

Otimização de Rotas de Distribuição:

O caso da PME Nicolau & Rosa

Inês Serras Gomes de Pina Ramos

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia e Gestão Industrial

Orientadora: Prof^ª. Tânia Rodrigues Pereira Ramos

Júri

Presidente: Prof. Carlos António Bana e Costa

Orientadora: Prof^ª. Tânia Rodrigues Pereira Ramos

Arguente: Prof^ª. Maria Isabel Azevedo Rodrigues Gomes

Novembro 2017

AGRADECIMENTOS

À Professora Tânia Ramos, orientadora desta dissertação, pela sua exigência, pela sua disponibilidade constante, pelo seu apoio ao longo do trabalho, especialmente na fase de implementação do modelo matemático em GAMS. Mas mais importante ainda, tenho a agradecer pela motivação, força e otimismo que me transmitiu sempre em momentos mais complicados.

Ao Engenheiro Jorge Rosa, por me ter proporcionado a oportunidade de desenvolver este trabalho no contexto real de uma empresa e pela sua disponibilidade e ajuda ao tentar fornecer-me o máximo de conhecimentos possíveis. Um obrigada também a todos os colaboradores da empresa que contribuíram para que este trabalho fosse possível e que me ajudaram a sentir integrada na dinâmica da empresa.

Aos meus queridos amigos de sempre, pelo apoio incondicional e pelos momentos de alegria que adicionam à minha vida: Bárbara, Rute, Inês, Beatriz, Marianas, Filipe, Martin, Marchão, Patrícia, Raul, Miguel, Rita, André, Joana, Alina.

À minha querida amiga e madrinha Fernanda Garcia, pela sua dedicação, paciência e apoio inalcançável ao rever o meu trabalho.

E por último, mas sempre em primeiro lugar, à minha família! Por serem os meus pilares, por me encherem de amor e carinho todos os dias, por me apoiarem incondicionalmente, por me ensinarem e motivarem a querer sempre mais e melhor e por me darem sempre força para lutar pelo que quero e acredito!

Do fundo do coração, um obrigada a todos os que me acompanharam nesta etapa importante da minha vida e fizeram com que este caminho fosse possível!

RESUMO

Com a globalização da economia e com o aumento significativo da pressão competitiva nos mercados, as empresas foram forçadas a melhorar a eficiência das suas operações, caso quisessem fazer perdurar os seus negócios. Tornou-se, assim, imprescindível analisarem toda a sua cadeia de abastecimento e investigarem alternativas que pudessem levar a reduções de custos e a melhorar o nível de serviço fornecido aos clientes. Com clientes cada vez mais exigentes que necessitam de ter o produto certo, no momento certo e no lugar certo, o transporte tornou-se uma das atividades mais importantes numa cadeia de abastecimento e, devido a essa relevância, a otimização dos transportes tem sido uma das áreas que tem despertado maior interesse.

Foi neste contexto que surgiu este trabalho na Nicolau & Rosa, empresa grossista de materiais técnicos para construção civil. Esta dissertação pretende estudar como pode a empresa beneficiar da utilização de um algoritmo que defina as rotas ótimas para a sua operação diária de distribuição, considerando a minimização da distância percorrida pelos seus veículos.

Após a caracterização do problema, verificou-se que este caso de estudo pode ser modelado como um *Multi-Compartment Vehicle Routing Problem* (MCVRP) e o modelo matemático que se desenvolveu foi posteriormente implementado no sistema de modelação para programação e otimização matemática GAMS.

Foram avaliados três cenários diferentes, nos quais se varia o número de veículos disponíveis. Os resultados obtidos sugerem que o modelo implementado permite à empresa obter rotas que minimizam as distâncias percorridas, diminuem o número de rotas totais e aumentam a percentagem de ocupação dos veículos.

Palavras-chave: Cadeia de Abastecimento, *Multi-Compartment Vehicle Routing Problem*, Transporte, *Vehicle Routing Problem*, Otimização.

ABSTRACT

The globalization of the economy and the great increase of competitive pressure on the markets, forced companies to improve the efficiency of their operations in order to keep their business going. Therefore, it has become essential to analyze the whole supply chain and investigate alternatives that could lead to cost reductions as well as to improve the quality of the service provided to the customers. With increasingly demanding customers who need to have the right product at the right time in the right place, transportation has become one of the most important activities in a supply chain. Due to this growing relevance, the optimization of transports has been one of the areas that has aroused greater interest.

It was in this context that this work appeared in Nicolau & Rosa, a wholesaler of technical materials for civil construction. So, the aim of this dissertation is to study how the company can benefit using an algorithm that defines its optimized routes for the operation of distribution and that, consequently, minimizes the distance traveled by its vehicles.

The mathematical model was based on the Multi-Compartment Vehicle Routing Problem (MCVRP) and was implemented in the mathematical programming and optimization modeling system GAMS.

The results for the three developed scenarios suggest that the implementation of the model enables to define routes that not only minimize the distances traveled, but also improve the use of the space available for loading in each compartment, and still reduces the number of necessary routes.

Key words: Multi-compartment Vehicle Routing Problem, Optimization, Supply Chain, Transportation, Vehicle Routing Problem.

ÍNDICE

Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas	vii
Lista de Acrónimos	vii
Lista de índices	x
Lista de parâmetros e variáveis	x
1 Introdução	1
1.1 Contextualização do problema	1
1.2 Objetivos da dissertação	2
1.3 Estrutura do trabalho	2
2 Caso de estudo	4
2.1 A empresa Nicolau & Rosa	4
2.2 A estrutura da rede N&R	7
2.3 As operações logísticas no CD	10
2.4 Distribuição e rotas	12
2.5 Conclusão do caso de estudo	14
3 Revisão bibliográfica	15
3.1 Gestão de cadeia de abastecimento	15
3.2 Planeamento de rotas	18
3.2.1 Definição de <i>Vehicle Routing Problem</i>	18
3.2.2 Elementos constituintes do VRP	19
3.2.3 Definição do modelo matemático do VRP	20
3.2.4 Métodos de resolução do VRP	22
3.2.5 Diferentes tipos de VRP	25
3.2.5.1 <i>Capcitated VRP</i> (CVRP)	26
3.2.5.2 <i>Heterogeneous fleet VRP</i> (HFVRP)	26
3.2.5.3 <i>VRP with time windows</i> (VRPTW)	26
3.2.5.4 <i>Dynamic VRP</i> (DVRP)	27
3.2.5.5 <i>Multi-Compartment VRP</i> (MCVRP)	29
3.2.5.6 <i>CVRP with loading constraints</i> (L-CVRP)	29
3.3 Conclusões	31
4 Definição do modelo matemático	32
5 Recolha de dados	37
5.1 Metodologia	37
5.2 Recolha e tratamento de dados	39
5.3 Situação atual	43
6 Resolução do caso de estudo	45
6.1 Cenário 1	46
6.2 Cenário 2	50

6.3 Cenário 3	56
6.4 Confrontação final dos cenários	61
6.5 Análise de sensibilidade do cenário 3	67
7 Conclusões e Aplicações Futuras	72
Bibliografia	74
Anexos	84
Anexo A1- Produtos comercializados pela N&R(Categorias)	84
Anexo A2- Matrizes das encomendas.....	85
Anexo A3- Matrizes das distâncias (Km)	87
Anexo A4- Rotas reais efetuadas pela N&R durante 20 dias	91
Anexo A5- Modelo em GAMS	93
Anexo A6- Rotas efetuadas com a implementação do cenário 1 durante 20 dias	96
Anexo A7- Rotas efetuadas com a implementação do cenário 2 durante 20 dias	98
Anexo A8-Rotas efetuadas com a implementação do cenário 3 durante 20 dias	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Volume de Vendas da N&R, de 2010 a 2016 (Fonte: Adaptado de N&R, 2017)	5
Figura 2: Número de clientes diferentes da N&R, de 2010 a 2016 (Fonte: Adaptado de N&R, 2017) .	5
Figura 3: Faturação por tipo de clientes, de 2010 a 2016 (Fonte: Adaptado de N&R, 2017).....	6
Figura 4: Rede Nacional da N&R, localização e áreas das lojas e CDs, frota associada a cada CD e capacidade dos veículos	7
Figura 5: Volume de vendas da N&R, em cada loja, de 2010 a 2016 (Fonte: Adaptado de N&R, 2017)	9
Figura 6: Evolução da distribuição do número de clientes, de 2012 a 2016 (Fonte: Adaptado de N&R, 2017).....	9
Figura 7: Fluxograma das operações logísticas no CD de Carnaxide	10
Figura 8: Subdivisão dos custos totais logísticos em percentagem (Fonte: Adaptado de Frazelle, 2002).....	16
Figura 9: Repartição do transporte terrestre de mercadorias, EU-28 (Fonte: Adaptado da Eurostat 2016).....	17
Figura 10: Representação gráfica de um VRP (Fonte: Adaptado de Larsen, 2000)	19
Figura 11: Diagrama do método B&B (Fonte: Adaptado de Doig et al., 1960).....	23
Figura 12: (a)representa a definição inicial das rotas (b) as rotas após a aplicação do método dos Savings (Fonte Adaptado de: Clarke et al., 1964)	24
Figura 13: Restrições do VRP, originam diferentes tipos de VRP (Fonte: Adaptado de Braekers et al., 2015).....	25
Figura 14: Restrição da sequência no modelo 3L-CVRP (Fonte: Adaptado de Pinto, 2016).....	30
Figura 15: Esquema da metodologia a seguir para a modelação matemática (Bassanezi, 2002)	37
Figura 16: Representação das dimensões dos veículos da N&R e dos seus compartimentos	40
Figura 17: Análise comparativa das distâncias percorridas no cenário 1 e na empresa N&R	47
Figura 18: Análise comparativa do número de veículos utilizados no cenário 1 e na empresa N&R	47
Figura 19: Análise comparativa da percentagem de ocupação do compartimento das paletes no cenário 1 e na empresa N&R	48
Figura 20: Análise comparativa da percentagem de ocupação do compartimento dos tubos no cenário 1 e na empresa N&R	48
Figura 21: Análise comparativa das distâncias percorridas na empresa N&R, no cenário 1 e no cenário	50
Figura 22: Análise comparativa do número de veículos utilizados na empresa N&R, no cenário 1 e 2	51
Figura 23: Análise comparativa da percentagem de ocupação do compartimento das paletes na empresa N&R, no cenário 1 e no cenário 2	52
Figura 24: Análise comparativa da percentagem de ocupação do compartimento dos tubos na empresa N&R, no cenário 1 e no cenário 2	52
Figura 25: Análise comparativa da duração média das rotas do cenário 1 e do cenário 2	53

