

MESTRADO

Métodos Quantitativos para Decisão Económica e Empresarial

TRABALHO FINAL DE MESTRADO

Relatório De Estágio

Otimização da Distribuição de Mercadorias para as
Lojas Makro

Joana Margarida dos Santos Bastos

OUTUBRO – 2017

MESTRADO

Métodos Quantitativos para Decisão Económica e Empresarial

TRABALHO FINAL DE MESTRADO

Relatório De Estágio

Otimização da Distribuição de Mercadorias para as Lojas Makro

Joana Margarida dos Santos Bastos

Orientação:

Senhor Nelson Lopes, Coordenador do Departamento de Logística da
TFS

Prof. Doutora Margarida Maria Gonçalves Vaz Pato

OUTUBRO – 2017

Agradecimentos

Quero agradecer à administração da Transportes Florêncio & Silva pela oportunidade de estagiar e de conhecer todo o funcionamento da empresa. Um agradecimento especial ao Nelson Lopes pela orientação dada e pelos conhecimentos transmitidos e à colega Vânia Lourenço pela ajuda e apoio prestado durante este período.

Agradeço à professora Margarida Vaz Pato pela orientação, incentivo e disponibilidade ao longo de todo este processo.

Aos meus pais, família e amigos pelo apoio, incentivo e motivação durante esta fase da minha formação académica.

Glossário

Empresa

GTFS – Grupo Transportes Florêncio & Silva

TFS – Transportes Florêncio & Silva

Problema

CVRP - Capacitated Vehicle Routing Problem

DVRP - Dynamic Vehicle Routing Problem

HFVRP - Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem

HFVRPSD - Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Split Deliveries

SVRP - Stochastic Vehicle Routing Problem

VRP - Vehicle Routing Problem

VRPPD - Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery

VRPSD - Vehicle Routing Problem with Split Deliveries

VRPTW - Vehicle Routing Problem with Time Windows

Software

VBA – *Visual Basic for Applications*

Resumo

Este relatório foi desenvolvido no âmbito de um estágio na empresa Transportes Florêncio & Silva. Durante o estágio foi proposto o desenvolvimento de uma aplicação que automatizasse e otimizasse a elaboração de rotas de distribuição que a empresa faz diariamente para as lojas Makro em Portugal.

Este trabalho encontra-se dividido em duas partes. Numa primeira são estudados vários problemas de roteamento de veículos e é elaborado um modelo matemático que se ajusta ao problema em estudo. Na segunda, é apresentada a aplicação desenvolvida em linguagem VBA para Excel, baseada no algoritmo de *savings*, e procede-se à comparação entre os resultados obtidos pelo *software* e pela empresa.

Após a obtenção de rotas através do programa, conclui-se que a diferença entre os dois métodos é pouco significativa, no entanto, este permite obter resultados de forma rápida e eficiente e possibilita a adaptação do código criado às necessidades futuras da empresa, nomeadamente a introdução de novas lojas.

Palavras-chave: otimização, heurística de *savings*, roteamento de veículos, VBA

Abstract

This report was developed as part of an internship at Transportes Florêncio & Silva. During the internship it was proposed the development of an application that would automate and optimize the elaboration of daily distribution routes that the company makes for Makro stores in Portugal.

This work is divided into two parts. In the first one, several vehicle routing problems are studied and a mathematical model that fits the problem under study is elaborated. In the second one, the application developed in Excel's VBA language, based on the savings algorithm, is presented and then comparisons between the results obtained by the software and the company are made.

After using the program to determine routes, it is concluded that the difference between the two methods is not very significant, however the application allows results to be obtained quickly and efficiently and allows the adaptation of the created code to the future needs of the company, such as the introduction of new stores as variables.

Key-words: optimization, savings algorithm, vehicle routing, VBA

Índice

Agradecimentos	1
Glossário	2
Abstract	4
Índice	5
Índice de Figuras	6
Índice de Tabelas	7
Capítulo I: Introdução	8
Capítulo II: O Problema de Distribuição para a Makro.....	10
II.i Transportes Florêncio & Silva	10
História	10
Parceria com a Makro	11
II.ii Estágio na empresa	11
II.iii Apresentação do problema em estudo	12
Dados	13
Restrições	14
Capítulo III: Enquadramento Teórico	15
III.i Vehicle Routing Problem	15
III.ii Uma formulação matemática	17
III.iii Heurística de savings	20
Heurística de savings adaptada ao problema em estudo	22
Capítulo IV: Resolução do Caso de Estudo	23
IV.i Aplicação em Visual Basic for Applications	23
Dados	24
Algoritmo de savings adaptado e implementado em VBA	24
IV.ii Resultados da Aplicação	28
Comparação com os resultados obtidos na empresa	29
Capítulo VI: Conclusão	30
Referências Bibliográficas:	33
Anexos	35



Índice de Figuras

Figura 1. Rotas entre depósito 0 e todos os clientes	21
Figura 2. Ligação entre dois clientes na mesma rota	21

Índice de Tabelas

Tabela 1. Tabela da primeira página da aplicação desenvolvida em Excel.....	26
Tabela 2. Exemplo da tabela de resultados obtidos na aplicação do Excel	27
Tabela 3. Total de custos das rotas obtidas pela aplicação de 10 a 14 de outubro	28
Tabela 4. Total de custos das rotas obtidos pela TFS de 10 a 14 de outubro	29
Tabela 5. Lojas Makro em Portugal (ordenadas consoante a sua data de inauguração)	35
Tabela 6. Distância em quilómetros entre lojas	35
Tabela 7. Duração do percurso entre lojas, em horas	36
Tabela 8. Custos das portagens por percurso	36
Tabela 9. Tempo médio de descarga.....	36
Tabela 10. Tempo máximo de condução contínua	37
Tabela 11. Exemplo de tempos de pausa	37
Tabela 12. Exemplo de outros trabalhos e tempo de disponibilidade	37
Tabela 13. Matriz simétrica de quilómetros e horas na aplicação do Excel	38
Tabela 14. Tabela com valor das portagens na aplicação do Excel.....	38
Tabela 15. Rotas do dia 10 de outubro 2016	39
Tabela 16. Rotas do dia 11 de outubro de 2016	40
Tabela 17. Rotas do dia 12 de outubro de 2016	40
Tabela 18. Rotas do dia 13 de outubro de 2016	41
Tabela 19. Rotas do dia 14 de outubro de 2016	41
Tabela 20. Total dos resultados obtidos na semana de 3 a 7 de outubro de 2016	42
Tabela 21. Total dos resultados na semana de 17 a 21 de outubro de 2016	43

Capítulo I: Introdução

O sector dos transportes rodoviários de mercadorias tem um papel fundamental na economia e na sociedade portuguesa. A grande procura de mobilidade de pessoas, bens e serviços levou a uma aposta na melhoria dos itinerários rodoviários em Portugal nos últimos anos. A rapidez e facilidade de acesso que os transportes rodoviários permitem, aliadas a uma boa capacidade de carga e a uma grande flexibilidade de horários e rotas, levaram a que este sector crescesse fortemente nas últimas duas décadas. Este meio de transporte é atualmente o mais utilizado para o transporte interno de mercadorias.

Com a crise económica que se fez sentir nos últimos dez anos em Portugal, o sector dos transportes rodoviários de mercadorias sofreu graves impactos. O aumento dos preços dos combustíveis, a quebra nos bens de consumo, o excesso de empresas no sector e a pressão para praticar preços mais baixos levaram as empresas a procurar estratégias que contrariassem os efeitos negativos que estavam a sentir [15].

Apesar de nos últimos dois anos a economia portuguesa apresentar algumas melhorias e o sector dos transportes rodoviários ter vindo de novo a crescer, muitos dos desafios que foram sentidos nos piores anos da crise financeira continuam a ser uma realidade para muitas das empresas que integram o sector. Na tentativa de reduzir os custos associados à logística dos transportes muitas empresas procuram uma maneira de otimizar as rotas feitas pelos seus veículos.

É com base na necessidade da otimização de rotas que, no decurso do estágio realizado na empresa Transportes Florêncio & Silva, surgiu este estudo que visa otimizar

as rotas de transporte de mercadorias que a empresa realiza diariamente para as lojas Makro em Portugal. Com este trabalho pretende-se, assim, automatizar o processo de criação de rotas, que é atualmente feito de forma manual, tornando o processo mais rápido e eficiente, e também deixar uma ferramenta informática que possa ser utilizada futuramente caso abram novas lojas da Makro em Portugal.

