volume total transportado por frete com o do *cluster* anterior, observa-se que nesta área se terá superado em quatro pontos percentuais a percentagem de fretes que ocuparam as suas cisternas com mais de 31 m³ de produto (Figura 36, Anexo II).

O volume médio dos fretes com mais de 31 m³, independentemente da quantidade de clientes servidos, ultrapassou ligeiramente os 32 m³. No que respeita aos em que se

transportaram menos de 29 m³, verifica-se um volume médio de aproximadamente 23 m³, valor este muito inferior ao da capacidade disponibilizada (Figura 37, Anexo II). Da totalidade de fretes realizados para todos os tipos de perfil de ocupação e quantidade de *drops*, observaram-se percentagens superiores a 90% (Figura 38, Anexo II).

A distribuição de volumes neste *cluster* terá sido idêntica, tanto para os fretes efetuados com apenas um *drop* e quantidade transportada superior a 31 m³, como para os fretes com dois *drops*, ou seja, 43% dos fretes transportaram mais de 31 m³ de produto quer para um só cliente, quer para dois clientes (Figura 39, Anexo II).

- **Cluster 3**

No *cluster 3* foi onde se realizaram menos fretes, contabilizando 1682, e o que apresentou uma maior percentagem, igual a 47%, de fretes com dois *drops*, superando os de um *drop*, com apenas 31% (Figura 40, Anexo II). Quer isto dizer que praticamente metade das rotas observadas nesta área serviram dois clientes, podendo afirmar-se que a procura individual dos mesmos foi inferior à das restantes áreas. Apesar disso, mais de 90% dos fretes realizados ultrapassaram os 31 m³ de produto transportado por cada veículo utilizado (Figura 41, Anexo II).

O volume médio de ocupação revelou-se idêntico ao dos restantes *clusters* (Figura 42, anexo), tal como o perfil de ocupação de cada frete (Figura 43, Anexo II). Destaca-se apenas que cerca de 10% de todos os fretes realizados, com um, dois, três ou mais *drops*, se verificou uma ocupação compreendida entre 29 e 31 m³.

Relativamente à distribuição de volumes observada, este volta a ser o único *cluster* com uma percentagem (28,5%) do volume repartido pelos fretes realizados com apenas um *drop* e ocupação superior a 31 m³, inferior à dos efetuados com as mesmas características, mas com dois *drops* (43%). Também se destacam negativamente as rotas em que se satisfizeram três ou mais clientes, com mais do que 31 m³ transportados em cada um dos fretes, representando 20% do total distribuído (Figura 44, Anexo II). Tal facto leva novamente à conclusão de que a procura individual dos clientes pertencentes a esta zona geográfica é muitas vezes inferior à capacidade útil das cisternas, existindo necessidade de agrupar mais do que um cliente na mesma rota.

- **Cluster 4**

Dos 5453 fretes realizados nesta área, 56% foram de apenas um *drop*, logo, mais de metade dos veículos utilizados destinaram-se a servir apenas um cliente ou posto de abastecimento, 34% realizaram dois *drops* e somente 10% efetuaram três ou mais *drops*

(Figura 45, Anexo II). Analisando a ocupação nestes mesmos fretes, verifica-se que 85% das cisternas ultrapassaram os 31 m³ de produto transportado, sendo esta percentagem a mais reduzida de todas as encontradas nos diversos *clusters*, significando que os veículos não transportam, individualmente, tanto produto nesta área como nas outras (Figura 46, Anexo II).

O volume médio dos fretes em que se transportaram mais de 31m³ aproximou-se dos 32 m³; já nos com transportes inferiores a 29 m³, verificou-se um volume médio de aproximadamente 23 m³ (Figura 47, Anexo II). Relativamente ao perfil de ocupação em cada frete, esta é a única área onde os transportes com mais de 31 m³, independentemente dos *drops* efetuados, não atingiram os 90%, e onde se destacaram, comparativamente às outras áreas, os fretes em que se distribuiu um volume entre os 29 e os 31 m³, principalmente os com três ou mais *drops*, aproximando-se de 23% (Figura 48, Anexo II).

Analisando o gráfico que representa a distribuição de volumes nesta área, confirma-se que 50% do volume total distribuído foi transportado em veículos que realizaram fretes com apenas um *drop*, com uma ocupação superior a 31 m³. Observa-se também que foram distribuídos cerca de 27% do volume total de produtos procurado em fretes com dois *drops* e 7,5% nos que incluíram três ou mais *drops*, continuando na abordagem de ocupação superior aos 31 m³ (Figura 49, Anexo II).

- **Cluster 5**

Neste *cluster* foram realizados 4823 fretes, 61% dos quais com apenas um *drop*, ou seja, esta foi a área com mais rotas destinadas a servir um único cliente (Figura 50, Anexo II). O volume transportado pelos veículos ultrapassou 87% das vezes os 31 m³, percentagem idêntica a todos os *clusters* (Figura 51, Anexo II).

No conjunto de fretes observados com uma ocupação superior a 31 m³, independentemente do número de *drops* associado, percebe-se que, em média, cada cisterna transportou cerca de 32 m³, valor este que tem vindo a ser observado regularmente. Já nos que não alcançaram uma ocupação de 29 m³, esta foi a área em que se revelou a menor média, de apenas 20 m³ por veículo entre os utilizados nesta distribuição (Figura 52, Anexo II). Quanto ao perfil de ocupação de cada tipo de frete, esta área mostrou-se bastante parecida à anterior, tendo registado 90%, 81% e 78% para todos os fretes que efetuaram, respetivamente, um, dois, três ou mais *drops*, com ocupação superior a 31 m³ (Figura 53, Anexo II).

Indo de encontro ao primeiro parágrafo deste *cluster*, também a percentagem de volume distribuído realizado pelos fretes com apenas um *drop* e com ocupação superior a 31 m³, se mostrou ser a mais elevada de entre todas as áreas, ultrapassando os 55% (Figura 54, Anexo II). Significa, então, que esta área revelou ser a em que, percentualmente, se realizam mais rotas com o objetivo de satisfazer a procura de apenas um cliente, carregando em cada uma delas mais de 31 m³ de produto.

- **Cluster 6**

Observando o último *cluster*, pode afirmar-se que dos 5295 fretes realizados, 47% foram com um só *drop*, 39% com dois *drops* e apenas 14% para os fretes que se destinaram a três ou mais *drops* (Figura 55, Anexo II). Analisando a ocupação dos fretes, 90% ultrapassaram os 31 m³ de produto total transportado por cada cisterna utilizada (Figura 56, Anexo II).

Entre os fretes em que se ultrapassaram os 31 m³, verificou-se, novamente, que volume médio transportado foi de, aproximadamente, 32 m³. Por outro lado, os com ocupação compreendida entre 29 e 31 m³, apresentam um valor médio muito próximo do limite máximo deste intervalo (Figura 57, Anexo II). Das rotas que serviram um ou dois clientes, ou seja, com um ou dois *drops*, aproximadamente 90% foram ocupadas com mais de 31 m³ do conjunto de produtos (Figura 58, Anexo II).

Para terminar esta análise, resta apenas referir que, analisando o gráfico da distribuição de volumes desta área (Figura 59, Anexo II), se verifica que a percentagem correspondente à quantidade de produto entregue por fretes com apenas um cliente, ultrapassando uma ocupação de 31m³ é 43% e que 36% do volume total distribuído foi servido por fretes com dois *drops* e ocupação superior a 31m³.

Formulação em Programação Linear Inteira (Mista)

Após a identificação do tipo de problema a desenvolver e com o objetivo de resolver o caso de estudo apresentado nos capítulos anteriores, desenvolveu-se um modelo matemático que respeite as limitações identificadas. Pretende-se, posteriormente, a comparação das rotas do cenário atual (C0) que teriam sido realizadas caso este modelo estivesse a ser utilizado na empresa, com as rotas geradas pelo modelo para os novos cenários, anteriormente identificados (C1 e C2 – com novas compartimentações das cisternas e dos novos pesos brutos de 42 e 43 toneladas).

Em seguida apresenta-se a notação empregue na formulação matemática, constituída por índices, conjuntos, parâmetros, variáveis contínuas e binárias.

Conjuntos

L – conjunto de compartimentos;

K – conjunto de cisternas;

$N = N1 \cup N2$ – conjunto de clientes, em que $N1$ representam os clientes particulares e $N2$ os postos de abastecimento;

$V = N \cup \{0\}$ – conjunto de clientes e depósito (0);

$P = \{1,2\}$ – conjunto de produtos, em que 1 representam os produtos de gasóleo e 2 os de gasolina.

Índices

l – compartimento $l \in L = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$;

k – cisterna, $k \in K$;

i, j – clientes, $i, j \in N$;

p – tipo de produto, $p \in P$.

Parâmetros

q_i^p – quantidade (em litros) de produto $p \in P$ pedido por $i \in N$;

d_{ij} – distância entre $i \in V$ e $j \in V$ (com $i \neq j$);

$D = [d_{ij}]$ – matriz de distâncias (simétrica);

CK – capacidade média (em toneladas) das cisternas;

C^l – capacidade (litros) do compartimento $l \in L$;

M – constante suficientemente grande.

Variáveis Contínuas

f_{ij}^{plk} = volume em litros de produto $p \in P$, transportados de $i \in V$ para $j \in V$, no compartimento $l \in L$ da cisterna $k \in K$;

w_i^{plk} = volume em litros de produto $p \in P$ no compartimento $l \in L$ entregues por $k \in K$ ao cliente $i \in N$.

Variáveis Binárias

Para cada cisterna $k \in K$, define-se:

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{se a cisterna } k \text{ viaja de } i \text{ para } j \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad i, j \in V; i \neq j;$$

$$y_i^{plk} = \begin{cases} 1 & \text{se } k \text{ transporta } p \text{ no compartimento } l \text{ para } i \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases} \quad i \in N; l \in L; p \in P.$$

Tendo em conta as características do problema em estudo, e recorrendo às variáveis e parâmetros definidos anteriormente, apresenta-se de seguida a formulação matemática.

Função Objetivo

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{k \in K} d_{ij} x_{ij}^k \quad (1)$$

Restrições

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in V \setminus \{i\}} x_{ji}^k \geq 1 \quad \forall i \in N \quad (2)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{p \in P} y_i^{plk} \leq 1 \quad \forall l \in L, \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N} x_{0j}^k \leq 1 \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{j \in V \setminus \{i\}} x_{ij}^k - \sum_{j \in V \setminus \{i\}} x_{ji}^k = 0 \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{j \in V \setminus \{i\}} f_{ji}^{plk} - \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{j \in V \setminus \{i\}} f_{ij}^{plk} = \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} w_i^{plk} \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{l \in L} w_i^{plk} \leq \sum_{l \in L} \sum_{j \in N \setminus \{i\}} f_{ji}^{plk} \quad \forall i \in N, \forall p \in P, \forall k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{j \in N} f_{0j}^{plk} = \sum_{p \in P} \sum_{i \in N} \sum_{l \in L} w_i^{plk} \quad \forall k \in K \quad (8)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{l \in L} w_i^{plk} = q_i^p \quad \forall i \in N, \forall p \in P \quad (9)$$

$$\sum_{p \in P} \left(\sum_{l \in L} \sum_{j \in V \setminus \{i\}} f_{ji}^{plk} + \sum_{l \in L} w_i^{plk} + \sum_{l \in L} y_i^{plk} \right) \leq M \sum_{j \in V \setminus \{i\}} x_{ji}^k \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (10)$$

$$\sum_{j \in V \setminus \{i\}} x_{ji}^k \leq M \sum_{l \in L} \sum_{p \in P} y_i^{plk} \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (11)$$

$$\sum_{l \in L} y_i^{plk} \leq \sum_{l \in L} w_i^{plk} \quad \forall i \in N, \forall p \in P, \forall k \in K \quad (12)$$

$$\sum_{j \in V \setminus \{i\}} x_{ji}^k \leq M \sum_{l \in L} \sum_{p \in P} w_i^{plk} \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (13)$$

$$\sum_{j \in V \setminus \{i\}} x_{ji}^k \leq \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{j \in V \setminus \{i\}} f_{ji}^{plk} \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (14)$$

$$\frac{84}{10^5} \sum_{l \in L} \sum_{j \in N \setminus \{i\}} f_{0j}^{1lk} + \frac{74}{10^5} \sum_{l \in L} \sum_{j \in N \setminus \{i\}} f_{0j}^{2lk} \leq CK \sum_{j \in V \setminus \{i\}} x_{0j}^k \quad \forall k \in K \quad (15)$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{p \in P} f_{0j}^{plk} \leq C^l \quad \forall l \in L, \forall k \in K \quad (16)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{l \in L} f_{ji}^{plk} \leq M x_{ji}^k \quad \forall k \in K, j, i \in N (i \neq j) \quad (17)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{j \in V \setminus \{i\}} f_{ji}^{plk} \leq M \sum_{p \in P} \sum_c y_c^{plk} \quad \forall l \in L, \forall i \in N, \forall k \in K \quad (18)$$

$$\sum_{j \in V \setminus \{i\}} f_{ji}^{plk} - \sum_{j \in V \setminus \{i\}} f_{ij}^{plk} = w_i^{plk} \quad \forall l \in L, \forall i \in N, \forall p \in P, \forall k \in K \quad (19)$$

$$0 \leq w_i^{plk} \leq M y_i^{plk} \quad \forall l \in L, \forall i \in N, \forall p \in P, \forall k \in K \quad (20)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in V, i \neq j, \forall k \in K \quad (21)$$

$$y_i^{plk} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, p \in P, \forall l \in L, \forall k \in K \quad (22)$$

$$f_{ij}^{plk} \geq 0 \quad \forall i, j \in V, i \neq j, \forall p \in P, \forall l \in L, \forall k \in K \quad (23)$$

A função objetivo (1) pretende minimizar a distância total percorrida pelos veículos, obtida pela soma dos quilómetros percorridos entre os clientes e entre estes e o depósito, de todas as cisternas utilizadas.

As restrições (2) garantem que cada cliente é visitado por pelo menos uma cisterna. As restrições (3) garantem que em cada compartimento de cada cisterna só pode ser transportado apenas um produto no máximo e para apenas um cliente. As restrições (4) garantem que cada cisterna sai não mais de uma vez do depósito. As restrições (5) dizem que cada cisterna entra e sai de cada cliente o mesmo número de vezes. A eliminação de subcircuitos que não incluem o depósito é imposta por (6)-(8). As restrições (7) estabelecem a ligação entre as variáveis de fluxo (f) e as variáveis que definem os serviços (w) não permitindo que existam entregas de um produto a um cliente caso as correspondentes variáveis de fluxo sejam nulas. As restrições (8) igualam a quantidade (em litros) de produtos com que uma cisterna sai do depósito à soma da quantidade (em litros) de produtos de todos os clientes que essa cisterna vai servir. A satisfação das procuras dos diferentes produtos no cliente é imposta por (9). As restrições (10) garantem que, se determinada cisterna não viaja para determinado cliente, então, não transporta nenhum produto em nenhum dos seus compartimentos para esse mesmo cliente, e, portanto, não o serve de nenhum produto. As restrições (11) a (14) e (17) a (18) e (20) estabelecem ligações entre variáveis: (11) garantem que se determinada cisterna não serve

determinado cliente de determinado produto então também não transporta esse mesmo produto para esse mesmo cliente; (12) e (13) impõem, respetivamente, que se determinada cisterna não transporta determinado produto para determinado cliente, então também não o serve desse mesmo produto nem o visita; (14) dizem que se é nulo o fluxo de qualquer produto que chega a um cliente, em todos os compartimentos de determinada cisterna então essa cisterna não visita esse mesmo cliente. As restrições (15) e (16) limitam, respetivamente, a capacidade em toneladas transportada por cada cisterna (ver densidade dos produtos referida na página 16) e em litros transportada em cada compartimento de cada cisterna. Finalmente, se uma cisterna não visita um cliente então (17) garantem que são nulas as variáveis representando o fluxo de produtos que chega a esse cliente em qualquer compartimento da cisterna, enquanto (18) impõem a nulidade destas variáveis fluxo para cada um dos compartimentos de uma cisterna que não sirva nenhum cliente de determinado produto. As restrições (19) estabelecem que a diferença entre a quantidade transportada de cada produto em cada compartimento em cada cisterna antes e depois de visitar o cliente tem de ser igual à quantidade desse produto entregue ao cliente e transportada nesse compartimento dessa cisterna. As restrições (20) garantem que se uma cisterna não serve um cliente de determinado produto em determinado compartimento então também não transporta esse produto nesse compartimento para o cliente, definindo ainda o domínio para as variáveis que identificam os serviços. Por fim, as restrições (21) a (23) definem o domínio das restantes variáveis.

