



**LISBOA
SCHOOL OF
ECONOMICS &
MANAGEMENT**

MESTRADO

DECISÃO ECONÓMICA E EMPRESARIAL

TRABALHO FINAL DE MESTRADO

TRABALHO DE PROJETO

DISTRIBUIÇÃO DE GPL A GRANEL:
CASO DA GALP ENERGIA

TATIANA SOFIA AGOSTINHO GONÇALVES DE SOUSA

OUTUBRO - 2014



**LISBOA
SCHOOL OF
ECONOMICS &
MANAGEMENT**

**MESTRADO EM
DECISÃO ECONÓMICA E EMPRESARIAL**

TRABALHO FINAL DE MESTRADO
TRABALHO DE PROJETO

**DISTRIBUIÇÃO DE GPL A GRANEL:
CASO DA GALP ENERGIA**

TATIANA SOFIA AGOSTINHO GONÇALVES DE SOUSA

ORIENTAÇÃO:

PROF.^ª DOUTORA MARIA CÂNDIDA MOURÃO
ENGENHEIRO JORGE MANUEL GONÇALVES

OUTUBRO - 2014

- *Aos meus Avós*

«It is the time you have wasted for your rose that makes
your rose so important». – *Antoine de Saint-Exupéry*

AGRADECIMENTOS

Uma tese de mestrado, apesar do processo solitário a que qualquer investigador está destinado, reúne contributos de várias pessoas. Desde o início do mestrado, tive o privilégio de contar com a confiança e o apoio de inúmeras pessoas e instituições. Sem aqueles contributos, esta investigação não teria sido possível.

A todas as pessoas que me ajudaram, direta ou indiretamente, a cumprir os meus objetivos e a realizar mais esta etapa da minha formação académica, deixo algumas palavras, poucas, mas com um sentido e profundo sentimento de agradecimento.

Às *Coordenadoras do Mestrado* em Decisão Económica e Empresarial, agradeço a oportunidade que tive em frequentar este mestrado que muito contribuiu para o enriquecimento da minha formação académica.

À *Prof.^a Doutora Maria Cândida Mourão*, orientadora da dissertação, agradeço o apoio, a partilha do conhecimento e as valiosas contribuições para o projeto. Acima de tudo, obrigada por continuar a acompanhar-me nesta jornada e por estimular o meu interesse pelo conhecimento e pela investigação operacional.

À *empresa Galp Energia* por permitir a realização deste projeto. Agradeço o apoio de todos os colaboradores com quem trabalhei, em especial ao *Eng.º Jorge Manuel Gonçalves*, *coorientador desta dissertação* e à *Dra. Maria Eugénia Sousa*, que demonstraram uma enorme abertura e disponibilidade. Deixo, ainda, umas palavras de apreço ao *Prof. Dr. Manuel Ramalhe* por ter possibilitado a aplicação deste projeto na empresa Galp Energia.

A todos os meus amigos, aos quais posso ter demonstrado, por vezes, uma certa falta de paciência, irascibilidade, um obrigado por terem possibilitado a conclusão deste trabalho. Obrigada por aceitarem as minhas constantes ausências!

Ao *Tiago*, um agradecimento especial pelo apoio e carinho diários, pelas palavras doces e pela transmissão de confiança e de força, em todos os momentos. Agradeço, também, o *know-how* que me transmitiu na área da programação e que tornou este projeto possível. Por tudo, a minha enorme gratidão!

Aos *Meus Pais* e às *Minhas Irmãs*, por sempre me incentivarem perante os desafios, a fazer mais e melhor, quero partilhar convosco a alegria de os conseguir vencer continuamente! Espero que esta etapa, que agora termino, possa, de alguma forma, retribuir e compensar todo o carinho, apoio e dedicação que constantemente me oferecem.

Aos meus *Avós Maternos* por terem possibilitado que todo este projeto se concretizasse. A eles, dedico todo este trabalho.

RESUMO

Associada ao crescimento populacional e ao aumento da esperança média de vida, é expectável que as necessidades energéticas da humanidade continuem a aumentar no curto/médio prazo. Neste contexto, a exploração e otimização de um setor como o dos Gases de Petróleo Liquefeito (doravante designado por setor do GPL, ou simplesmente pelo acrónimo GPL), afetado por constantes mudanças, quer provenientes da permanente evolução tecnológica, quer da descoberta de novas localizações de petróleo, mantém um carácter de especial importância nos dias que correm.

O presente estudo de investigação visa aprofundar os conhecimentos adquiridos ao longo do mestrado em Decisão Económica e Empresarial, nomeadamente na área da Investigação Operacional, aleado ao tema do GPL enquadrado na empresa portuguesa Galp Energia.

Este projeto resume-se em três grandes módulos:

- Elaboração de um modelo matemático que se adeque ao problema em estudo;
- Estudo das rotas atuais através da análise comparativa com a melhor solução encontrada pelo modelo, recorrendo ao *software Solver Premium*;
- Construção de um programa em *Visual Basic for Applications* (VBA) que automatize o processamento dos dados fornecidos pela Galp Energia e que permita a ligação com o *software Solver Premium*, utilizado na identificação das rotas ótimas.

Após o tratamento dos dados e resolução do problema real, chegou-se à conclusão de que a distância total percorrida em 85 dias de trabalho, durante os meses de janeiro, fevereiro e março, foi superior à da situação modelada e correspondente otimização de rotas, o que resultaria numa poupança dos custos totais de aproximadamente 10%, se a Galp Energia aplicasse o método proposto. Este tema será abordado ao longo do projeto e compreender-se-á melhor o enquadramento destes resultados e os pressupostos que tiveram que ser tomados.

Note-se que, apesar da simplificação ao problema, o presente projeto mostra o quão importante se torna investir num bom programa de otimização de rotas, uma vez que mesmo simplificado, a resolução do problema proporcionaria importantes melhorias em termos de custos para a Galp Energia.

Palavras-Chave: Gás, GPL, Rotas de Distribuição, Otimização, VRP, VBA

ABSTRACT

Associated with population growth and increased life expectancy, it is expected that the human energy needs will continue to increase in the short / medium term. In this context, the operation and optimization of a sector such as Liquefied Petroleum Gas (LPG), although conditioned by several changes, either in the ongoing technological evolution or in the new oil discovery locations, maintains a particularly important character nowadays.

This research study aims to expand the knowledge acquired in the context of the Master's degree in Economic and Business Decision, in particular in the area of Operational Research, associated to the LPG theme framed in the Portuguese company Galp Energia.

This project can be summarized in three main modules:

- Development of a mathematical model applicable to the problem under study;
- Study of the current routes through the comparative analysis with the best solution found by the model, using the premium solver software;
- Construction of a program in Visual Basic for Applications (VBA) to automate the processing of data provided by Galp Energia and enable the connection with the Premium Solver software, used to identify the optimal routes.

After solving the proposed problem, the conclusion is that the total distance traveled in 85 working days, between January and March, was higher than the one modeled and optimized. The proposed method would lead to a 10% save of the total cost for Galp Energia. This issue will be addressed throughout the project, and both the framework of present results and the assumptions that were made will be better understood.

It is important to note that, despite the simplification of the problem, this project shows how important it is to invest in a good optimization program, since even a simplified solution to the problem would provide significant benefits in terms of costs for Galp Energia.

Keywords: Gas, LPG, Route Distribution, Optimization, VRP, VBA

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
<i>ABSTRACT</i>	iii
ÍNDICE	iv
ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES	vi
ÍNDICE DE QUADROS	vii
GLOSSÁRIO	viii
CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO	1
Contexto do Caso de Estudo	1
Objetivos do Projeto	2
Estrutura do Projeto	3
CAPÍTULO II: ENQUADRAMENTO TEÓRICO	4
A Galp Energia	4
Segmentos de Negócio	5
i. Exploração & Produção	5
ii. Refinação & Distribuição	5
iii. <i>Gas & Power</i>	6
O Problema	7
i. Funcionamento da Rede de Distribuição de GPL	7
ii. Funcionamento do Processo de Encomendas de GPL	10
Características do Problema	11
i. Características dos Clientes	11
ii. Características dos Veículos	12
iii. Características das Rotas	12
Restrições e Pressupostos ao Problema	13
Objetivos Identificados	14
Recolha e Análise dos Dados	15
i. Tipos de Produto	15
ii. Veículos Cisterna	16
iii. Procura de Cada Cliente	16
iv. Parques de Armazenamento	17
v. Distância entre Clientes	18
CAPÍTULO III: REFERENCIAL METODOLÓGICO	20
CAPÍTULO IV: DEFINIÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA	22

CAPÍTULO V: RESOLUÇÃO DO CASO DE ESTUDO	26
CAPÍTULO VI: CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E TRABALHO FUTURO	32
REFERÊNCIAS	34
ANEXOS	36
Anexo 1 – Parâmetros do Modelo	36
Anexo 2 – Programa de Otimização de Rotas da Galp Energia	38

ÍNDICE DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1. Estrutura de negócios da Galp Energia.	5
Ilustração 2. Esquema resumo do processo evolutivo do GPL.	8
Ilustração 3. Localização dos centros de distribuição de GPL.	9
Ilustração 4. Esquema resumo da chegada de pedidos de GPL.	11
Ilustração 5. Rede logística de Portugal da Galp Energia.	18
Ilustração 6. Comparação da distância total percorrida durante os três meses, por zona geográfica.	27
Ilustração 7. Variação percentual entre a distância observada e a distância modelada.	28
Ilustração 8. Poupança que se obteria com a aplicação do modelo matemático proposto.	31
Ilustração 9. Parte do ficheiro SGL.	37
Ilustração 10. Iniciação ao programa de otimização de rotas da Galp Energia.	38
Ilustração 11. Menu de importação do ficheiro SGL.	39
Ilustração 12. Mensagem de aviso quando não foi importado o ficheiro SGL.	39
Ilustração 13. Janela de importação do ficheiro SGL.	40
Ilustração 14. Mensagem de ajuda referente à importação do ficheiro SGL.	41
Ilustração 15. Menu de escolha entre a distância total percorrida ou o tempo de viagem total.	41
Ilustração 16. Mensagem de ajuda referente à escolha do objetivo do utilizador.	42
Ilustração 17. Menu de início do processo de recolha de distâncias/tempo e otimização de rotas.	42
Ilustração 18. Matriz de Distâncias/Tempo.	43
Ilustração 19. Mensagem de aviso para o utilizador verificar os valores na matriz.	43
Ilustração 20. Relatório, em PDF, com os resultados dados pelo programa.	44

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1. Produtos petrolíferos.	16
Quadro 2. Quadro síntese dos dados mensais utilizados.	27
Quadro 3. Análise dos fretes quanto ao desvio efetuado face à rota ótima.	29
Quadro 4. Veículos cisterna, por tipo e por transportadora, utilizados nos meses de janeiro a março.	36

GLOSSÁRIO

API – *Application Programming Interface*

APS – *Advanced Planning System*

CLC – Companhia Logística de Combustíveis

E&P – Exploração & Produção

GDP – Gás de Portugal

GNL – Gás Natural Liquefeito

G&P – Gás & *Power*

GPL – Gases de Petróleo Liquefeito

GTPP – *Generalized Trip Packing Problem*

LPG – *Liquefied Petroleum Gas*

MPSRP – *Multi-period Petrol Station Replenishment Problem*

ORION – Ordens e Otimização de Inventário

PDF – *Portable Document Format*

PDT – *Portable Data Terminal*

PLIM – Programação Linear Inteira Mista

PSRPTW – *Petrol Station Replenishment Problem with Time Windows*

PwC – *PricewaterhouseCoopers*

R&D – Refinação & Distribuição

REN – Redes Energéticas Nacionais

SAP – *Systeme Anwendungen und Produkte*

UE – União Europeia

VBA – *Visual Basic for Applications*

VRP – *Vehicle Routing Problem* ou Problema de Planeamento de Rotas

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO

Contexto do Caso de Estudo

Associada ao crescimento populacional e ao aumento da esperança média de vida, é expectável que as necessidades energéticas da humanidade continuem a aumentar no curto/médio prazo. Neste contexto, a exploração e otimização de um setor como o do GPL, afetado por constantes mudanças, quer provenientes da permanente evolução tecnológica, quer da descoberta de novas localizações de petróleo, mantém um caráter de especial importância nos dias que correm.