A metodologia de resolução do problema de rotas foi estruturada com base no algoritmo de *savings*, criado por *Clarke and Wright* [3] e foram criadas duas aplicações computacionais que ajudam à criação das rotas, uma no *Visual Basic for Applications (VBA)* do *Excel* (2013) e outra no *VBA* do *Access* (2013). Inicialmente a aplicação para a obtenção de rotas começou a ser desenvolvida em *VBA* do *Excel*, mais tarde foi proposto o desenvolvimento da mesma em *Access*. Deste modo as duas aplicações foram desenvolvidas paralelamente ao longo do estágio.

O presente trabalho encontra-se dividido em cinco capítulos.

No segundo capítulo é apresentada a história da TFS e um breve resumo da sua parceria com a Makro. De seguida serão apresentados os dados, suas características, objetivos e restrições do Problema de Distribuição de Mercadorias para as Lojas Makro.

Na primeira parte do terceiro capítulo são abordados os vários problemas de otimização de rotas e diferentes métodos de resolução e na segunda é apresentada uma formulação matemática para um problema simplificado tendo em conta algumas características e restrições que foram apresentadas nos capítulos antecedentes, sendo explicado o algoritmo de *savings* desenvolvido por *Clarke & Wright* [3] e a sua adaptação ao problema em estudo.

No quarto capítulo, será explicado o funcionamento do algoritmo criado em *VBA* para o *Excel* e para o *Access* com base no algoritmo de *savings* e que servirá para a construção das rotas. Posteriormente, serão expostos os resultados obtidos pelo *software* e, finalmente, comparados com as rotas obtidas pela empresa.

Por fim, serão apresentadas as conclusões finais retiradas deste trabalho, as referências bibliográficas e anexos.

Capítulo II: O Problema de Distribuição para a Makro

II.i Transportes Florêncio & Silva

História

A Transportes Florêncio & Silva (TFS) é uma empresa que atua no sector de transporte rodoviário de mercadorias, e é atualmente uma das maiores empresas nacionais de transportes e logística a atuar em território português.

A sua história começa nos anos 40, quando Florêncio Simões transportava, numa carroça puxada por três mulas, produtos hortícolas e frutícolas produzidos na zona da Malveira, para serem comercializados na Praça da Figueira em Lisboa.

Mais tarde, em Janeiro de 1968, Florêncio Simões e o seu filho mais velho, Zeferino da Silva Simões, criaram a empresa “Transportes Florêncio & Silva, Lda”.

Nos anos 70, Florêncio Simões foi substituído no lugar de sócio gerente pelo seu outro filho António Luís Simões. Até aos dias de hoje a empresa é gerida pelos dois irmãos.

Ao longo dos anos a necessidade de crescimento da empresa, aliada à constante evolução do mercado, levou à aquisição e criação de várias outras empresas. Assim, fazem atualmente parte do Grupo Transportes Florêncio & Silva (GTFS) as seguintes empresas: “Transportes Florêncio & Silva, SA”, “ZAS – Transportes e Logística, SA”, “Auto Reparadora do Vale Casal, Lda”, “Imobiliária do Vale Casal, SA”, “ACRV – Comércio de Veículos e Peças, SA” e “Serviroda” [14].

Parceria com a Makro

A Makro é uma empresa de distribuição grossista de produtos alimentares e não alimentares. A parceria entre as duas empresas começou em 1989, quando a Makro chegou pela primeira vez a Portugal, sendo que a primeira loja abriu em 1990 em Alfragide. Numa fase inicial a TFS apenas transportava os produtos do armazém para as lojas. Mais tarde começou a tratar da parte logística da Makro e também a servir de apoio à abertura de novas lojas.

Atualmente a TFS, para além de tratar da logística e do transporte de mercadorias entre armazéns e lojas, também distribui produtos entre as lojas e clientes da Makro (*MAKRO GO* e *MAKRO Delivery*).

II.ii Estágio na empresa

A primeira parte do estágio teve como objetivo conhecer o modo de funcionamento da empresa, nomeadamente o processo logístico das mercadorias em armazém, as rotas feitas pelos veículos e os cuidados a ter com as mesmas (escolha de percursos mais económicos e que evitem portagens) e conhecer a forma como são

elaboradas manualmente as rotas diárias para as lojas. Foi a partir daqui que surgiu a ideia de criar uma aplicação que automatizasse a criação de rotas.

Na segunda parte do estágio procedeu-se à recolha e tratamento dos dados dos registos da empresa necessários ao estudo do problema e respetiva aplicação.

II.iii Apresentação do problema em estudo

O problema em estudo consiste na otimização de rotas diárias de distribuição para as lojas Makro a partir do armazém do Milharado, região da Malveira, de modo a que os custos da empresa sejam os mais baixos possíveis. A distribuição de mercadorias é feita de forma fracionada, ou seja, os clientes podem ser servidos mais do que uma vez por dia pelo mesmo ou diferentes veículos.

Todo o processo começa pela encomenda de produtos por parte da Makro aos fornecedores. Estes artigos são entregues no armazém da TFS que está localizado no Milharado e encontra-se dividido em quatro secções:

- Produtos Alimentares (PT08) e Produtos Não-Alimentares (PT09) – correspondem aos produtos guardados em *stock* e que são escoados apenas quando são necessários;
- Delivery (PT11) – parte do armazém que recebe os pedidos de encomenda dos clientes Makro e que separa a mercadoria para ser entregue ao domicílio;
- Cross-Docking (PT06) - mercadoria que não chega a ser armazenada, ou seja, no mesmo dia os produtos são separados e entregues nas lojas correspondentes.

De modo a que seja possível elaborar rotas rápidas e eficientes é necessário ter em consideração as várias características e restrições associadas a este problema.

Dados

- Produtos – Os produtos que a TFS armazena e transporta para a Makro são bens não alimentares e bens alimentares não perecíveis, que estão armazenados consoante está descrito acima. Desta forma, não é necessário a utilização de veículos frigoríficos para realizar o transporte. Toda a mercadoria que é distribuída pela TFS à Makro está contida em paletes.

- Lojas - Atualmente a Makro tem em Portugal 10 lojas localizadas em Alfragide, Matosinhos, Gaia, Palmela, Albufeira, Braga, Cascais, Faro, Leiria e Coimbra. Cada uma destas está associada a uma determinada janela temporal na qual a sua procura diária tem de ser satisfeita.

- Frota – A TFS tem disponíveis 17 camiões (14 fixos e 3 suplentes). Destes, 16 camiões têm capacidade de transporte até 33 paletes e um tem uma capacidade para 23 paletes. Cada motorista está previamente associado a um carro e este está disponível para servir em cada rota, se necessário, mais do que uma loja.

- Tempo de carga e descarga – Em média o tempo que demora para carregar o veículo no armazém é de 20 minutos. Para o tempo de descarga foi calculada uma média com os valores do mês de outubro de 2016 para todas as lojas, sendo que o valor usado para este trabalho foi de 38 minutos. Estes valores podem ser encontrados no anexo A.

- Tempo de condução, distâncias e custos das portagens – Para que fosse possível realizar este trabalho foi necessário fazer um levantamento, através do sistema de GPS disponível

nos veículos, das distâncias (em quilómetros) entre o armazém e as lojas, dos tempos de condução e das portagens. Estes valores estão representados no anexo A. A partir destes valores é assim possível calcular o tempo e as despesas inerentes a cada rota. Por exemplo, para Alfragide o motorista percorre 68 km (34 km *2), gasta 4,10 € em portagens e demora no total 2:12 horas (20 min para carregar, 38 min para descarregar e 1:14 horas de condução).

Restrições

- Restrição na capacidade dos veículos – Como já foi dito anteriormente, cada veículo tem um número máximo de paletes que pode transportar. Apesar de estar imposto um limite de paletes, por vezes, este é ultrapassado. Ou seja, um veículo que tem um limite de 33 paletes, por vezes, pode conseguir transportar até 38 paletes. Este pormenor vai ser considerado na resolução do problema em estudo.

- Restrição nos tempos de condução dos motoristas – Outro fator que vai condicionar a organização das rotas é o tempo máximo de condução que um motorista pode realizar num dia. Os tempos de trabalho para motoristas podem ser consultados no Regulamento (CE) nº 561/2006 [16]. Segundo este regulamento o horário de trabalho pode ser dividido em condução, pausa, outros trabalhos e disponibilidade. O motorista só pode conduzir de forma ininterrupta durante quatro horas e meia. Após este tempo é obrigatório parar para descansar no mínimo quarenta e cinco minutos. Diariamente o condutor não pode conduzir mais do que nove horas sendo que duas vezes por semana pode fazer até dez horas. O tempo de outros trabalhos corresponde a trabalhos relacionados com as atividades de transporte que não seja a condução como, por exemplo, a realização de carga e descarga de mercadoria ou limpeza e manutenção da viatura. Por fim, a

disponibilidade consiste no período de tempo durante o qual o motorista não tem de permanecer no seu local de trabalho mas tem de estar disponível para possíveis pedidos de trabalho quando necessário. Os tempos de condução podem ser consultados no anexo A.