O modelo matemático formulado apresenta $|N|(|P||L||K|(|V| + 1) + |V| + |L||P|)$ variáveis de decisão e $|N|(|P| + 1) + 2|N||P||K|(|L| + 1) + |N||K|(|V| + |L|) + |K|(3 + 6|N| + 2|L|)$ restrições funcionais.

CAPÍTULO V: RESOLUÇÃO DO CASO DE ESTUDO

Ao longo da realização do estágio foi observado que na frota disponibilizada existe uma capacidade a transportar que não difere muito em cada combinação utilizada entre o trator e a cisterna. Assim, e de maneira a facilitar a posterior implementação do modelo, para cada cenário e para cada combinação, foi realizado o cálculo da capacidade de transporte em toneladas, através do seguinte procedimento:

- Capacidade = (Peso Bruto – Tara do Trator – Tara da Cisterna) × 0,96

Esta capacidade de transporte difere da apresentada nas simulações de cenários (capítulo II) na medida em que não tem em conta o tipo de produto transportado.

Pretende-se determinar a capacidade média de uma cisterna, garantindo que o peso bruto do conjunto veículo-a-motor-semirreboque e a taxa de segurança não são ultrapassados.

Logo, foi efetuada a média de todas as capacidades obtidas para cada um dos cenários, com valores de 26,4 toneladas para o cenário atual, designado por C0, 28,3 toneladas para o C2 (onde todos os tratores já estão homologados para as 42 toneladas) e 29,3 toneladas para C1 (a homologação de 43 toneladas).

Para calcular o número de veículos a utilizar, basta somar a quantidade de produtos solicitada por todos os clientes e dividir a mesma pela capacidade útil em litros das cisternas, arredondando o seu resultado para o próximo número inteiro superior ao calculado. Assim, para o cenário C0 o valor da capacidade a transportar calculado foi de 34 500 litros ($36\ 000 \times 0,96$) e para os restantes, C1 e C2, foi de 38 400 litros ($40\ 000 \times 0,96$).

Torna-se então possível diferenciar valores atribuídos a parâmetros do modelo anteriormente formulado, consoante o cenário em que se está a atuar:

- Parâmetros para o modelo no Cenário C0 (40 toneladas, 36 m³)
 - $CK = 26,4$ toneladas
 - $C^l = \{11000; 5000; 4000; 3000; 7000; 6000\}$ para $l = 1, 2, 3, 4, 5, 6$
- Parâmetros para o modelo no Cenário C2 (42 toneladas, 40 m³)
 - $CK = 28,3$ toneladas
 - $C^l = \{11000; 7000; 4000; 7000; 6000; 5000\}$ para $l = 1, 2, 3, 4, 5, 6$
- Parâmetros para o modelo no Cenário C1 (43 toneladas, 40 m³)
 - $CK = 29,3$ toneladas
 - $C^l = \{11000; 7000; 4000; 7000; 6000; 5000\}$ para $l = 1, 2, 3, 4, 5, 6$

Implementação do Modelo Matemático

Dada a dimensão do modelo matemático e das características do problema, este foi apenas implementado em alguns dos sábados do *cluster* 3 e os produtos solicitados foram agrupados tendo em conta o tipo de combustível branco a que pertenciam, gasóleo ou gasolina. Assim, na implementação deste modelo foram considerados apenas 20 dias, contendo entre cinco a dez clientes e dois produtos.

O modelo matemático foi implementado no *OpenSolver*, com recurso ao VBA como demonstrado no Anexo VI. Assim, foi possível obter um conjunto de rotas que satisfaz todas as restrições definidas minimizando a distância total percorrida, para cada um dos cenários.

O tempo computacional para a otimização recorrendo ao *OpenSolver* variando entre os oito minutos (500s) e as 24 horas (86400s), sendo que, em média, foi gerada uma solução ótima em cerca de seis horas e meia (23500s).

Como se acaba de observar, quando se estudam casos reais nem sempre é possível recorrer a algoritmos exatos (método de programação linear inteira) para a obtenção de soluções ótimas, devido a limitações computacionais. Dada a elevada complexidade do problema, é necessário encontrar uma solução admissível que se aproxime da ótima. Estas razões justificam a aplicação de heurísticas ou meta-heurísticas para a resolução do problema (Mendoza, et al., 2011) e (Mohamed, et al., 2019).

Análise das Soluções Geradas

Após a implementação do modelo, foram geradas as soluções para cada um dos dias tendo em conta os diferentes cenários. Os gráficos criados seguem a mesma linha de pensamento que os que foram apresentados no capítulo anterior, no perfil dos combustíveis brancos.

Iniciando esta análise pelo que mais importa, a distância total percorrida em cada cenário, pode-se observar, através da Figura 13, que do cenário C0 para C2 (42 toneladas) se conseguiu reduzir 426,4 km, o que corresponde a uma diminuição de 4,5% da distância percorrida. A diferença encontrada entre C0 e C1 (43 toneladas) é semelhante, conseguindo-se reduzir 449,9 km, ou seja, as cisternas percorreram menos 4,7% da distância inicial. Comparando C2 com C1, conseguiu-se apenas reduzir 18,5 km, o que significa uma diminuição de 0,20%.

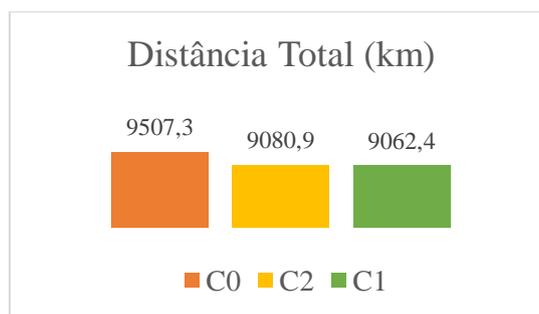


Figura 13 - Distância total (km) observada nos diferentes cenários

Apesar de se ter observado uma diminuição da distância total percorrida, o número de fretes realizados nos diferentes cenários foi o mesmo, significando, também, que foram usadas o mesmo número de cisternas. No entanto, aprofundando esta análise, o total de *drops* observados passou de 173 (C0) para 150 (-13%) em C2 e para 148 (-14%) em C1, significando que, para o mesmo número de cisternas e mesmas quantidades de produto,

se observou uma otimização na distribuição aos clientes, não se deslocando as cisternas tantas vezes aos mesmos clientes. Assim, e como ilustrado na Figura 14 e na Figura 15, existiu uma diminuição dos *drops* observados, em média, por cada frete realizado, passando de 2,0 para 1,8 (-13%) em C2 e para 1,7 (-14%) em C1 e um aumento do *drop* médio de 15,7 m³ para 18,1 (+16%) e 18,3 (+17%) m³ em C2 e C1 respetivamente.

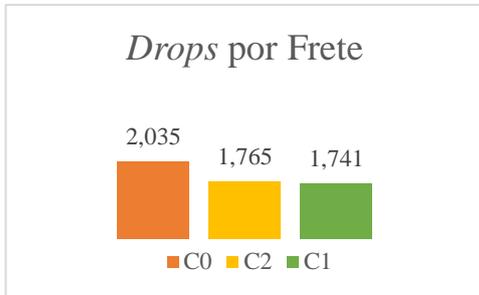


Figura 14 - Média dos *drops* por frete observado nos diferentes cenários

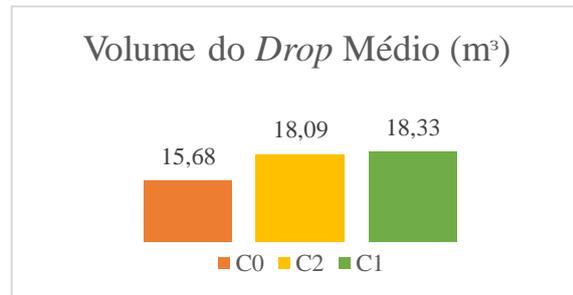


Figura 15 – Volume do *drop* médio dos fretes observado nos diferentes cenários

Observando a quantidade transportada nos fretes realizados nos diferentes cenários, conclui-se que diminui o número de fretes com quantidade superior ou igual a 31 m³ e aumentam os restantes, comparando C0 com C2 e C1 (Figura 16). Estes valores são justificados pela não alteração das quantidades transportadas e cisternas utilizadas, o que faz com que as quantidades transportadas nos veículos, muitas vezes, não atinjam, nem se aproximem, das respectivas capacidade útil permitidas nos novos cenários.

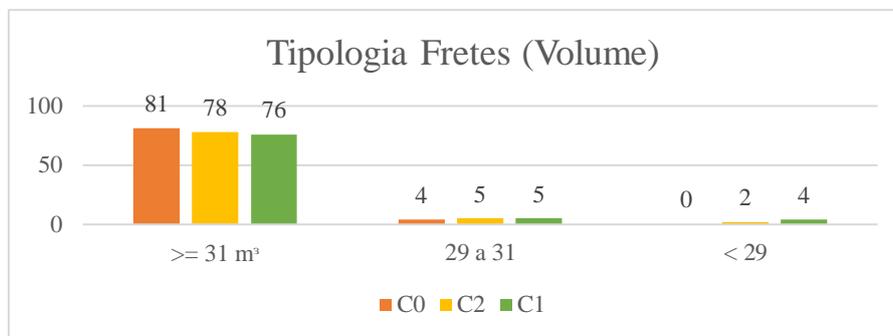


Figura 16 - Tipologia dos fretes (volume) observados nos diferentes cenários

Relativamente aos *drops* observados, Figura 17, pode-se afirmar que as diferenças encontradas nos diferentes cenários nos *drops* com quantidade transportada superior ou igual a 10 m³ não foram relevantes. No entanto, foram efetuados menos 23 *drops* com quantidade inferior a 10 m³ em C2 e menos 26 em C1 do que em C0, justificando este tipo de *drops* a diferença encontrada entre a quantidade de *drops* nos diferentes cenários. Estes valores reforçam a conclusão anterior de que as cisternas no cenário atual se deslocaram mais vezes ao mesmo cliente do que nos outros cenários.

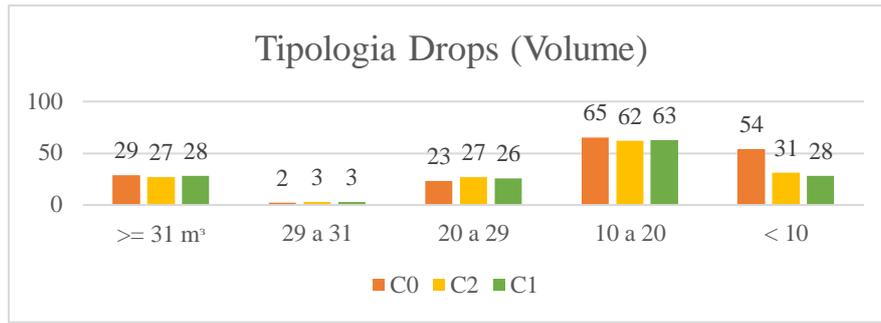


Figura 17 - Tipologia dos *drops* (volume) observados nos diferentes cenários

Para terminar, analisando a distribuição de volumes nos diferentes cenários, Figura 18 a Figura 20 verifica-se que se conseguiu aumentar a percentagem de fretes com apenas um *drop* que preencheram a sua cisterna com mais de 31 m³ em seis pontos percentuais para C2 e em oito pontos percentuais para C1. Relembre-se que esta percentagem é a que melhor traduz o desempenho da empresa, correspondendo os maiores valores a um melhor desempenho. Apesar de as percentagens dos fretes com dois *drops* e capacidade superior a 31 m³ terem aumentado ligeiramente, conseguiu-se diminuir significativamente a percentagem dos fretes com a mesma capacidade, mas com três ou mais *drops*, reduzindo 14 e 15 pontos percentuais de C0 para C2 e de C0 para C1, respetivamente.

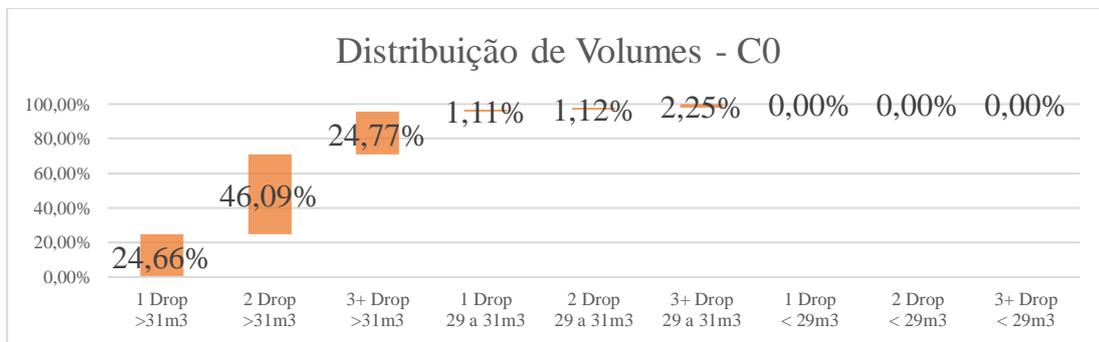


Figura 18 - Distribuição de volumes em C0

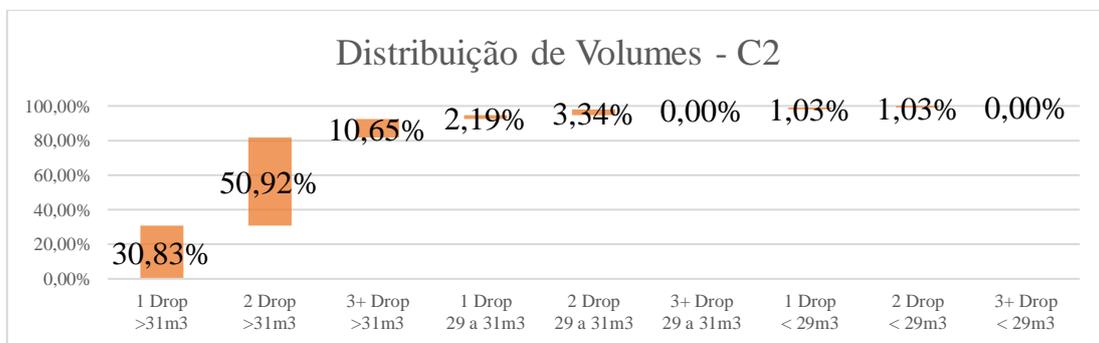


Figura 19 - Distribuição de volumes em C2

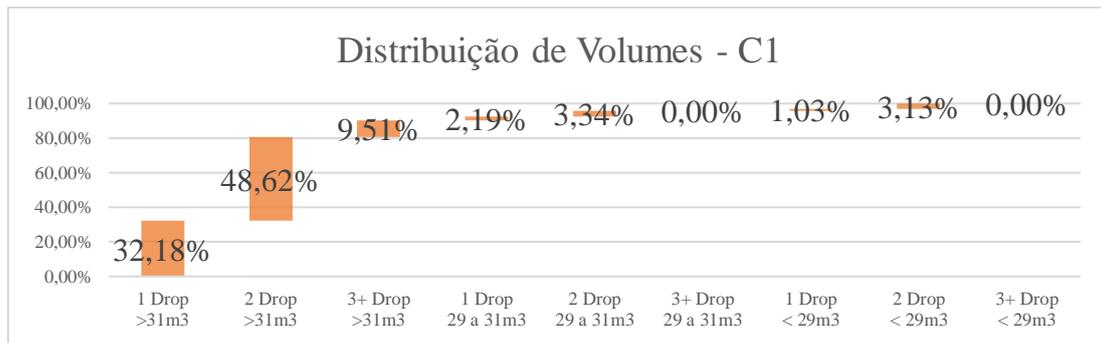


Figura 20 - Distribuição de volumes em C1

CAPÍTULO VI: CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Após a revisão da literatura, e de acordo com as características e restrições consideradas no problema da Galp Energia em estudo, identificou-se, como apropriado um modelo matemático de tipo VRP. No entanto, observou-se que nenhuma das suas variantes, ou conjunto de variantes, ia de encontro ao pretendido. Em suma, o modelo matemático desenvolvido representa uma novidade para a literatura encontrada do Problema de Planeamento de Rotas de Veículos.