O GPL, para além de ser considerado uma forma de energia limpa, não libertando quaisquer cheiros ou fumos tóxicos, excetuando os introduzidos por razões de segurança (produtos da família dos mercaptan, que inalam o típico cheiro a gás), e, por isso, respeitando o ambiente, tem também associado um elevado poder calorífico, que garante poupança energética e baixo custo de manutenção, sendo uma das soluções mais económicas e flexíveis para quem tem elevadas necessidades de consumos energéticos que não tenham restrições quanto ao seu uso. Por outro lado, o facto de a queima de GPL ter reduzidas emissões de CO₂, comparada com outros combustíveis, confere-lhe uma valia ambiental muito significativa.

De modo a ser possível comercializar este produto a preços competitivos, todo o processo, desde a exploração à refinação e distribuição de GPL, deve ser irrepreensivelmente rigoroso, tendo como base de valor o enfoque no cliente.

Na distribuição das mais variadas mercadorias, o meio rodoviário, nos dias de hoje, representa um papel de predominante relevo. Segundo um relatório publicado pelo *Eurostat* [1], o transporte rodoviário foi responsável por 46% do total do transporte de mercadorias na UE-27 (os 27 estados membros que aderiram à UE) no ano de 2006. No entanto, e muito embora seja um dos meios de transporte mais utilizados, envolve elevados custos operacionais para as empresas. Tendo em conta este facto, a otimização

da logística dos transportes tem sido uma das áreas onde os esforços de redução de custos têm sido mais importantes.

É neste enquadramento que surge o propósito deste projeto, e que se realiza um estudo de otimização de rotas de distribuição de GPL a granel efetuado na empresa portuguesa Galp Energia.

Objetivos do Projeto

O corrente estudo de investigação visa aprofundar os conhecimentos adquiridos ao longo do mestrado em Decisão Económica e Empresarial, nomeadamente na área da Investigação Operacional. A principal motivação, ao desenvolver este projeto, prende-se com o exercício reflexivo sobre a otimização de rotas, de modo a que sejam facilitados os processos de planear, conduzir e avaliar de forma mais eficiente e eficaz, as opções a tomar neste contexto aquando da minha futura prática profissional.

Este propósito conduz-nos a quatro objetivos:

- i. Elaboração de um modelo matemático que se adeque ao problema em estudo, com as simplificações necessárias para limitar a complexidade associada, sem prejudicar a sua adaptabilidade ao caso;
- ii. Estudo da implementação das rotas atuais, através da análise comparativa entre a solução real e a melhor solução encontrada pelo *software* usado para determinar uma solução para o modelo;
- iii. Fornecer soluções que permitam melhorias na rede de distribuição da empresa;
- iv. Construção de um programa em VBA que possibilite o estudo das rotas e o desvio entre a opção tomada pelo condutor face à rota ótima a partir de um *software* desenvolvido para o efeito.

Estrutura do Projeto

Aliado à elaboração do presente projeto, foi desenvolvido um modelo para um problema de identificação de rotas, com o desígnio de otimizar a distribuição de GPL efetuada pela Galp Energia. Esta otimização tem como objetivo a redução de custos, tendo-se a expectativa de aplicação do método aqui proposto por parte da empresa.

Tendo em conta o problema e os objetivos presentemente propostos, optou-se por organizar o trabalho final de mestrado em seis capítulos.

No capítulo II é exposto o enquadramento teórico, em que o projeto se baseia, para uma melhor compreensão do tema em questão. Para tal, após uma breve introdução da empresa em estudo, caracteriza-se o atual funcionamento da rede de distribuição de GPL e tenta-se, tanto quanto possível, conciliar os objetivos operacionais identificados com as restrições implícitas na operação de distribuição. Por último, foca-se no modo como foram recolhidos e tratados os dados utilizados no problema real.

O capítulo III destina-se ao referencial metodológico em que o estudo se apoia no que se refere à otimização de rotas de distribuição. Efetua-se, então, uma revisão bibliográfica sobre o tema principal do presente estudo alinhada com os objetivos identificados.

O capítulo IV aborda a metodologia utilizada ao longo de todo este trabalho de projeto. No final é definido o modelo conceptual que irá dar apoio ao desenvolvimento do programa em VBA e à validação dos respetivos resultados.

O capítulo V destina-se à análise interpretativa dos resultados para, por fim, no capítulo VI, se poderem incorporar algumas considerações e as conclusões resultantes da elaboração do projeto. São, ainda, referidos constrangimentos e pistas que se delinearam, com as limitações e as potencialidades do estudo, para investigações futuras.

Por fim, são apresentadas as referências bibliográficas consultadas que fundamentam o quadro teórico e metodológico de todo este projeto.

CAPÍTULO II: ENQUADRAMENTO TEÓRICO

A Galp Energia

Desde a criação da Galp Energia, incluindo as empresas que estiveram na sua origem, que a sua ligação com a evolução industrial no país é de difícil dissociação. Conhecer a história da Galp Energia é compreender melhor o desenvolvimento recente da economia portuguesa relativamente à questão energética.

A Galp Energia, tal como o próprio nome sugere, é uma empresa de energia que explora, produz e distribui petróleo e gás natural em quatro continentes, tendo como grande alicerce fornecer energia diariamente a milhões de pessoas.

A origem da Galp Energia remonta ao século XIX quando, em 1846, Lisboa se ilumina 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 [2].

A Galp Energia foi constituída a 22 de abril de 1999 com o nome de GALP – Petróleos e Gás de Portugal, SGPS, S.A. e com o objetivo de explorar os negócios do petróleo e do gás natural na sequência da reestruturação do setor energético em Portugal. A Galp Energia agrupou inicialmente a Petrogal - a única empresa refinadora e a principal distribuidora de produtos petrolíferos em Portugal, a Gás de Portugal (GDP) - empresa importadora, transportadora e distribuidora de gás natural em Portugal e a Transgás - empresa responsável pela aquisição e transporte (em alta pressão) do gás natural¹. [2]

Hoje em dia, a Galp Energia é o único grupo integrado de produtos petrolíferos e gás natural de Portugal, com atividades que englobam a exploração e produção de petróleo e gás natural, a refinação e distribuição de produtos petrolíferos, a distribuição e venda de gás natural e geração de energia elétrica.

¹ Posteriormente, por decisão do governo português, as atividades de transporte e regasificação do gás natural foram transferidas para a REN (Redes Energéticas Nacionais). Esta decisão, conhecida como *unbundling* do gás natural, visou separar estas atividades das restantes atividades (comerciais) do gás natural, visto funcionarem em regime de monopólio natural (regulado).

Segmentos de Negócio

A Galp Energia é hoje um operador de energia presente em toda a cadeia de valor do petróleo e do gás natural, estando também cada vez mais ativo nas energias renováveis.

A estrutura orgânica da Galp Energia, aquando da elaboração do presente projeto, assenta em cinco unidades de negócio, representadas na ilustração 1².



Ilustração 1. Estrutura de negócios da Galp Energia.

i. Exploração & Produção

No segmento de negócio Exploração & Produção (E&P), a Galp Energia explora e produz petróleo e gás natural, estando, atualmente, presente em mais de 60 projetos espalhados pelo mundo.

A atividade de exploração da Galp Energia encontra-se em rápida expansão, especialmente no Brasil, onde a dimensão das descobertas na bacia de Santos colocou a marca no círculo restrito de operadores com programas de exploração de elevado êxito [3].

ii. Refinação & Distribuição

O segmento de negócio de Refinação & Distribuição (R&D) processa matéria-prima em duas refinarias, em Matosinhos e em Sines, distribui os seus produtos refinados

² Fonte: Website oficial Galp Energia: <http://www.galpenergia.com>

e vende a terceiros. Os produtos refinados, não distribuídos directamente, são vendidos a outros operadores internos, sob a forma de venda ou de *swap* de produto, e exportados para diversos países do mundo, em particular para a Europa e para a América do Norte.

O sistema refinador, que compreende estas duas refinarias, possui uma capacidade de refinação total de 330 mil barris de petróleo bruto por dia, o que equivale a 20% da capacidade de refinação ibérica.

Através da sua vasta rede de distribuição de produtos petrolíferos, os produtos refinados são distribuídos predominantemente em Portugal e Espanha, mas também em África. A Empresa detém ainda uma vasta rede de ativos logísticos que não só suporta a posição relevante que a Galp Energia assume na Península Ibérica, como também lhe confere um importante conhecimento nesta área [4].

iii. Gás & Power

O segmento de negócio de Gás & Power (G&P) é composto por diversas atividades. Entre estas, destacam-se as atividades de aprovisionamento, distribuição e comercialização de gás natural na Península Ibérica, e a venda de gás natural através de *trading* de Gás Natural Liquefeito (GNL), em mercados internacionais. Adicionalmente tem associadas as atividades de multigeração e comercialização da eletricidade, que estão centradas na Península Ibérica [5].

O presente trabalho incide sobre a área de R&D em Portugal Continental da Galp Energia.

O Problema

Com o intuito de melhor compreender e abordar as diversas perspectivas do problema em análise, é de especial importância que se perceba o funcionamento da empresa, mais especificamente, a atividade da distribuição de GPL.

i. Funcionamento da Rede de Distribuição de GPL

A Galp Energia é responsável pela gestão de importantes infraestruturas de transporte e armazenagem de petróleo bruto e produtos petrolíferos na Península Ibérica. A sua rede logística ibérica é composta pelo acesso aos terminais marítimos de Sines e de Leixões, por um conjunto de parques de armazenagem, e pelas participações em empresas de logística em Portugal e em Espanha.

Para assegurar a satisfação dos clientes, a cadeia logística da Galp Energia funciona num sistema onde a procura do consumidor influencia a distribuição. Consequentemente, o processo de distribuição de GPL inicia-se com os pedidos de encomendas diários registados no sistema integrado de gestão SAP (acrónimo de *Systeme Anwendungen und Produkte*, no idioma alemão).

Até chegar ao consumidor final, o GPL atravessa um processo complexo e demorado. Após a chegada do petróleo bruto, este é processado nas refinarias de Matosinhos e de Sines, dando origem, entre outros produtos, ao GPL, designação que inclui o butano e o propano. Estes gases, embora sejam quimicamente próximos e que satisfazem as mesmas necessidades energéticas através da sua queima³, são produtos comercialmente distintos, sendo o butano um produto mais pesado (suporta melhor baixas temperaturas) e o propano caracterizado por ser um produto mais leve. Nesta fase, o GPL é armazenado nas refinarias e nos parques próprios para o efeito, seguindo para os clientes quando solicitado. A Galp Energia distribui GPL, propano e butano, em mais de 20 000 pontos de venda, chegando a mais de um milhão de clientes finais [6]. Esta distribuição é efetuada através de três segmentos: engarrafado, granel e canalizado.

³ Também podem ser utilizados como matérias-primas para a indústria petroquímica, nomeadamente o propano.

Consequentemente, assim que o GPL sai para distribuição, este é preservado em garrafas de diversos tamanhos, no caso do segmento engarrafado ou, no caso do granel, é entregue em reservatórios da Galp Energia ou dos seus clientes. No caso do segmento canalizado, os clientes são abastecidos por uma rede de distribuição de gás que fornece vivendas, edifícios ou urbanizações.

Por fim, já no consumidor final ao ser utilizado, o GPL entra em contacto com o ar e passa ao estado gasoso. É nesse estado que é queimado como fonte energética.

A ilustração 2 representa um esquema simplificado do processo que o GPL atravessa. Em resumo, o GPL é proveniente de quatro grandes atividades sequenciais: Exploração, Desenvolvimento e Produção (1), Armazenamento (2), Refinação (3) e, por fim, Distribuição (4).



Ilustração 2. Esquema resumo do processo evolutivo do GPL.

Nas duas primeiras atividades, o GPL encontra-se incluído no petróleo bruto, sendo obtido na fase (3), quando se faz a refinação do petróleo bruto e/ou o tratamento de outras matérias-primas associadas e se separa o GPL dos restantes derivados do petróleo.

A atividade (4) inclui a distribuição a partir das refinarias, passando ainda por armazenagens de natureza comercial, em parques e instalações próprias.