- Restrição de janelas temporais – Cada loja está associada a várias janelas temporais. Ao criar as rotas de distribuição é necessário ter em conta a hora a que o veículo vai chegar e o tempo de descanso. Todas as lojas têm estipulado determinados horários que variam consoante o dia da semana. Devido ao grande número de janelas temporais que existe para cada loja, esta restrição não se torna limitativa para a empresa. Deste modo as janelas temporais não são consideradas na definição do problema.

Capítulo III: Enquadramento Teórico

III.i *Vehicle Routing Problem*

Nesta secção serão brevemente abordadas algumas das principais variantes do *Vehicle Routing Problem* (VRP). A grande evolução económica, social e tecnológica que ocorreu nas últimas décadas, levou a que os transportes assumissem uma posição bastante relevante nos nossos dias. A constante necessidade de criar novas variantes do VRP tradicional que dessem resposta aos problemas reais que vão surgindo, levou a que este tema se tornasse um dos mais estudados em Investigação Operacional. Assim, define-se como VRP a elaboração de rotas entre um depósito ou armazém e os diversos clientes de uma determinada região num determinado período de tempo. Em cada uma destas rotas todos os clientes abrangidos pela rota têm de ser abastecidos e apenas podem ser servidos por um veículo e numa só vez. O VRP tem como objetivo encontrar a

solução ótima que leve ao menor custo possível das rotas e tal que todas as restrições do problema sejam satisfeitas [11].

Variantes do VRP

De forma a dar resposta ao constante aparecimento de novos problemas reais, têm sido estudadas, no âmbito do domínio da Investigação Operacional, variantes ao VRP tradicional, nomeadamente:

- *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)* – Esta variante é das mais elementares do VRP, foi estudada inicialmente por Dantzig e Ramser em 1959 [5], e impõe restrições à quantidade de mercadoria a ser transportada em cada rota. Esse limite é definido pela capacidade máxima dos veículos.
- *Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem (HFVRP)* – Este problema é uma vertente do CVRP, mas em vez de assumir que todos os veículos são iguais, há disponibilidade de vários tipos de veículos com diferentes capacidades [8].
- *Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)* – Esta variante do VRP consiste na atribuição de restrições à hora da entrega da mercadoria. Ou seja, cada cliente deve ser visitado apenas uma vez por um veículo dentro de um determinado intervalo de tempo [1].
- *Vehicle Routing Problem with Split Deliveries (VRPSD)* – Nesta vertente do VRP é aceite que um cliente possa ser visitado mais do que uma vez e por diferentes veículos desde que todas as restrições do problema sejam satisfeitas e que os custos totais das rotas sejam minimizados [2].
- *Stochastic Vehicle Routing Problem (SVRP)* – Em muitos dos problemas de rotas não é possível conhecer exatamente todos os parâmetros. Nesta situação, o SVRP

assume uma determinada aleatoriedade nos clientes, procura ou tempos de viagem, consoante as características do problema [7]. Assim, a solução encontrada neste problema é a que se espera que tenha o menor custo total.

- *Dynamic Vehicle Routing Problem (DVRP)* – Esta variante do VRP tem em conta os possíveis imprevistos que as rotas podem sofrer em tempo real, e que pode levar a uma alteração nos parâmetros previamente usados como, por exemplo, uma alteração nos pedidos dos clientes [13]. Sendo assim necessária a criação de novas rotas que solucionem estes problemas.
- *Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery (VRPPD)* – Esta vertente do VRP estuda os problemas onde é preciso entregar e recolher mercadoria na mesma rota. Sendo assim, é necessário que o veículo escolhido para o transporte tenha capacidade de não só fazer a entrega mas também a recolha de bens [10].

O problema a ser estudado neste trabalho consiste num VRP com uma frota heterogénea, fracionamento na distribuição de mercadorias e limite de capacidade dos veículos, ou seja, um problema do tipo *Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem with Split Deliveries* (HFVRPSD) com a particularidade de os veículos poderem realizar várias rotas.

III.ii Uma formulação matemática

Apresenta-se nesta secção uma formulação matemática para o VRPSD, seguindo o estudo de Dror, Laporte & Trudeau [6]. Esta formulação corresponde a uma formulação simplificada do Problema de Distribuição de Mercadorias para as Lojas Makro, pois esta não tem em conta que um veículo pode realizar várias rotas. Apresenta-se, assim, os

índices, parâmetros e variáveis usadas nesta formulação seguidos da função objetivo e restrições.

- Índices:

i, j – local (loja/armazém) de partida ou de chegada ($i, j \in N = 0, \dots, n$, sendo $i = 0$ o armazém)

v – veículo/motorista

- Parâmetros e conjuntos:

n – número de lojas a visitar por dia

m – número de veículos

c_{ij} – custo de deslocação entre o local i e o local j

d_{ij} – distância entre o local i e o local j

D_v – tempo máximo que o motorista v pode conduzir diariamente

q_i – quantidade diária a entregar na loja i

Q_v – capacidade máxima do veículo v

t_{ij} – tempo de viagem entre o local i e o local j

t_i – tempo de carga/descarga no local i

$V(S)$ – número mínimo de veículos necessários para satisfazer a procura total das lojas de S

\bar{S} – subconjunto de lojas complementar de S em $N \setminus \{0\}$

- Variáveis de decisão

X_{ijv} – variável binária que toma o valor 1 quando o veículo v visita o local j após ter visitado o local i , caso contrário assume o valor 0

y_{iv} – proporção da procura da loja i entregue pelo veículo v

- Função objetivo

$$\text{Minimizar } \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{v=1}^m c_{ij} x_{ijv} \quad (1)$$

- Restrições

$$\sum_{i=0}^n x_{ipv} = \sum_{j=0}^n x_{p jv}, v = 1, \dots, m; p = 0, \dots, n \quad (2)$$

$$\sum_{v=1}^m y_{iv} = 1, i = 1, \dots, n \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n q_i y_{iv} \leq Q_v, v = 1, \dots, m \quad (4)$$

$$\sum_{j=0}^n x_{ijv} \geq y_{iv}, v = 1, \dots, m, i = 1, \dots, n \quad (5)$$

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n (t_{ij} + t_i) x_{ijv} \leq D_v, v = 1, \dots, m \quad (6)$$

$$\sum_{v=1}^m \sum_{i \in S, j \in \bar{S}} x_{jiv} \geq V(S), S \subseteq N \setminus \{0\}; |S| \geq 2 \quad (7)$$

$$x_{ijv} \in \{0,1\}, i, j = 1, \dots, n; v = 1, \dots, m \quad (8)$$

$$0 \leq y_{iv} \leq 1, i = 0, \dots, n; v = 1, \dots, m \quad (9)$$

A função objetivo (1) apresentada a minimizar representa o custo total das rotas. A restrição (2) relaciona-se com as condições de conservação de fluxo, ou seja, se um veículo chega a um local, parte desse local. A restrição (3) garante que a procura de cada loja é totalmente satisfeita. A restrição (4) certifica que a capacidade dos veículos não é ultrapassada. A restrição (5) garante que se o veículo v visita a loja i , então este também sai da mesma loja. Na restrição (6) é imposto do limite de tempo para a condução do veículo v pelo motorista, ou seja, a duração máxima que a rota pode ter. A inequação (7) impede a existência de sub-rotas e garante a satisfação da procura para as lojas do conjunto S . Por fim, a restrição (8) assegura que cada uma das variáveis de definição é binária e a (9) define o domínio de cada uma das variáveis de proporção.

Esta formulação matemática tem um número exponencial de restrições em resultado da restrição (7) que é aplicada para todos os subconjuntos de $N \setminus \{0\}$ de cardinalidade superior ou igual a dois, o que não torna eficiente a sua utilização para a resolução de problemas reais. Para além desta limitação, a formulação não contempla que cada veículo possa fazer mais do que uma rota.

Desta forma, a metodologia desenvolvida para resolver este problema não tomou partido desta formulação matemática, como se verá na secção seguinte.

III.iii Heurística de *savings*

Desde o começo do estudo de problemas de roteamento na área de Investigação Operacional têm surgido diversos métodos heurísticos para dar resposta à grande complexidade computacional destes problemas [12]. Neste trabalho vai ser implementada e aplicada uma adaptação da heurística de *savings* desenvolvida em 1964 por *Clarke & Wright* [3]. Este método pretende resolver problemas de rotas que envolvam veículos com diferentes capacidades e que servem um largo conjunto de clientes que podem receber os produtos de forma fracionada. Na fase inicial (passo 0) da heurística de *savings*, são criadas n rotas com n hipotéticos veículos que ligam todos os clientes ao depósito. Considerando um exemplo de um problema simétrico com um depósito 0 e três clientes, a distância total inicial a ser percorrida é $\sum_{i=1}^3 2d_{0i}$ (Figura 1).