Figura 26: Análise comparativa das distâncias percorridas nos três cenários e na empresa N&R	56
Figura 27: Análise comparativa da percentagem de ocupação do compartimento das paletes no cenário 1, 2, 3 e na empresa N&R	58
Figura 28: Análise comparativa da percentagem de ocupação do compartimento dos tubos no cenário 1, 2, 3 e na empresa N&R	58
Figura 29: Análise comparativa da duração média das rotas dos cenários 1, 2 e 3	59
Figura 30: Representação gráfica das percentagens de espaço livre e ocupado de cada compartimento em cada cenário e na empresa	63
Figura 31: Custos totais de transporte para cada cenário	65

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Número de veículos pesados disponíveis por dia da semana e por turno	40
Tabela 2: Número de clientes, paletes e tubos registados por dia e por turno	41
Tabela 3: Média do número de clientes, paletes e tubos por turno e por semana	42
Tabela 4: Distância total percorrida por cada turno	44
Tabela 5: Parâmetros do modelo	45
Tabela 6: Resumo das distâncias totais percorridas no cenário 1 e na N&R	47
Tabela 7: Custos totais mensais e por turno da distribuição na empresa e no cenário 1	49
Tabela 8: Resumo das distâncias totais percorridas na N&R, no cenário 1 e no cenário 2	50
Tabela 9: Duração das rotas que ultrapassam o limite estabelecido pela N&R	53
Tabela 10: Duração das rotas anteriores às rotas que excedem o limite de tempo estabelecido	54
Tabela 11: Custos totais mensais e por turno da distribuição na empresa, no cenário 1 e no cenário 2	54
Tabela 12: Resumo das distâncias totais percorridas na N&R, no cenário 1, 2 e 3	57
Tabela 13: Quadro resumo do número de rotas realizadas por mês na N&R e nos três cenários	57
Tabela 14: Duração das rotas que ultrapassam o limite estabelecido pela N&R	59
Tabela 15: Custos totais mensais e por turno da distribuição na empresa e nos cenários	60
Tabela 16: Resultados da aplicação dos três cenários e da situação atual da N&R	61
Tabela 17: Resultados computacionais para cada cenário 1,2 e 3	62
Tabela 18: Quadro resumo dos resultados do cenário 3 e dos resultados obtidos com a aplicação de cada sub-cenário	69
Tabela 19: Duração das rotas que ultrapassam o limite estabelecido pela N&R	70
Tabela 20: Duração das rotas anteriores às rotas que excedem o limite de tempo estabelecido, sub-cenário 3.c	70

LISTA DE ACRÓNIMOS

- 2L-CVRP-** *Two Dimensions CVRP with loading constraints*
3L-CVRP- *Three Dimensions CVRP with loading constraints*

ACO- *Ant Colony Optimization*
B&B- *Branch and Bound*
CA- *Cadeia de Abastecimento*
CD- *Centro de Distribuição*
CDS- *Centros de Distribuição*
CLM- *Council of Logistics Management*
CVRP- *Capacited Vehicle Routing Problem*
DVRP- *Dynamic Vehicle Routing Problem*
EDI- *Electronic Data Interchange*
ERP- *Enterprise Resource Planning*
GAMS- *General Algebraic Modeling System*
GCA- *Gestão de Cadeia de Abastecimento*
GIS- *Geographic Information Systems*
GL- *Gestão Logística*
GLS- *Guided Local Search*
GPS- *Global Positioning System*
GRASP- *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*
GTS- *Guided Tabu Search*
HBMO- *Honey Bee Mating Optimization*
HFVRP- *Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem*
L-CVRP- *CVRP with loading constraints*
LIFO- *Last In First Out*
MCVRP- *Multi-compartment Vehicle Routing Problem*
MILP- *Mixed Integer Linear Programming*
N&R- *Nicolau & Rosa*
PME- *Pequena ou Média Empresa*
SKU- *Stock Keeping Unit*
TS- *Tabu Search*
TSP- *Traveling Salesman Problem*
UE-28- *União Europeia 28 países*
VNS- *Variable Neighborhood Search*
VRP- *Vehicle Routing Problem*
VRPTW- *Vehicle Routing Problem Time Window*

LISTA DE ÍNDICES

i- Local de partida

j- Local de chegada

v- Veículo
p- Tipo de produto
c- Compartimento

LISTA DE PARÂMETROS E VARIÁVEIS

c_{ij} - Custo da viagem entre o local i e o local j
 q_i – Procura do local i
 Q_v – Capacidade máxima do veículo v
 Cf_v – Custo fixo do veículo v
 C - Matriz dos custos
 D_v – Duração máxima da rota percorrida pelo veículo v
 $dviagem_{ij}$ – Distância da viagem entre i e j
 $tviagem_{ij}$ – Tempo de viagem entre i e j
 d_i – Tempo de descarga no local i
 S – Sub-conjunto de clientes
 a_i – Limite inferior da janela tempo de visita no local i
 b_i – Limite superior da janela temporal de visita no local i
 x_{ijv} – Variável binária, que assume o valor 1 caso o veículo v seja responsável por efetuar o percurso entre o local i e o local j , caso contrário é 0
 o_{ip} – Quantidade do produto p a entregar ao cliente i
 ta – Tempo fixo para tratar de questões administrativas, em minutos
 tdp – Tempo de descarga por cada palete, em minutos
 tdt – Tempo de descarga por cada tubo, em minutos
 tt – Tempo total disponível para a operação de distribuição, em minutos
 $cmax_c$ – Capacidade máxima do compartimento c
 k - Velocidade média do veículo
 $ptotal_v$ - Número de paletes transportadas por cada veículo v
 $tutotal_v$ - Número de tubos transportados por cada veículo v
 $dtotal_v$ – Variável que guarda o valor da distância total percorrida por cada veículo v
 $ttotal_v$ – Variável que guarda o valor do tempo total de cada veículo v
 z - Variável presente apenas na função objetivo e que assume o valor da distância mínima encontrada
 u_i – Variável inteira que assume valores consoante a posição do ponto i na rota
 x_{ijpvc} - variável binária que assume o valor 1 se o veículo v transportar a encomenda de i para j do produto p , no compartimento c . Caso contrário assume o valor 0
 vf_v - variável que assume o valor 1 se o veículo v efetuar uma rota e 0 caso contrário

1 INTRODUÇÃO

Este primeiro capítulo tem como principal objetivo apresentar a dissertação ao leitor, encontrando-se por isso subdividido em três seções: a seção 1.1 que contextualiza o problema abordado, a seção 1.2 que descreve os objetivos a alcançar com o desenvolvimento do mesmo e, por último, finaliza-se o capítulo com a seção 1.3 onde se descreve a estrutura do documento.

Ao acabar de ler este capítulo, deseja-se que o leitor seja capaz de ter uma visão geral sobre o trabalho concretizado ao longo da dissertação e que consiga entender o encadeamento das etapas do mesmo.

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

A crise económica que a Europa tem vindo a atravessar nos últimos anos alarmou o mercado e estimulou as empresas a tornarem-se mais eficientes para sobreviverem. Pressionadas para aumentarem a sua produtividade e diminuírem o desperdício inerente às suas operações, muitas foram as empresas que encararam a situação não como um problema, mas sim como uma oportunidade de negócio.