A aplicação do modelo permitiu identificar rotas ótimas para cada um dos cenários, conduzindo à análise das diferenças observadas. Assim, efetuando uma análise comparativa entre os diferentes cenários provenientes da mudança de paradigma e o cenário atual, verificou-se que, apesar de ter sido realizada a mesma quantidade de fretes, conseguiu-se diminuir, aproximadamente, 5% da distância total percorrida e realizar-se menos 20 *drops* com o aumento da capacidade dos veículos para o período analisado. Também de realçar o aumento de seis pontos percentuais da percentagem de fretes com apenas um *drop* e quantidade transportada superior a 31 m³.

Dada a complexidade e dimensão do caso de estudo, foi necessário efetuar algumas simplificações. No que diz respeito à formulação do modelo, não se teve em conta que na Galp Energia se exige, por uma questão de segurança, que o último compartimento de uma cisterna tem que circular completamente cheio ou completamente vazio, garantindo a estabilidade do veículo. Associada às cargas dos compartimentos, surge também outra limitação do corrente estudo. De facto, não foi considerado o equilíbrio do veículo, ou seja, uma correta distribuição da carga, tendo em conta a ordem pela qual os compartimentos da cisterna vão sendo descarregados.

Outra das limitações, embora de abordagem mais simples, prende-se com a possibilidade de o ponto de partida diferir do ponto de retorno, pois existem parques de armazenamento alternativos que não foram identificados. Também não foi considerado o caso em que não é possível abastecer os tanques das estações, por causa da deteção de água nos mesmos.

Com a finalidade de atingir os objetivos propostos, foram recolhidas as coordenadas dos pontos de entrega dos clientes particulares da empresa, surgindo, então, outra limitação: as moradas disponibilizadas não são suficientemente precisas, não permitindo, deste modo, obter coordenadas exatas. Assim, as distâncias identificadas

entre os clientes e entre os clientes e os parques de armazenamento podem apresentar uma ligeira discrepância face às reais.

Relativamente a um possível trabalho futuro, existem diversas melhorias que poderiam ser consideradas para continuar o estudo desenvolvido neste estágio. Uma sugestão imediata passa por implementar o modelo matemático em outro *software* que tenha mais capacidade do que o mencionado neste relatório, por exemplo, o CPLEX.

Uma outra sugestão interessante passa por desenvolver uma interface que permita à empresa uma visualização imediata, após inserção das procuras a distribuir em determinado dia, das rotas a realizar em cada um dos diferentes cenários. Com esta interface, resultaria também a possibilidade de os programadores alterarem a lista de entregas para os postos de abastecimento, ou seja, permitiria observar se, nos diferentes cenários, compensaria aumentar a quantidade de produto a distribuir para os mesmos.

Adicionalmente, poderia pensar-se no desenvolvimento de um modelo onde a procura por parte dos postos de abastecimento correspondessem a um intervalo, em vez de a um valor fixo, ou seja, a existência de procuras variáveis. De facto, sendo a empresa que determina a quantidade de produto que os postos vão receber em determinado dia, seria interessante poder analisar se compensa entregar mais (ou menos) quantidade de produto, tendo em contas os novos cenários provenientes da mudança de paradigma, para que, para além da minimização da distância total percorrida, se verifique uma maior percentagem de ocupação de volume transportado por cada veículo.

REFERÊNCIAS

- Christopher, M. (2011). *Logistics & Supply Chain Management*. (4th ed.), Harlow, Great Britain: Prentice Hall-Financial Times.
- Clarke, G., & Wright, J. (1964). Scheduling of Vehicle Routing Problem from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*, 12, pp. 568-581.
- Costa, J. P., Dias, J. M., & Godinho, P. (2017). *Logística* (2^a ed.). Coimbra: Imprensa da Universidade de Coimbra.
- Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, 6, pp. 80-91.
- Dror, M., & Trudeau, P. (1989). Savings by split delivery routing. *Transportation Science*, 23, pp. 141-145.
- Fallahi, A., Prins, C., & Calvo, R. (2008). A memetic algorithm and a tabu search for the multi-compartment vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 35, pp. 1725-1741.
- Ghiani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2006). *Introduction to Logistics Systems Planning and Control*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Gonçalves, T. (2014). "Distribuição de GPL a granel: um caso de estudo", dissertação, mestrado em Decisão Económica e Empresarial, ISEG, Lisboa, Portugal.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2001). *Introduction to Operations Research* (10 ed.). New York, USA: McGraw-Hill.
- Lee, C., Lee, Z., Lin, S., & Ying, K. (2010). An enhanced ant colony optimization (EACO) applied to capacitated vehicle routing problem. *Applied Intelligence*, 32, pp. 88-95.
- Mendoza, J. E., Castanier, B., Guéret, C., Medaglia, A. L., & Velasco, N. (2011). Constructive Heuristics for the Multicompartment Vehicle Routing Problem with Stochastic Demands. *Transportation Science*, 45(3), 346-363.
- Mohamed, N. H., Salhi, S., Nagy, G., & Mohamed, N. A. (2019). A matheuristic approach for the split delivery vehicle routing problem: an efficient set covering-based model with guided route generation schemes. *International Journal of Mathematics in Operational Research*, 15, 65-91.
- Morse, P. M., & Kimball, G. E. (1951). *Methods of Operations Research*. *The Technology Press and John Wiley & Sons Inc.*, 158.
- Pereira, A. N. (1993). "Soluções Aproximadas para um Problema de Carregamento Seleccionado "Simulated Annealing" e Pesquisa Tabu", dissertação, mestrado em Matemática Aplicada à Economia e à Gestão, ISEG, Portugal.
- Toth, P., & Vigo, D. (2014). *Vehicle Routing - Problems, Methods and Applications* (2nd ed.). Philadelphia: MOS-SIAM Series on Optimization.

ANEXOS

Anexo I – Fretes realizados em Portugal no 1º semestre de 2018

Cluster	Fretes	Quantidade (litros)	Volume (m³)	Média do Volume (m³) por Frete	Drops	Drop médio (m³)
1	7102	226343958	226343,958	31,870	11015	20,549
2	3864	123427264	123427,264	31,943	6644	18,577
3	1682	53632888	53632,888	31,886	3244	16,533
4	5453	172603127	172603,127	31,653	8432	20,470
5	4823	152886331	152886,331	31,699	7204	21,222
6	5295	167737527	167737,527	31,678	8855	18,943
Total	28219	896631095	896631,095	31,774	45394	19,752

Tabela 4 - Caracterização dos Fretes

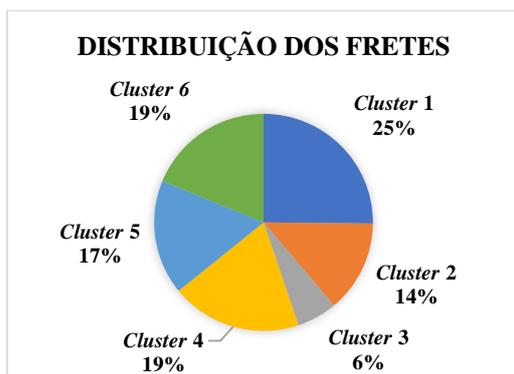


Figura 21 - Distribuição dos fretes

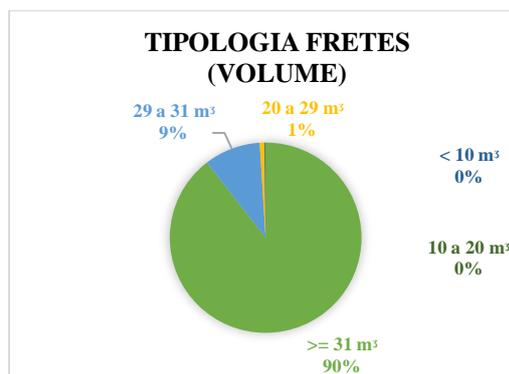


Figura 22 – Tipologia dos fretes (volume)

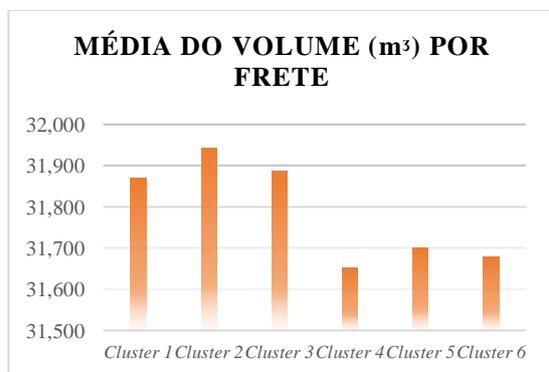


Figura 23 - Média do volume por frete

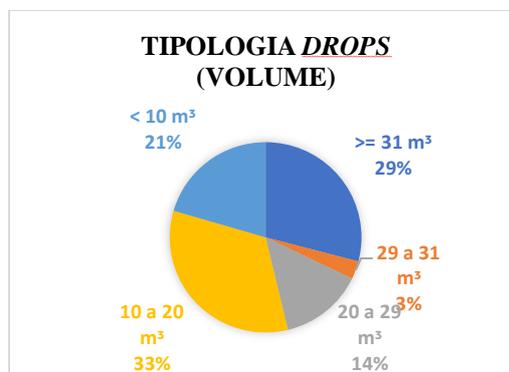


Figura 24 - Tipologia drops (volume)

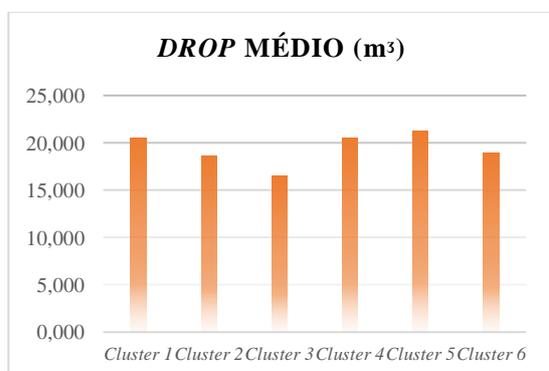


Figura 25 - Drop médio (m³)

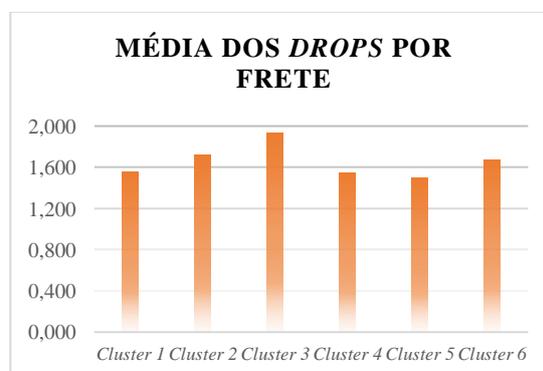


Figura 26 - Média dos drops por frete

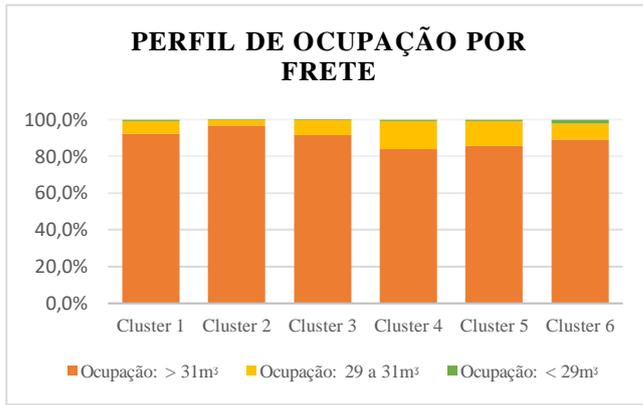


Figura 27 - Perfil de ocupação por frete

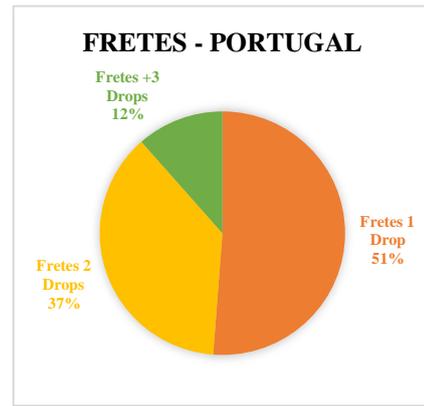


Figura 28 - Tipologia dos fretes (drops)