Relativamente ao armazenamento de GPL, a Galp Energia detém uma capacidade total de 68 000 toneladas deste produto, distribuídas pelas suas infraestruturas de enchimento: na refinaria de Sines, no parque de Perafita e na Companhia Logística de

Combustíveis (CLC), em Aveiras de Cima (distrito de Lisboa). A ilustração 3 representa a localização geográfica destas infraestruturas.

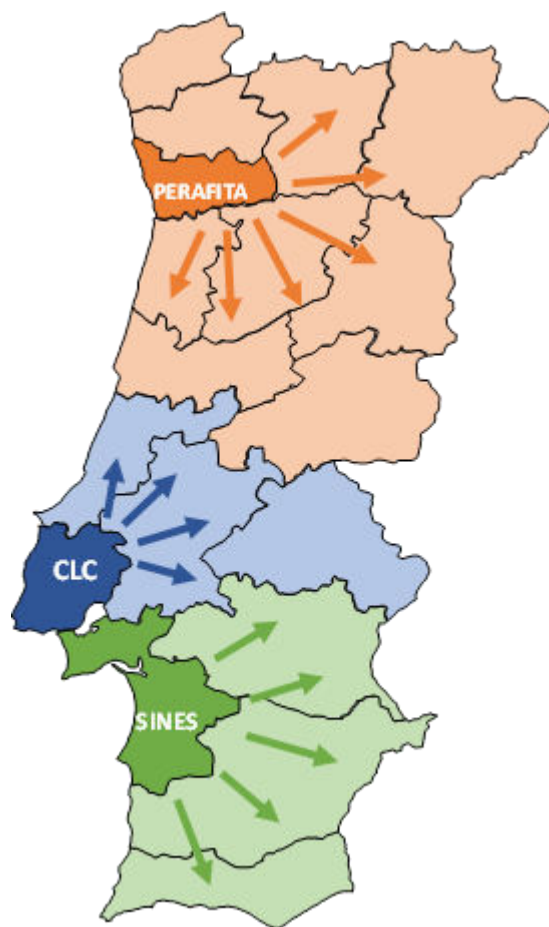


Ilustração 3. Localização dos centros de distribuição de GPL.

O GPL é entregue aos clientes, a partir de uma destas três instalações por veículos cisterna, estando a sua distribuição, genericamente, dividida por três regiões distintas devidamente identificadas no mapa acima. O parque de armazenamento de Perafita assegura a distribuição do Norte, a distribuição do Centro é assegurada pela CLC e, por sua vez, a infraestrutura de Sines garante as entregas do Sul.

A atividade logística de distribuição é atualmente dirigida internamente, sendo o transporte assegurado por contratos de *outsourcing*. Para assegurar a disponibilidade de GPL aos seus clientes, a Galp Energia estabeleceu contratos com quatro empresas de

transporte, duas das quais apenas efetuam a distribuição de GPL a granel, e as restantes responsabilizam-se, simultaneamente, pelo GPL embalado.

Neste projeto apenas será abordado o segmento de GPL a granel.

A gestão interna da atividade logística é levada a cabo pelo departamento de distribuição e é iniciada, tal como referido, com a programação de entregas de GPL em SAP, no dia anterior à sua entrega. No caso de ocorrência de um pedido esporádico, mas urgente, e se o veículo já se encontrar em marcha de entrega, este é aceite se o veículo possuir uma quantidade de GPL suficiente para satisfazer as entregas planeadas assim como o pedido extraordinário. Sempre que se colocam estas situações, é inevitável uma reestruturação das rotas definidas, uma vez que a satisfação dos clientes é de extrema importância para a Galp Energia. Contudo, o estudo destes eventos não será abordado no âmbito deste projeto e, conseqüentemente, não será analisado no modelo de otimização a ser implementado, devido ao seu caráter excepcional.

Posteriormente à programação das entregas de GPL, terá de ser efetuado o acompanhamento do estado das encomendas até ao seu pagamento.

ii. Funcionamento do Processo de Encomendas de GPL

Existem dois procedimentos através dos quais se dá origem às encomendas de GPL. Um dos procedimentos diz respeito ao pedido direto de encomendas por parte do cliente, através dos diversos meios de comunicação. Sem descurar a eficácia deste método no desencadeamento das ordens de encomenda, a Galp Energia detém um sistema de telemetria, ao qual os variados clientes podem aderir. Este sistema permite reabastecimentos automáticos através da monitorização remota dos níveis de gás nos reservatórios. O círculo de clientes associado a este sistema beneficia de uma comodidade extra. Obrigatoriamente, todos os postos de abastecimento da Galp Energia, com GPL Auto, estão associados ao sistema de telemetria com a intenção de uma melhor eficácia na satisfação ao consumidor final. Neste sentido, os pedidos de encomendas, por parte deste círculo de clientes, são gerados automaticamente pelo sistema *Advanced Planning System (APS)* de «ordens e otimização de inventário» (*Orion*).

Continuamente, os pedidos de encomendas de GPL, desencadeados através dos dois métodos, são reunidos e registados em SAP, resultando numa listagem dos clientes a serem satisfeitos, assim como as quantidades de GPL necessárias. A esta listagem é atribuído um número que se designa por número de frete. É, então, necessário garantir que cada frete é alocado a um veículo cisterna. São os programadores do departamento de distribuição que ficam responsáveis por este papel, utilizando para o efeito o programa *ShortRec*, o qual permite analisar a informação geográfica da área em causa. Após alocarem os diversos fretes aos veículos cisterna disponíveis para a distribuição, esta informação é disponibilizada aos respetivos condutores através do PDT (*Portable Data Terminal*). Na ilustração 4 está representado o processo de uma forma resumida e simplificada.

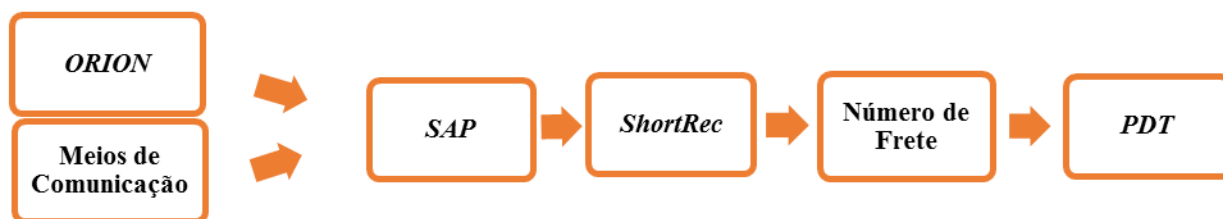


Ilustração 4. Esquema resumo da chegada de pedidos de GPL.

Características do Problema

O processo de distribuição de GPL da Galp Energia apresenta algumas características que, notoriamente, terão que ser consideradas, com o intuito de se garantir uma solução exequível.

Seguidamente são apresentadas as características a considerar, distribuídas por categorias.

i. Características dos Clientes

- I. Período do dia no qual a procura do cliente terá que ser satisfeita - refira-se, a este respeito, que a Galp propõe abastecer todos os clientes

de uma rota, das 9h às 17h. Há contudo alguns clientes que necessitam de ser satisfeitos primeiro e fora da janela horária devido às dificuldades no processo de abastecimento;

- II. Tempo requerido para o decurso da descarga de GPL no cliente - estima-se que o tempo de abastecimento necessário é de, aproximadamente, 20 minutos por cliente, dependendo da quantidade a ser descarregada;
- III. Conjunto de veículos cisterna que poderão ser utilizados para satisfazer cada cliente - tendo em conta a procura e a capacidade do veículo. Há clientes que apenas conseguem ser servidos por um determinado tipo de veículo;
- IV. Quantidade de GPL que terá que ser entregue ao cliente - esta procura é sabida de antemão;
- V. Localização geográfica do cliente.

ii. Características dos Veículos

- I. Capacidades dos veículos cisterna tendo em conta o tipo (dimensão);
- II. Custos fixos e variáveis associados à utilização dos veículos cisterna - relativamente aos custos variáveis, estes dependem apenas da distância percorrida.

iii. Características das Rotas

- I. Restrições semanais – relativamente a estas restrições, sabe-se que nos sábados e domingos não são efetuados quaisquer abastecimentos, salvo raras exceções.
- II. Restrições de trânsito – como exemplo deste tipo de constrangimento refira-se o horário na Ponte 25 de Abril (entre as 18h e as 21h de 6^{as} feiras, de domingos, de feriados nacionais e de vésperas de feriados nacionais) e a existência de túneis ou vias em que não é permitida a

passagem a viaturas de transporte de mercadorias perigosas, que é o caso dos veículos cisterna que transportam GPL;

- III. Falha na satisfação de clientes afetos à rota – excepcionalmente, acontece não ser possível satisfazer todos os clientes propostos na rota em causa. Nestas situações, as entregas que permanecem em falta têm, forçosamente, de ser realizadas no dia seguinte;
- IV. Localização geográfica do parque de armazenamento de onde parte o veículo cisterna – existe, igualmente, a possibilidade de o ponto de origem diferir do ponto de retorno;
- V. Quantidade de procura a satisfazer – a quantidade total da procura não poderá exceder a capacidade do veículo afeto à rota;
- VI. «Sobras» – ocasionalmente, ocorrem situações em que é necessário recolher quantidades de gás em clientes. Estas situações podem ser provocadas por diversos eventos, tais como fugas, substituições dos depósitos de GPL ou mesmo a própria desativação do cliente. Em qualquer destas circunstâncias, o veículo cisterna efetua uma rota de outro tipo, ou seja, sai do parque de armazenamento com o reservatório vazio e, posteriormente recolhe as sobras de GPL no cliente em questão. No entanto, antes de regressar ao parque, entrega essas sobras a outro cliente pré-designado, pois as medidas de segurança não permitem que o veículo cisterna retorne com GPL no seu reservatório.

Restrições e Pressupostos ao Problema

Contudo, o que se pretende com este projeto é ir de encontro aos objetivos e intenções que a Galp Energia expôs em reuniões prévias. Consequentemente, apenas um grupo limitado de restrições e pressupostos irá ser aplicado na construção do nosso modelo.

Posto isto, as restrições e pressupostos a considerar são:

- a. A procura tem de ser sempre satisfeita, independentemente da quantidade de GPL;
- b. É inevitável respeitar as capacidades máximas de transporte de GPL, decretadas na lei, para cada um dos tipos de veículos cisterna;
- c. Cada cliente só pode ser visitado uma vez em cada dia, por um único veículo cisterna;
- d. Cada rota começa e termina num e num só parque de armazenamento. Não irá pois considerar-se a possibilidade de o ponto de origem poder diferir do ponto de retorno;
- e. Os veículos cisterna apenas realizam tarefas de distribuição.

Objetivos Identificados

O principal objetivo do presente projeto prende-se com o desenvolvimento de um programa em VBA, com o intuito de apoiar a tomada de decisão por parte dos responsáveis da distribuição. Ambiciona-se que este programa permita otimizar as rotas de distribuição (entre clientes de uma mesma rota) com base no desenvolvimento de um modelo matemático para o efeito.

Pretende-se, desta forma, encontrar a distância teórica mínima para abastecimentos de um conjunto de clientes de uma dada rota, por forma a comparar com a efetivamente realizada pelo motorista. Desta forma, a equipa de gestão da distribuição poderá ter ideia do potencial de redução de custo de transporte envolvido e, assim, desenvolver medidas que permitam alcançar esse potencial.

Em termos práticos, o objetivo fundamental que se pretende é o desenvolvimento de um programa que possibilite minimizar a distância total percorrida por um veículo cisterna e/ou a duração total de viagem. Estes dois fatores serão analisados desde a partida do veículo cisterna do parque de armazenamento, incluindo a entrega do produto aos clientes, até ao retorno ao parque de partida.

Recolha e Análise dos Dados

A recolha dos dados é parte essencial para o êxito dos resultados do modelo, no que diz respeito à sua qualidade. De modo a que os resultados caracterizem o problema real, foi necessário realizar procedimentos que, mesmo com o auxílio de programação em *Excel*, se vieram a revelar notavelmente morosos.

A recolha e seleção de toda a informação disponível para a aplicação real, ou seja, para cada elemento constituinte do modelo, foi o primeiro passo na construção do modelo.