Sem margens para investir em soluções dispendiosas para conseguirem preservar os seus resultados financeiros, restou-lhes apenas intervir sobre os custos das suas operações. As empresas foram assim, obrigadas a aumentar a produtividade das suas operações para melhorar os seus resultados, usando os mesmos ou ainda menos recursos.

O transporte é considerado como uma das operações chaves numa Cadeia de Abastecimento (**CA**), visto que é o responsável por colocar os produtos à disposição de consumidores cada vez mais informados e exigentes. Na maioria dos casos, o transporte representa a maior fatia no preço final apresentado ao cliente, chegando por vezes a atingir cerca de 50% dos custos totais logísticos (Swenseth & Godfrey, 2002). Como tal, é simples de entender que a otimização dos custos de transporte é uma das maiores preocupações das empresas.

O problema a abordar na presente dissertação e que foi proposto pela empresa Nicolau & Rosa (**N&R**) é precisamente uma questão relacionada com transportes. Esta empresa grossista de materiais técnicos para construção civil, procura melhorar o seu processo de distribuição tendo como principais objetivos otimizar as rotas de distribuição aos clientes.

Todos os distribuidores espalhados pelo mundo deparam-se diariamente com este tipo de problemas de rotas de veículos, mais conhecidos na literatura como *Vehicle Routing Problems (VRP)*. Por se tratar de um tema tão desafiante e com tantas restrições devido à sua aplicabilidade em casos reais, ao longo dos anos foram surgindo diversos estudos académicos inovadores na área da Investigação Operacional.

Na presente dissertação pretende-se analisar as possíveis melhorias na operação de distribuição, com a implementação de um algoritmo matemático que defina as rotas ótimas e que minimize a distância total percorrida pelos veículos da empresa. Deseja-se, assim, otimizar as rotas, de modo a

que os custos associados às despesas com combustíveis sejam minimizados, mas assegurando sempre que as restrições estabelecidas e a qualidade do serviço prestado aos clientes não são colocadas em risco.

1.2 OBJETIVOS DA DISSERTAÇÃO

Após a contextualização do problema, é importante clarificar quais os objetivos da dissertação. Apesar do foco principal do trabalho ser otimizar as rotas de distribuição da empresa, tendo em vista a minimização da distância percorrida, existem também outros objetivos que se pretende alcançar com a elaboração deste trabalho, como:

- Desenvolvimento de um modelo matemático que permita solucionar o caso de estudo, tendo em consideração as características e restrições do problema e possibilitando a diminuição das distâncias percorridas pelos veículos;
- Implementação do modelo desenvolvido no *software* GAMS;
- Estudar cenários que possibilitem melhorar o aproveitamento do espaço de carga e reduzir o número de veículos utilizados, permitindo obter melhores resultados dos que os atuais da empresa e que possam ser apresentados como proposta final à N&R.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente dissertação é constituída pelos seguintes capítulos:

Capítulo 1- Introdução

Neste capítulo, ou seja, o atual, é realizada a contextualização do problema, revelando sucintamente a questão fulcral do estudo, os objetivos do mesmo e a estrutura do documento.

Capítulo 2- Caso de Estudo

Neste capítulo procura-se conhecer a empresa N&R. Para isso, descreve-se a sua evolução e expansão nacional, assim como se caracteriza a sua CA, rede de lojas e Centros de Distribuição (CDs), e ainda as operações logísticas. No entanto, o maior foco é dado à operação de distribuição aos clientes, identificando os principais desafios e pontos de melhoria. Para ser possível pormenorizar esta empresa e as suas atividades, nomeadamente a sua história, produtos comercializados, estrutura da CA e a sua operação de distribuição foi imprescindível observar *in loco* os processos, reunir com o responsável logístico e com o responsável pela distribuição, entrevistar os trabalhadores do Centro de Distribuição (CD) e lojas, e ainda, recolher e analisar dados fornecidos pelo Departamento de Vendas.

Capítulo 3- Revisão da Literatura

Após a identificação do problema, no terceiro capítulo procede-se à revisão da literatura sobre o VRP e os diferentes tipos de problemas de planeamento de rotas, para além das diferentes técnicas aplicadas para a sua resolução. Ainda no início deste mesmo capítulo serão abordados alguns conceitos e atividades de uma CA para uma melhor compreensão da problemática em estudo. A pesquisa *online* de artigos científicos foi realizada em vários *websites* como o *ResearchGate*, *ScienceDirect*, *Google Scholar* e o *Sci-Hub*. Nesta pesquisa

foram mencionadas, entre outras, as seguintes palavras-chaves: Gestão de Cadeia de Abastecimento, Distribuição, Transportes, *Vehicle Routing Problem* e *Multi-Compartment Vehicle Routing Problem*. Paralelamente, foram também consultados diversos livros científicos usando as mesmas palavras-chave.

Capítulo 4- Modelo Matemático

Este capítulo envolve o desenvolvimento do modelo matemática do problema, o que implica definir os índices, os parâmetros, as variáveis, a função objetivo e as restrições necessárias para representar as imposições particulares do caso de estudo.

Capítulo 5- Recolha de dados

Após ser conhecido o caso de estudo a tratar e de serem revelados alguns dos estudos que já foram desenvolvidos para solucionar problemas semelhantes é desenvolvida a metodologia que se pretende seguir. Com o aprofundamento dos conhecimentos na temática do *VRP* é delineada a estratégia que levará à resolução deste problema em particular.

Neste capítulo são também apresentados ao leitor os dados recolhidos sobre a situação real da empresa, nomeadamente os dados que servirão como *input* para o modelo e as rotas que foram efetuadas pela empresa para os dias observados.

Capítulo 6- Aplicação do modelo

O capítulo 6 apresenta não só os resultados da implementação do modelo no sistema de modelação GAMS, como confronta esses valores com os valores reais registados no capítulo anterior. Esta comparação que é feita analisa o número de veículos usados, a distância total percorrida, os custos associados aos combustíveis, a duração das rotas, o aproveitamento do espaço de cada compartimento, entre outros parâmetros. Neste capítulo é ainda realizada uma análise de sensibilidade onde são variados alguns parâmetros críticos do problema.

Capítulo 7- Conclusões

No sétimo e último capítulo apresentam-se as conclusões da dissertação e propõem-se possíveis estudos para serem desenvolvidos no futuro.

2 CASO DE ESTUDO

Este capítulo tem o propósito de caracterizar a atividade da N&R e a sua CA, descrever a atual operação de distribuição e identificar os possíveis pontos de melhoria. Como tal, na seção 2.1 é narrada a história da empresa, a evolução da sua expansão nacional e ainda os produtos disponíveis no mercado. Na seção 2.2 será caracterizada a CA, sendo descrita a organização da mesma e a rede de CDs e lojas. Na seção 2.3 é dado ênfase às operações logísticas existentes no CD central, enquanto na seção 2.4 se concede especial atenção à operação de distribuição e às rotas nesse mesmo CD, constatando os principais desafios, que conseqüentemente irão levar à identificação do problema a abordar. Por último, na seção 2.5 é realizada uma reflexão do caso de estudo apresentado.

2.1 A EMPRESA NICOLAU & ROSA

A N&R foi fundada em 1976 por Nicolau Correia de Sousa e Laurentino Correia Rosa, como sendo uma sociedade por quotas que tem por objeto a atividade grossista de materiais técnicos de construção civil.

Na sua gênese, em 1976, começaram por desenvolver a sua atividade apenas num espaço em Lisboa, que funcionava como loja e armazém. Mais tarde, em 1995, adquiriram um novo ponto de venda com armazém em Carnaxide, passando o estabelecimento de Lisboa a funcionar somente como loja e a ser abastecido por este último.

À medida que ia consolidando os seus recursos, a N&R foi-se expandindo, quer geograficamente, quer ao nível dos serviços prestados. Assim, a empresa surgiu no Feijó em 1998, nas Caldas da Rainha em 2004, em Lagos e Portimão no ano de 2010, dois anos mais tarde em Évora e em 2014 em Aveiro. Apesar de terem adquirido um espaço em Alverca no ano de 2015, este apenas será aberto ao público no final deste ano de 2017, uma vez que ainda estão a decorrer obras no edifício. A aquisição mais recente da empresa foi no passado ano de 2016, em Loulé, e após as remodelações, o estabelecimento foi inaugurado ao público no mês de Abril do presente ano - 2017.

Atualmente dispõe, a nível nacional, de 80 colaboradores que servem os 9 pontos distintos referidos anteriormente: Aveiro, Caldas da Rainha, Carnaxide, Évora, Feijó, Lagos, Lisboa, Loulé e Portimão. Destes 80 colaboradores, 41 prestam serviço na sede, em Carnaxide. Uma vez que a loja de Alverca ainda não se encontra disponível para atendimento, não existem ainda trabalhadores alocados a este espaço.