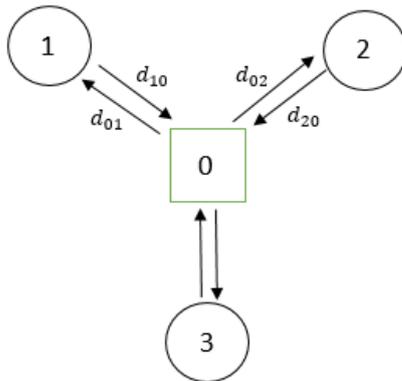


Figura 1. Rotas entre depósito 0 e todos os clientes

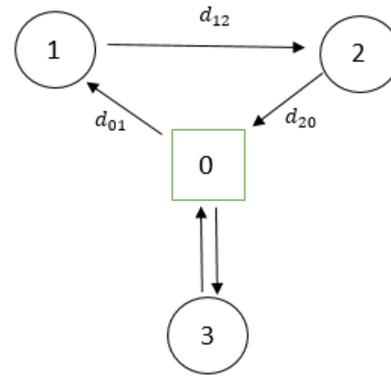


Figura 2. Ligação entre dois clientes na mesma rota

De seguida calcula-se a poupança (*saving*) que é feita quando se unem dois clientes entre si. Na figura 2, temos uma nova rota em que foi criada uma ligação entre o cliente 1 e o 2, sendo que a nova distância é $d_{01} + d_{12} + d_{20}$. Ao gerar esta ligação consegue-se usar apenas um veículo para realizar o trajeto entre os dois clientes e o depósito, eliminando a união d_{10} e d_{02} . Esta poupança (*saving*) corresponde à diferença entre a distância inicialmente percorrida e a nova distância. Podemos, assim, calcular valor da poupança como sendo $s_{1,2} = (2 * d_{01} + 2 * d_{02}) - (d_{01} + d_{12} + d_{20}) = (d_{01} + d_{20} - d_{12})$.

Repetindo estes cálculos para todos os pares de clientes, obtemos uma lista de *savings* P que se ordena por ordem decrescente.

No passo 1 da heurística, escolhe-se o primeiro *saving* da lista criada. Para que seja criada uma ligação entre os dois clientes, estes têm de fazer ligação ao depósito, a soma da procura dos clientes tem de ser igual ou inferior à capacidade do veículo e o tempo da rota não pode ser superior ao tempo máximo de condução que motorista pode

realizar. Se todas estas condições se verificarem é criada uma ligação entre estes dois clientes, remove-se este *saving* da lista criada e passa-se ao seguinte *saving*.

No passo 2, se $P = \emptyset$ o algoritmo chega ao fim, pois já não existem clientes para fazer novas ligações. Caso contrário, retorna-se o passo 1 [9].

Heurística de *savings* adaptada ao problema em estudo

O problema em estudo vai ser resolvido em duas partes.

Na primeira parte, são calculados, para cada loja, o número de rotas cujos veículos atingem a sua capacidade máxima e o resto das paletes, ou seja, o número de paletes que não são suficientes para atestar um veículo. Nesta fase, considera-se que o limite de capacidade do veículo é de 33 paletes por veículo e ainda não se tem em conta o tempo máximo de condução diária que o motorista pode fazer, visto que se assume que o tempo de viagem de ida e volta é inferior ao tempo máximo de condução diária. É importante mencionar que como existe apenas um veículo com capacidade diferente (23 paletes) este não vai ser considerado na construção do código, sendo a rota para este veículo definida logo no início do planeamento.

Na segunda parte do método de resolução, a heurística de *savings* vai propor uma solução para a distribuição do resto das paletes. Nesta parte, considera-se que o limite da capacidade dos veículos é de 38 paletes e passa-se também a ter em conta o tempo máximo de condução que um motorista pode fazer diariamente. Deste modo, cria-se uma lista ordenada de *savings* e, começando pelo topo da lista, verifica-se se a soma dos restos das duas lojas relativas a essa primeira posição não ultrapassa o limite de capacidade do veículo e se o tempo de condução máximo não é ultrapassado. Caso as restrições acima apresentadas não sejam violadas é criada uma rota que parte do depósito e liga duas

lojas. Este processo vai sendo repetido até não ser possível escolher mais ligações para criar rotas com duas lojas. Como só em casos muito raros são realizadas rotas com três ou mais lojas, o código desenvolvido apenas cria rotas com duas lojas no máximo.

Capítulo IV: Resolução do Caso de Estudo

IV.i Aplicação em *Visual Basic for Applications*

Neste capítulo vai ser abordada a implementação do método de resolução do problema em estudo. Foram desenvolvidas duas aplicações, uma em *Visual Basic for Applications* (VBA) do Excel e outra em VBA do Access. Ambas as aplicações têm por base o algoritmo de *savings* adaptado, descrito na secção III.iii, e obtêm os mesmos resultados mas, para efeito deste relatório, vai ser explicado apenas o programa desenvolvido em Excel.

O código criado pretende dar resposta aos objetivos e restrições do problema, tentando, assim, criar rotas em que a distância, duração e custos da mesma sejam os mais baixos possíveis, cumprindo os tempos de condução dos motoristas e os restantes condicionalismos. O código deve ser visto como uma ferramenta de auxílio à criação de rotas mas as soluções dadas pelo mesmo podem ser alteradas manualmente caso se pretenda soluções que o *software* não determinou.

Os ficheiros de Excel (e Access), que foram criados para o efeito, contêm as distâncias entre lojas e armazém, limites de tempo na condução, tempos de carga e descarga, etc. Caso seja necessário acrescentar uma nova loja, apenas será necessário inserir os respetivos dados no ficheiro.

Dados

Como já foi dito anteriormente, a aplicação já contém a maioria dos dados necessários, nomeadamente: as distâncias em quilómetros, duração das viagens e custo das portagens entre lojas e armazém. Estes dados foram recolhidos através do sistema de GPS presente nos veículos e pela aplicação *Google Maps* e foram introduzidos numa matriz simétrica que se encontra nas duas aplicações criadas (anexo B). Apenas foram recolhidos os dados relativos às ligações entre armazém e lojas que fazem ligação entre si.

Para que o programa possa encontrar solução para o problema de rotas, será necessário introduzir os dados relativos ao dia e que consistem no número de paletes por loja. É também importante referir que os motoristas já estão previamente escolhidos e atribuídos aos veículos, não sendo necessário ao programa fazer essa escolha.

Para efeito do relatório de estágio foram calculadas rotas, através do *software*, para as três primeiras semanas do mês de outubro de 2016. Na próxima secção será apresentado o total dos resultados obtidos para a semana de 10 a 14 de outubro. No anexo C encontram-se os resultados diários dessa semana e o total dos resultados das semanas de 3 a 7 de outubro e de 17 a 21 de outubro.

Algoritmo de *savings* adaptado e implementado em VBA

Começa-se por apresentar um pseudocódigo que explica resumidamente o funcionamento do algoritmo desenvolvido.

Pseudocódigo do algoritmo:

Passo 0. {Início}

Ler os dados relativos às quantidades de mercadoria e às capacidades dos veículos

Calcular para cada loja i o número inicial de rotas, $rotas_i = \lfloor q_i \div Q_v \rfloor$

Calcular para cada loja i o número de paletes que sobram,

$$resto_i = q_i - Q_v \times rotas_i$$

Passo 1. {Ler outros dados e criar rotas iniciais}

Ler restantes dados (distâncias, tempos de viagem e custo das portagens)

Criar as rotas para os veículos que realizam as rotas iniciais

Passo 2. {Calcular *savings*}

Calcular *savings* para cada par de lojas, $s_{ij} = d_{0i} + d_{j0} - d_{ij}$

Ordenar os valores calculados de forma decrescente

Passo 3. {Criar ligações entre lojas}

Escolher o primeiro par de lojas da lista (i, j)

Repetir

Se $Q_v \geq resto_i + resto_j$ e $D_v \leq t_{0i} + t_{ij} + t_{j0}$

 Criar uma rota com ligação entre as duas lojas

 Calcular custos da nova rota

Caso contrário

 Passar ao próximo *saving*, do par (i, j)

Até que não haja mais ligações possíveis para juntar rotas com uma loja

Fim

A complexidade computacional do algoritmo é determinada pela fase de ordenação da lista de *savings*. Para esta fase foi usado o algoritmo *Quicksort* e a sua complexidade (no caso médio) é $O(n \log n)$ [4].