O acesso à informação passível de ser analisada foi possível devido à total disponibilidade dos colaboradores do departamento de R&D da Galp Energia, ao fornecerem todos os documentos necessários.

Os dados recolhidos no presente trabalho estão relacionados com o tipo de produtos, veículos, procura de cada cliente, parques de armazenamento, zonas genericamente identificadas e distâncias físicas entre os clientes.

Para efeito de análise, optou-se por consultar os registos compreendidos entre janeiro e março de 2014, uma vez que são dados com pouco desfasamento temporal, e incluem os meses de maior consumo de GPL.

De modo a tornar o processo mais célere, desenvolveu-se um programa em VBA que automatiza o processamento dos dados fornecidos pela Galp Energia e que permite a ligação com o *software Solver Premium*, utilizado na identificação das rotas ótimas.

Em baixo, encontram-se retratadas as categorias nas quais ocorreram a recolha dos dados e, posteriormente, o tratamento dos mesmos.

i. Tipos de Produto

A Galp Energia disponibiliza diversos produtos para múltiplas aplicações do dia a dia, que se dividem nas seguintes grandes famílias: Combustíveis, Betumes, Químicos, Óleos Base e Lubrificantes. No quadro 1 estão representados alguns dos principais produtos comercializados e distribuídos pela Galp Energia.

Quadro 1. Produtos petrolíferos.

Produtos
GPL
Gasolinas
Petróleos
Gasóleos
Fuelóleos
Betumes
Lubrificantes
Parafinas
Solventes
Jets (Bancas Aéreas)

Nota: O gasóleo, o fuelóleo e os lubrificantes são também vendidos internamente para Bancas marítimas

Fonte: Mercado APETRO - Continente

Embora a operação de distribuição da Galp Energia abranja diferentes tipos de produtos petrolíferos, este projeto, tal como referido anteriormente, analisa apenas o GPL a granel (propano).

ii. Veículos Cisterna

No caso dos veículos que constituem a frota da empresa, os dados relativamente ao seu número, por zona e por transportadora, foram recolhidos e encontram-se representados no quadro 4 do anexo 1. Esta informação não irá entrar diretamente no modelo de otimização de rotas, mas será importante para os resultados e conclusões finais.

iii. Procura de Cada Cliente

Outros dados relevantes para o projeto prendem-se com as quantidades de GPL a transportar para cada cliente, a cada dia da semana.

Tal como referido, a informação sobre as rotas efetuadas pelos diversos veículos é agregada no PDT. Através deste mecanismo, consegue-se estabelecer a comunicação

entre a Galp Energia e o motorista e, desta forma, a informação relevante chega aos escritórios da empresa. A comunicação de informação é tratada e enviada através de um ficheiro em Excel – designado por *SGL*, onde se encontra retratada toda a atividade de distribuição de um determinado período.

A ilustração 9 (Anexo 1) ilustra parte de um ficheiro *SGL*, com o propósito de exibir a sua estrutura e organização.

Como se pode observar poderão surgir ficheiros com valores de procura iguais a zero num determinado frete. De modo a que o modelo funcione esta situação não poderá ocorrer, até porque no caso real o cliente que é visitado tem sempre uma procura agregada. Contudo, este estudo considera apenas um veículo com capacidade ilimitada permitindo, desta forma, satisfazer sempre a procura que lhe está afeta e fazendo com que os valores da procura não influenciem os resultados finais. Tendo em conta esta consideração, conseguiu-se assumir um valor mínimo de procura igual a 1 000 kg, sempre que estas situações aconteceram.

iv. Parques de Armazenamento

Na ilustração 5 estão representados os parques detidos pela Galp Energia, para os diversos produtos petrolíferos. Especificamente, a cinzento, indicam-se os parques onde o GPL é armazenado, tal como visto anteriormente, coincidindo com os que foram utilizados neste estudo.

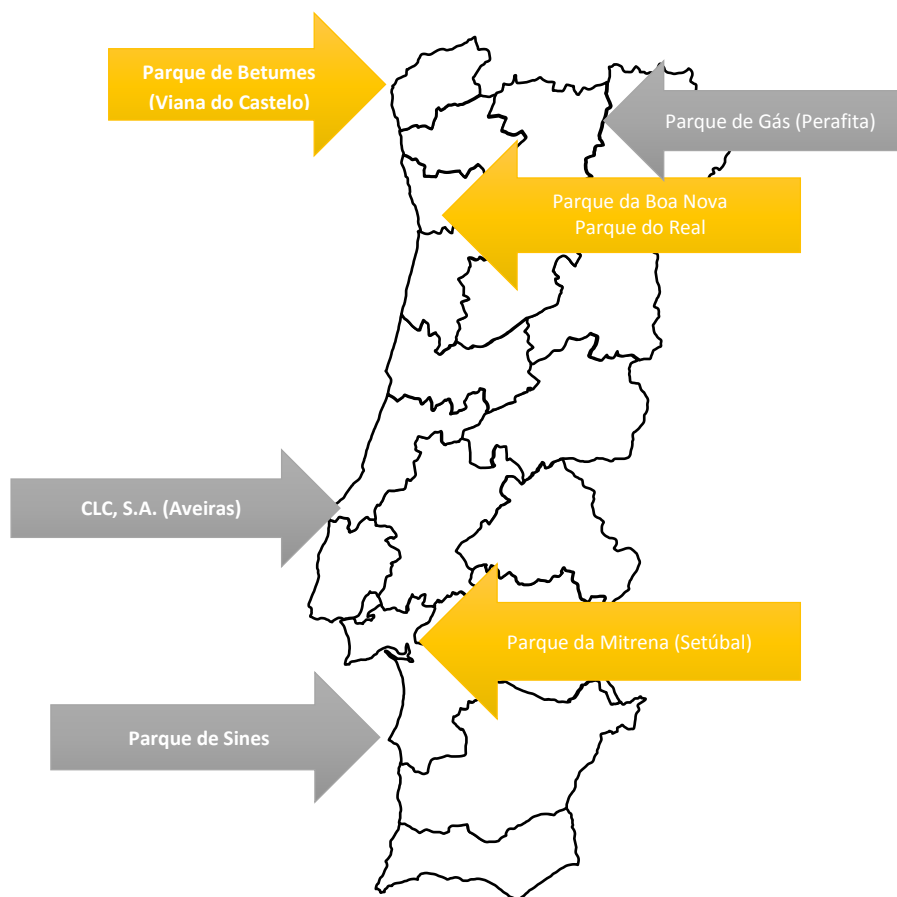


Ilustração 5. Rede logística de Portugal da Galp Energia.

v. Distância entre Clientes

Para otimizar o número de quilómetros a percorrer pelos veículos cisterna, foi feito um levantamento das distâncias (em km) entre os clientes, e entre estes e os parques de armazenamento de GPL. Com o auxílio de um programa escrito em VBA, foi possível a recolha das distâncias referidas a partir da base de dados dos clientes, sendo os ficheiros *SGL* percorridos automaticamente.

Através de uma aplicação da *Google* – a *API (Application Programming Interface)* do *Google Maps* – foi possível implementar em VBA um método que identifica quer as distâncias, quer os tempos de deslocamento, e os escreve numa matriz de origens e destinos. As informações devolvidas são baseadas no trajeto recomendado entre pontos de partida e de chegada, conforme calculado pela *API* do *Google Maps*.

No anexo 2 deste projeto, está retratado o funcionamento do programa.

Este passo foi um dos mais complexos e exaustivos do presente projeto, uma vez que a base de dados dos clientes da Galp Energia não se encontrava no formato adequado aos processos utilizados, o que representou uma grande limitação para o programa desenvolvido. Por este facto, foi necessário despende um tempo considerável a modificar as moradas, com o intuito de chegar a valores o mais próximo possível dos valores reais.

CAPÍTULO III: REFERENCIAL METODOLÓGICO

Este capítulo pretende investigar na literatura relacionada com otimização de rotas, uma metodologia que se adegue ao problema estudado, tentando satisfazer o propósito deste projeto e o objetivo a que nos propusemos com a Galp Energia.

Acompanhando o desenvolvimento socioeconómico que se tem sentido nas últimas décadas em Portugal, denota-se uma evolução significativa na gestão do setor da logística, que desempenha um papel relevante na melhoria da eficiência das empresas e na redução dos custos operacionais [7]. De modo a tornar a distribuição de bens mais eficiente e mais eficaz, acresce a necessidade de estudar os processos utilizados, não só ao nível das estradas e equipamentos, mas também na seleção das rotas que irão permitir uma redução dos custos logísticos. Tal como referido anteriormente, o meio de transporte mais utilizado em termos logísticos é o rodoviário. Este assume-se como o grande responsável pela movimentação de bens de e para Portugal, segundo um estudo publicado pela *PricewaterhouseCoopers* (PwC) [8].

Adicionalmente, estima-se que o custo dos transportes é um dos segmentos com maior impacto nos custos totais na área da logística, representando, aproximadamente, entre 10 a 20% dos mesmos [9]. Consequentemente, a aplicação de modelos e métodos que conduzam à otimização de rotas consegue trazer poupanças entre 5% e 20%, o que motiva o desenvolvimento e aprofundamento de modelos e de metodologias com este objetivo [9].

É neste contexto que têm surgido vários estudos ao longo dos anos. Neste projeto, o problema abordado é uma variante do proposto originalmente por *Dantzig and Ramser*, em 1959 [10]. Este é designado por *Vehicle Routing Problem* (VRP) e consiste na satisfação de um conjunto de clientes, através de uma frota de veículos, partindo cada um deles de um local designado por depósito, onde deve regressar no final do serviço. O depósito poderá ser distinto para cada veículo.

Nas últimas décadas diversas variantes do VRP foram surgindo, acompanhando a evolução do modelo generalizado, devido às restrições impostas pela necessidade de satisfazer atividades reais.

Muitos estudos foram feitos para problemas na área petrolífera, especialmente no abastecimento de postos de combustíveis.

Avella, Boccia e Sforza [11] estudaram a otimização na entrega de diferentes tipos de combustíveis a um conjunto de postos de abastecimento, ao menor custo possível.

Cornillier, Laporte, Boctor e Renaud [12] alteraram o objetivo, estabelecendo a maximização do lucro total como principal propósito. Para tal, definiram um problema designado de *Multi-period Petrol Station Replenishment Problem* (MPSRP), em que otimizam a entrega de diversos produtos petrolíferos a um conjunto de postos de abastecimento, respeitando um horizonte definido para o planeamento.

Nesse mesmo ano, os mesmos autores levam a cabo outro estudo na área da distribuição de produtos petrolíferos, mas desta feita com a restrição de que cada posto de abastecimento tem um horário a que deve ser abastecido. Este tipo de problema é designado como *Petrol Station Replenishment Problem with Time Windows* (PSRPTW) [13].

Três anos depois, *Cornillier, Boctor e Renaud* [14] prosseguem os seus esforços ao desenvolverem o *Generalized Trip Packing Problem* (GTPP) que tem como finalidade a afetação de rotas a uma frota heterogénea de veículos cisterna.

Como verificámos, muitos foram os estudos levados a cabo com a finalidade de otimizar o processo de abastecimento de postos de combustíveis. Não é portanto de estranhar o apoio que estes modelos poderão trazer ao nosso projeto, a ser aplicado em Portugal, mais concretamente na Galp Energia.

CAPÍTULO IV: DEFINIÇÃO E DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA

Neste capítulo é delineada a formulação matemática para a otimização de rotas, com o intuito de solucionar o caso de estudo referido no capítulo II. Após reunida e tratada a informação indispensável para o desenvolvimento do projeto, verificou-se a necessidade de definir e formular um VRP como estratégia de resolução para o caso de estudo.

Ao terem sido consolidadas as diferentes características e restrições existentes, tornou-se mais fácil a formulação do problema.

Talvez se pudesse repetir aqui um resumo das características do problema a resolver

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

ÍNDICES

i, j – Cliente ou parque de armazenamento

k – Tipo de veículo

p – Parque de armazenamento

CONJUNTOS

C – Conjunto de clientes

P – Conjunto de parques de armazenamento

$N = C \cup P$ – Conjunto de clientes e de parques de armazenamento

V – Conjunto dos tipos de veículos, sendo que para cada tipo de veículo $k \in V$, estão disponíveis m_p^k veículos no parque p .