Embora os mercados atuais estejam a atravessar um período macroeconómico difícil, a N&R conseguiu fortalecer a sua competitividade e destacar-se da concorrência. A expansão significativa da rede contribui notoriamente para o seu posicionamento no mercado, que teve como principais conseqüências o crescimento do volume de vendas e o aumento do número de clientes. O primeiro fato pode ser comprovado pelo gráfico seguinte da figura 1, que exhibe a variação do volume de vendas, desde 2010 até 2016. Segundo os dados analisados, ao longo destes últimos sete anos, a empresa conseguiu crescer as vendas, com exceção do ano de 2011. No ano de 2016 faturou 16,8

milhões de euros, mais 7,7% do que no anterior de 2015, que até à data tinha sido o ano com um maior acréscimo de faturação, 17,3%.

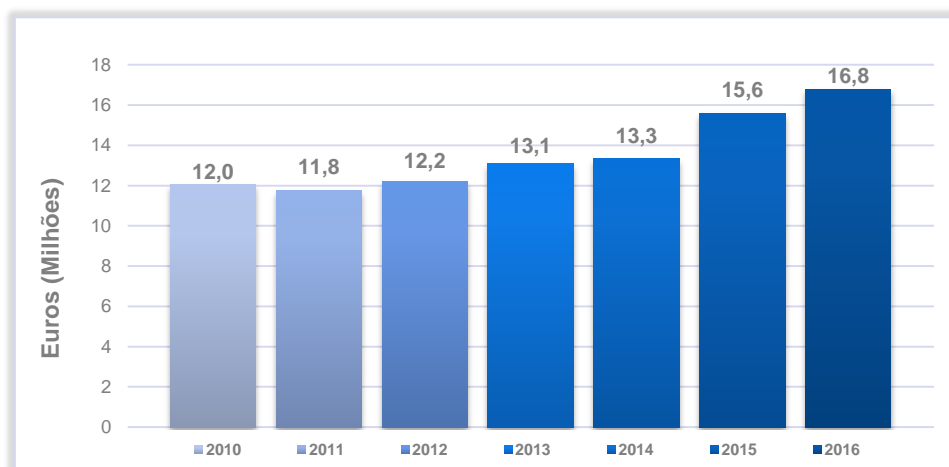


Figura 1: Volume de Vendas da N&R, de 2010 a 2016 (Fonte: Adaptado de N&R, 2017)

O segundo fato mencionado anteriormente, relativo ao aumento do número de clientes diferentes que a empresa possui, pode ser demonstrado na figura 2. Esta evidência permite deduzir que a ampliação considerável de faturação se deveu, não só ao aumento do volume de compras por parte dos clientes antigos, como também devido à entrada de novos clientes. Tal já seria de esperar, uma vez que com o alargamento geográfico da rede foi possível alcançar regiões geográficas de Portugal que anteriormente eram inatingíveis. No gráfico da figura 2, pode constatar-se que o aumento mais acentuado do número de clientes diferentes que a empresa serviu, ocorreu do ano 2012 para 2013, onde o número de clientes quase que triplicou, aumentando 189,6 %.

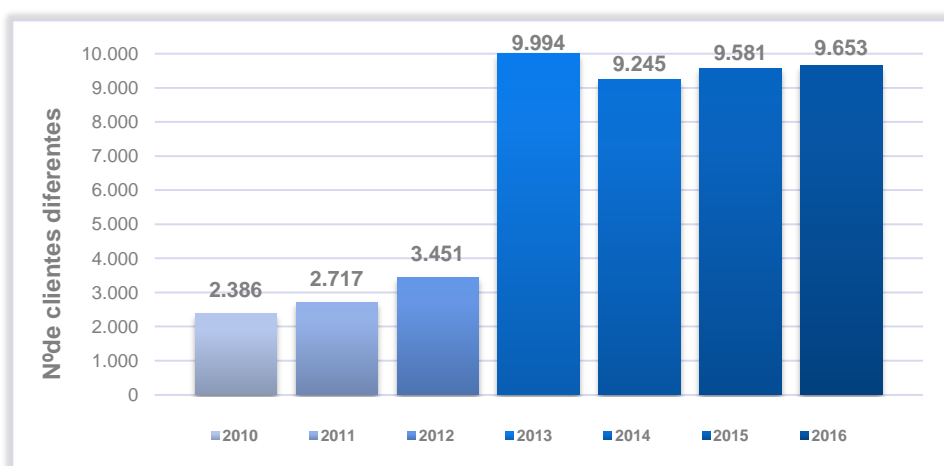


Figura 2: Número de clientes diferentes da N&R, de 2010 a 2016 (Fonte: Adaptado de N&R, 2017)

A N&R possui uma gama diversificada de produtos para construção civil, que se diferenciam entre eles pelas suas características e requisitos. Estes produtos podem ser divididos em nove categorias: sistemas de canalização, sistemas de drenagem e esgoto, complementos de canalização, equipamentos complementares, materiais para gás, produção de água quente e climatização,

torneiras e misturadoras, decorativos e ferramentas. Cada uma destas categorias fragmenta-se em subcategorias, que agrupam artigos idênticos ou marcas específicas. Para ilustrar a multiplicidade de produtos disponibilizados pela empresa aos clientes são expostos no anexo A1, os *stock keeping unit* (SKU) de cada uma das nove categorias diferentes. O número elevado de SKU, 15.404 no total, deve-se ao facto de existirem variadas especificações para um mesmo produto: comprimento, largura, altura, materiais constituintes, espessura, densidade, marca produtora, entre outros. As principais marcas que fornecem a N&R são: Uponor, Vulcano, Baxi, LG, Armacell, Grohe, Sanitana, Bosch, Rothenberger, Raaco, Testo, Dallmer, Alpro, Arco, Caleffi, Grundfos, Efacec. Todos os artigos existentes, seja em loja ou no CD, podem ser consultados nos catálogos *online*, que se encontram no *website* da N&R, ou na própria loja, permitindo assim que os clientes possam fazer os seus pedidos por *email*, telefone ou presencialmente.

Ao longo das décadas, vários foram os sectores do mercado que se abasteceram de materiais na N&R. O gráfico da figura 3 representa a evolução ao longo dos últimos sete anos da faturação, de acordo com o tipo de clientes da empresa.

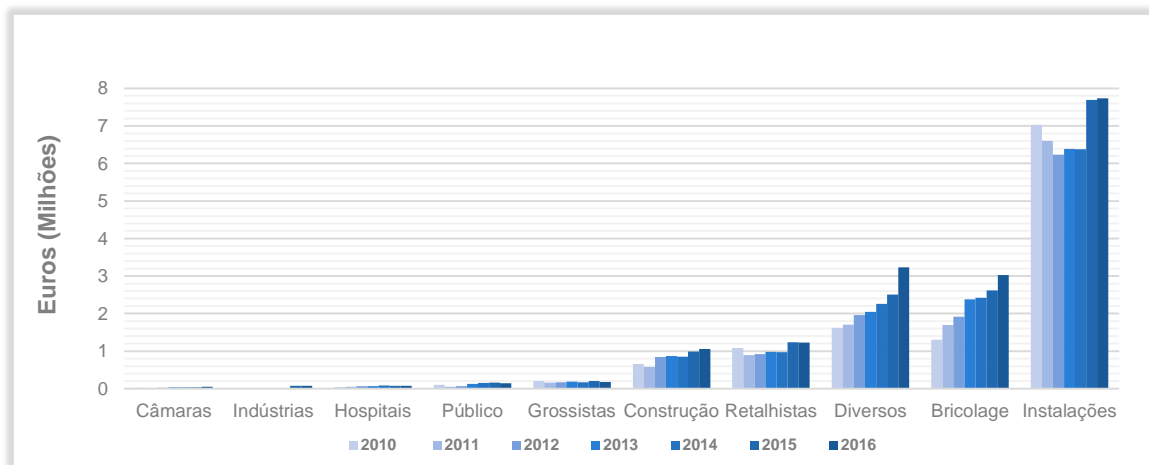


Figura 3: Faturação por tipo de clientes, de 2010 a 2016 (Fonte: Adaptado de N&R, 2017)

O primeiro grupo, instalações, o que apresenta um maior volume de vendas é o público-alvo da N&R e abrange todas as empresas responsáveis por serviços de canalização. No passado ano de 2016 só este grupo de clientes apresentou uma faturação de 7,74 milhões de euros, atingindo assim o maior valor alcançado ao longo destes últimos anos. O grupo seguinte bricolage, agrupa todos os clientes que realizam serviços de bricolagem, o quarto grupo agrega todos os retalhistas, o quinto os construtores, que inclui todos os clientes que se dedicam à construção civil, e o grupo que o sucede são os grossistas. Todos os outros conjuntos que se seguem apresentam faturações muito reduzidas comparativamente aos anteriores, como é o caso: público (que compreende todos os clientes individuais que necessitam de efetuar pequenas obras nas suas próprias casas), hospitais, indústrias e câmaras (este grupo reúne todos os organismos públicos, como juntas de freguesia e câmaras municipais). Após as especificações de cada tipo de cliente, falta apenas mencionar o terceiro agregado, os diversos, onde são incluídos todos os negociantes cujas funções não se enquadram em nenhum dos outros grupos.