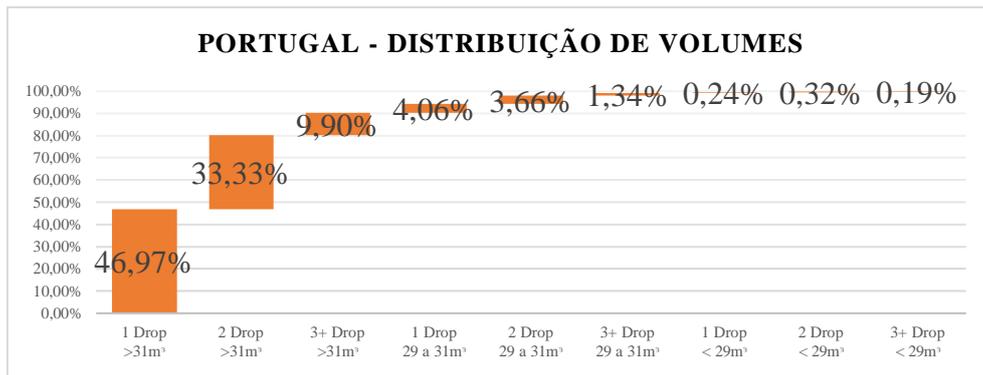


Figura 29 - Distribuição de volumes

Anexo II – Fretes realizados em Portugal por Cluster no 1º semestre de 2018

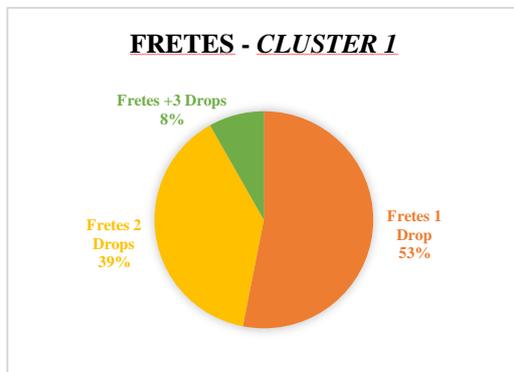


Figura 30 - Fretes realizados no cluster 1



Figura 31 - Fretes (volume) realizados no cluster 1

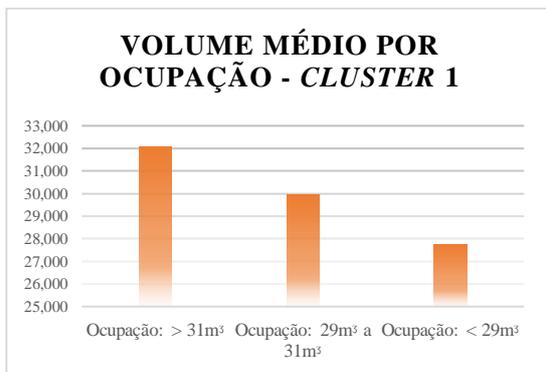


Figura 32 - Volume médio por ocupação dos fretes realizados no cluster 1

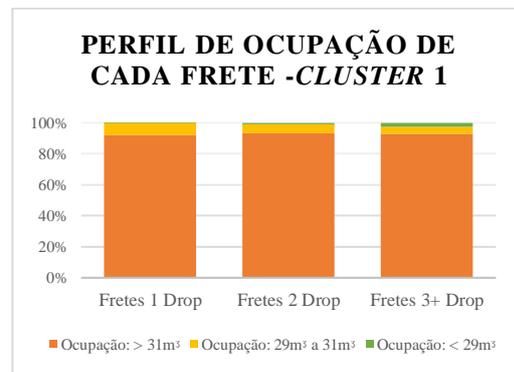


Figura 33 - Perfil de ocupação dos fretes realizados no cluster 1

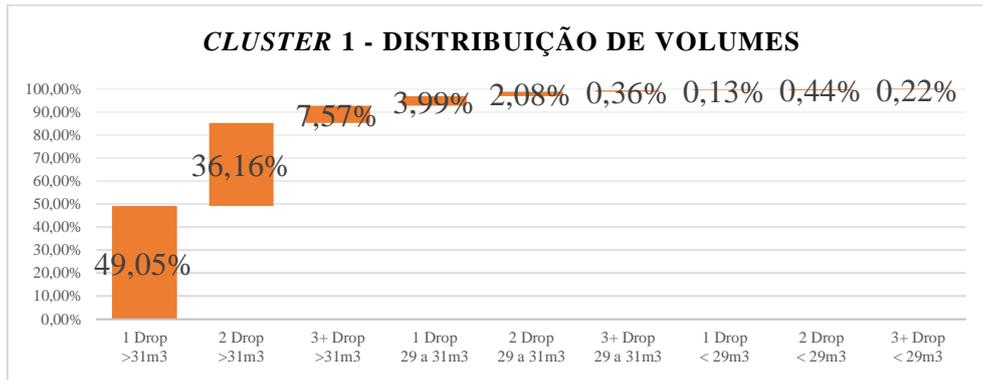


Figura 34 - Distribuição dos volumes no *cluster 1*

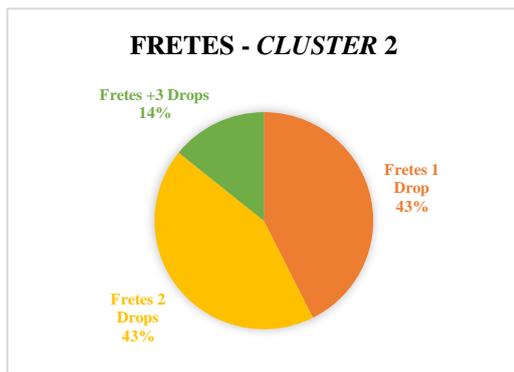


Figura 35 - Fretes realizados no *cluster 2*



Figura 36 - Fretes (volume) realizados no *cluster 2*

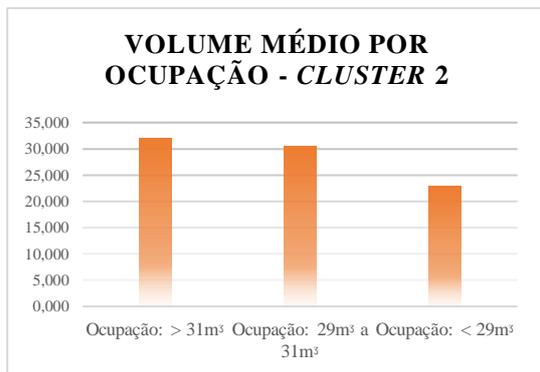


Figura 37 - Volume médio por ocupação dos fretes realizados no *cluster 2*

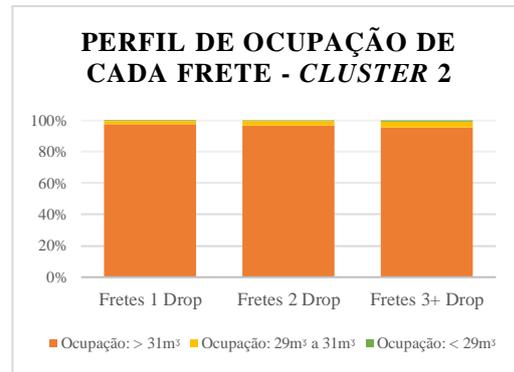


Figura 38 - Perfil de ocupação de cada frete realizado no *cluster 2*

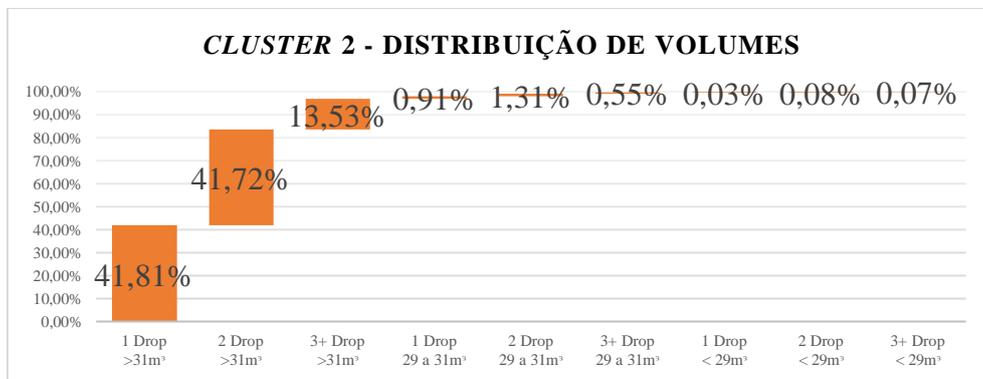


Figura 39 - Distribuição de volumes no *cluster 2*

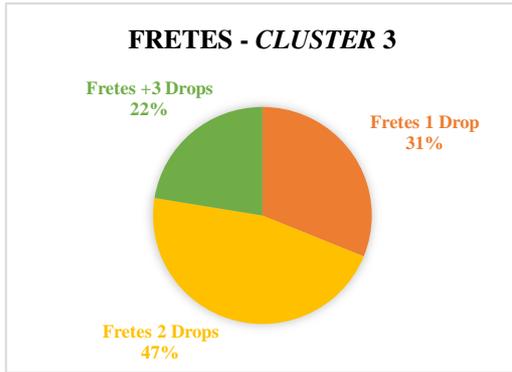


Figura 40 - Fretes realizados no cluster 3



Figura 41 - Fretes (Volume) realizados no cluster 3

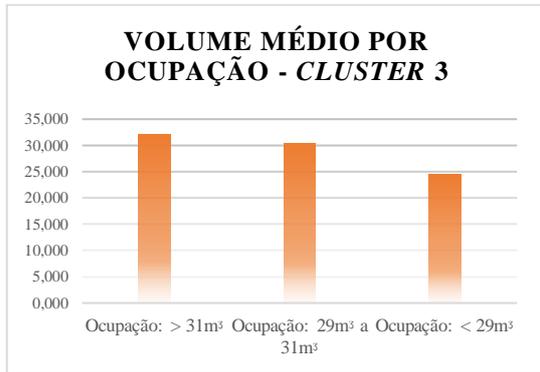


Figura 42 - Volume médio por ocupação dos fretes realizados no cluster 3

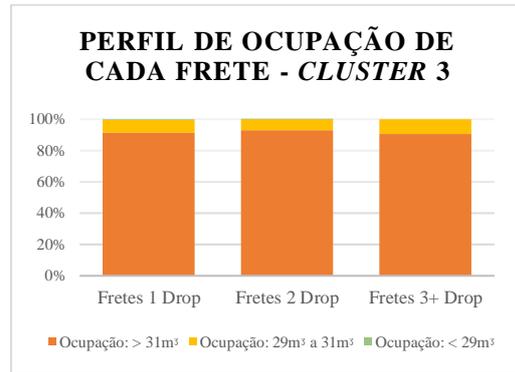


Figura 43 - Perfil de ocupação de cada frete realizado no cluster 3

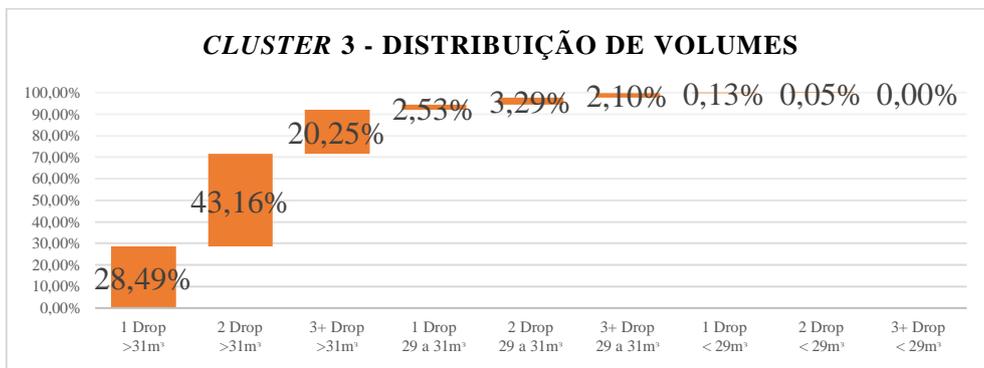


Figura 44 - Distribuição dos volumes no cluster 3

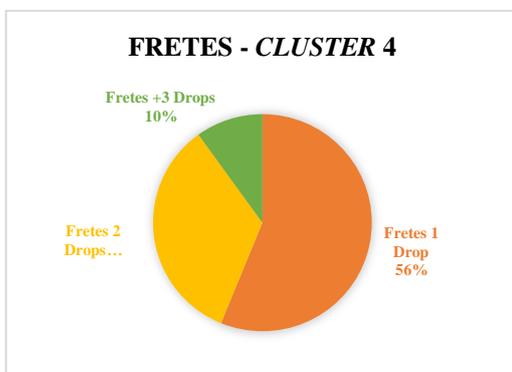


Figura 45 - Fretes realizados no cluster 4

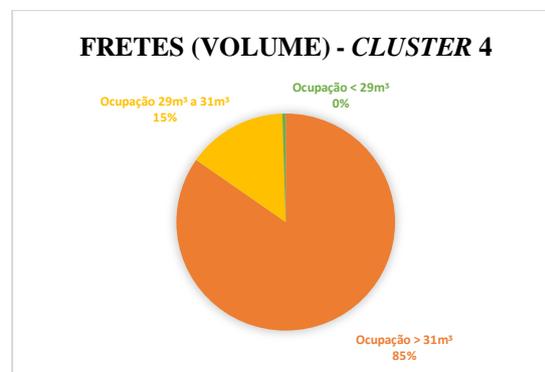


Figura 46 - Fretes (Volume) realizados no cluster 4

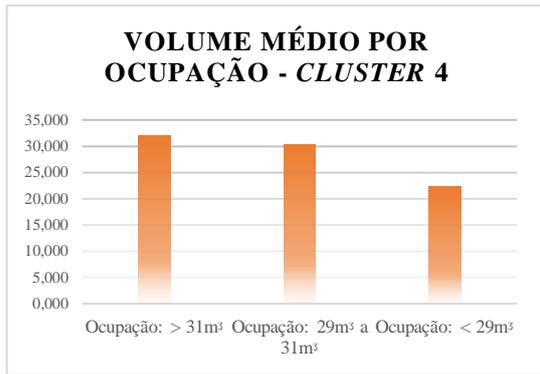


Figura 47 - Volume médio por ocupação dos fretes realizados no cluster 4

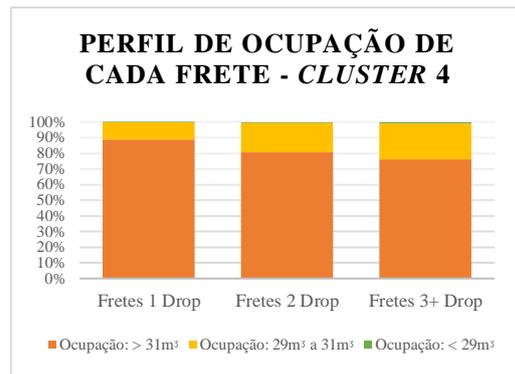


Figura 48 - Perfil de ocupação de cada frete no cluster 4

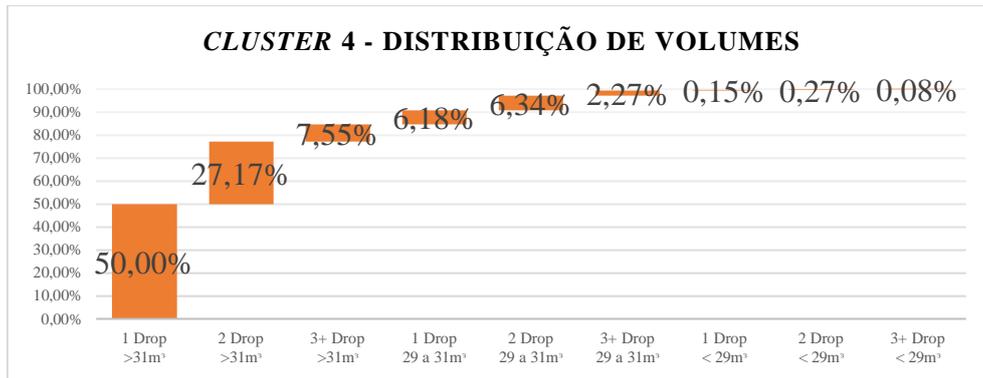


Figura 49 - Distribuição dos volumes no cluster 4

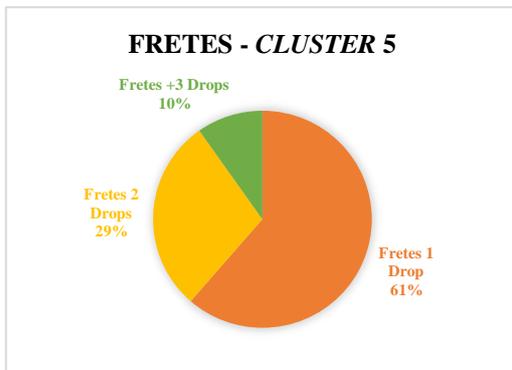


Figura 50 - Fretes realizados no cluster 5

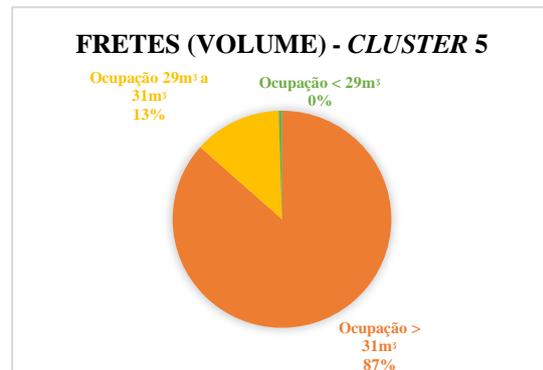


Figura 51 - Fretes (volume) realizados no cluster 5

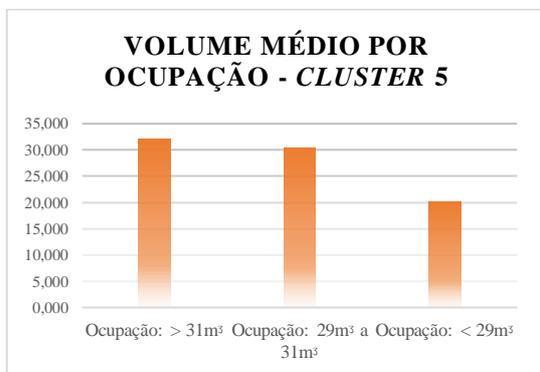


Figura 52 - Volume médio por ocupação dos fretes realizados no cluster 5

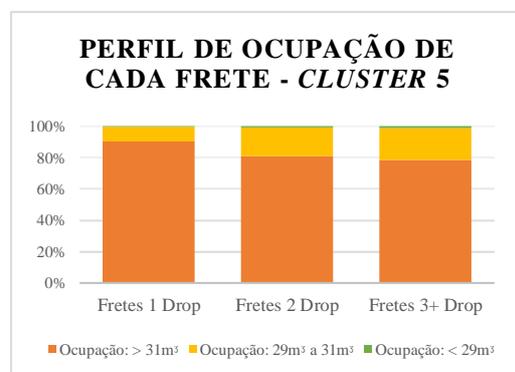


Figura 53 - Perfil de ocupação de cada frete realizado no cluster 5

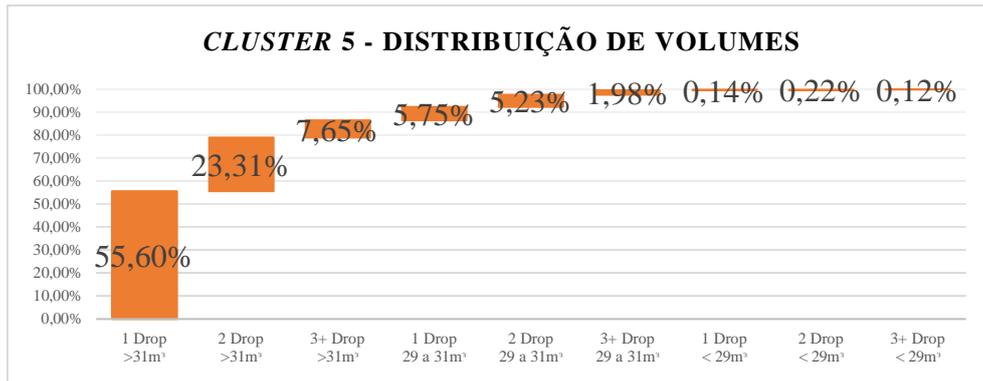


Figura 54 - Distribuição dos volumes no *cluster 5*

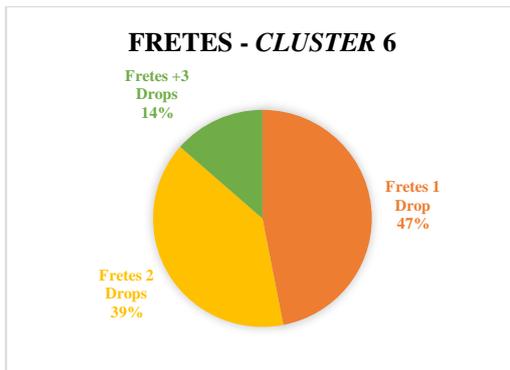


Figura 55 - Fretes realizados no *cluster 6*

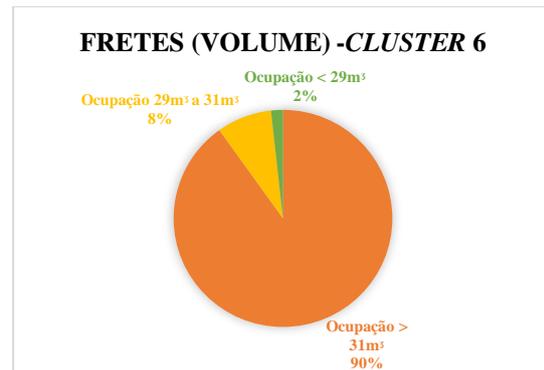


Figura 56 - Fretes (volume) realizados no *cluster 6*

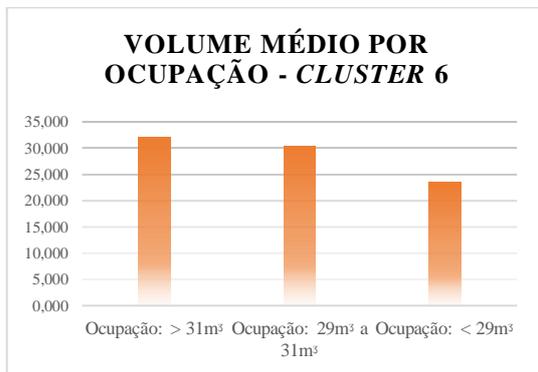


Figura 57 - Volume médio por ocupação dos fretes realizados no *cluster 6*

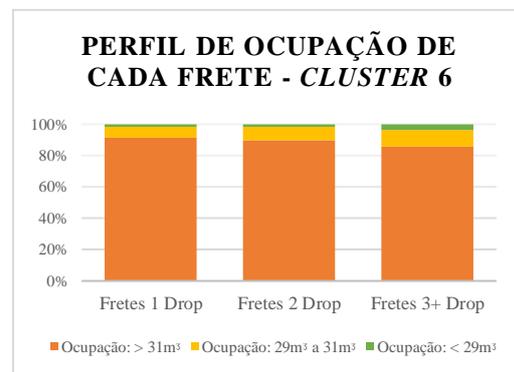


Figura 58 - Perfil de ocupação de cada frete no *cluster 6*

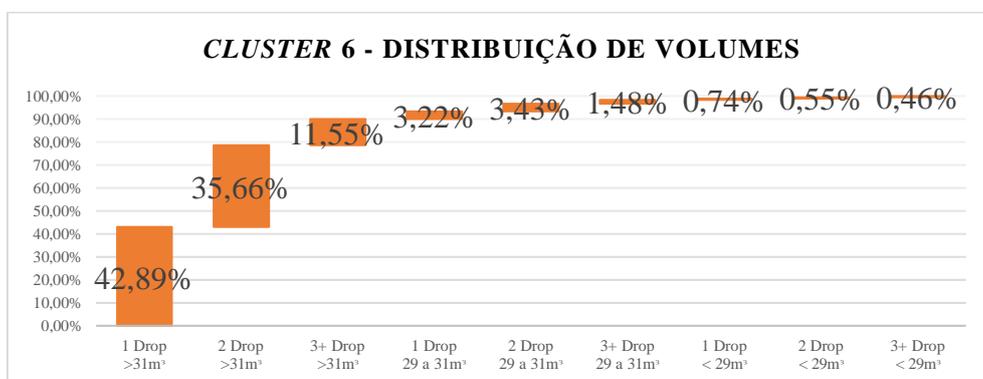


Figura 59 - Distribuição de volumes no *cluster 6*