A inicialização do algoritmo exige a introdução do número de paletes a expedir para cada loja. A partir destes valores é calculado (passo 0) o número mínimo de viagens (por loja) que são necessários para satisfazer a procura dos clientes e o resto da divisão do número total de paletes pela capacidade máxima dos veículos. Este último valor

(resto) vai ser usado, posteriormente, para a criação das ligações entre lojas. A tabela 1 mostra a primeira página do ficheiro do Excel com os dados relativos ao dia 10 de outubro. Na coluna A estão apresentadas as lojas, da coluna B à F estão o número de paletes por secção do armazém, na coluna G está o total de paletes por loja, na coluna H o número de veículos que atingem a capacidade máxima, a coluna I mostra o número (arredondado) de veículos necessários e, por fim, na coluna J está apresentado o resto das paletes. Observando a tabela, podemos constatar que para Gaia vão dois veículos com 33 paletes cada e sobram 11 paletes que não chegam para encher um veículo.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		PT06	PT08	PT09	PT11	Tranfs	Total	Completos	Reb.	Resto			
2	Alfragide	128	33	12	18	0	191	5	5,79	26		10-10-2016	
3	Matosinhos	37	12	2	14	0	65	1	1,97	32			
4	Gaia	36	17	1	23	0	77	2	2,33	11			
5	Palmela	29	16	2	10	0	57	1	1,73	24			
6	Albufeira	20	12	3	19	0	54	1	1,64	21			
7	Braga	23	18	2	8	0	51	1	1,55	18			
8	Cascais	32	10	1	9	0	52	1	1,58	19			
9	Faro	16	4	0	4	0	24	0	0,73	24			
10	Leiria	17	3	1	5	0	26	0	0,79	26			
11	Coimbra	33	9	1	16	0	59	1	1,79	26			
12	TOTAL	371	134	25	126	0	656	13	19,9	227			

Tabela 1. Tabela da primeira página da aplicação desenvolvida em Excel

O procedimento seguinte (passo 1) consiste em ler o número de lojas, as distâncias, horas, preço das portagens, tempo de carga e descarga. Este passo é importante pois caso o utilizador acrescente uma nova loja, não será necessário alterar o código. Após a leitura dos dados, o código calcula os *savings* para a distribuição dos restos e cria uma lista ordenada de forma decrescente (passo 2). Seguidamente (passo 3), começando pelo topo da lista, o código verifica se o limite da capacidade dos veículos e o tempo máximo de condução diária não são ultrapassados quando são unidas duas lojas e, caso este limite não seja ultrapassado, é criada uma rota. A aplicação vai repetindo este passo até já não haver ligações possíveis entre rotas com uma só loja. É importante

relembrar que nesta fase o programa considera que o limite da capacidade dos veículos é de 38 paletes e que se limitaram as rotas a duas lojas no máximo.

As rotas criadas são apresentadas numa tabela que contém o número de viagens necessário para que a procura dos clientes seja satisfeita, as ligações criadas entre lojas, os quilómetros feitos, o combustível gasto, o custo das portagens, o tempo de condução e o tempo total para realizar a entrega tendo em conta o tempo de carga e descarga. O custo do combustível é calculado com base no consumo médio dos veículos (33 l/100 km) e o preço do combustível para a semana em estudo (1,22 €/litro). Estes valores são uma estimativa podendo não representar o valor real gasto em combustível. A tabela 2 mostra as rotas obtidas para o mesmo dia (10 de outubro). Podemos observar que a aplicação criou três pares de ligações: Braga e Gaia, Palmela e Albufeira e Palmela com Faro. O resto das paletes são entregues num veículo que não atinge a sua capacidade máxima, por exemplo, para Alfragide numa das viagens apenas serão entregues 26 paletes.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Loja	Nº Viagens	Paletes	Km	Combustível	Portagens	Horas por Viagem	Condução por Viagem		
2	Alfragide		6	26	408	168,30 €	24,60 €	2:12	1:14	
3	Matosinhos		2	32	1228	506,55 €	143,90 €	9:17	7:32	Limpar
4	Gaia		2	0	1160	478,50 €	143,90 €	8:55	7:10	
5	Palmela		1	0	110	45,38 €	11,10 €	2:42	1:44	
6	Albufeira		1	0	528	217,80 €	24,55 €	8:29	6:44	
7	Braga		1	0	700	288,75 €	31,71 €	9:53	8:08	
8	Cascais		2	19	144	59,40 €	0,00 €	2:32	1:34	
9	Faro		0	0	0	0,00 €	0,00 €	9:05	7:20	
10	Leiria		1	26	288	118,80 €	16,85 €	6:21	4:36	
11	Coimbra		2	26	840	346,50 €	33,70 €	7:33	5:48	
12	Braga	Gaia	1	29	706	291,23 €	47,48 €	11:56	9:33	
13	Palmela	Albufeira	1	34	555	228,94 €	35,77 €	9:33	7:10	
14	Palmela	Faro	1	35	636	262,35 €	35,77 €	9:42	7:57	
15					7303	3.012,49 €	549,33 €			
16										
17										
18										

Tabela 2. Exemplo da tabela de resultados obtidos na aplicação do Excel

IV.ii Resultados da Aplicação

Serão agora apresentados os resultados obtidos através da aplicação desenvolvida em VBA. Os valores apresentados na tabela 3 correspondem à expedição de mercadoria que decorreu entre 10 e 14 de outubro de 2016. Nesta tabela podemos encontrar nas primeiras duas colunas a loja ou união de lojas que vão ser abastecidas, na terceira coluna são apresentados os números de veículos/percursos necessários, na quarta, quinta e sexta colunas temos os quilómetros, custo do combustível e portagens por viagem e, por fim, as duas últimas colunas contêm o tempo total de viagem e de condução por trajeto.

<u>Loja(s)</u>	<u>Nº de Viagens</u>	<u>Km</u>	<u>Combustível</u>	<u>Portagens</u>	<u>Horas p/ Viagem</u>	<u>Condução p/ Viagem</u>	
Alfragide	32	2176	897,60 €	131,20 €	2:12	1:14	
Matosinhos	10	6140	2.532,75 €	719,50 €	9:17	7:32	
Gaia	9	5220	2.153,25 €	647,55 €	8:55	7:10	
Palmela	9	990	408,38 €	99,90 €	2:42	1:44	
Albufeira	6	3168	1.306,80 €	147,30 €	8:29	6:44	
Braga	5	3500	1.443,75 €	158,55 €	9:53	8:08	
Cascais	11	792	326,70 €	0,00 €	2:32	1:34	
Faro	3	1848	762,30 €	73,65 €	9:05	7:20	
Leiria	8	2304	950,40 €	134,80 €	6:21	4:36	
Coimbra	8	3360	1.386,00 €	134,80 €	7:33	5:48	
Albufeira	Faro	3	1833	756,11 €	73,73 €	10:03	7:40
Albufeira	Palmela	1	555	228,94 €	35,77 €	9:33	7:10
Braga	Gaia	1	706	291,23 €	47,48 €	11:56	9:33
Braga	Matosinhos	2	1414	583,28 €	94,93 €	11:48	9:25
Cascais	Palmela	1	146	60,23 €	9,05 €	3:15	1:39
Coimbra	Braga	1	727	299,89 €	24,38 €	11:17	8:54
Coimbra	Gaia	1	610	251,63 €	48,90 €	10:01	7:38
Coimbra	Matosinhos	1	637	262,76 €	48,91 €	10:32	8:09
Leiria	Gaia	1	612	252,45 €	48,92 €	10:00	7:37
Palmela	Faro	1	636	262,35 €	0,00 €	9:42	7:57
Total	114	37374	15.416,78 €	2.679,33 €	18.096,10 €		

Tabela 3. Total de custos das rotas obtidas pela aplicação de 10 a 14 de outubro

Para a semana em estudo a aplicação calculou que no total são necessários 114 percursos para satisfazer a procura de todos os clientes, dos quais 13 são ligações entre lojas. Desta forma, vão ser percorridos 37.374 km, vão ser gastos, aproximadamente, 15.416,78 € em combustível e 2.679,33 € em portagens. Assim, o custo total desta semana é de 18.096,1 €. Os restantes resultados obtidos pela aplicação podem ser consultados no Anexo C.

Comparação com os resultados obtidos na empresa

Na semana de 10 a 14 de outubro de 2016, a elaboração das rotas na TFS foi feita manualmente. Os resultados obtidos pela empresa estão representados na tabela 4.