2.2 A ESTRUTURA DA REDE DA N&R

A estrutura da rede da N&R tem vindo a ser modificada ao longo dos anos. Sempre que é identificado um elevado número de clientes numa determinada zona é estudada a hipótese de abertura de uma nova loja, que pode incluir, ou não, CD. Esta abordagem aplicada pela N&R para além de investigar os potenciais clientes para a nova loja, também faz uma análise comparativa entre os custos de construir um CD e fazer a sua própria distribuição ou ser outro CD já existente a realizar as entregas. Atualmente, a rede da N&R é constituída por sete CDs, que incluem loja de atendimento ao cliente: Alverca, Aveiro, Caldas da Rainha, Carnaxide, Évora, Loulé e Portimão. E, ainda, mais três espaços que funcionam somente como loja: Lisboa, Feijó e Lagos. A figura 4 representa a distribuição geográfica dessas instalações.



Figura 4: Rede Nacional da N&R, localização e área das lojas e CDs, frota associada a cada CD e capacidade dos veículos

A CA da N&R envolve assim todos os fornecedores, CDs, lojas e clientes. Os fornecedores têm a obrigação de entregar a mercadoria nos CDs, em conformidade com as encomendas previamente solicitadas. Nestas encomendas é especificado a quantidade de cada produto, a data de entrega e o local onde deve ser feita a descarga. Os CDs têm quase todos os produtos que a empresa dispõe nos seus catálogos, permitindo assim responder rapidamente às necessidades dos clientes. Um CD pode fornecer não só materiais para os seus clientes, como pode também para outros CDs ou lojas. Isto é, um CD pode ser abastecido por fornecedores e simultaneamente por outro CD da rede. Antes de mais, deve-se especificar que Carnaxide para além de ser a sede da empresa representa também o CD central, ou seja, Carnaxide é abastecida somente pelos fornecedores, mas auxilia o fornecimento aos outros CDs. Porém, esses CDs são igualmente abastecidos pelos fornecedores. Na

maioria das semanas, o CD Carnaxide vai recebendo encomendas dos outros CDs secundários e vai acumulando essas encomendas de cada um deles. Posteriormente, um dos veículos disponíveis em cada um desses CD secundários vai até Carnaxide abastecer-se e regressa ao seu local. Por norma, cada CD secundário efetua esta operação uma vez por semana. Claro que se o pedido for urgente, pode ser feita a entrega o mais rápido possível. Para além de tudo isto, as lojas de Lisboa e Feijó são também fornecidas pelo CD central, enquanto a loja de Lagos pelo CD de Portimão. Todos os outros CDs secundários estão encarregues apenas de realizar a distribuição na sua vizinhança.

Como seria de prever, a capacidade de armazenagem de cada CD e a frota associada obviamente não poderia ser a mesma, como se pode comprovar na figura 4. O motivo pela qual a frota disponível é variável está relacionado com o que já foi referido anteriormente, depende não só da quantidade de mercadoria que cada um deles distribui, como também do número de clientes. Quando a frota disponível não consegue cumprir todos os pedidos, a empresa analisa a opção de compra de novos veículos. Quanto à caracterização dos veículos estes podem ser ligeiros de mercadorias (peso bruto inferior ou igual a 3500 Kg) ou pesados de mercadorias (peso bruto superior a 3500 Kg). Quanto à capacidade dos veículos que é indicada na figura 4 refere-se à cubicagem máxima que cada veículo pode levar para as entregas.

Relativamente às lojas, estas estabelecem a ligação direta entre o cliente final e a N&R, sendo pois vital que o serviço e o atendimento ocorram da melhor forma. Para a exposição dos artigos estar padronizada em todas as lojas, lineares iguais em todas elas, foi criada uma seção em Carnaxide designada como laboratório, onde a equipa de vendas analisa as várias hipóteses para a exibição dos produtos. O objetivo é optar pelo linear que seja mais atrativo para os clientes e que consequentemente possa potenciar o aumento do nível de vendas. Os lineares são determinados neste laboratório e depois aplicados nas lojas, havendo assim uma homogeneização de todos os pontos de venda.

Como foi já mencionado, os clientes fazem as suas encomendas por *email* ou telefone, e nesses casos são fornecidos diretamente por um dos CDs, o que se encontrar mais próximo, ou podem simplesmente fazer as suas compras presencialmente, dirigindo-se a uma das lojas. Convém pois não haver distorção da perceção da procura ao longo da CA, na qual os pedidos para o fornecedor têm variância diferente da variância das vendas para o comprador, evitando oscilações indesejadas nos níveis de inventário. Assim, com o intuito de mitigar o *bullwhip effect* na CA, a N&R apoia-se em duas estratégias: constante comunicação entre os diferentes intervenientes e *stock* baseado em previsões. A empresa elabora mapas de vendas mensais para certos fornecedores com a quantidade dos seus produtos vendidos. A análise destes mapas não é realizada para todos os fornecedores seja porque muitas empresas não a solicitam e não fazem essa análise de dados ou simplesmente porque não se justifica dado o reduzido volume de produtos do fornecedor. O mapa de vendas auxilia não só os fornecedores como a própria empresa, que por vezes têm uma perceção irreal das vendas de um determinado produto. O fornecimento de produtos baseado em previsões reduz a possibilidade de um cliente realizar uma encomenda e não haver material disponível.

A N&R usufrui também de uma ferramenta informática que auxilia a gestão e o planeamento do fluxo de produtos, garantindo o controlo de materiais ao longo da CA. O *software* utilizado em todos os CDs para este controlo de inventário e que todos os departamentos têm acesso é o *Adonix X3*. Trata-se de um sistema de *Enterprise Resource Planning (ERP)* concebido para apoiar o planeamento dos recursos de uma empresa. Engloba diversas funcionalidades, entre elas, a gestão dos inventários da loja e do armazém, gera os pedidos de compra aos fornecedores, e ainda confere certos serviços de finanças e contabilidade. A empresa apoia-se neste *software* para controlar os níveis de *stock*, otimizando a gestão de inventário a minimizar os custos, mas mantendo o nível estipulado para as previsões das necessidades dos clientes. Contudo, podem ser alterados ou criados novas encomendas, mesmo que o sistema não tenha assinalado essa carência. Relativamente às faturações de cada um dos pontos de venda, variam bastante consoante a localização. O gráfico da figura 5, representa a variação do volume de vendas ao longo dos últimos sete anos, comparando os valores dos diferentes estabelecimentos.

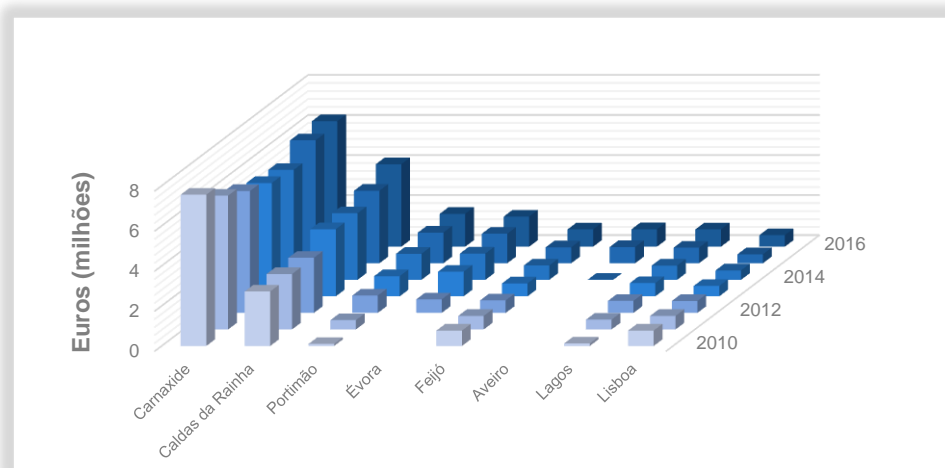


Figura 5: Volume de vendas da N&R, em cada loja, de 2010 a 2016 (Fonte: Adaptado de N&R, 2017)

Para além de Carnaxide ser a sede e o local onde estão registados os maiores valores de vendas, figura 5, é também aqui que estão concentrados a maior parte dos clientes. Os gráficos circulares seguintes, figura 6, relacionam a percentagem de clientes diferentes em cada loja, de 2012 a 2016, comprovando que apesar da entrada de novos clientes para outras regiões geográficas, Carnaxide continua a ser o local que abastece mais clientes tendo mantido uma percentagem de 36% ao longo dos últimos 4 anos. Por este motivo, seguidamente serão descritas as operações logísticas da empresa, com principal foco no CD de Carnaxide.