Anexo III – Veículos utilizados em Portugal no 1º semestre de 2018

Cluster	Capacidade Média/Frete (m³)	Cisternas Utilizadas	Tratores com PB 40	Tratores com PB 43
Cluster 1	36,531	28	58	0
Cluster 2	36,258	21	22	0
Cluster 3	36,070	7	7	0
Cluster 4	39,813	13	19	2
Cluster 5	36,117	32	42	1
Cluster 6	35,734	35	56	0
Total	36,880	136	204	3
			98,6%	1,4%

Tabela 5 - Caracterização dos veículos

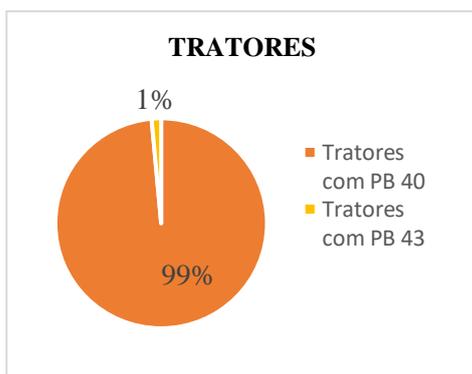


Figura 60 - Tipos de tratores

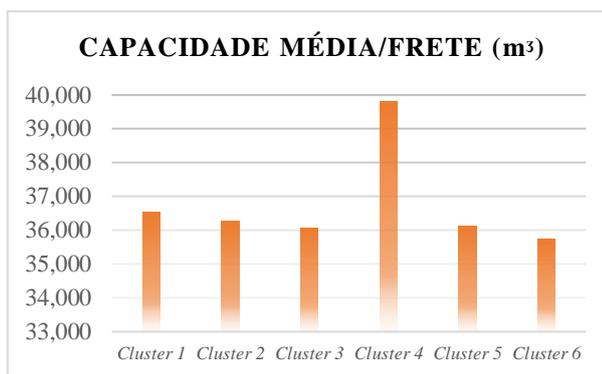


Figura 61 - Capacidade média da cisterna por frete

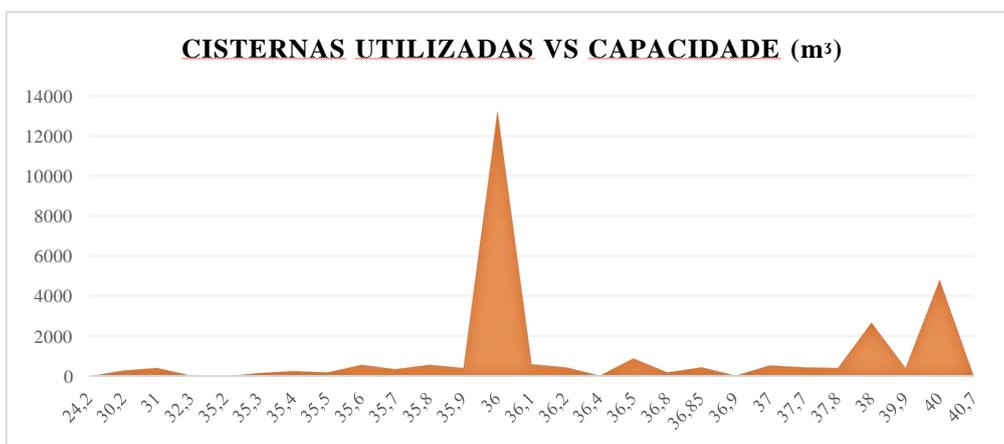


Figura 62 - Tipos de cisternas

Anexo IV – Veículos utilizados por Cluster no 1º Semestre de 2018

Cisterna	Tractor	Tara (ton)	Capacidade (m³)	PB (ton)
xxx		5,3	36	
	xxx	7,3		40
	xxx	6,73		40
	xxx	7,54		40
	xxx	6,632		40
xxx		5,3	36	
	xxx	7,3		40
xxx		5,3	36	
	xxx	7,2		40
	xxx	7		40
	xxx	6,745		40
xxx		5,3	36	
	xxx	7,6		40
xxx		5,3	36	
	xxx	7,55		40
xxx		5,3	36	
	xxx	7,6		40
xxx		4,3	36	
	xxx	8		40
xxx		5,4	36	
	xxx	7,11		40
	xxx	7,55		40
	xxx	7,55		40
xxx		5,4	36	
	xxx	7,6		40
xxx		5,4	35,8	
	xxx	7,04		40
xxx		5,3	38	
	xxx	7,6		40
xxx		5,3	38	
	xxx	7,6		40
xxx		5,3	38	
	xxx	7,6		40
xxx		5,3	37,8	
	xxx	7,58		40
xxx		5,3	38	
	xxx	7,1		40
xxx		5,3	37,7	
	xxx	7,74		40
	xxx	7,18		40
xxx		5,3	38	
	xxx	7,26		40
xxx		5,3	38	
	xxx	7,7		40
	xxx	7,6		40
xxx		5,66	35,5	
	xxx	7,12		40
xxx		5	36	
	xxx	6,9		40
xxx		5,3	36,1	
	xxx	7,4		40
	xxx	7,04		40
xxx		5,5	35,7	
	xxx	6,73		40
xxx		5,5	35,6	
	xxx	7,55		40
xxx		5,5	35,4	
	xxx	6,745		40
xxx		5,7	35,3	
	xxx	7,62		40
xxx		5,64	36	
	xxx	7,6		40
xxx		5,5	36	
	xxx	7,5		40

Tabela 6 - Lista do conjunto "veículo-a-noto-semirreboque" do cluster 1

Cisterna	Tractor	Tara (ton)	Capacidade (m³)	PB (ton)
xxx		5,44	36	
	xxx	7,6		40
xxx		5,3	36	
	xxx	7,58		40
xxx		5,3	36	
	xxx	7,425		40
xxx		5,3	36,2	
	xxx	7,375		40
xxx		5,3	36,5	
	xxx	7,58		40
xxx		5,3	38	
	xxx	7,4		40
xxx		5,5	35,7	
	xxx	7		40
xxx		5,48	35,6	
	xxx	7,5		40
xxx		6	36	
	xxx	6,375		40
xxx		5	36	
	xxx	7,58		40
xxx		6	36,1	
	xxx	7,6		40
xxx		5,4	36	
	xxx	7,58		40
xxx		5,65	36	
	xxx	7,9		40
xxx		6	36	
	xxx	7,58		40
xxx		5,4	36	
	xxx	7,5		40

Tabela 7 - Lista do conjunto "veículo-a-motor-semirreboque" do cluster 2

Cisterna	Tractor	Tara (ton)	Capacidade (m³)	PB (ton)
xxx		5	36,1	
	xxx	7,2		40
	xxx	6,94		40
xxx		5,1	36	
	xxx	8		40
xxx		5	35,8	
	xxx	7,7		40
	xxx	7,2		40
xxx		5,3	35,8	
	xxx	7,2		40
xxx		5,3	35,9	
	xxx	7,2		40
xxx		5,04	36	
	xxx	7,5		40
xxx		5,06	36,5	
	xxx	6,72		40

Tabela 8 - Lista do conjunto "veículo-a-motor-semirreboque" do cluster 3

Rede de Retalho num Contexto de Mudança de Paradigma – Caso da Galp Energia

Cisterna	Tractor	Tara (ton)	Capacidade (m³)	PB (ton)
xxx		5,3	36	
	xxx	6,632		40
xxx		5,36	40	
	xxx	7,149		40
xxx		5,36	40	
	xxx	7,1		40
xxx		5,36	40	
	xxx	7,7		43
xxx		5,36	40	
	xxx	6,632		40
	xxx	6,632		40
	xxx	7,7		43
xxx		5,36	40	
	xxx	7,2		40
xxx		5,36	40	
xxx		5,3	40	
	xxx	7,149		40
xxx		5,36	40	
	xxx	6,632		40
	xxx	6,632		40
xxx		5,36	40	
	xxx	7,99		40
xxx		5,3	40	
	xxx	7,149		40
xxx		5,36	40	
	xxx	7,2		40
xxx		5,3	39,9	
	xxx	7,15		40