Loja(s)		Nº de Viagens	Km	Combustível	Portagens	Horas p/ Viagem	Condução p/ Viagem
Alfragide		31	2108	869,55 €	127,10 €	2:12	1:14
Matosinhos		10	6140	2.532,75 €	719,50 €	9:17	7:32
Gaia		9	5220	2.153,25 €	647,55 €	8:55	7:10
Palmela		7	770	317,63 €	77,70 €	2:42	1:44
Albufeira		5	2640	1.089,00 €	122,75 €	8:29	6:44
Braga		4	2800	1.155,00 €	127,00 €	9:53	8:08
Cascais		11	792	326,70 €	0,00 €	2:32	1:34
Faro		5	3080	1.270,50 €	122,75 €	9:05	7:20
Leiria		4	1152	475,20 €	67,40 €	6:21	4:36
Coimbra		7	2940	1.212,75 €	117,95 €	7:33	5:48
Albufeira	Palmela	4	2220	915,75 €	79,00 €	9:33	7:10
Albufeira	Faro	1	611	252,04 €	24,55 €	10:03	7:40
Alfragide	Palmela	1	126	51,98 €	11,10 €	3:03	2:05
Braga	Gaia	1	706	291,23 €	47,40 €	11:56	9:33
Braga	Matosinhos	1	1400	577,50 €	25,60 €	11:48	9:25
Coimbra	Braga	1	1377	568,01 €	24,30 €	11:17	8:54
Coimbra	Leiria	4	1688	696,30 €	67,40 €	8:35	6:12
Leiria	Gaia	1	612	252,45 €	48,85 €	10:00	7:37
Matosinhos	Gaia	2	1226	505,73 €	143,90 €	10:03	7:40
Palmela	Cascais	1	146	60,23 €	9,05 €	03:44	02:46
Total		110	37754	15.573,53 €	2.610,85 €	18.184,38 €	

Tabela 4. Total de custos das rotas obtidos pela TFS de 10 a 14 de outubro

Nesta semana, foram calculadas 110 rotas das quais 17 foram ligações entre lojas tendo sido percorridos 37.774 km. O custo do combustível e das portagens foi calculado seguindo os mesmos dados disponíveis na aplicação do VBA. No total, foram gastos 18.184,38 €. Sendo assim, apesar da aplicação desenvolvida ter calculado mais 4 rotas na semana em estudo, estas rotas correspondem a menos 380 km. Isto é justificado pelas ligações feitas pela aplicação que levaram a uma maior poupança nos quilómetros percorridos. No total custaram menos 88,28€.

Capítulo VI: Conclusão

As constantes mudanças a nível económico e social levam à necessidade das empresas procurarem novas formas de resolverem os problemas que enfrentam no dia-a-dia. Neste sentido, cada vez mais as empresas na área da logística e transportes procuram novas formas de elaboração de rotas de forma rápida e eficiente. O presente trabalho focou-se no desenvolvimento de uma aplicação em VBA para o Excel que elabore rotas de distribuição de mercadorias para as lojas Makro.

Com o intuito de encontrar um modelo que se ajustasse melhor ao Problema de Distribuição de Mercadorias para as Lojas Makro, foram analisados diversos problemas de roteamento de veículos. Desta forma, definiu-se o problema de distribuição de mercadorias para as lojas Makro como um HFVRPSD com a particularidade de os veículos poderem realizar várias rotas. Mas, posteriormente, verificou-se que o problema pode ser considerado com todas capacidades dos veículos iguais.

Com os pressupostos acima descritos foi desenvolvida uma aplicação em linguagem VBA para o Excel e outra em Access que têm por base uma adaptação da

heurística de *savings* criada por *Clarke & Wright* [3]. As soluções obtidas pelo *software*, na semana em estudo, mostram uma poupança de 380 km apesar de a aplicação obter mais 4 percursos do que a TFS obteve no mesmo período. Apesar de a diferença de resultados ser pequena, o tempo de obtenção de rotas através da aplicação é muito inferior ao tempo exigido pela elaboração manual de rotas. Esta pequena diferença mostra que os resultados obtidos pela empresa em termos de custos são bons. No entanto, o uso da aplicação por parte da empresa trará grandes valias pois possibilitará a elaboração de rotas de forma rápida e eficiente, podendo também ser usada para introduzir ou alterar dados no programa consoante as suas necessidades, por exemplo, dar entrada a novas lojas. Este programa permite ainda que, na falta de técnicos experientes na elaboração de rotas, qualquer trabalhador possa com eficácia traçar novos itinerários.

É importante mencionar a existência de algumas discrepâncias nos dados relativos às rotas obtidas pela TFS. Existe uma diferença considerável entre o número de paletes que estão para ser expedidas e as que foram expedidas. Isto acontece porque a TFS regista no máximo 33 paletes (nos veículos de maior dimensão) mas na realidade este valor é ultrapassado em determinadas situações. Este fator levou a que fosse difícil a comparação entre as rotas obtidas pelo *software* e pela empresa.

Futuramente, seria interessante pesquisar uma formulação matemática para o problema focado neste estágio e estudar metodologias nelas baseadas.

Em conclusão, o programa desenvolvido apresenta bons resultados apesar de poder vir a ser melhorado. Nomeadamente, as ligações entre as lojas poderiam ser melhoradas visto que pode haver a possibilidade, consoante o caso, de fazer a rota por

autoestrada ou estrada nacional, consoante a disponibilidade de tempo de condução do motorista. Este seria um aspeto importante a considerar visto que as portagens apresentam um peso muito grande nos custos finais. No futuro, caso abram mais lojas da Makro em Portugal, a TFS beneficiaria bastante de um programa de elaboração de rotas rápido e eficiente.

Referências Bibliográficas:

- [1] BrÄyisy, O. and Gendreau, M. (2002). Tabu Search Heuristics for the Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Sociedad de Estadística e Investigación Operativa Top 10*, No. 2, 211-237
- [2] Chen, P., Golden, B., Wang, X. and Wasil, E. (2016). A novel approach to solve the split delivery vehicle routing problem. *International Transactions in Operational Research* 24, 27–41
- [3] Clarke, G. and Wright, J. (1964). Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research* 12, 568-561
- [4] Cormen, T., Leiserson, C., Rivest, R. and Stein C. (2001). *Introduction to Algorithms*. The MIT Press, Massachusetts
- [5] Dantzig, G. and Ramser, J. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science* 6, No. 1, 80-91
- [6] Dror, M., Laporte, G. and Trudeau, P. (1994). Vehicle routing with split deliveries. *Discrete Applied Mathematics* 50, 239-254
- [7] Gendreau, M., Laporte, G. and Séguin, R. (1996). Stochastic vehicle routing. *European Journal of Operational Research* 88, Issue 1, 3-12
- [8] Gendreau, M., Laporte, G., Musaraganyi, C. and Taillard, É. (1999). A tabu search heuristic for the heterogeneous fleet vehicle routing problem. *Computers & Operations Research* 26, Issue 12, 1153-1173

- [9] Ghiani, G., Laporte, G. and Musmanno, R. (2004). Introduction to Logistics Systems Planning and Control, John Wiley & Sons. Chichester
- [10] Gschwind, T., Irnich, S., RothenbÄcher, A. and Tilk, C. (2017). Bidirectional Labeling in Column-Generation Algorithms for Pickup-and-Delivery Problems. European Journal of Operational Research, doi: 10.1016/j.ejor.2017.09.035
- [11] Laporte, G (1992). The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms. European Journal of Operational Research 59, 345-358
- [12] Toth, P. and Vigo, D. (2014). The Vehicle Routing Problem, SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications. Philadelphia
- [13] Pillac, V., Gendreau, M., Guéret, C. and Medaglia, A. (2013). A Review of Dynamic Vehicle Routing Problems. European Journal of Operational Research 225, 1 – 11
- [14] História TFS. Disponível em: http://tfs.pt/pag_adicionais/historia.htm [Acesso em: 19/07/2017]
- [15] Mercadorias rodoviárias: um sector em crescimento mas competitivo e em mudança. Disponível em: <https://www.logisticaetransporteshoje.com/transportes/mercadorias-rodoviaras-um-setor-crescimento-competitivo-mudanca/> [Acesso em:26/09/2017]
- [16] Regulamento (CE) nº 561/2006 do parlamento europeu e do conselho relativo à harmonização de determinadas disposições em matéria social no domínio dos transportes rodoviários, que altera os Regulamentos (CEE) nº 3821/85 e (CEE) nº 2135/98 do Conselho e revoga o Regulamento (CEE) nº 3820/85 do Conselho

Anexos

Anexo A – Dados TFS

Nesta secção encontra-se os dados recolhidos durante o estágio relativamente ao problema em estudo.