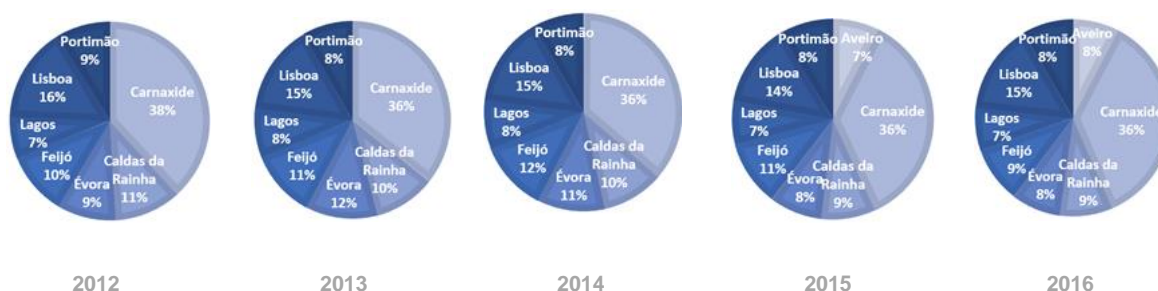


Figura 6: Evolução da distribuição do número de clientes, de 2012 a 2016 (Fonte: Adaptado de N&R, 2017)

2.3 AS OPERAÇÕES LOGÍSTICAS NO CD

As principais etapas das operações logísticas no CD de Carnaxide encontram-se representadas no fluxograma da figura 7:

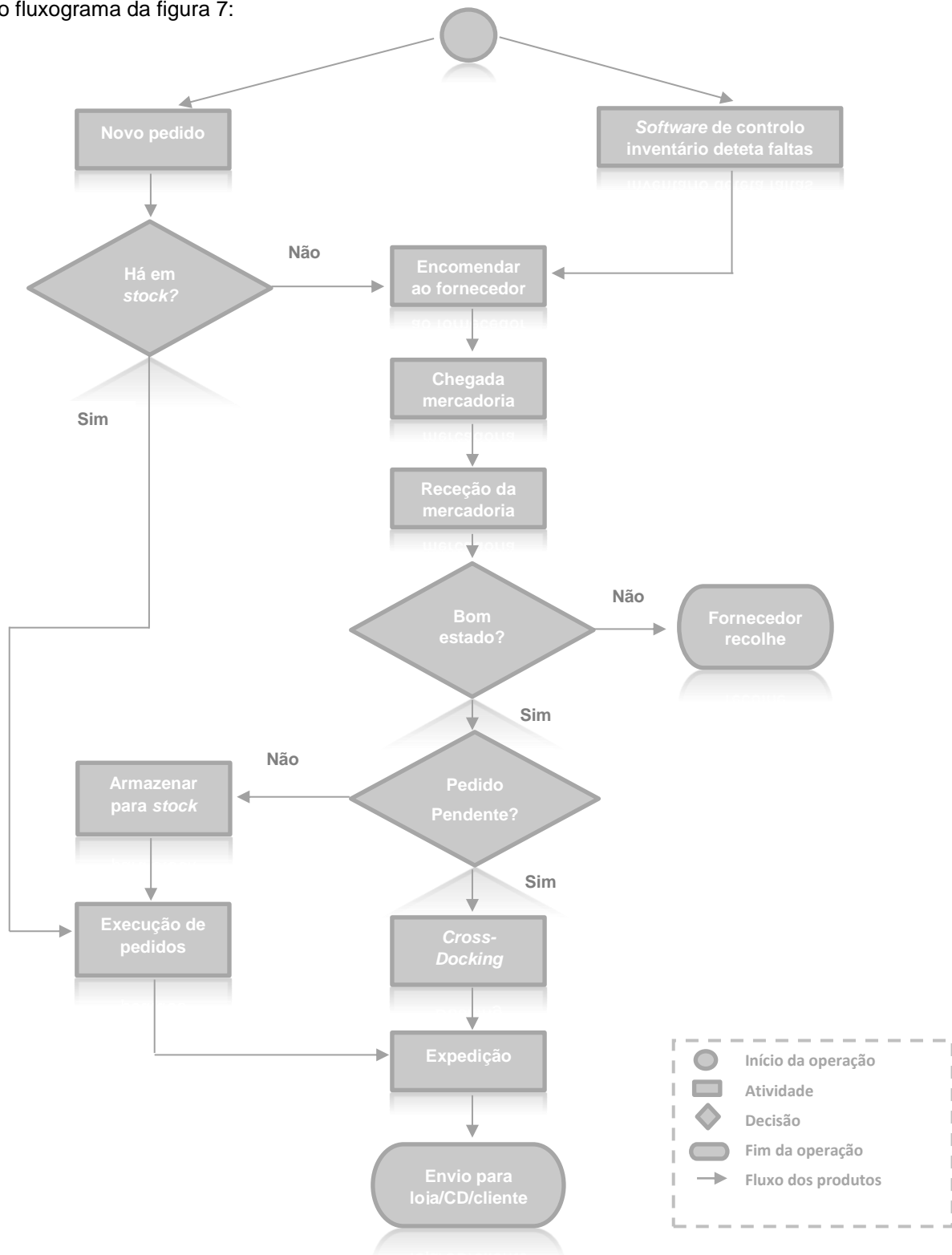


Figura 7: Fluxograma das operações logísticas no CD de Carnaxide

O processo inicia-se sempre que surge um novo pedido ou quando o *software* de controlo de inventário deteta que o limite mínimo de stock no CD central para um determinado produto foi atingido. No primeiro caso este novo pedido pode ter três origens distintas: encomenda pedida presencialmente por um cliente na própria loja de Carnaxide, encomenda pedida por *email* ou telefone por um cliente da zona de Lisboa e Vale do Tejo ou uma encomenda pedida por um outro CD secundário (Aveiro, Caldas da Rainha, Évora, Portimão ou Loulé) ou loja. Se a encomenda foi realizada por este último, significa que houve rutura de *stock* no outro CD ou que a quantidade existente de material não é a suficiente para atender um pedido de um cliente em particular. Como tal, o CD secundário pode fazer a sua encomenda diretamente ao CD de Carnaxide ou aos seus fornecedores, dependendo do tipo de produto que deseja e da urgência do mesmo.

Após recebido o pedido é verificado no *software* interno se existe o material em armazenamento; caso a resposta seja positiva é retirado diretamente do CD. Caso contrário, é feita uma encomenda ao fornecedor em questão. Por sua vez, quando é detetado pelo *software* de controlo de inventário da empresa que o nível mínimo admitido para um determinado produto é ultrapassado, é lançado um alerta e imediatamente é feito um pedido de encomenda ao fornecedor.

A operação no CD principia-se com a chegada de mercadorias. Na receção exige-se que sejam conferidos os artigos e as quantidades, verificando-se também se apresentam algum defeito de fabrico ou algum dano provocado pelo transporte. Se for detetada qualquer falha no produto proveniente dos fornecedores, estes têm o dever de recolher a mercadoria. Caso os artigos estejam todos em conformidade com o pedido, a receção é oficializada e os dados relativos aos artigos são inseridos no sistema informático interno. Em grande parte dos casos, os códigos de barras dos produtos provenientes dos fornecedores mantêm-se inalterados, sendo maioritariamente usado o código EAN-13. Se o produto que chega ao CD se trata de um pedido pendente, isto é, quando há um cliente ou outro CD que pediu esse produto, sem que seja para reposição do nível de inventário, advém um processo de *cross-docking*. Caso contrário, o produto será armazenado. A operação de *cross-docking* diminui o armazenamento, aumentando o fluxo entre o fornecedor e o CD e o *lead time* tem tendência a diminuir uma vez que a mercadoria irá ser expedida o mais rapidamente possível para um dos CD secundários ou para os clientes ou para as lojas. O objetivo desta operação é que os artigos entrem e abandonem o CD o mais depressa possível. Relativamente aos produtos que são armazenados em *stock*, não necessitam de condições de temperatura específicas no local de armazenamento, mas por se tratar de materiais de construção, por vezes frágeis, requerem cuidado no manuseamento.

Uma das dificuldades sentidas pelos colaboradores no CD de Carnaxide é gerir as várias tarefas que têm de ser realizadas diariamente, como gerir os materiais que chegam dos fornecedores que podem ter que ser armazenados ou podem ter que ser inseridos nas rotas de distribuição e ser levados aos clientes ou aos CD secundários e ainda estão responsáveis por preparar os pedidos que recebem da própria loja que se encontra integrada. A logística no espaço existente torna-se ainda mais complicada se se tiver em linha de conta que há vários fornecedores e as encomendas chegam ao CD temporalmente desfasadas, havendo períodos em que se verifica um elevado fluxo de

entradas de encomendas e outros períodos em que não se regista qualquer entrada. Nos dias de hoje, o que se verifica é que os clientes não pretendem ter mercadoria armazenada, devido aos elevados custos associados ao seu *stock*. É de salientar que os produtos da N&R são tipicamente materiais de construção civil, o que implica que os clientes ao abastecerem-se com elevadas quantidades de produto criem uma situação prejudicial para estes. Como tal, dirigem-se à loja frequentemente, o que complica as operações quer no CD quer na loja, onde não é raro haver um elevado número de clientes em fila de espera.