Tabela 9 - Lista do conjunto "veículo-a-motor-semirreboque" do *cluster 4*

Cisterna	Tractor	Tara (ton)	Capacidade (m³)	PB (ton)
xxx		5,3	36,1	
	xxx	7,1		40
xxx		5	37	
	xxx	7,16		40
xxx		6	36	
	xxx	8		40
	xxx	7		40
xxx		5,4	36	
xxx		5	36	
	xxx	7,1		40
xxx		5,5	36	
xxx		5,3	35,8	
	xxx	7,1		40
xxx		5	36	
	xxx	7,7		40
	xxx	7,093		40
xxx		5	36	
	xxx	7,149		40
xxx		5,4	35,9	
	xxx	7,1		40
xxx		5	36,4	
	xxx	7,1		40
xxx		5	36,9	
	xxx	6,875		40
	xxx	7,149		40
xxx		5,1	36	
	xxx	7,1		40
xxx		5,6	36	
	xxx	7,1		40
xxx		5,1	36	
	xxx	7,093		40
xxx		5,1	36	
	xxx	7,1		40
xxx		5,1	36	
	xxx	7,1		40
xxx		5,1	36	
	xxx	7		40
xxx		5,1	36	
	xxx	7,149		40
	xxx	5		40
xxx		5,1	36	
	xxx	7,1		40
xxx		4	36	
	xxx	7,1		40
xxx		5,1	36	
	xxx	7,13		40
xxx		5,4	36	
	xxx	7		40
	xxx	7		44
xxx		4,9	36	
	xxx	7		40
xxx		4,9	36	
	xxx	7		40
xxx		5,1	36	
	xxx	7,1		40
xxx		5,1	36	
	xxx	7,16		40
xxx		5,17	36	
	xxx	5		40
xxx		5,1	36	
	xxx	7,16		40
xxx		5,08	36	
	xxx	7,09		40
xxx		5,2	36	
	xxx	6,5		40
xxx		5	36	
	xxx	7,16		40

Tabela 10 - Lista do conjunto "veículo-a-motor-semirreboque" do *cluster 5*

Rede de Retalho num Contexto de Mudança de Paradigma – Caso da Galp Energia

Cisterna	Tractor	Tara (ton)	Capacidade (m³)	PB (ton)
xxx		5,3	36,2	
	xxx	7,4		40
xxx		5,4	36	
	xxx	7,33		40
xxx		5,4	36	
	xxx	7,105		40
xxx		5,4	36	
	xxx	7		40
xxx		5	36	
	xxx	6,73		40
xxx		5	36	
	xxx	7,65		40
xxx		5	35,6	
	xxx	6,8		40
xxx		5,5	35,8	
	xxx	6,8		40
xxx		5,5	36	
xxx		5,3	40,7	
	xxx	6,8		40
xxx		5,5	36	
xxx		5,5	36	
	xxx	7,998		40
xxx		5,4	36	
	xxx	7		40
xxx		5,5	36	
xxx		5,5	36	
	xxx	7,42		40
xxx		5,5	35,2	
	xxx	6,46		40
xxx		6	35,7	
	xxx	7,38		40
xxx		5	35,9	
	xxx	7,49		40
xxx		5,5	36	
	xxx	6,73		40
	xxx	7,49		40
xxx		5,5	36	
	xxx	6,73		40
xxx		5,5	36	
	xxx	7,65		40
xxx		5,5	36	
	xxx	7,121		40
xxx		5	36	
	xxx	6,73		40
xxx		4,5	36,5	
	xxx	7,121		40
xxx		5,5	36,8	
	xxx	7,159		40
xxx		5,3	36	
	xxx	7,159		40
	xxx	7,159		40
xxx		5,3	36	
	xxx	6,46		40
xxx		5,3	36,85	
	xxx	7,159		40
xxx		5	36,85	
	xxx	8		40
xxx		5,3	36	
	xxx	7,159		40

Tabela 11 - Lista do conjunto "veículo-a-motor-semirreboque" do cluster 6

Anexo V – Simulações de diferentes Cenários resultantes da Mudança de Paradigma por Cluster



Figura 63 - Aumento da quantidade a transportar em cada cenário face ao atual no *cluster 1*



Figura 64 - Aumento da quantidade a transportar em cada cenário face ao atual no *cluster 2*



Figura 65 - Aumento da quantidade a transportar em cada cenário face ao atual no *cluster 3*



Figura 66 - Aumento da quantidade a transportar em cada cenário face ao atual no *cluster 4*

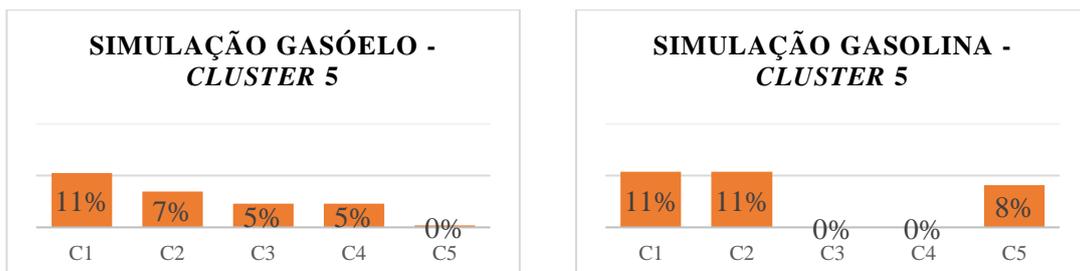


Figura 67 - Aumento da quantidade a transportar em cada cenário face ao atual no *cluster 5*



Figura 68 - Aumento da quantidade a transportar em cada cenário face ao atual no *cluster* 6

Anexo VI – Programação em VBA do Modelo Matemático

Este anexo representa a programação em VBA do modelo utilizado para o cenário atual (C0). Para utilizar a mesma nos restantes cenários basta alterar a macro `lista_produtos_e_cisternas_a_utilizar` (Figura 69), dividindo `k` por 38 400, e as macro `grupo15` e `grupo16` (Figura 81 e Figura 80) para os valores mencionados no início do quinto capítulo.

```

Option Explicit
Dim vertice() As Integer, clientes() As Integer, produto() As Integer, k As Integer, maior As Integer, matprod() As
Long, compart() (1 To 6) As Integer
Sub leitura()
    Dim i As Integer, j As Integer, x As Integer
    j = 1
    Do While ActiveSheet.Cells(2, j + 1) <> ""
        ReDim Preserve produto(1 To j) As Integer
        produto(j) = ActiveSheet.Cells(2, j + 1)
        j = j + 1
    Loop
    i = 0
    Do While ActiveSheet.Cells(2, i + UBound(produto) + 4) <> ""
        ReDim Preserve vertice(i + 1) As Integer
        vertice(i) = ActiveSheet.Cells(2, i + UBound(produto) + 4)
        i = i + 1
    Loop
    x = 1
    Do While ActiveSheet.Cells(2, x + UBound(produto) + 4) <> ""
        ReDim Preserve clientes(1 To x) As Integer
        clientes(x) = ActiveSheet.Cells(2, x + UBound(produto) + 4)
        x = x + 1
    Loop
End Sub

Sub lista_produtos_e_cisternas_a_utilizar()
    Call leitura
    ReDim matprod(1 To UBound(clientes), 1 To UBound(produto))
    Dim i As Integer, j As Integer, soma As Long
    soma = 0
    For i = 1 To UBound(produto)
        For j = 1 To UBound(clientes)
            matprod(j, i) = ActiveSheet.Cells(j + 2, i + 1)
            soma = soma + ActiveSheet.Cells(j + 2, i + 1)
        Next j
    Next i
    k = WorksheetFunction.RoundUp(soma / 34500, 0)
    maior = WorksheetFunction.max(k, UBound(compart))
End Sub
Public Function getLetra(column)
    getLetra = Split(Cells(1, column).Address, "$")(1)
End Function
    
```

Figura 70 - Criação da lista de produtos, das cisternas a utilizar e da função `getLetra`

Figura 69 - Declaração das variáveis e leitura dos inputs

Rede de Retalho num Contexto de Mudança de Paradigma – Caso da Galp Energia

```

Sub Matriz_x()
Call lista_produtos_e_cisternas_a_utilizar
Dim x As Integer, i As Integer, j As Integer, m As String
j = 0
For i = 1 To k
For x = LBound(vertece) To UBound(vertece) - 1
ActiveSheet.Cells(UBound(vertece) + 4, x + 2) = vertece(x)
ActiveSheet.Cells(UBound(vertece) + 5 + x + j, LBound(vertece) + 1) = vertece(x)
Next x
j = j + UBound(vertece)
Next i
End Sub

```

Figura 71 - Criação das variáveis x

```

Sub Matriz_f()
Call Matriz_x
Dim i As Integer, p As Integer, l As Integer, x As Integer, j As Integer
j = 0
For l = LBound(comparti) To UBound(comparti)
For x = LBound(vertece) To UBound(vertece) - 1
ActiveSheet.Cells(UBound(vertece) + 5 + x + j, UBound(vertece) + 2) = vertece(x)
Next x
j = j + UBound(vertece)
Next l
j = 0
For i = 1 To k
For p = LBound(produto) To UBound(produto)
For x = LBound(vertece) To UBound(vertece) - 1
ActiveSheet.Cells(UBound(vertece) + 4, UBound(vertece) + j + x + 3) = vertece(x)
Next x
j = j + UBound(vertece)
Next p
Next i
End Sub

```

Figura 72 - Criação das variáveis f

```

Sub Matriz_y()
Call Matriz_f
Dim i As Integer, p As Integer, j As Integer, l As Integer, x As Integer
j = 0
For i = 1 To k
For x = LBound(clientes) To UBound(clientes)
ActiveSheet.Cells(UBound(vertece) + 4 + x + j, UBound(vertece) + 3 + (UBound(vertece) * UBound(produto) * k) = clientes(x)
Next x
j = j + UBound(clientes)
Next i
j = 0
For p = LBound(produto) To UBound(produto)
For l = LBound(comparti) To UBound(comparti)
ActiveSheet.Cells(UBound(vertece) + 4, UBound(vertece) + 3 + 1 + (UBound(vertece) * UBound(produto) * k) + j) = 1
Next l
j = j + UBound(comparti)
Next p
End Sub

```

Figura 73 - Criação das variáveis y

```

Sub Matriz_w()
Call Matriz_y
Dim i As Integer, p As Integer, j As Integer, l As Integer, x As Integer
j = 0
For i = 1 To k
For x = LBound(clientes) To UBound(clientes)
ActiveSheet.Cells(UBound(vertece) + 4 + x + j, UBound(vertece) + 4 + UBound(vertece) * UBound(produto) * k + UBound(comparti) * UBound(produto)) = clientes(x)
Next x
j = j + UBound(clientes)
Next i
j = 0
For p = LBound(produto) To UBound(produto)
For l = LBound(comparti) To UBound(comparti)
ActiveSheet.Cells(UBound(vertece) + 4, UBound(vertece) + 4 + 1 + UBound(vertece) * UBound(produto) * k + UBound(comparti) * UBound(produto) + j) = 1
Next l
j = j + UBound(comparti)
Next p
OpenSolver.SetDecisionVariables Union(ActiveSheet.Range("B" & UBound(vertece) + 5 & ":" & getLetra(UBound(vertece) + 1) & UBound(vertece) + 4 + UBound(vertece) * k), ActiveSheet.Range(getLetra(UBound(vertece) + 3) & UBound(vertece) + 5 & ":" & getLetra(UBound(vertece) + 2 + UBound(vertece) * k * UBound(produto)) & UBound(vertece) * 7 + 4), ActiveSheet.Range(getLetra(UBound(vertece) + 4 + UBound(vertece) * k * UBound(produto)) & UBound(vertece) + 5 & ":" & getLetra(UBound(vertece) + 3 + UBound(vertece) * k * UBound(produto) + UBound(comparti) * UBound(produto)) & UBound(vertece) + 4 + UBound(clientes) * k), ActiveSheet.Range(getLetra(UBound(vertece) + 5 + UBound(vertece) * k * UBound(produto) + UBound(comparti) * UBound(produto)) & UBound(vertece) + 5 & ":" & getLetra(UBound(vertece) + 4 + UBound(vertece) * k * UBound(produto) + UBound(comparti) * UBound(produto) * 2) & UBound(vertece) + 4 + UBound(clientes) * k), sheet:=ActiveSheet
OpenSolver.SetObjectiveSense MinimiseObjective, sheet:=ActiveSheet
OpenSolver.AddConstraint ActiveSheet.Range("B" & UBound(vertece) + 5 & ":" & getLetra(UBound(vertece) + 1) & UBound(vertece) + 4 + UBound(vertece) * k), RelationBIN, sheet:=ActiveSheet
OpenSolver.AddConstraint ActiveSheet.Range(getLetra(UBound(vertece) + 4 + UBound(vertece) * k * UBound(produto)) & UBound(vertece) + 5 & ":" & getLetra(UBound(vertece) + 3 + UBound(vertece) * k * UBound(produto) + UBound(comparti) * UBound(produto)) & UBound(vertece) + 4 + UBound(clientes) * k), RelationBIN, sheet:=ActiveSheet
End Sub

```

Figura 74 - Criação das variáveis w e introdução das variáveis de decisão, do objetivo como minimizar e das variáveis x e y como binárias no *OpenSolver*

```

Sub Funcao_Objetivo()
Call Matriz_w
Dim i As Integer, j As Integer
j = 0
For i = 1 To k
ActiveSheet.Cells(1, i + 1) = "=SumProduct(" & getLetra(UBound(produto) + 4) & 3 & ":" & getLetra(UBound(produto) + UBound(vertece) + 3) & UBound(vertece) + 2 & "," & "B" & UBound(vertece) + 5 + j & ":" & getLetra(UBound(vertece) + 1) & UBound(vertece) * 2 + 4 + j & ")"
j = j + UBound(vertece)
Next i
ActiveSheet.Cells(1, 1) = "=Sum(B1:" & getLetra(k + 1) & 1 & ")"
OpenSolver.SetObjectiveFunctionCell ActiveSheet.Cells(1, 1), sheet:=ActiveSheet

```

Figura 75 - Criação e introdução no *OpenSolver* da função objetivo

Rede de Retalho num Contexto de Mudança de Paradigma – Caso da Galp Energia

```

Sub Grupo4()
Call Funcao_Objetivo
Dim i As Integer, j As Integer
j = 0
For i = 1 To k
ActiveSheet.Cells(UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 6, i) = "Sum(" & UBound(verteice) + 5 + j & ".:" & getLetra(UBound(verteice) + 1) & UBound(verteice) + 5 + j & ")")
j = j + UBound(verteice)
Next i
OpenSolver.AddConstraint ActiveSheet.Range("A" & UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 6 & ".:" & getLetra(k) & UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 6), RelationLE, RHSFormula:=1, sheet:=ActiveSheet
End Sub
Sub Grupo2()
Call Grupo4
Dim i As Integer
For i = 1 To UBound(clientes)
ActiveSheet.Cells(UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 7, i) = "Sum(" & getLetra(i + 2) & UBound(verteice) + 5 & ".:" & getLetra(i + 2) & UBound(verteice) + 4 + (UBound(verteice) * k) & ")")
Next i
OpenSolver.AddConstraint ActiveSheet.Range("A" & UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 7 & ".:" & getLetra(UBound(clientes)) & UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 7), RelationGE, RHSFormula:=1, sheet:=ActiveSheet
End Sub