Nº	Loja
1	Alfragide
2	Matosinhos
3	Gaia
4	Palmela
6	Albufeira
8	Braga
9	Cascais
10	Faro
11	Leiria
13	Coimbra

Tabela 5. Lojas Makro em Portugal (ordenadas consoante a sua data de inauguração)

Lojas	TFS	1	2	3	4	6	8	9	10	11	13
TFS	-	34	307	290	55	264	350	36	308	144	210
1	34	-			37			25			
2	307		-	16			50			189	120
3	290		16	-			66			178	110
4	55	37			-	236		55	273		
6	264				236	-			39		
8	350		50	66			-			234	167
9	36	25			55			-			
10	308				273	39			-		
11	144		189	178			234			-	68
13	210		120	110			167			68	-

Tabela 6. Distância em quilómetros entre lojas

Lojas	TFS	1	2	3	4	6	8	9	10	11	13
TFS		0:37	3:46	3:35	0:52	3:22	4:04	0:47	3:40	2:18	2:54
1	0:37				0:36			0:22			
2	3:46			0:19			1:35			1:51	1:29
3	3:35		0:19				1:54			1:44	1:09
4	0:52	0:36				2:56		1:07	3:25		
6	3:22				2:56				0:38		
8	4:04		1:35	1:54						2:19	1:56
9	0:47	0:22									
10	3:40				3:25	0:38					
11	2:18		1:51	1:44			2:19				1:00
13	2:54		1:29	1:09			1:56			1:00	

Tabela 7. Duração do percurso entre lojas, em horas

Portagens ida/volta (€)			
	Ida/volta	Ida	Volta
Alfragide	4,1	2,05	2,05
Matosinhos	71,95	34,85	37,1
Gaia	71,95	34,85	37,1
Palmela	11,1	2,05	9,05
Albufeira	24,55	10,7	13,85
Braga	31,71	19,2	12,55
Cascais	0	0	0
Faro	24,55	10,7	13,85
Leiria	16,85	11,75	5,1
Coimbra	16,85	11,75	5,1

Tabela 8. Custos das portagens por percurso

Tempo de descarga	
Alfragide	0:34
Matosinhos	0:36
Gaia	0:37
Palmela	0:40
Albufeira	0:42
Braga	0:37
Cascais	0:39
Faro	0:43
Leiria	0:37
Coimbra	0:39
Média	0:38

Tabela 9. Tempo médio de descarga

Relativamente aos tempos de condução, o condutor pode conduzir continuamente durante quatro horas e meia, mas como alguns tacógrafos digitais fazem arredondamento ao segundo é aconselhável deixar um intervalo de dois minutos para que não sejam ultrapassados os tempos máximos. O mesmo sucede com os tempos de pausa onde se acrescenta dois minutos para evitar que o tempo mínimo obrigatório não seja violado.

Tempo máximo de condução				
Condução = 04:28	Pausa = 00:47 > 45 min	Condução = 04:28	Pausa = 00:47 > 45 min	Condução = 00:58
8:58h → 4 vezes por semana				
9:58h → 2 vezes por semana				

Tabela 10. Tempo máximo de condução contínua

Pausas								
Condução = 02:00	Pausa = 00:17 > 15 min	Condução = 02:00	Pausa = 00:32 > 30 min	Condução = 03:00	Pausa = 00:17 > 15 min	Condução = 01:00	Pausa = 00:32 > 30 min	Condução = 00:58
Tempo total de condução = 8:58h								

Tabela 11. Exemplo de tempos de pausa

Outros trabalhos e tempos de disponibilidade						
Condução = 01:00	Disponibilidade = 00:26	Condução = 01:00	Outros trabalhos = 00:35	Condução = 02:28:00	Pausa = 00:47 > 45 min	Condução = 04:28
Tempo total de condução = 8:58h						

Tabela 12. Exemplo de outros trabalhos e tempo de disponibilidade

Anexo B – Aplicação VBA

Neste anexo é apresentado os dados (distâncias, tempos de condução e custo das portagens) introduzidos na aplicação desenvolvida em Excel. É necessário ter em conta que o *software* não cria ligações entre a Alfragide e as restantes lojas, apenas faz ligação com o armazém. Esta decisão foi tomada pois a empresa raramente faz ligações entre Alfragide e as restantes lojas.

Km	TFS	Alfragide	Matosinhos	Gaia	Palmela	Albufeira	Braga	Cascais	Faro	Leiria	Coimbra
TFS		34	307	290	55	264	350	36	308	144	210
Alfragide	34		1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Matosinhos	307	1000		16	1000	1000	50	1000	1000	189	120
Gaia	290	1000	16		1000	1000	66	1000	1000	178	110
Palmela	55	1000	1000	1000		236	1000	55	273	1000	1000
Albufeira	264	1000	1000	1000	236		1000	1000	39	1000	1000
Braga	350	1000	50	66	1000	1000		1000	1000	234	167
Cascais	36	1000	1000	1000	55	1000	1000		1000	1000	1000
Faro	308	1000	1000	1000	273	39	1000	1000		1000	1000
Leiria	144	1000	189	178	1000	1000	234	1000	1000		68
Coimbra	210	1000	120	110	1000	1000	167	1000	1000	68	

Horas	TFS	Alfragide	Matosinhos	Gaia	Palmela	Albufeira	Braga	Cascais	Faro	Leiria	Coimbra
TFS		0:37	3:46	3:35	0:52	3:22	4:04	0:47	3:40	2:18	2:54
Alfragide	0:37				0:36			0:22			
Matosinhos	3:46			0:19			1:35			1:51	1:29
Gaia	3:35		0:19				1:54			1:44	1:09
Palmela	0:52	0:36				2:56		1:07	3:25		
Albufeira	3:22				2:56				0:38		
Braga	4:04		1:35	1:54						2:19	1:56
Cascais	0:47	0:22			1:07						
Faro	3:40				3:25	0:38					
Leiria	2:18		1:51	1:44			2:19				1:00
Coimbra	2:54		1:29	1:09			1:56			1:00	

Tabela 13. Matriz simétrica de quilómetros e horas na aplicação do Excel

Portagens Ida/Volta			
	Ida/volta	Ida	Volta
Alfragide	4,1	2,05	2,05
Matosinhos	71,95	34,85	37,1
Gaia	71,95	34,85	37,1
Palmela	11,1	2,05	9,05
Albufeira	24,55	10,7	13,85
Braga	31,71	19,2	12,55
Cascais	0	0	0
Faro	24,55	10,7	13,85
Leiria	16,85	11,75	5,1
Coimbra	16,85	11,75	5,1

Tabela 14. Tabela com valor das portagens na aplicação do Excel

Anexo C – Resultados VBA

Neste anexo, vão ser apresentadas as rotas criadas pelo programa desenvolvido.

Na primeira e segunda coluna aparece o número de percursos que têm de ser feitos para cada loja. A terceira coluna indica o número de paletes que o último carro a fazer a entrega vai transportar, por exemplo, para Alfragide (dia 10) vão 5 carros com 33 e um com 26, quando o valor é zero significa que todos os carros levam exatamente 33 paletes. As colunas quatro, cinco e seis representam, respetivamente, a soma dos quilómetros, combustível gasto e portagens por loja. Na sétima e oitava coluna está exposto os tempos de condução e o tempo total da viagem por cada rota.

Loja	Nº viagens	Paletes	Km	Combustível	Portagens	Horas por viagem ¹	Condução por viagem
Alfragide	6	26	408	168,30 €	24,60 €	2:12	1:14
Matosinhos	2	32	1228	506,55 €	143,90 €	9:17	7:32
Gaia	2	0	1160	478,50 €	143,90 €	8:55	7:10
Palmela	1	0	110	45,38 €	11,10 €	2:42	1:44
Albufeira	1	0	528	217,80 €	24,55 €	8:29	6:44
Braga	1	0	700	288,75 €	31,71 €	9:53	8:08
Cascais	2	19	144	59,40 €	0,00 €	2:32	1:34
Faro	-	-	-	-	-	-	-
Leiria	1	26	288	118,80 €	16,85 €	6:21	4:36
Coimbra	2	26	840	346,50 €	33,70 €	7:33	5:48
Braga + Gaia	1	29	706	291,23 €	47,48 €	11:56	9:33
Palmela + Albufeira	1	34	555	228,94 €	35,77 €	9:33	7:10
Palmela + Faro	1	35	636	262,35 €	35,77 €	9:42	7:57
Total			7303	3.012,49 €	549,33 €		