A execução de pedidos trata da preparação dos produtos encomendados para a expedição. Quando a mercadoria está em *stock*, um dos operadores do CD compõe a palete com os diferentes artigos pedidos, *pick-by-order*. Ao executarem o *picking* dos produtos utilizam equipamentos de leitura ótica, *scanners* digitais, que registam automaticamente os artigos. Para além disso, anotam também a quantidade retirada numa *check list* e posteriormente colocam os dados no *software*, o qual contém a partir desse momento informação para efetuar alterações nos valores do inventário. As encomendas no final são todas conferidas e é colocada a fatura juntamente com os artigos para serem entregues ao cliente.

A expedição é a última etapa das operações no CD: as paletes que já se encontram preparadas são carregadas nos veículos para serem feitas as entregas nas lojas ou diretamente aos clientes. No caso dos clientes que efetuam o pedido na loja e não necessitam de transporte, esta operação não é realizada e é dada diretamente a palete ao cliente, ou caso se tratem de quantidades reduzidas não é necessário sequer empacotamento. No entanto, um cliente que efectue um pedido na loja pode desejar que seja a própria empresa a entregar a mercadoria num local específico.

Se a loja que efetuou o pedido for a de Lisboa ou a do Feijó, e o pedido for para reposição de *stock*, a mercadoria é enviada de Carnaxide para as lojas, mas se o pedido for por falta de material para um cliente em específico que necessita de ser abastecido, esta entrega será inserida na rota de distribuição com a morada do cliente e não a da loja. Porém, o processo já não é o mesmo se a loja em causa for a de Lagos. Neste caso, a mercadoria parte do CD Carnaxide para o CD de Portimão, e só depois é que este entrega ao cliente ou à loja.

2.4 DISTRIBUIÇÃO E ROTAS

Após concluída a preparação e verificação das encomendas, a mercadoria é expedida ou para os clientes ou para as lojas. O Departamento Logístico de cada CD é o responsável por esta operação, tendo que ser capaz de abastecer rapidamente e satisfazer o nível de serviço desejado pelos clientes. Os dois fatores que a empresa possui a seu favor são a frota de veículos própria e a rede de CDs e lojas. E é esta a vantagem competitiva que se quer consolidar.

A rápida resposta que é facultada ao cliente acarreta, não só elevados custos de transporte, como exige que o processo seja realizado de forma eficiente pelos trabalhadores. Deste modo, impõe-se otimizar as rotas de distribuição, que é o objetivo principal da dissertação, garantindo ainda que se mantem o nível de serviço desejado e que o processo operacional de cargas e descargas dos veículos se torna mais eficiente.

Inicialmente a empresa estudou a hipótese de ser realizado *outsourcing* para a operação de distribuição. Porém, como os típicos materiais de construção civil têm volumes bastante elevados, o preço por cubicagem aumenta exponencialmente, não compensando a operação.

Forçada a focar-se na operação de distribuição, a empresa decidiu dividir as entregas em duas partes diferentes: a distribuição primária e a secundária. A distribuição primária consiste no transporte dos produtos do CD central em Carnaxide para um dos CD secundários (Alverca, Aveiro, Caldas da Rainha, Évora, Lagos e Loulé) ou para os clientes diretamente ou lojas. A distribuição secundária é caracterizada pela transferência dos CD secundários para os clientes. Em ambas as distribuições torna-se bastante complexa a definição das rotas, uma vez que há uma elevada variedade e quantidade de clientes.

Como já foi referido anteriormente, a descrição da operação de distribuição será apenas detalhada na região de Lisboa que é abastecida pelo CD de Carnaxide. A distribuição na zona de Lisboa e Vale do Tejo é assegurada em absoluto pelo CD de Carnaxide, de onde saem veículos para entregas duas vezes ao dia. Às 9h parte o primeiro carregamento, que foi preparado na tarde de véspera, enquanto o segundo só abandona o CD a seguir ao almoço, às 14h, estas últimas encomendas foram organizadas durante a manhã.

Quando um cliente concretiza uma encomenda por telefone ou via *email*, esta é registada com todos os dados necessários: morada do cliente, código de barras dos produtos, quantidades, data de entrega, entre outras. O documento é impresso e colocado num arquivo, de acordo com a zona de destino final. Existem 13 arquivos com diferentes zonas, CD secundários ou lojas: Almada, Sacavém, Odivelas, Amadora, Linha, Lisboa, loja Lisboa, loja Feijó, CD Caldas da Rainha, CD Aveiro, CD Portimão, CD Évora e CD Loulé. Os operadores do CD preparam cada uma das encomendas individualmente, e posteriormente estas são verificadas e empacotadas juntamente com a fatura. De seguida, o responsável logístico agrega todas as encomendas que já estão finalizadas e define uma rota.

As rotas de entregas são definidas manualmente e diariamente, sem auxílio de qualquer *software* ou qualquer outra ferramenta, e posteriormente atribuídas a um condutor específico. Uma das dificuldades para esse planeamento é o fato de os clientes serem diferentes ao longo dos dias e com pedidos irregulares, o que dificulta um planeamento antecipado e a definição de rotas fixas. Atualmente, as rotas são definidas segundo uma abordagem do cliente mais próximo, isto é, quando o condutor abandona o CD dirige-se ao cliente que se encontra a uma menor distância, o segundo cliente a ser visitado deve ser o que se encontra mais próximo do primeiro, e assim, sucessivamente. Também é política da empresa que os condutores não forneçam sempre os mesmos clientes ou as mesmas zonas, havendo assim rotatividade entre eles. Isto permite que caso algum trabalhador se ausente, outros sejam capazes de realizar a sua tarefa e já estejam familiarizadas com as zonas de entrega.

Dado que os produtos finais a serem colocados nos veículos são paletes ou tubos, a N&R optou por dividir o espaço para carga existente nos veículos em dois compartimentos. Sendo que uma parte do veículo só pode transportar paletes, no máximo 12 paletes, e a outra parte só pode levar tubos, no máximo 100 tubos.

O serviço de distribuição da empresa apresenta algumas restrições que devem ser consideradas, para assegurar um modelo real para a resolução do problema proposto. Como tal, devem ser respeitadas as seguintes restrições:

- ✓ Os pedidos dos clientes têm de ser sempre realizados, ou seja, a procura tem de ser satisfeita. Não existem quantidades mínimas para ser feita uma encomenda e idealmente a entrega deve ser efetuada até um prazo máximo de 24 horas;
- ✓ É obrigatório cumprir-se a lei relativa às capacidades máximas de carga dos veículos, isto é, o somatório das quantidades a entregar a cada cliente não pode exceder a capacidade máxima de cada compartimento do veículo;
- ✓ A distribuição inicia-se às 9h e conclui-se às 18h, com pausa de almoço das 13h às 14h;
- ✓ Cada uma das rotas começa e acaba no CD;
- ✓ O horário laboral dos condutores deve ser respeitado, das 9h às 18h;
- ✓ Os veículos apenas executam tarefas de distribuição;

2.5 CONCLUSÃO DO CASO DE ESTUDO

No presente caso de estudo foi caracterizada a empresa N&R, onde se pôde verificar que o êxito dos seus negócios resulta da interação de dois fatores críticos: a satisfação do cliente e a competência das operações logísticas. As operações logísticas dependem de uma estratégia que combine eficientemente os envolventes da CA, desde o fluxo de informação entre a N&R e os fornecedores e clientes, à gestão do CD e da loja, até ao transporte da mercadoria. Os clientes só ficam satisfeitos quando o nível de serviço iguala ou supera as suas expectativas, o que se pode confirmar com o aumento do volume de vendas e com o crescimento do número de clientes nos últimos anos. No entanto, esta satisfação também se deve à resposta rápida que é dada aos pedidos, com a melhor qualidade e melhor preço possível.

A N&R sente por isso uma necessidade de reajustar a sua operação de distribuição, pretendendo não só otimizar as rotas de distribuição, como também tornar o processo de cargas e descargas mais eficiente e ainda, que seja aproveitado melhor o espaço dos veículos que efetuam as entregas. Contudo, é obrigatório manter a flexibilidade na resposta e satisfação dos clientes. Foi nesta área que foram detetados os maiores desafios, pelo que se pretende que o trabalho a desenvolver com esta dissertação origine resultados que permitam melhorar a eficiência das rotas. A planificação das operações de distribuição da N&R é dificultada por diversas variáveis. Nasce, assim, o principal desafio da dissertação: desenvolver um modelo de apoio à decisão que possibilite otimizar as rotas de distribuição.