```

Figura 76 - Criação e introdução no *OpenSolver* do grupo de restrições 4 e 2

```

Sub Grupo3()
Call Grupo5
Dim i As Integer, l As Integer, p As Integer, a As Integer, b As Integer, r As Integer
a = 1, b = 0, r = 0
For i = 1 To k
For l = 1 To UBound(comparti)
For p = 1 To UBound(produo)
ActiveSheet.Cells(UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 8 + p, a) = "Sum(" & getLetra(UBound(verteice) + 4 + UBound(verteice) * k * UBound(produo) + 1 - 1 + r) & UBound(verteice) + 5 + b & ".:" & getLetra(UBound(verteice) + 4 + UBound(verteice) * k * UBound(produo) + 1 - 1 + r) & UBound(verteice) + 4 + UBound(clientes) + b & ")")
r = r + UBound(comparti)
Next p
r = 0
a = a + 1
Next l
b = b + UBound(clientes)
Next i
ActiveSheet.Cells(UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 9 + UBound(produo), 1) = "Sum(" & UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 9 & ".:" & UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 9 + UBound(produo) - 1 & ")")
For i = 1 To k * UBound(comparti) - 1
ActiveSheet.Cells(UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 9 + UBound(produo), 1).Select
Selection.Copy
ActiveSheet.Cells(UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 9 + UBound(produo), 1 + i).Select
ActiveSheet.Paste
Application.CutCopyMode = False
Next i
OpenSolver.AddConstraint ActiveSheet.Range("A" & UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 9 + UBound(produo) & ".:" & getLetra(k * UBound(comparti)) & UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 9 + UBound(produo)), RelationLE, RHSFormula:=1, sheet:=ActiveSheet
End Sub

```

Figura 78 - Criação e introdução no *OpenSolver* do grupo de restrições 3

```

Sub Grupo5()
Call Grupo2
Dim i As Integer, j As Integer, x As Integer, a As Integer
x = 0, a = 0
For i = 1 To k
For j = 1 To UBound(clientes)
ActiveSheet.Cells(UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 8, j + a) = "Sum(" & getLetra(j + 2) & UBound(verteice) + 5 + x & ".:" & getLetra(j + 2) & UBound(verteice) * 2 + 4 + x & ") - Sum(" & UBound(verteice) + 5 + x + j & ".:" & getLetra(UBound(verteice) + 1) & UBound(verteice) + 5 + x + j & ")")
Next j
x = x + UBound(verteice)
a = a + UBound(clientes)
Next i
OpenSolver.AddConstraint ActiveSheet.Range("A" & UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 8 & ".:" & getLetra(k * UBound(clientes)) & UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 8), RelationEQ, RHSFormula:=0, sheet:=ActiveSheet
End Sub

```

Figura 77 - Criação e introdução no *OpenSolver* do grupo 5

```

Sub Grupo8()
Call Grupo3
Dim i As Integer, b As String, c As String, a As Integer, r As Integer, m As Integer
m = 0, r = 0
a = UBound(verteice) + 5
For i = 1 To k
b = getLetra(UBound(verteice) + 4 + r)
c = getLetra(UBound(verteice) + 2 + UBound(verteice) * UBound(produo) + r)
ActiveSheet.Cells(UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 10 + UBound(produo), i) = "Sum(" & b & a & ".:" & c & a & ".:" & b & a + UBound(verteice) & ".:" & c & a + UBound(verteice) & ".:" & b & a + UBound(verteice) * 2 & ".:" & c & a + UBound(verteice) * 3 & ".:" & c & a + UBound(verteice) * 3 & ".:" & b & a + UBound(verteice) * 4 & ".:" & c & a + UBound(verteice) * 4 & ".:" & b & a + UBound(verteice) * 5 & ".:" & c & a + UBound(verteice) * 5 & ".:" & Sum(" & getLetra(UBound(verteice) + 5 - UBound(verteice) * k * UBound(produo) + UBound(comparti) * UBound(produo)) & UBound(verteice) + 5 + m & ".:" & getLetra(UBound(verteice) + 4 + UBound(verteice) * k * UBound(produo) + UBound(comparti) * UBound(produo) * 2) & UBound(verteice) + 4 + UBound(clientes) + m & ")")
r = r + UBound(verteice) * UBound(produo)
m = m + UBound(clientes)
Next i
OpenSolver.AddConstraint ActiveSheet.Range("A" & UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 10 + UBound(produo) & ".:" & getLetra(k) & UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 10 + UBound(produo)), RelationEQ, RHSFormula:=0, sheet:=ActiveSheet
End Sub

```

Figura 79 - Criação e introdução no *OpenSolver* do grupo de restrições 8

Rede de Retalho num Contexto de Mudança de Paradigma – Caso da Galp Energia

```
Sub Grupo16()
Call Grupo8
comparti(1) = 11000, comparti(2) = 5000, comparti(3) = 4000, comparti(4) = 3000, comparti(5) = 7000, comparti(6) = 6000
Dim i As Integer, l As Integer, a As Integer, b As String, c As String, r As Integer, d As Integer
r = 0, d = 0, a = 0
For i = 1 To k
b = getLetra(UBound(verteice) + 4 + r)
c = getLetra(UBound(verteice) + 2 + UBound(verteice) * UBound(produo) + r)
For l = 1 To UBound(comparti)
ActiveSheet.Cells(UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 11 + UBound(produo), i + 1 - l + a) =
"=Sum(" & b & UBound(verteice) + 5 + d & "," & c & UBound(verteice) + 5 + d & ")") & comparti(l)
d = d + UBound(verteice)
Next l
d = 0
a = a + UBound(comparti) - 1
r = r + UBound(verteice) * UBound(produo)
Next i
OpenSolver.AddConstraint ActiveSheet.Range("A" & UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 11 +
UBound(produo) & ":" & getLetra(UBound(comparti) * k) & UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 11 +
UBound(produo)), RelationLE, RHSFormula:=0, sheet=ActiveSheet
End Sub
```

Figura 80 - Criação e introdução no *OpenSolver* do grupo de restrições 16

```
Sub Grupo7()
Call Grupo15
Dim i As Integer, p As Integer, j As Integer, a As Integer, x As Integer, z As Integer, bw As String, cw As String, bf
As String, r As Integer, m As Integer
x = 0, a = 0, z = 0, m = 0, r = 0
For i = 1 To k
For j = 1 To UBound(clientes)
For p = 1 To UBound(produo)
bw = getLetra(UBound(verteice) + 5 + UBound(verteice) * k * UBound(produo) + UBound(comparti) *
UBound(produo) + z)
cw = getLetra(UBound(verteice) + 10 + UBound(verteice) * k * UBound(produo) + UBound(comparti) *
UBound(produo) + z)
bf = getLetra(UBound(verteice) + 3 + j + m + r)
ActiveSheet.Cells(UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 13 + UBound(produo) * 2, p + a) =
"=Sum(" & bw & UBound(verteice) + 4 + j + x & "," & cw & UBound(verteice) + 4 + j + x & ") - Sum(" & bf &
UBound(verteice) + 5 & "," & bf & UBound(verteice) * 7 + 4 & ")")
z = z + UBound(comparti)
m = m + UBound(verteice)
Next p
z = 0
m = 0
a = a + UBound(produo)
Next j
x = x + UBound(clientes)
r = r + UBound(verteice) * UBound(produo)
Next i
OpenSolver.AddConstraint ActiveSheet.Range("A" & UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 13 +
UBound(produo) * 2 & ":" & getLetra(UBound(clientes) * UBound(produo) * k) & UBound(verteice) +
UBound(verteice) * maior + 13 + UBound(produo) * 2), RelationLE, RHSFormula:=0, sheet=ActiveSheet
End Sub
```

Figura 82 - Criação e introdução no *OpenSolver* do grupo de restrições 7

```
Sub Grupo15()
Call Grupo16
Dim i As Integer, p As Integer, a As Integer, b As String, c As String, m As Integer, j As Integer
a = 0, j = 0
For i = 1 To k
For p = 1 To UBound(produo)
b = getLetra(UBound(verteice) + 4 + a)
c = getLetra(UBound(verteice) + UBound(clientes) + 3 + a)
If produto(p) < 8 Then
ActiveSheet.Cells(UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 11 + UBound(produo) + p, i) =
"=0.00074*Sum(" & b & UBound(verteice) + 5 & "," & c & UBound(verteice) + 5 & "," & b & UBound(verteice) * 2 +
5 & "," & c & UBound(verteice) * 2 + 5 & "," & b & UBound(verteice) * 3 + 5 & "," & c & UBound(verteice) * 3 + 5 &
"," & b & UBound(verteice) * 4 + 5 & "," & c & UBound(verteice) * 4 + 5 & "," & b & UBound(verteice) * 5 + 5 &
"," & c & UBound(verteice) * 5 + 5 & "," & b & UBound(verteice) * 6 + 5 & "," & c & UBound(verteice) * 6 + 5 & ")")
Else
ActiveSheet.Cells(UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 11 + UBound(produo) + p, i) =
"=0.00084*Sum(" & b & UBound(verteice) + 5 & "," & c & UBound(verteice) + 5 & "," & b & UBound(verteice) * 2 +
5 & "," & c & UBound(verteice) * 2 + 5 & "," & b & UBound(verteice) * 3 + 5 & "," & c & UBound(verteice) * 3 + 5 &
"," & b & UBound(verteice) * 4 + 5 & "," & c & UBound(verteice) * 4 + 5 & "," & b & UBound(verteice) * 5 + 5 &
"," & c & UBound(verteice) * 5 + 5 & "," & b & UBound(verteice) * 6 + 5 & "," & c & UBound(verteice) * 6 + 5 & ")")
End If
a = a + UBound(verteice)
Next p
ActiveSheet.Cells(UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 12 + UBound(produo) * 2, i) = "=-Sum(" &
getLetra(i) & UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 12 + UBound(produo) & ":" & getLetra(i) &
UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 11 + UBound(produo) * 2 & ") - 26.4*Sum(" & UBound(verteice) + 5 +
j & "," & getLetra(UBound(verteice) + 1) & UBound(verteice) + 5 + j & ")")
j = j + UBound(verteice)
Next i
OpenSolver.AddConstraint ActiveSheet.Range("A" & UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 12 +
UBound(produo) * 2 & ":" & getLetra(k) & UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 12 + UBound(produo) *
2), RelationLE, RHSFormula:=0, sheet=ActiveSheet
End Sub
```

Figura 81 - Criação e introdução no *OpenSolver* do grupo de restrições 15

```
Sub Grupo9()
Call Grupo7
Dim i As Integer, j As Integer, p As Integer, a As Integer, r As Integer, m As Integer, b As String, c As String
r = 0, a = 0
For p = 1 To UBound(produo)
b = getLetra(UBound(verteice) + 5 + UBound(verteice) * k * UBound(produo) + UBound(comparti) *
UBound(produo) + r)
c = getLetra(UBound(verteice) + 4 + UBound(verteice) * k * UBound(produo) + UBound(comparti) *
UBound(produo) + UBound(comparti) + r)
For j = 1 To UBound(clientes)
m = 0
For i = 1 To k
ActiveSheet.Cells(UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 13 + UBound(produo) * 2 + i, j + a) =
"=Sum(" & b & UBound(verteice) + 4 + j + m & "," & c & UBound(verteice) + 4 + j + m & ")")
m = m + UBound(clientes)
Next i
ActiveSheet.Cells(UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 14 + UBound(produo) * 2 + k, j + a) =
"=Sum(" & getLetra(j + a) & UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 14 + UBound(produo) * 2 & ":" &
getLetra(j + a) & UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 14 + UBound(produo) * 2 + k - 1 & ") - matprod(j,
p)"
Next j
a = a + UBound(clientes)
r = r + UBound(comparti)
Next p
OpenSolver.AddConstraint ActiveSheet.Range("A" & UBound(verteice) + UBound(verteice) * maior + 14 +
UBound(produo) * 2 + k & ":" & getLetra(UBound(clientes) * UBound(produo) & UBound(verteice) +
UBound(verteice) * maior + 14 + UBound(produo) * 2 + k), RelationEQ, RHSFormula:=0, sheet=ActiveSheet
End Sub
```

Figura 83 - Criação e introdução no *OpenSolver* do grupo de restrições 9

Rede de Retalho num Contexto de Mudança de Paradigma – Caso da Galp Energia

```

Sub Grupo11()
Call Grupo9
Dim i As Integer, j As Integer, a As Integer, by As String, cy As String, bx As String, m As Integer
m = 0, a = 0
by = getLetra(UBound(vertece) + 4 + UBound(vertece) * k * UBound(producao))
cy = getLetra(UBound(vertece) + 3 + UBound(vertece) * k * UBound(producao) + UBound(comparti) *
UBound(producao))
For i = 1 To k
    For j = 1 To UBound(clientes)
        ActiveSheet.Cells(UBound(vertece) + UBound(vertece) * maior + 15 + UBound(producao) * 2 + k, j + a) =
        "=Sum(" & getLetra(2 + j) & UBound(vertece) + 5 + m & ":" & getLetra(2 + j) & UBound(vertece) * 2 + 4 + m &
        ")-1000000*Sum(" & by & UBound(vertece) + 4 + j + a & ":" & cy & UBound(vertece) + 4 + j + a & ")"
    Next j
    m = m + UBound(vertece)
    a = a + UBound(clientes)
Next i
OpenSolver.AddConstraint ActiveSheet.Range("A" & UBound(vertece) + UBound(vertece) * maior + 15 +
UBound(producao) * 2 + k & ":" & getLetra(UBound(clientes) * k) & UBound(vertece) + UBound(vertece) * maior +
15 + UBound(producao) * 2 + k), RelationLE, RHSFormula=0, sheet=ActiveSheet
End Sub

```

Figura 84 - Criação e introdução no *OpenSolver* do grupo de restrições 11

```

Sub Grupo13()
Call Grupo11
Dim i As Integer, j As Integer, a As Integer, bw As String, cw As String, bx As String, m As Integer
m = 0, a = 0
bw = getLetra(UBound(vertece) + 5 + UBound(vertece) * k * UBound(producao) + UBound(comparti) *
UBound(producao))
cw = getLetra(UBound(vertece) + 4 + UBound(vertece) * k * UBound(producao) + UBound(comparti) *
UBound(producao) * 2)
For i = 1 To k
    For j = 1 To UBound(clientes)
        ActiveSheet.Cells(UBound(vertece) + UBound(vertece) * maior + 16 + UBound(producao) * 2 + k, j + a) =
        "=Sum(" & getLetra(2 + j) & UBound(vertece) + 5 + m & ":" & getLetra(2 + j) & UBound(vertece) * 2 + 4 + m &
        ")-1000000*Sum(" & bw & UBound(vertece) + 4 + j + a & ":" & cw & UBound(vertece) + 4 + j + a & ")"
    Next j
    m = m + UBound(vertece)
    a = a + UBound(clientes)
Next i
OpenSolver.AddConstraint ActiveSheet.Range("A" & UBound(vertece) + UBound(vertece) * maior + 16 +
UBound(producao) * 2 + k & ":" & getLetra(UBound(clientes) * k) & UBound(vertece) + UBound(vertece) * maior +
16 + UBound(producao) * 2 + k), RelationLE, RHSFormula=0, sheet=ActiveSheet
End Sub