PARÂMETROS

m_p^k –Número de veículos de tipo k no parque p .

W_k –Capacidade do veículo de tipo k .

q_i –Procura, em quilogramas, do cliente $i \in C$.

CF_k – Custo fixo associado ao veículo de tipo k .

t_{ij}^k –Tempo necessário a um veículo de tipo k para transitar de $i \in N$ para $j \in N$.

c_{ij}^k – Custo de um veículo de tipo k transitar do cliente $i \in C$ para o $j \in C$. Este custo é função da distância d_{ij} e/ou do tempo t_{ij}^k .

$D = [d_{ij}]$ – Matriz de distâncias entre o cliente ou parque i e j , com $i, j \in C$ e $i \neq j$. Assume-se que a matriz pode não ser simétrica, ou seja que $d_{ij} \neq d_{ji}$ e, conseqüentemente, $t_{ij}^k \neq t_{ji}^k$.

VARIÁVEIS CONTÍNUAS

y_{ij} – Quantidade de GPL, em quilogramas, transportado do cliente ou do parque $i \in N$, para servir o cliente/parque $j \in C, \forall i \neq j$.

VARIÁVEIS BINÁRIAS

$x_{ij}^k = \begin{cases} 1 & \text{se um veículo de tipo } k \text{ viaja de } i \text{ para } j, \forall i, j \in N: i \neq j; \forall k \in V \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$

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

FUNÇÃO OBJETIVO

$$\text{Min} \sum_{k \in V} CF_k \sum_{p \in P} \sum_{j \in C} x_{pj}^k + \sum_{k \in V} \sum_{\substack{j \in N \\ j \neq i}} \sum_{i \in N} c_{ij}^k x_{ij}^k \quad (1)$$

Esta função minimiza o custo total de efetuar as respectivas rotas, obtido pela soma entre o custo de percorrer os quilómetros entre os clientes e entre estes e os parques de armazenamento e os custos fixos associados à utilização do veículo que percorre a devida rota.

RESTRICÇÕES

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{k \in V} \sum_{\substack{i \in N \\ i \neq j}} x_{ij}^k = 1, \quad \forall j \in C \quad (2) \\ \sum_{\substack{i \in N \\ i \neq j}} x_{ij}^k - \sum_{\substack{i \in N \\ i \neq j}} x_{ji}^k = 0, \quad \forall j \in N; \forall k \in V \quad (3) \\ \sum_{j \in C} x_{pj}^k \leq m_k^p, \quad \forall p \in P; \forall k \in V \quad (4) \\ \sum_{\substack{i \in N \\ i \neq j}} y_{ij} - \sum_{\substack{i \in N \\ i \neq j}} y_{ji} = q_j, \quad \forall j \in C \quad (5) \\ \sum_{k \in V} q_j \cdot x_{ij}^k \leq y_{ij} \leq \sum_{k \in V} (W_k - q_i) x_{ij}^k, \quad \forall i, j \in C; i \neq j \quad (6) \\ \sum_{k \in V} q_j \cdot x_{pj}^k \leq y_{pj} \leq \sum_{k \in V} W_k \cdot x_{pj}^k \quad \forall p \in P; \forall j \in C \quad (7) \\ y_{ij} \geq 0, \quad \forall i, j \in N; i \neq j \quad (8) \\ x_{ij}^k \in \{0,1\}, \quad \forall i, j \in N; i \neq j; \forall k \in V \quad (9) \end{array} \right.$$

As restrições (2) garantem que um cliente é visitado e apenas por um único veículo.

As restrições (3) garantem que se um veículo visita um cliente ou chega a um parque, então terá obrigatoriamente que partir desse cliente ou parque.

As inequações (4) limitam o número de veículos usados, de cada tipo k , ao máximo disponível em cada parque p .

As equações (5) dizem-nos que a diferença entre a quantidade transportada antes e depois de visitar cada cliente é igual à procura desse cliente. Desta forma, é garantido que a quantidade de GPL entregue no cliente j corresponde exatamente à quantidade que este pretende.

As restrições (6) e (7) garantem que nunca se excede a capacidade do veículo. Deste modo, nenhum veículo visita mais clientes do que os que a sua capacidade permite. Estas restrições são também essenciais no relacionamento entre os dois tipos de variáveis definidos, bem como, juntamente com (5), na garantia de que as rotas são admissíveis, tendo início num depósito, onde terão de regressar.

Por fim, as restrições (8) e (9) definem o domínio das variáveis envolvidas.

O modelo matemático de otimização foi implementado no *software Analytic Solver Premium for Education* com o apoio do *software Visual Basic for Applications*, num Intel (R) Core™ I5 CPU M2450, 2.50 GHz. O *software* referente ao *Solver* recorre à otimização inteira mista, para encontrar a solução ótima.

CAPÍTULO V: RESOLUÇÃO DO CASO DE ESTUDO

Após o tratamento dos dados, utilizando-se, para o efeito, o programa desenvolvido em VBA, procedeu-se à resolução do problema real através da aplicação do modelo matemático desenvolvido, baseado num problema de planeamento de rotas (VRP).

Neste estudo consideraram-se 85 dias de trabalho, durante os meses de janeiro, fevereiro e março. Os meses analisados foram escolhidos de acordo com as suas especificidades, visto serem os meses de inverno, logo, os meses de maior consumo de GPL. Os resultados foram segmentados por zonas geográficas, de acordo com os três parques de armazenamento existentes para GPL, tal como visto anteriormente. Durante o referido período temporal foram contabilizados 43 veículos, englobando as diferentes categorias analisadas.

No mês de janeiro foram registados 28 dias de distribuição e as rotas efetuadas foram percorridas por 38 dos 43 veículos: 16 veículos cisterna do tipo 2 eixos, 19 do tipo 3 eixos e 3 semirreboques.

No mês de fevereiro recorreu-se a 36 veículos dos 43 contabilizados para os três meses: 13 do tipo 2 eixos, 20 do tipo 3 eixos e 3 semirreboques. As rotas efetuadas pelos veículos neste mês foram percorridas durante 26 dias.

Por último, foram registados 31 dias de distribuição no mês de março. Nestes 31 dias foram utilizados 41 veículos: 16 do tipo 2 eixos, 22 do tipo 3 eixos e 3 semirreboques.

No quadro 2 está representado, por mês, uma síntese do número de dias em que houve distribuição e o número de veículos utilizados.

Quadro 2. Quadro síntese dos dados mensais utilizados.

Mês	Nº de dias em que houve distribuição	Nº de veículos utilizados	Nº de veículos utilizados segmentado por tipo de veículo		
			2 Eixos	3 Eixos	Semirreboque
JANEIRO	28	38	16	19	3
FEVEREIRO	26	36	13	20	3
MARÇO	31	41	16	22	3
TOTAL	85	41	16	22	3

O modelo construído recebe como *input* os dados recolhidos e apresentados no Capítulo IV, e devolve a rota ótima, ou seja, a ordem em que cada veículo cisterna deve satisfazer os diversos pedidos, de forma a minimizar os custos para a Galp Energia.

De seguida são apresentados, na ilustração 6, os resultados obtidos de acordo com a zona geográfica estudada.

DISTÂNCIA TOTAL PERCORRIDA vs DISTÂNCIA ÓTIMA

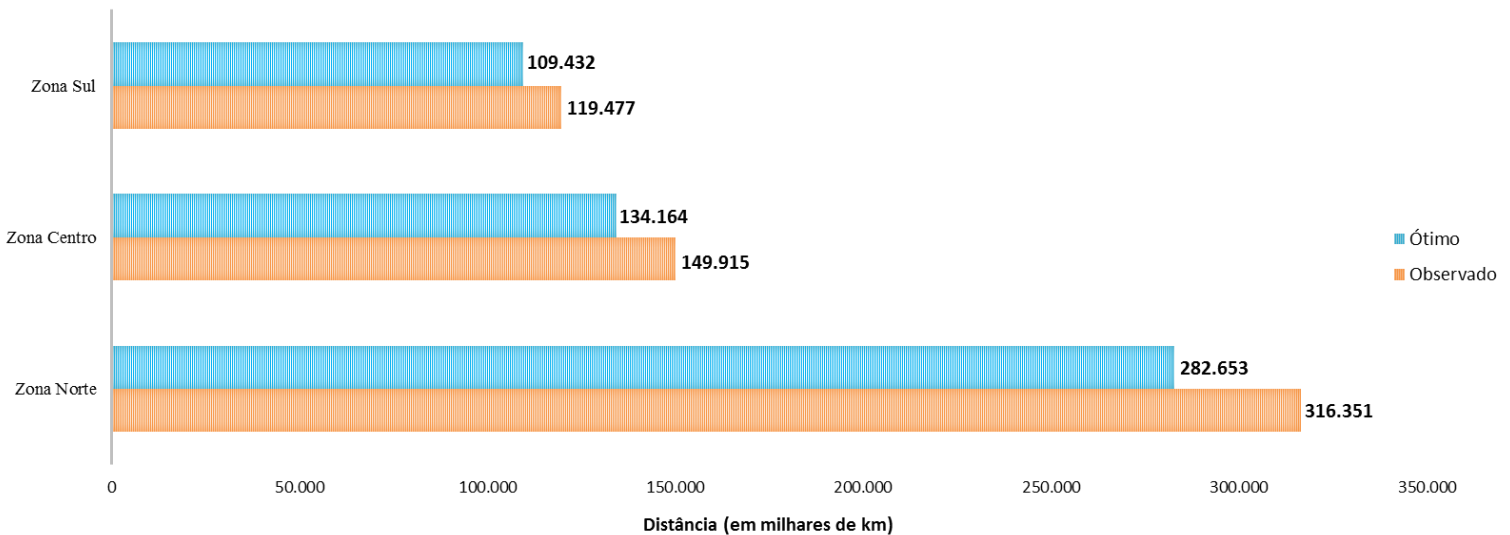


Ilustração 6. Comparação da distância total percorrida durante os três meses, por zona geográfica.

Atualmente, a definição das rotas por parte da Galp Energia não é feita com um modelo matemático formal deste tipo (de PLIM – Programação Linear Inteira Mista), embora utilizem outros processos empíricos para melhorar a eficiência das rotas. Por outro lado, este modelo é suportado por um conjunto de hipóteses simplificadoras, como se referiu, e onde nem sempre é possível incluir todas as *nuances* práticas, daí resultando, como seria expectável, que a distância total percorrida fosse superior à que resulta da situação modelada e correspondente otimização de rotas, denotando-se um desvio relativamente às rotas ideais em todos os 85 dias. Assim, nestas condições a aplicação do modelo no período de estudo, permitiria uma redução de 59 494 km no total dos dias de operação, o que se traduz numa poupança de, aproximadamente, 700 km em cada dia.

Mesmo descontando o efeito de um modelo com hipóteses simplificadoras, que em rigor matemático indica uma solução (teórica) ótima, esta constatação mostra a importância da aplicação dos problemas de planeamento de rotas a casos reais para a otimização dos recursos utilizados no transporte.

A variação percentual de percorrer a rota ótima, comparativamente com a rota efetuada pela empresa encontra-se representada na ilustração 7.

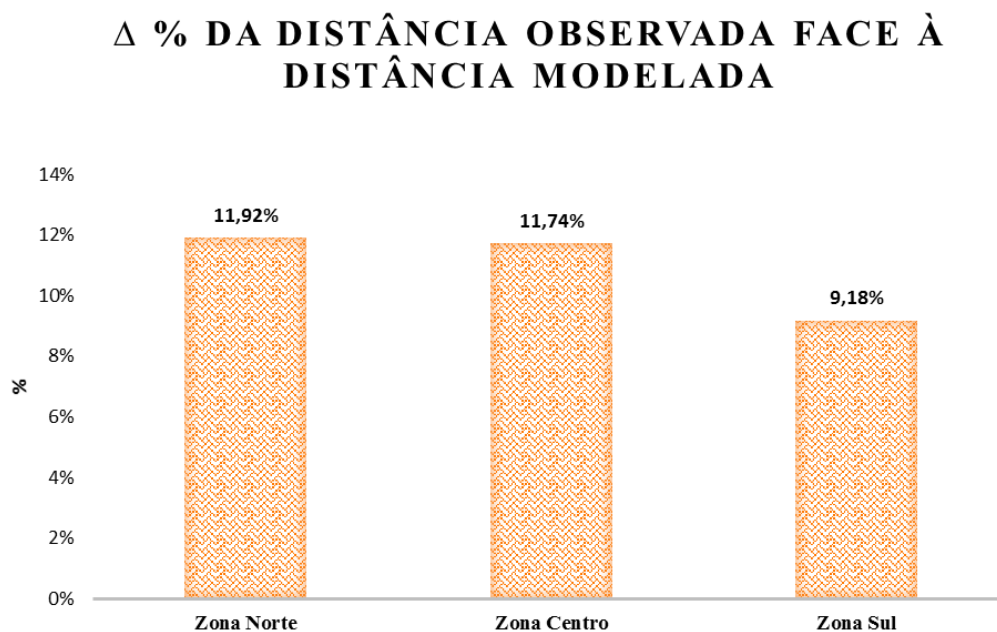


Ilustração 7. Variação percentual entre a distância observada e a distância modelada.