Tabela 15. Rotas do dia 10 de outubro 2016

¹ Já tem em conta as pausas na condução e o tempo de carga e descarga

Loja	Nº viagens	Paletes	Km	Combustível	Portagens	Horas por viagem ¹	Condução por viagem
Alfragide	6	14	408	168,30 €	24,60 €	2:12	1:14
Matosinhos	2	0	1228	506,55 €	143,90 €	9:17	7:32
Gaia	1	0	580	239,25 €	71,95 €	8:55	7:10
Palmela	2	0	220	90,75 €	22,20 €	2:42	1:44
Albufeira	1	0	528	217,80 €	24,55 €	8:29	6:44
Braga	1	0	700	288,75 €	31,71 €	9:53	8:08
Cascais	2	0	144	59,40 €	0,00 €	2:32	1:34
Faro	1	0	616	254,10 €	24,55 €	9:05	7:20
Leiria	1	0	288	118,80 €	16,85 €	6:21	4:36
Coimbra	2	37	840	346,50 €	33,70 €	7:33	5:48
Braga + Matosinhos	1	18	707	291,64 €	47,47 €	11:48	9:25
Faro + Albufeira	1	28	611	252,04 €	24,58 €	10:03	7:40
Leiria + Gaia	1	36	612	252,45 €	48,92 €	10:00	7:37
Cascais + Palmela	1	29	146	60,23 €	9,05 €	3:15	1:39
			7.628	3.146,55 €	524,02 €		

Tabela 16. Rotas do dia 11 de outubro de 2016

Loja	Nº viagens	Paletes	Km	Combustível	Portagens	Horas por viagem ¹	Condução por viagem
Alfragide	7	8	476	196,35 €	28,70 €	2:12	1:14
Matosinhos	2	32	1228	506,55 €	143,90 €	9:17	7:32
Gaia	2	36	1160	478,50 €	143,90 €	8:55	7:10
Palmela	2	31	220	90,75 €	22,20 €	2:42	1:44
Albufeira	2	26	1056	435,60 €	49,10 €	8:29	6:44
Braga	1	0	700	288,75 €	31,71 €	9:53	8:08
Cascais	2	37	144	59,40 €	0,00 €	2:32	1:34
Faro	1	30	616	254,10 €	24,55 €	9:05	7:20
Leiria	2	10	576	237,60 €	33,70 €	6:21	4:36
Coimbra	2	0	840	346,50 €	33,70 €	7:33	5:48
Coimbra + Braga	1	23	727	299,89 €	24,38 €	11:17	8:54
			7743	3.193,99 €	535,84 €		

Tabela 17. Rotas do dia 12 de outubro de 2016

Loja	Nº viagens	Paletes	Km	Combustível	Portagens	Horas por viagem ¹	Condução por viagem
Alfragide	6	10	408	168,30 €	24,60 €	2:12	1:14
Matosinhos	2	0	1228	506,55 €	143,90 €	9:17	7:32
Gaia	2	37	1160	478,50 €	143,90 €	8:55	7:10
Palmela	2	13	220	90,75 €	22,20 €	2:42	1:44
Albufeira	1	0	528	217,80 €	24,55 €	8:29	6:44
Braga	1	38	700	288,75 €	31,71 €	9:53	8:08
Cascais	2	34	144	59,40 €	0,00 €	2:32	1:34
Faro	1	0	616	254,10 €	24,55 €	9:05	7:20
Leiria	2	15	576	237,60 €	33,70 €	6:21	4:36
Coimbra	1	0	420	173,25 €	16,85 €	7:33	5:48
Faro + Albufeira	1	22	611	252,04 €	24,58 €	10:03	7:40
Coimbra + Matosinhos	1	31	637	262,76 €	48,91 €	10:32	8:09
			7248	2.989,80 €	539,45 €		

Tabela 18. Rotas do dia 13 de outubro de 2016

Loja	Nº viagens	Paletes	Km	Combustível	Portagens	Horas por viagem ¹	Condução por viagem
Alfragide	7	26	476	196,35 €	28,70 €	2:12	1:14
Matosinhos	2	0	1228	506,55 €	143,90 €	9:17	7:32
Gaia	2	0	1160	478,50 €	143,90 €	8:55	7:10
Palmela	2	7	220	90,75 €	22,20 €	2:42	1:44
Albufeira	1	0	528	217,80 €	24,55 €	8:29	6:44
Braga	1	0	700	288,75 €	31,71 €	9:53	8:08
Cascais	3	35	216	89,10 €	0,00 €	2:32	1:34
Faro	-	-	-	-	-	-	-
Leiria	2	8	576	237,60 €	33,70 €	6:21	4:36
Coimbra	1	0	420	173,25 €	16,85 €	7:33	5:48
Braga + Matosinhos	1	28	707	291,64 €	47,47 €	11:48	9:25
Faro + Albufeira	1	36	611	252,04 €	24,58 €	10:03	7:40
Coimbra + Gaia	1	36	610	251,63 €	48,90 €	10:01	7:38
			7452	3.073,95 €	566,45 €		

Tabela 19. Rotas do dia 14 de outubro de 2016

As tabelas 14 e 15, representam o total de resultados das semanas de 3 a 7 de outubro e de 17 a 21 de outubro obtidos através do programa desenvolvido.

Para a primeira semana foram calculadas 120 rotas das quais 10 foram ligações entre lojas e no total seriam percorridos 40 728 km.

Loja	Nº viagens	Km	Combustível	Portagens	Horas por viagem ¹	Condução por viagem
Alfragide	34	2312	953,70 €	278,80 €	2:12	1:14
Matosinhos	11	6754	2.786,03 €	1.582,90 €	9:17	7:32
Gaia	10	5800	2.392,50 €	1.439,00 €	8:55	7:10
Palmela	8	880	363,00 €	177,60 €	2:42	1:44
Albufeira	7	3696	1.524,60 €	343,70 €	8:29	6:44
Braga	8	5600	2.310,00 €	508,00 €	9:53	8:08
Cascais	12	864	356,40 €	0,00 €	2:32	1:34
Faro	5	3080	1.270,50 €	245,50 €	9:05	7:20
Leiria	6	1728	712,80 €	202,20 €	6:21	4:36
Coimbra	9	3780	1.559,25 €	303,30 €	7:33	5:48
Albufeira + Faro	1	611	252,04 €	49,13 €	10:03	7:40
Albufeira + Palmela	2	1110	457,88 €	71,54 €	9:33	7:10
Braga + Gaia	1	706	291,23 €	103,78 €	11:56	9:33
Braga + Matosinhos	1	707	291,64 €	103,77 €	11:48	9:25
Coimbra + Braga	1	727	299,89 €	48,68 €	11:17	8:54
Coimbra + Gaia	1	610	251,63 €	88,85 €	10:01	7:38
Coimbra + Leiria	1	422	174,08 €	33,74 €	8:35	6:12
Gaia + Matosinhos	1	613	252,86 €	143,91 €	10:03	7:40
Leiria + Braga	1	728	300,30 €	48,70 €	11:04	8:41
Total	120	40728	16.800,30 €	5.773,10 €		

Tabela 20. Total dos resultados obtidos na semana de 3 a 7 de outubro de 2016

Na terceira semana do mês foram calculadas 107 rotas das quais 9 são ligações entre lojas e no total seriam percorridos 34 662 km.

Loja	Nº viagens	Km	Combustível	Portagens	Horas por viagem ¹	Condução por viagem
Alfragide	29	1972	813,45 €	118,90 €	2:12	1:14
Matosinhos	10	6140	2.532,75 €	719,50 €	9:17	7:32
Gaia	9	5220	2.153,25 €	647,55 €	8:55	7:10
Palmela	9	990	408,38 €	99,90 €	2:42	1:44
Albufeira	6	3168	1.306,80 €	147,30 €	8:29	6:44
Braga	6	4200	1.732,50 €	190,26 €	9:53	8:08
Cascais	11	792	326,70 €	0,00 €	2:32	1:34
Faro	3	1848	762,30 €	73,65 €	9:05	7:20
Leiria	9	2592	1.069,20 €	151,65 €	6:21	4:36
Coimbra	7	2940	1.212,75 €	117,95 €	7:33	5:48
Albufeira + Palmela	2	1110	468,98 €	31,80 €	9:33	7:10
Albufeira + Faro	1	611	252,04 €	24,58 €	10:03	7:40
Braga + Matosinhos	1	707	291,64 €	47,47 €	11:48	9:25
Coimbra + Braga	1	727	299,89 €	24,38 €	11:17	8:54
Coimbra + Gaia	1	610	251,63 €	48,90 €	10:01	7:38
Coimbra + Leiria	1	422	174,08 €	16,89 €	8:35	6:12
Gaia + Matosinhos	1	613	252,86 €	71,96 €	10:03	7:40
Palmela + Faro	1	611	252,04 €	24,58 €	10:03	7:40
Total	107	34662	14.309,18 €	2.557,21 €		

Tabela 21. Total dos resultados na semana de 17 a 21 de outubro de 2016