```

Figura 85 - Criação e introdução no *OpenSolver* do grupo de restrições 13

```

Sub Grupo12()
Call Grupo13
Dim i As Integer, p As Integer, j As Integer, by As String, cy As String, bw As String, cw As String, a As Integer, b
As Integer, m As Integer
b = 0, a = 0, m = 0
For p = 1 To UBound(producao)
    by = getLetra(UBound(vertece) + 4 + UBound(vertece) * k * UBound(producao) + a)
    cy = getLetra(UBound(vertece) + 3 + UBound(vertece) * k * UBound(producao) + UBound(comparti) + a)
    bw = getLetra(UBound(vertece) + 5 + UBound(vertece) * k * UBound(producao) + UBound(comparti) *
UBound(producao) + a)
    cw = getLetra(UBound(vertece) + 4 + UBound(vertece) * k * UBound(producao) + UBound(comparti) *
UBound(producao) + UBound(comparti) + a)
    For i = 1 To k
        For j = 1 To UBound(clientes)
            ActiveSheet.Cells(UBound(vertece) + UBound(vertece) * maior + 17 + UBound(producao) * 2 + k, j + m)
            "=Sum(" & by & UBound(vertece) + 4 + j + b & ":" & cy & UBound(vertece) + 4 + j + b & ") - 1000000 * Sum(" & bw
            & UBound(vertece) + 4 + j + b & ":" & cw & UBound(vertece) + 4 + j + b & ")"
        Next j
        b = b + UBound(clientes)
        m = m + UBound(clientes)
    Next i
    b = 0
    a = a + UBound(comparti)
Next p
OpenSolver.AddConstraint ActiveSheet.Range("A" & UBound(vertece) + UBound(vertece) * maior + 17 +
UBound(producao) * 2 + k & ":" & getLetra(UBound(producao) * k * UBound(clientes)) & UBound(vertece) +
UBound(vertece) * maior + 17 + UBound(producao) * 2 + k), RelationLE, RHSFormula=0, sheet=ActiveSheet
End Sub

```

Figura 86 - Criação e introdução no *OpenSolver* do grupo de restrições 12

```

Sub Grupo19()
Call Grupo12
Dim i As Integer, p As Integer, j As Integer, l As Integer, af As String, bf As String, cf As String, bw As String, m
As Integer, a As Integer, t As Integer, d As Integer, r As Integer
m = 0, a = 0, t = 0, d = 0, r = 0
For i = 1 To k
    For p = 1 To UBound(producao)
        bf = getLetra(UBound(vertece) + 3 + d)
        cf = getLetra(UBound(vertece) + 3 + UBound(clientes) + d)
        For j = 1 To UBound(clientes)
            af = getLetra(UBound(vertece) + 3 + j + d)
            For l = 1 To UBound(comparti)
                bw = getLetra(UBound(vertece) + 4 + UBound(vertece) * k * UBound(producao) + UBound(comparti) *
UBound(producao) + 1 + a)
                ActiveSheet.Cells(UBound(vertece) + UBound(vertece) * maior + 18 + UBound(producao) * 2 + k, l +
m) = "=Sum(" & af & UBound(vertece) + 5 + t & ":" & af & UBound(vertece) + UBound(clientes) + 5 + t & ") - Sum("
                & bf & UBound(vertece) + 5 + j + t & ":" & cf & UBound(vertece) + 5 + j + t & ") - & bw & UBound(vertece) + 4 + j
                + r
            Next l
            t = t + UBound(vertece)
        Next j
        t = 0
        m = m + UBound(comparti)
    Next j
    d = d + UBound(vertece)
    a = a + UBound(comparti)
Next p
a = 0
r = r + UBound(clientes)
Next i
OpenSolver.AddConstraint ActiveSheet.Range("A" & UBound(vertece) + UBound(vertece) * maior + 18 +
UBound(producao) * 2 + k & ":" & getLetra(UBound(producao) * k * UBound(clientes) * UBound(comparti)) &
UBound(vertece) + UBound(vertece) * maior + 18 + UBound(producao) * 2 + k), RelationEQ, RHSFormula=0,
sheet=ActiveSheet
End Sub

```

Figura 87 - Criação e introdução no *OpenSolver* do grupo de restrições 19

Rede de Retalho num Contexto de Mudança de Paradigma – Caso da Galp Energia

```

Sub Grupo20()
Call Grupo19
Dim i As Integer, p As Integer, j As Integer, l As Integer, bw As String, by As String, a As Integer, m As Integer, r
As Integer
a = 0, m = 0, r = 0
For p = 1 To UBound(produto)
For l = 1 To UBound(comparti)
bw = getLetra(UBound(vertice) + 4 + UBound(vertice) * k * UBound(produto) + UBound(comparti) *
UBound(produto) + 1 + a)
by = getLetra(UBound(vertice) + 3 + UBound(vertice) * k * UBound(produto) + 1 + a)
For i = 1 To k
For j = 1 To UBound(clientes)
ActiveSheet.Cells(UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 19 + UBound(produto) * 2 + k, j +
m) = "=" & bw & UBound(vertice) + 4 + j + r & "-" & (1000000 * & by & UBound(vertice) + 4 + j + r & ")"
Next j
m = m + UBound(clientes)
r = r + UBound(clientes)
Next i
r = 0
Next l
a = a + UBound(comparti)
Next p
OpenSolver.AddConstraint ActiveSheet.Range("A" & UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 19 +
UBound(produto) * 2 + k & "-" & getLetra(UBound(produto) * k * UBound(clientes) * UBound(comparti)) &
UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 19 + UBound(produto) * 2 + k), RelationLE, RHSFormula:=0,
sheet=ActiveSheet
End Sub

```

Figura 88 - Criação e introdução no *OpenSolver* do grupo de restrições 20

```

Sub Grupo20()
Call Grupo19
Dim i As Integer, p As Integer, j As Integer, l As Integer, bw As String, by As String, a As Integer, m As Integer, r
As Integer
a = 0, m = 0, r = 0
For p = 1 To UBound(produto)
For l = 1 To UBound(comparti)
bw = getLetra(UBound(vertice) + 4 + UBound(vertice) * k * UBound(produto) + UBound(comparti) *
UBound(produto) + 1 + a)
by = getLetra(UBound(vertice) + 3 + UBound(vertice) * k * UBound(produto) + 1 + a)
For i = 1 To k
For j = 1 To UBound(clientes)
ActiveSheet.Cells(UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 19 + UBound(produto) * 2 + k, j +
m) = "=" & bw & UBound(vertice) + 4 + j + r & "-" & (1000000 * & by & UBound(vertice) + 4 + j + r & ")"
Next j
m = m + UBound(clientes)
r = r + UBound(clientes)
Next i
r = 0
Next l
a = a + UBound(comparti)
Next p
OpenSolver.AddConstraint ActiveSheet.Range("A" & UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 19 +
UBound(produto) * 2 + k & "-" & getLetra(UBound(produto) * k * UBound(clientes) * UBound(comparti)) &
UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 19 + UBound(produto) * 2 + k), RelationLE, RHSFormula:=0,
sheet=ActiveSheet
End Sub

```

Figura 89 - Criação e introdução no *OpenSolver* do grupo de restrições 20

```

Sub Grupo14()
Call Grupo6
Dim j As Integer, i As Integer, p As Integer, ax As String, af As String, a As Integer, d As Integer, m As Integer, r
As Integer
m = 0, a = 0, d = 0
For i = 1 To k
For j = 1 To UBound(clientes)
ax = getLetra(2 + j)
For p = 1 To UBound(produto)
af = getLetra(UBound(vertice) + 3 + j + d + m)
ActiveSheet.Cells(UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 20 + UBound(produto) * 3 + k + p, j +
r) = "=Sum(" & af & UBound(vertice) + 5 & "-" & af & UBound(vertice) * 7 + 4 & ")"
d = d + UBound(vertice)
Next p
d = 0
ActiveSheet.Cells(UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 21 + UBound(produto) * 4 + k, j + r) =
"=Sum(" & ax & UBound(vertice) + 5 + a & "-" & ax & UBound(vertice) * 2 + 4 + a & "-" & Sum(" & getLetra(j + r) &
UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 21 + UBound(produto) * 3 + k & "-" & getLetra(j + r) &
UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 20 + UBound(produto) * 4 + k & ")"
Next j
r = r + UBound(clientes)
m = m + UBound(vertice) * UBound(produto)
a = a + UBound(vertice)
Next i
OpenSolver.AddConstraint ActiveSheet.Range("A" & UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 21 +
UBound(produto) * 4 + k & "-" & getLetra(k * UBound(clientes)) & UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior +
21 + UBound(produto) * 4 + k), RelationLE, RHSFormula:=0, sheet=ActiveSheet
End Sub

```

Figura 90 - Criação e introdução no *OpenSolver* do grupo de restrições 14

```

Sub Grupo18()
Call Grupo14
Dim i As Integer, j As Integer, l As Integer, p As Integer, af As String, ay As String, d As Integer, m As Integer, a
As Integer, r As Integer, c As Integer, z As Integer
z = 0, c = 0, a = 0, d = 0, m = 0, r = 0
For i = 1 To k
For l = 1 To UBound(comparti)
For j = 1 To UBound(clientes)
For p = 1 To UBound(produto)
af = getLetra(UBound(vertice) + 3 + j + d + m)
ActiveSheet.Cells(UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 21 + UBound(produto) * 4 + k + p, j
+ r) = "=Sum(" & af & UBound(vertice) + 5 + a & "-" & af & UBound(vertice) * 2 + 4 + a & ")"
d = d + UBound(vertice)
Next p
d = 0
For p = 1 To UBound(produto)
ay = getLetra(UBound(vertice) + 3 + UBound(vertice) * k * UBound(produto) + 1 + z)
ActiveSheet.Cells(UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 21 + UBound(produto) * 5 + k + p, j
+ r) = "=Sum(" & ay & UBound(vertice) + 5 + c & "-" & ay & UBound(vertice) + 4 + UBound(clientes) + c & ")"
z = z + UBound(comparti)
Next p
z = 0
ActiveSheet.Cells(UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 22 + UBound(produto) * 6 + k, j + r) =
"=Sum(" & getLetra(j + r) & UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 22 + UBound(produto) * 4 + k & "-" &
getLetra(j + r) & UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 21 + UBound(produto) * 5 + k & "-" & 1000000 * Sum("
& getLetra(j + r) & UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 22 + UBound(produto) * 5 + k & "-" & getLetra(j
+ r) & UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 21 + UBound(produto) * 6 + k & ")"
Next j
r = r + UBound(clientes)
a = a + UBound(vertice)
Next l
a = 0
c = c + UBound(clientes)
m = m + UBound(vertice) * UBound(produto)
Next i
OpenSolver.AddConstraint ActiveSheet.Range("A" & UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 22 +
UBound(produto) * 6 + k & "-" & getLetra(k * UBound(clientes) * UBound(comparti)) & UBound(vertice) +
UBound(vertice) * maior + 22 + UBound(produto) * 6 + k), RelationLE, RHSFormula:=0, sheet=ActiveSheet
End Sub

```

Figura 91 - Criação e introdução no *OpenSolver* do grupo de restrições 18

Rede de Retalho num Contexto de Mudança de Paradigma – Caso da Galp Energia

```

Sub Grupo17()
Call Grupo18
Dim v As Integer, i As Integer, j As Integer, p As Integer, af As String, ax As String, a As Integer, d As Integer, r
As Integer, t As Integer
a = 0, d = 0, r = 0, t = 0
For v = 1 To k
For i = 1 To UBound(vertice)
For j = 1 To UBound(vertice)
ax = getLetra(j + 1)
For p = 1 To UBound(produto)
af = getLetra(j + a + d + UBound(vertice) + 2)
ActiveSheet.Cells(UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 22 + UBound(produto) * 6 + k + p, j
+ r) = "Sum(" & af & UBound(vertice) + 4 + i & "," & af & UBound(vertice) * 2 + 4 + i & "," & af & UBound(vertice)
* 3 + 4 + i & "," & af & UBound(vertice) * 4 + 4 + i & "," & af & UBound(vertice) * 5 + 4 + i & "," & af &
UBound(vertice) * 6 + 4 + i & ")"
a = a + UBound(vertice)
Next p
a = 0
ActiveSheet.Cells(UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 23 + UBound(produto) * 7 + k, j + r) =
"Sum(" & getLetra(j + r) & UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 23 + UBound(produto) * 6 + k & ":" &
getLetra(j + r) & UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 22 + UBound(produto) * 7 + k & "-1000000*((" & ax
& UBound(vertice) + 4 + i + t & "))"
Next j
r = r + UBound(vertice)
Next i
d = d + UBound(vertice) * UBound(produto)
t = t + UBound(vertice)
Next v
OpenSolver.AddConstraint ActiveSheet.Range("A" & UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 23 +
UBound(produto) * 7 + k & ":" & getLetra(k * UBound(vertice) * UBound(vertice)) & UBound(vertice) +
UBound(vertice) * maior + 23 + UBound(produto) * 7 + k), RelationLE, RHSFormula:=0, sheet:=ActiveSheet
End Sub

```

Figura 92 - Criação e introdução no *OpenSolver* do grupo de restrições 17

```

Sub Grupo10()
Call Grupo17
Dim i As Integer, Dim j As Integer, p As Integer, af As String, ax As String, bw As String, cw As String, by As
String, cy As String, r As Integer, d As Integer, t As Integer, m As Integer, l As Integer
r = 0, d = 0, t = 0, m = 0
by = getLetra(UBound(vertice) + 4 + UBound(vertice) * k * UBound(produto))
cy = getLetra(UBound(vertice) + 3 + UBound(vertice) * k * UBound(produto) + UBound(comparti) *
UBound(produto))
bw = getLetra(UBound(vertice) + 5 + UBound(vertice) * k * UBound(produto) + UBound(comparti) *
UBound(produto))
cw = getLetra(UBound(vertice) + 4 + UBound(vertice) * k * UBound(produto) + UBound(comparti) *
UBound(produto) * 2)
For i = 1 To k
For j = 1 To UBound(clientes)
ax = getLetra(j + 2)
l = UBound(vertice) + 4 + j + r
For p = 1 To UBound(produto)
af = getLetra(UBound(vertice) + 3 + j + d + t)
ActiveSheet.Cells(UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 23 + UBound(produto) * 7 + k + p, j
+ r) = "Sum(" & af & UBound(vertice) + 5 & ":" & af & UBound(vertice) * 7 + 4 & ")"
d = d + UBound(vertice)
Next p
d = 0
ActiveSheet.Cells(UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 24 + UBound(produto) * 8 + k, j + r) =
"Sum(" & getLetra(j + r) & UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 24 + UBound(produto) * 7 + k & ":" &
getLetra(j + r) & UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 23 + UBound(produto) * 8 + k & ") + Sum(" & by & l
& ":" & cy & l & ") + Sum(" & bw & l & ":" & cw & l & ") - 1000000 * Sum(" & ax & UBound(vertice) + 5 + m & ":" &
ax & UBound(vertice) * 2 + 4 + m & ")"
Next j
r = r + UBound(clientes)
m = m + UBound(vertice)
t = t + UBound(vertice) * UBound(produto)
Next i
OpenSolver.AddConstraint ActiveSheet.Range("A" & UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior + 24 +
UBound(produto) * 8 + k & ":" & getLetra(k * UBound(clientes)) & UBound(vertice) + UBound(vertice) * maior +
24 + UBound(produto) * 8 + k), RelationLE, RHSFormula:=0, sheet:=ActiveSheet
End Sub

```

Figura 93 - Criação e introdução no *OpenSolver* do grupo de restrições 10