Como se pode observar, as rotas percorridas durante os meses de janeiro, fevereiro e março tiveram um acréscimo de, aproximadamente, 10,95% (desvio nas 3 zonas geográficas) face às rotas calculadas pelo programa de otimização. Na zona norte e na zona centro observou-se um acréscimo de sensivelmente 12%. Pela análise dos dados, conclui-se que a zona onde o percurso escolhido mais se aproximou da rota ótima, foi a efetuada na zona sul do país, onde se observou um desvio de apenas 9%.

Esta diferença deve-se, essencialmente, às particularidades das rotas nessa área geográfica, pois a região do Algarve dispõe de menos rotas alternativas, quando comparada com as restantes zonas analisadas. Esta constatação mostra que o motorista tende a percorrer apenas um caminho e ir satisfazendo os diversos clientes ao longo do percurso. No entanto, não significa que não se devam considerar caminhos alternativos, visto que subsiste um desvio de 9% relativamente à rota ótima.

No entanto, é importante salientar que os resultados obtidos poderão não ser concebíveis para a empresa devido aos pressupostos assumidos ao longo do desenvolvimento do modelo matemático, pois este na prática retrata uma situação que não é equivalente à situação real.

No quadro 3 procurou-se contabilizar os fretes analisados quanto ao desvio que realizaram face à rota ótima.

Quadro 3. Análise dos fretes quanto ao desvio efetuado face à rota ótima.

JANEIRO			FEVEREIRO			MARÇO			TOTAL DOS 3 MESES		
Intervalo da Δ % entre a distância real e a distância modelada	Número de Fretes (un.)	Número de Fretes (%)	Intervalo da Δ % entre a distância real e a distância modelada	Número de Fretes (un.)	Número de Fretes (%)	Intervalo da Δ % entre a distância real e a distância modelada	Número de Fretes (un.)	Número de Fretes (%)	Intervalo da Δ % entre a distância real e a distância modelada	Número de Fretes (un.)	Número de Fretes (%)
0	32	5%	0	69	11%	0	83	14%	0	184	10%
]0 - 10]	414	63%	]0 - 10]	347	54%	]0 - 10]	297	51%	]0 - 10]	1058	57%
]10 - 20]	113	17%	]10 - 20]	127	20%	]10 - 20]	115	20%	]10 - 20]	355	19%
]20 - 30]	64	10%	]20 - 30]	64	10%	]20 - 30]	52	9%	]20 - 30]	180	10%
]30 - 40]	21	3%	]30 - 40]	24	4%	]30 - 40]	25	4%	]30 - 40]	70	4%
]40 - 50]	7	1%	]40 - 50]	8	1%	]40 - 50]	6	1%	]40 - 50]	21	1%
]50 - 60]	1	0%	]50 - 60]	1	0%	]50 - 60]	1	0%	]50 - 60]	3	0%
]60 - 70]	0	0%	]60 - 70]	0	0%	]60 - 70]	0	0%	]60 - 70]	0	0%
]70 - 80]	0	0%	]70 - 80]	0	0%	]70 - 80]	0	0%	]70 - 80]	0	0%
]80 - 90]	0	0%	]80 - 90]	0	0%	]80 - 90]	0	0%	]80 - 90]	0	0%
]90 - 100]	0	0%	]90 - 100]	0	0%	]90 - 100]	0	0%	]90 - 100]	0	0%
TOTAL	652	100%	TOTAL	640	100%	TOTAL	579	100%	TOTAL	1871	100%

Pela análise do quadro 3, constata-se que 57% dos fretes efetuados nos três meses em análise tiveram um desvio enquadrado no intervalo que vai de 0 a 10% face às rotas ótimas. Ainda assim, subsiste uma percentagem de 34% de fretes que ultrapassa a barreira dos 10%. Constata-se que 10% dos fretes efetuados pela empresa percorreram a rota ótima, o que é uma percentagem considerável.

No caso de serem seguidas as rotas indicadas pelo modelo, seria expectável obter-se melhorias que contribuiriam para a redução dos custos totais das rotas efetuadas. Na ilustração 8 compara-se o peso dos custos reais, em percentagem, inerentes à distribuição nos três meses analisados, com os custos que a Galp Energia atingiria se aplicasse as rotas ótimas.

Poupança, em %, que se obteria com a aplicação do modelo

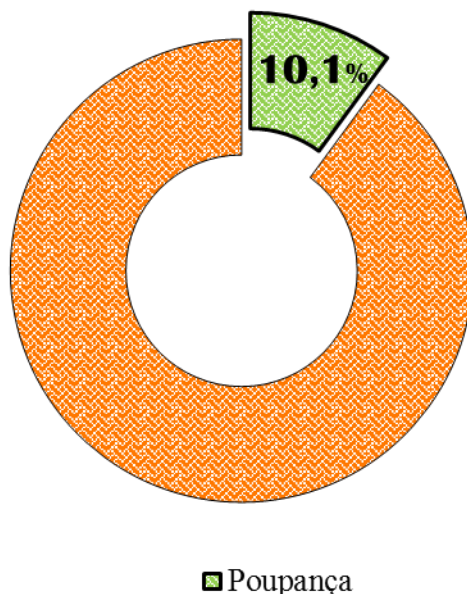


Ilustração 8. Poupança que se obteria com a aplicação do modelo matemático proposto.

Por uma questão de sigilo, não será possível mostrar os custos em €/km e, consequentemente, os respetivos custos totais das rotas. No entanto, de acordo com os dados fornecidos pela Galp Energia constata-se que, se a empresa aplicasse um modelo de otimização de rotas, teria uma poupança nos seus custos totais à volta dos 10,1% (mantendo todas as outras variáveis inalteradas).

CAPÍTULO VI: CONCLUSÕES, LIMITAÇÕES E TRABALHO FUTURO

Os problemas de planeamento de rotas gozam, cada vez mais, de uma importância significativa ao nível empresarial, uma vez que assumem um grande impacto quer em termos de custos logísticos, quer em termos da satisfação das necessidades dos clientes. Neste contexto surge o desenvolvimento do presente projeto com o intuito de otimizar as rotas de distribuição de GPL da empresa portuguesa Galp Energia, permitindo fortalecer a eficiência económica, sempre com enfoque no cliente.

Após a concretização da revisão da literatura, e de acordo com o problema da Galp em estudo, identificou-se como apropriado um modelo matemático do tipo VRP para otimização das rotas, implementado no *software Solver Premium*. Tal como referido, como suporte ao *software* de otimização, desenvolveu-se um programa em VBA para apoiar a recolha dos dados e, posteriormente, ajudar na escrita legível dos resultados finais.

Dada a complexidade do problema em estudo, foi necessário efetuar algumas simplificações. De modo a reduzir a complexidade do modelo não foram consideradas restrições de trânsito, como por exemplo se refere o horário na Ponte 25 de Abril e a existência de túneis ou vias em que não é permitida a passagem a viaturas de transporte de mercadorias perigosas. Estes constrangimentos podem afetar os veículos cisterna que transportam GPL. Não se considerou, igualmente, a possibilidade de o ponto de origem diferir do ponto de retorno e as situações em que é necessário recolher sobras de gás.

Uma limitação atual prende-se com a base de dados de clientes existente na Galp Energia. Infelizmente, e tal como referido, esta base de dados não se encontra formatada de acordo com as necessidades do programa desenvolvido em VBA, o que dificulta as análises a realizar sobre esses mesmos dados. Como consequência, o modelo não pôde

ser aplicado no imediato, tendo sido gasto um tempo considerável nesta primeira fase a formatar as moradas dos clientes para que se conseguisse alcançar resultados e conclusões que pudessem ser comparadas ao caso real.

Outra limitação prende-se com a aplicação da *Google*, que permite o cálculo das distâncias e do tempo de viagem requerido. Esta aplicação, implementada no código em VBA, tem as suas próprias limitações de uso. De facto, cada consulta enviada à *API* da *Google*, é limitada pelo número de elementos permitidos, apurado, neste caso, pelo produto do número de origens pelo de destinos. Atualmente, apenas se permitem 100 elementos por consulta, 100 elementos a cada 10 segundos e 2 500 elementos a cada período de 24 horas.

Estas limitações obrigaram a programar em VBA um intervalo temporal entre cada consulta, tornando mais lento o tratamento da informação. Este facto, no entanto, não é significativo dado tratar-se de um programa que, idealmente, será corrido uma vez por semana. Outra limitação prende-se com o acesso à rede da empresa, que não permite a utilização da *Google Maps API*. Neste sentido, e como sugestão de trabalho futuro, seria importante colmatar esta dificuldade, pois usufruir de uma aplicação que calcule as distâncias e o tempo de viagem, de forma automática, traria mais-valias imediatas para a Galp Energia.

Em conclusão, a aplicação do modelo matemático permitiu definir as rotas ótimas, o que resultaria numa diminuição da distância total a percorrer. Tudo isto conduz a uma importante diminuição dos custos logísticos. Note-se que, apesar da simplificação ao problema, o presente projeto mostra o quão importante se torna investir num bom programa de otimização de rotas, uma vez que mesmo simplificado, a resolução do problema proporcionaria melhorias em termos de custos para a Galp Energia (mantendo todas as outras variáveis inalteradas).

REFERÊNCIAS

- [1] Comissão Europeia, “Panorama of Transport,” Eurostat, Luxemburgo, 2009.
- [2] “Galp Energia - Origens e História,” Galp Energia, [Online]. Available: <http://www.galpennergia.com/PT/agalpennergia/ogruppo/origensehistoria/Paginas/Historia.aspx>. [Acedido em agosto 2014].
- [3] “Galp Energia - Exploração & Produção,” Galp Energia, [Online]. Available: <http://www.galpennergia.com/PT/agalpennergia/os-nossos-negocios/Exploracao-Producao/Paginas/Home.aspx>. [Acedido em agosto 2014].
- [4] “Galp Energia - Refinação & Distribuição,” Galp Energia, [Online]. Available: <http://www.galpennergia.com/PT/agalpennergia/os-nossos-negocios/Refinacao-Distribuicao/Paginas/Home.aspx>. [Acedido em agosto 2014].
- [5] “Galp Energia - Gas & Power,” Galp Energia, [Online]. Available: <http://www.galpennergia.com/PT/AGALPENNERGIA/OS-NOSSOS-NEGOCIOS/GAS-POWER/Paginas/Home.aspx>. [Acedido em agosto 2014].
- [6] “Galp Energia - Distribuição de GPL,” Galp Energia, [Online]. Available: <http://www.galpennergia.com/PT/agalpennergia/os-nossos-negocios/Refinacao-Distribuicao/Distribuicao/GPL/Paginas/GPL.aspx>. [Acedido em agosto 2014].
- [7] L. L. Kong e Meng Xu, “Applied Mechanics and Materials,” Volumes 543-547, 2014.
- [8] PricewaterhouseCoopers, “PricewaterhouseCoopers,” 2013. [Online]. Available: http://www.pwc.pt/pt/publicacoes/imagens/2013/pwc_principais_desafios_industria.pdf. [Acedido em 03 abril 2014].
- [9] P. Toth e D. Vigo, *The Vehicle Routing Problem*, Bologna: SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications, 2002.
- [10] G. B. Dantzig e J. H. Ramser, “The Truck Dispatching Problem”, *Management Science*, vol. 6, pp. 80-91, outubro 1959.
- [11] P. Avella, M. Boccia e A. Sforza, “Solving a fuel delivery problem by heuristic and exact approaches”, *European Journal of Operational Research*, vol. 152, pp. 170-179, 2004.
- [12] F. Cornillier, F. F. Boctor, G. Laporte e J. Renaud, “A heuristic for the multi-period petrol station replenishment problem”, *European Journal of Operational Research*, vol. 191, pp. 295-305, 2008.
- [13] F. Cornillier, G. Laporte, F. F. Boctor e J. Renaud, “The petrol station replenishment problem with time windows”, *Computers & Operations Research*, vol. 36, pp. 919-935, 2009.

[14] F. F. Boctor, J. Renaud e F. Cornillier, “Trip packing in petrol stations replenishment”, *Omega*, vol. 39, pp. 86-98, 2011.

ANEXOS

Anexo 1 – Parâmetros do Modelo

Quadro 4. Veículos cisterna, por tipo e por transportadora, utilizados nos meses de janeiro a março.

JANEIRO			FEVEREIRO			MARÇO		
Matrícula	Tipo de Veículo	Transportadora	Matrícula	Tipo de Veículo	Transportadora	Matrícula	Tipo de Veículo	Transportadora
x	2 eixos	CAMIDIS	x	2 eixos	CAMIDIS	x	2 eixos	CAMIDIS
x	3 eixos	J. BARROSO	x	3 eixos	J. BARROSO	x	2 eixos	CAMIDIS
x	3 eixos	NOGUEIRA	x	3 eixos	NOGUEIRA	x	3 eixos	J. BARROSO
x	3 eixos	NOGUEIRA	x	3 eixos	NOGUEIRA	x	3 eixos	NOGUEIRA
x	2 eixos	J. BARROSO	x	2 eixos	J. BARROSO	x	3 eixos	NOGUEIRA
x	2 eixos	J. BARROSO	x	2 eixos	J. BARROSO	x	2 eixos	J. BARROSO
x	3 eixos	CAMIDIS	x	2 eixos	CAMIDIS	x	2 eixos	CAMIDIS
x	3 eixos	CAMIDIS	x	3 eixos	CAMIDIS	x	3 eixos	CAMIDIS
x	3 eixos	CAMIDIS	x	3 eixos	CAMIDIS	x	3 eixos	CAMIDIS
x	2 eixos	NOGUEIRA	x	3 eixos	CAMIDIS	x	3 eixos	CAMIDIS
x	3 eixos	CAMIDIS	x	3 eixos	CAMIDIS	x	2 eixos	NOGUEIRA
x	3 eixos	CAMIDIS	x	3 eixos	J. BARROSO	x	3 eixos	CAMIDIS
x	3 eixos	J. BARROSO	x	3 eixos	NOGUEIRA	x	3 eixos	CAMIDIS
x	3 eixos	NOGUEIRA	x	2 eixos	CAMIDIS	x	3 eixos	J. BARROSO
x	2 eixos	CAMIDIS	x	3 eixos	CAMIDIS	x	3 eixos	NOGUEIRA
x	3 eixos	CAMIDIS	x	2 eixos	CAMIDIS	x	2 eixos	CAMIDIS
x	2 eixos	CAMIDIS	x	2 eixos	NOGUEIRA	x	3 eixos	CAMIDIS
x	2 eixos	NOGUEIRA	x	2 eixos	NOGUEIRA	x	2 eixos	CAMIDIS
x	2 eixos	NOGUEIRA	x	Semi Reboque	CAMIDIS	x	2 eixos	NOGUEIRA
x	Semi Reboque	CAMIDIS	x	Semi Reboque	CAMIDIS	x	2 eixos	NOGUEIRA
x	Semi Reboque	CAMIDIS	x	2 eixos	J. BARROSO	x	Semi Reboque	CAMIDIS
x	2 eixos	J. BARROSO	x	3 eixos	ATLANTIC	x	Semi Reboque	CAMIDIS
x	2 eixos	J. BARROSO	x	3 eixos	ATLANTIC	x	2 eixos	J. BARROSO
x	3 eixos	ATLANTIC	x	3 eixos	J. BARROSO	x	3 eixos	ATLANTIC
x	3 eixos	ATLANTIC	x	3 eixos	J. BARROSO	x	3 eixos	ATLANTIC
x	3 eixos	J. BARROSO	x	2 eixos	ATLANTIC	x	3 eixos	J. BARROSO
x	2 eixos	ATLANTIC	x	3 eixos	J. BARROSO	x	3 eixos	J. BARROSO
x	2 eixos	ATLANTIC	x	3 eixos	J. BARROSO	x	3 eixos	J. BARROSO
x	2 eixos	ATLANTIC	x	Semi Reboque	CAMIDIS	x	2 eixos	ATLANTIC
x	3 eixos	J. BARROSO	x	3 eixos	J. BARROSO	x	2 eixos	ATLANTIC
x	3 eixos	J. BARROSO	x	3 eixos	ATLANTIC	x	2 eixos	ATLANTIC
x	Semi Reboque	CAMIDIS	x	2 eixos	ATLANTIC	x	3 eixos	J. BARROSO
x	3 eixos	J. BARROSO	x	2 eixos	ATLANTIC	x	3 eixos	J. BARROSO

x	3 eixos	ATLANTIC	x	3 eixos	J. BARROSO	x	Semi Reboque	CAMIDIS
x	2 eixos	ATLANTIC	x	3 eixos	J. BARROSO	x	3 eixos	J. BARROSO
x	2 eixos	ATLANTIC	x	2 eixos	J. BARROSO	x	3 eixos	ATLANTIC
x	3 eixos	J. BARROSO				x	2 eixos	ATLANTIC
x	2 eixos	J. BARROSO				x	2 eixos	ATLANTIC
						x	3 eixos	J. BARROSO
						x	3 eixos	J. BARROSO
						x	2 eixos	J. BARROSO
38 VEÍCULOS CISTERNA			36 VEÍCULOS CISTERNA			41 VEÍCULOS CISTERNA		

ZONA GEOGRÁFICA		NÚMERO DO FRETE			Local	PROCURA DO CLIENTE		NÚMERO DO CLIENTE
Desc Cod Area	matricula	nr guia	Actividade	Docs. Entrega		Qtđ. Carreg. / Entrega [kg](1)	nr local entrega	
GRANEL - NORTE DOURO	10-45-MI	379906	inicio de dia	C-376423		0	NULL	
GRANEL - NORTE DOURO	10-45-MI	379906	aspiração	AROUCA		0	NULL	
GRANEL - NORTE DOURO	10-45-MI	379906	refeição			0	NULL	
GRANEL - NORTE DOURO	10-45-MI	379906	refeição			0	NULL	
GRANEL - NORTE DOURO	10-45-MI	379906	aspiração	ESTARREJA		0	NULL	
GRANEL - NORTE DOURO	10-45-MI	379906	fim de dia	PARQUE		0	NULL	
GRANEL - NORTE DOURO	10-45-MI	379907	inicio de dia	C-376423		0	NULL	
GRANEL - NORTE DOURO	10-45-MI	379907	aspiração	AROUCA		0	NULL	
GRANEL - NORTE DOURO	10-45-MI	379907	refeição			0	NULL	
GRANEL - NORTE DOURO	10-45-MI	379907	fim de frete	6033021		0	NULL	
GRANEL - NORTE DOURO	10-45-MI	379907	fim de dia	PARQUE		0	NULL	
GRANEL - NORTE DOURO	10-45-MI	380373	inicio de dia	C-376423		0	NULL	
GRANEL - NORTE DOURO	10-45-MI	380373	aspiração	AROUCA		0	NULL	
GRANEL - NORTE DOURO	10-45-MI	380373	selecção de frete	6037647		0	NULL	
GRANEL - NORTE DOURO	10-45-MI	380373	carga	21		550	NULL	
GRANEL - NORTE DOURO	10-45-MI	380373	entrega	1472007550	S.C.M.DE AROUCA-LAR TERC.IDADE	554	5100950001	
GRANEL - NORTE DOURO	10-45-MI	380373	refeição			0	NULL	

Ilustração 9. Parte do ficheiro SGL.

Anexo 2 – Programa de Otimização de Rotas da Galp Energia

Neste anexo é apresentado o programa que foi desenvolvido e mencionado ao longo deste projeto.

O programa, tal como referido, foi desenvolvido no *Microsoft Excel 2013* com apoio ao VBA.

A ilustração 10 representa a iniciação ao programa de otimização de rotas sendo dadas as boas vindas ao utilizador e explicando o seu objetivo.



Bem Vindo ao programa de otimização de rotas da GALP Energia!

Este programa tem como finalidade calcular a rota ótima de distribuição, a ser efetuada por um veículo.
Nos próximos passos irá encontrar instruções de como utilizá-lo.



Ilustração 10. Iniciação ao programa de otimização de rotas da Galp Energia.

Posteriormente, é necessário que o utilizador importe o ficheiro com os dados semanais das rotas efetuadas. Caso este passo já tenha sido efetuado, o utilizador poderá passá-lo à frente ao selecionar a seta correspondente. Na ilustração 11 está representada a página referente a este passo.

Precisa de ajuda?

Dados da atividade semanal de GPL

Importar o ficheiro SGL

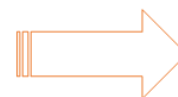


Ilustração 11. Menu de importação do ficheiro *SGL*.

Nesta janela poderão existir dois cenários: o primeiro no caso de o utilizador já ter importado o ficheiro *SGL*, e o segundo no caso de o utilizador ainda não ter importado o ficheiro *SGL*.

No primeiro cenário, o utilizador terá de seleccionar a seta para a direita para proceder ao passo seguinte. No entanto, o utilizador poderá, inconscientemente, seleccionar a seta sem primeiro ter importado o ficheiro. Para este caso, foi criado um procedimento de segurança que deteta se o ficheiro *SGL* foi realmente importado. A ilustração 12 representa a mensagem de aviso quando esta situação acontece.

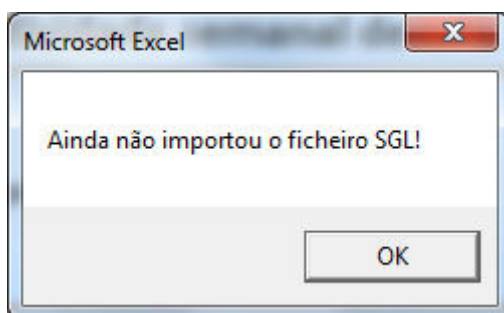


Ilustração 12. Mensagem de aviso quando não foi importado o ficheiro *SGL*.

No segundo cenário, o utilizador terá de seleccionar o botão «Importar o ficheiro SGL». Ao seleccioná-lo, surgirá a janela representada na ilustração 13.

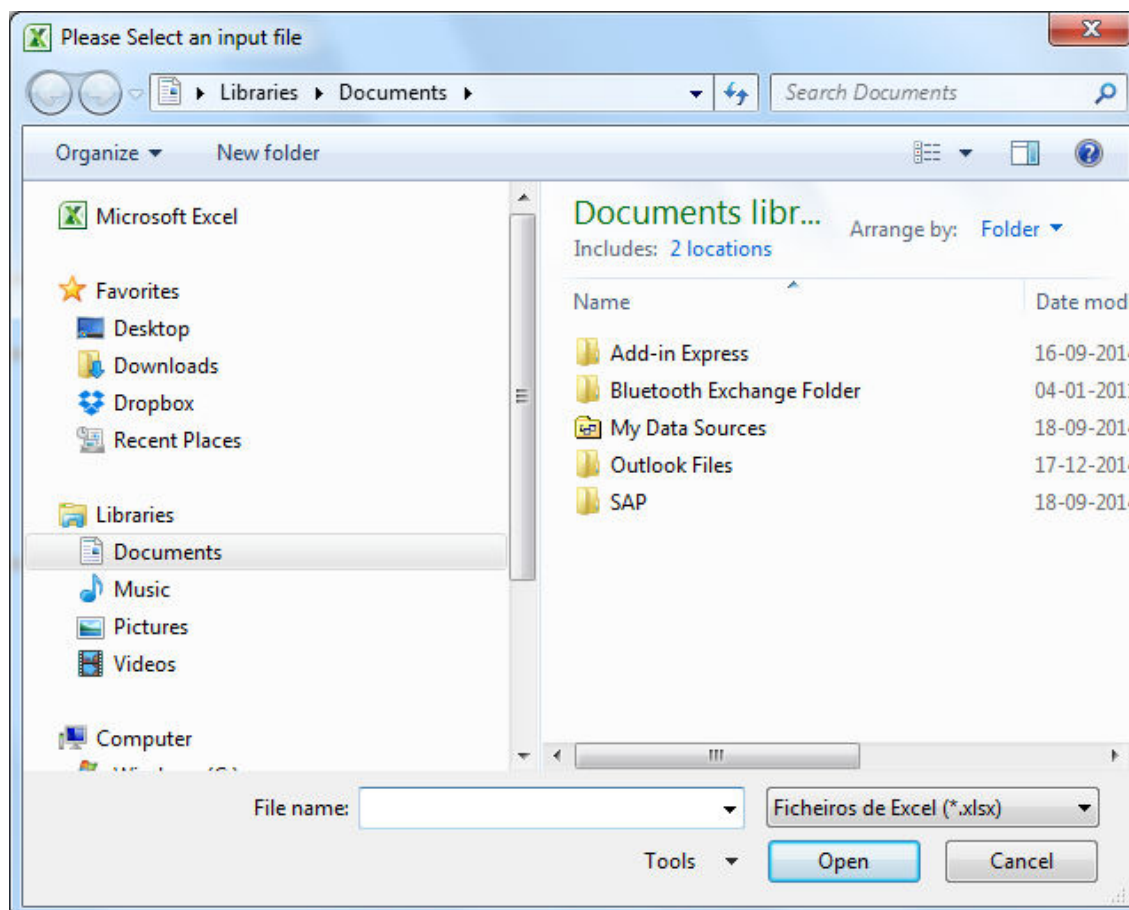


Ilustração 13. Janela de importação do ficheiro *SGL*.

O utilizador terá, então, de ir ao diretório onde se encontra o ficheiro, a ser importado, e seleccionar o botão «Open».

Após este procedimento, o ficheiro *SGL* é tratado de forma automática, com apoio ao VBA, e preparado para o próximo passo.

Caso o utilizador tenha dúvidas sobre como proceder, foi criado um botão de ajuda para o efeito, representado na ilustração 14.

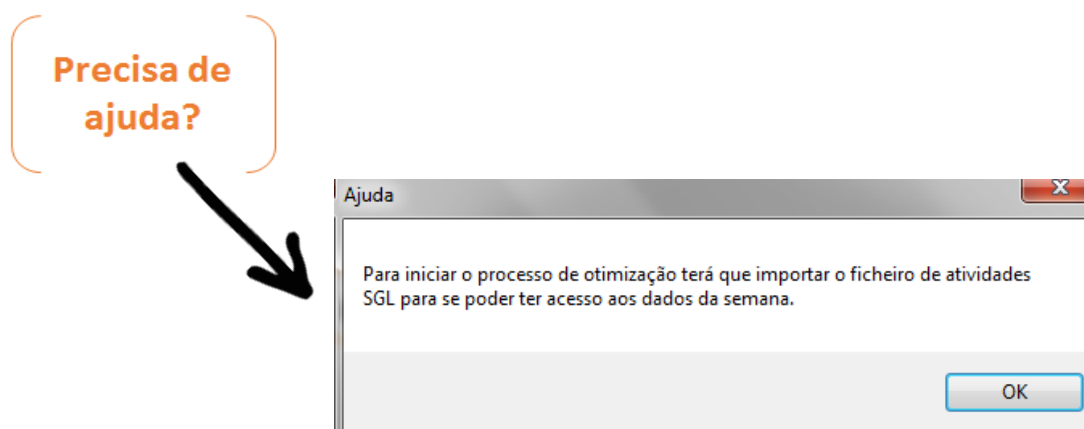


Ilustração 14. Mensagem de ajuda referente à importação do ficheiro *SGL*.

Nesta fase, o utilizador poderá escolher entre dois objetivos: minimizar a distância total percorrida, ou minimizar o tempo de viagem total.

Na ilustração 15 está representada a página onde o utilizador poderá fazer esta escolha.



Ilustração 15. Menu de escolha entre a distância total percorrida ou o tempo de viagem total.

Caso o utilizador tenha dúvidas sobre como proceder, foi criado um botão de ajuda para o efeito, representado na ilustração 16.

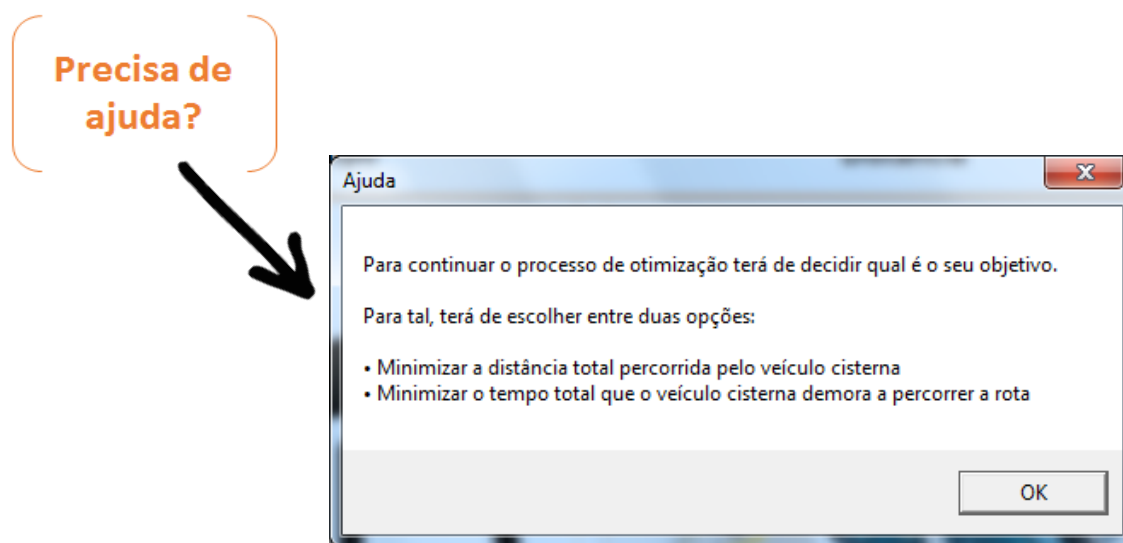


Ilustração 16. Mensagem de ajuda referente à escolha do objetivo do utilizador.

Após o utilizador decidir qual é o seu objetivo, terá de se dar início ao processo de recolha das distâncias ou tempos percorridos pelos motoristas nas diferentes rotas, para o período em questão. Nesta fase os tempos ou distâncias são escritos numa matriz de origens e destinos, em *excel*.

Na ilustração 17 está representada a página onde se dá início a esta fase do processo.

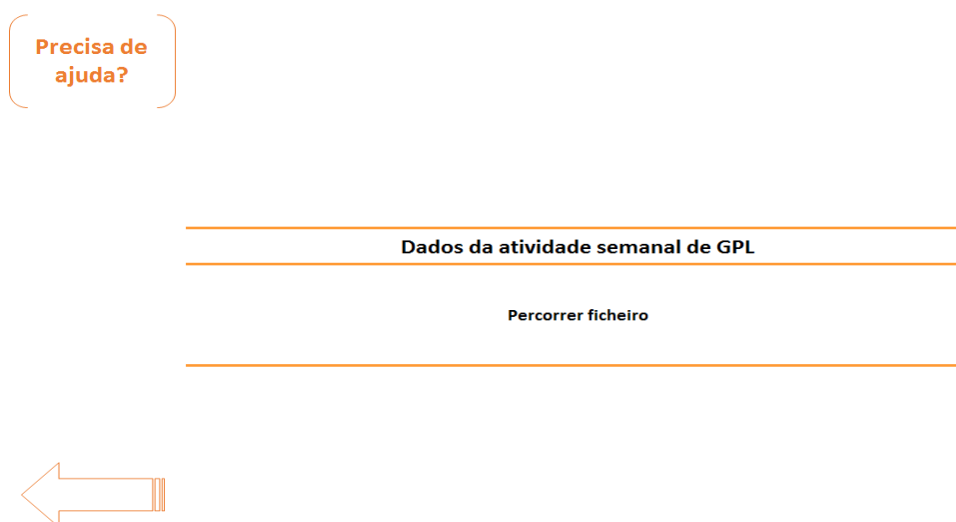


Ilustração 17. Menu de início do processo de recolha de distâncias/tempo e otimização de rotas.

Este menu permite ao utilizador iniciar o processo de recolha das distâncias/tempo entre os clientes e os parques de armazenamento para, posteriormente, serem calculadas as rotas ótimas de forma automática.

Na ilustração 18 está ilustrado um exemplo de uma matriz de distâncias a ser escrita de forma automática, onde os números começados por «5» e «6» representam os clientes de uma rota e o número «42» representa um parque de armazenamento.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2		Matriz de Distâncias/Tempo						
3	Clientes	42	5288680001	6359310001	5395120001	5097180002	5039490003	5997240001
4	42	0	153					
5	5288680001							
6	6359310001							
7	5395120001							
8	5097180002							
9	5039490003							
10	5997240001							
11								

Ilustração 18. Matriz de Distâncias/Tempo.

Como este passo é feito de forma automática, podem surgir situações em que o *Google Maps* coloque zero na distância/tempo entre os vários clientes e/ou parque. Isto acontece porque a distância/tempo é inferior a 1, ou seja, os clientes/parque localizam-se muito perto. Para que o modelo matemático funcione, é necessário garantir que não existem zeros na matriz, à exceção da diagonal que terá, naturalmente, valor zero. Posto isto, assim que a matriz acaba de ser preenchida surge uma mensagem de aviso ao utilizador, representada na ilustração 19.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2		Matriz de Distâncias/Tempo							
3	Clientes	42	5288680001	6359310001	5395120001	5097180002	5039490003	5997240001	
4	42	0	153	175	170	177	240	177	
5	5288680001	152	0	26	31	25	53	24	
6	6359310001	174	26	0	6	36	69	36	
7	5395120001	170	31	6	0	41	74	41	
8	5097180002	177	25	36	41	0	33	0	
9	5039490003	240	53	69	74	33	0	33	
10	5997240001	176	24	36	41	0	33	0	
11									
12									
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									
21									
22									

Microsoft Excel

Certifique-se que a distância entre as localidades não tem valor zero, à exceção da diagonal!
Este passo é muito importante uma vez que poderá influenciar o resultado final.

OK

Ilustração 19. Mensagem de aviso para o utilizador verificar os valores na matriz.

O valor a colocar em substituição do valor zero é baseado no senso comum de cada utilizador. Neste projeto assumiu-se 1 km de distância sempre que esta situação ocorreu.

Por fim, assim que o utilizador conclui este passo, o programa continua a correr até chegar a uma solução ótima, utilizando o *software Solver Premium* para o efeito. Todo o processo de escrever o modelo matemático em *excel* e da chegada à solução é feito de forma automática com a ajuda do VBA. Na ótica do utilizador estes passos não são observáveis. Surgirá unicamente, no fim do programa, um relatório em PDF com a comparação entre a rota gerada pelo modelo e a rota real efetuada pelo motorista.

Na ilustração 20 está representado um exemplo do relatório gerado automaticamente pelo programa, para o frete 6042988.

RESULTADOS DA ANÁLISE DO FRETE 6042988					
ROTA ÓTIMA			ROTA REAL		
Origem		Destino	Origem		Destino
42	>	5288680001	42	>	5288680001
5288680001	>	5097180002	5288680001	>	6359310001
5097180002	>	5997240001	6359310001	>	5395120001
5997240001	>	6359310001	5395120001	>	5097180002
6359310001	>	5395120001	5097180002	>	5039490003
5395120001	>	5039490003	5039490003	>	5997240001
5039490003	>	42	5997240001	>	42

A distância total ótima percorrida foi de:
453 km

A distância total realmente percorrida foi de:
468 km

Haveria lugar a uma poupança de:
15 km

Ilustração 20. Relatório, em PDF, com os resultados dados pelo programa.