O modelo a estudar terá de contabilizar as distâncias totais percorridas, que devem ser diminuídas, o fluxo de produtos para os diferentes clientes, a capacidade limite de cada compartimento do veículo, as restrições temporais dos turnos e dos horários laborais dos trabalhadores, o aproveitamento da capacidade do veículo e a frota disponível.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O presente capítulo pretende apresentar alguns conceitos da literatura que se revelaram pertinentes para o problema do caso de estudo. Assim, o capítulo inicia-se na seção 3.1 com o desenvolvimento do conceito de Gestão de Cadeias de Abastecimento (**GCA**), identificando as principais características e desafios da atualidade, e ainda, abordando uma das principais funções de uma CA, a operação de transporte. A seção 3.2 dá continuidade a essa mesma área, incidindo sobre o planejamento de rotas de distribuição, mais concretamente, descreve uma temática muito particular, o *Vehicle Routing Problem*, problema associado ao planejamento de rotas do processo de distribuição. Ainda nesta seção, para além de ser definido o conceito de VRP e de serem apresentados os seus elementos e o modelo matemático, são também citados diferentes tipos de VRP e metodologias distintas para a sua resolução. Por último, na seção 3.3 é descrita a conclusão da revisão da literatura.

3.1 GESTÃO DE CADEIA DE ABASTECIMENTO

A intensificação da concorrência nos anos 90 e a conseqüente globalização dos mercados, desencadearam mudanças significativas em todo o processo de aquisição de um produto ou serviço. As empresas rapidamente se aperceberam de que não bastava melhorar a eficiência dentro das suas próprias organizações, mas sim, melhorar a eficiência ao longo de toda a sua CA. Uma das mudanças de paradigma mais significativas da gestão moderna é a de que as empresas já não competem como entidades unicamente autónomas, mas sim como CA (Lambert e Cooper, 2000). Isto é, nos dias de hoje, devido ao ambiente competitivo emergente, as organizações já não lutam entre si, mas sim as cadeias como um só, pelo que o sucesso individual de cada uma delas dependerá da gestão integrada de toda a cadeia. Tornou-se assim essencial, uma gestão eficiente e eficaz para a criação de vantagens competitivas no mercado (Li et al., 2006).

Para se compreender melhor esta interligação é imprescindível esclarecer o conceito de CA. Uma CA consiste numa rede de infraestruturas e intervenientes que asseguram o fluxo contínuo de produtos, serviços e informação desde os fornecedores de matérias-primas até ao consumidor final, passando por diferentes intermediários como fabricantes, distribuidores, grossistas e retalhistas (Simchi-Levi et al., 2000).

Assim, a GCA é o conjunto de abordagens que tentam otimizar a CA, induzindo a uma integração eficaz dos intervenientes e garantindo que o produto ou serviço é entregue nas quantidades certas, no local desejado e no tempo pretendido, com o propósito de satisfazer o nível de serviço exigido pelos clientes e diminuir os custos ao longo da cadeia (Simchi-Levi et al., 2000). Segundo Lambert e Cooper (2000) a GCA pode definir-se como a integração dos processos principais desde os fornecedores de matérias-primas até aos clientes finais, e que acrescentam valor tanto para o consumidor como para os *stakeholders*.

O conceito de GCA foi originalmente introduzido por consultores no início da década de 80 (Oliver e Webber, 1982), mas o tema despertou rapidamente a atenção dos académicos (LaLonde, 1998).

Até então, o conceito de GCA não era particularmente muito diferente da definição contemporânea de Gestão Logística (GL), definido pelo *Council of Logistics Management (CLM)* em 1986 (Lambert e Cooper, 2000). Segundo este, a GL destacava-se como sendo o processo de planejamento, implementação e controle da eficiência e custo do fluxo, incluindo o armazenamento das matérias-primas, produtos em processamento e produtos acabados e a troca de informação desde do ponto de origem até ao cliente final, tendo sempre em linha de conta os requisitos exigidos pelo cliente. Devido à necessidade emergente de haver uma distinção entre GCA e GL, em Outubro de 1998, a CLM anunciou uma alteração na definição de logística. Nesta nova definição, o conceito mantém-se praticamente inalterado, contudo declara-se explicitamente que a gestão logística é somente uma parte da GCA (Lambert e Cooper, 2000).

A GCA é responsável pela tomada de decisão a três níveis: tático, estratégico e operacional (Simchi-Levi *et al.*, 2005). A mesma subdivisão é convencionada por Hax e Candea (1984), que declaram que as decisões logísticas podem ser fragmentadas em três níveis:

- Nível estratégico - são tomadas decisões que têm um efeito a longo-prazo e estão estritamente relacionadas com a estratégia corporativa, sendo por vezes a própria estratégia corporativa (Ganeshan e Harrison, 1995). Encarrega-se de determinar o número, localização e capacidade das fábricas e CD, assim como o fluxo de materiais/ serviços ao longo da CA;
- Nível tático - incluem as decisões referentes às compras, produção, políticas de inventário, estratégia de distribuição e frequência de abastecimento a cada cliente;
- Nível operacional - tomam-se maioritariamente decisões de curto-prazo e concentram-se nas atividades diárias, sendo o seu objetivo principal gerir eficazmente e eficientemente o fluxo de produtos ou serviços que foram decididos estrategicamente para a CA (Ganeshan e Harrison, 1995). Envolve tomadas de decisão como a calendarização, definição de rotas e carregamentos de camiões.

Convém ainda realçar que estes três níveis de decisões apenas fazem sentido se funcionarem integrados e interligados uns aos outros, para um funcionamento eficaz de todos os processos ao longo da cadeia e para o cumprimento dos objetivos.

Qualquer produto, por muito bom e inovador que seja, tem muito pouco valor para o consumidor a menos que esteja disponível num local onde este possa ser consumido (Stock e Lambert, 2001). É essencialmente por este motivo que as organizações investem muito do seu orçamento no transporte dos produtos e em todas as atividades associadas a este. O transporte é a atividade logística mais dispendiosa, chegando por vezes a atingir metade dos custos logísticos das empresas. No gráfico circular da figura 8 é possível comprovar o impacto percentual dos custos de transporte.

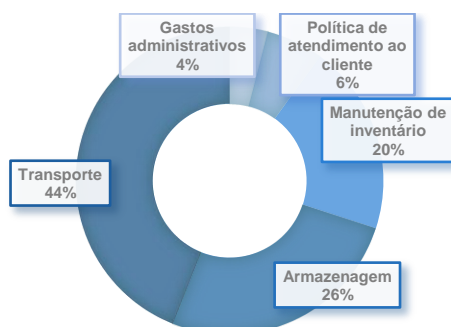


Figura 8: Subdivisão dos custos totais logísticos em percentagem (Fonte: Adaptado de Frazelle, 2002)

O objetivo de qualquer tipo de transporte deve ser o de conectar os locais de abastecimento com os clientes, pelo menor custo possível, dentro das restrições da política de atendimento ao cliente. Para isso, é preciso conhecer os clientes que serão atendidos, o tempo limite de resposta que deve ser cumprido, o local de fornecimento, o volume de material a ser movimentado (Frazelle, 2002), as janelas temporais onde é permitida a entrega e/ou recolha de mercadoria e os diversos tipos de produtos (Wieberneit, 2008). Um problema de distribuição de bens ou serviços pode ser exposto da seguinte forma: uma empresa tem encomendas para movimentar que apresentam diferentes origens, diferentes destinos, diferentes tipos de serviço ao cliente e precisam de assegurar que todos os clientes são servidos da melhor forma possível.

Para a resolução desse mesmo problema os custos totais de distribuição incluem: mercadorias, frota, combustível, manutenção, trabalhadores, seguro, carregamentos e descarregamentos, impostos, portagens e taxas nacionais/internacionais (Frazelle, 2002). Há até um certo antagonismo em garantir um nível de serviço elevado, ao mesmo tempo que se pretende reduzir os custos. Isto porque as possíveis melhorias no sistema, de uma forma geral, implicam custos maiores de transporte, de armazenagem e *stock* (Novaes, 2004).

O *Eurostat*, autoridade estatística da União Europeia, demonstrou no seu último relatório, referente ao período compreendido entre 2005 e 2014, que o modo de transporte de mercadorias mais utilizado na União Europeia (**UE-28**) continua a ser o rodoviário. O gráfico da figura 9 representa a divisão do transporte terrestre de mercadorias (ferroviário, marítimo ou fluvial e rodoviário), desde 2009 a 2014. Como se pode verificar pelo gráfico, em 2014 o transporte de mercadorias feito por estrada foi de 74,9%, o que vem a confirmar que a distribuição é uma área com elevado interesse económico para as organizações e torna-se um dever refazer as estratégias operacionais, de forma a otimizar as rotas e os recursos disponíveis.

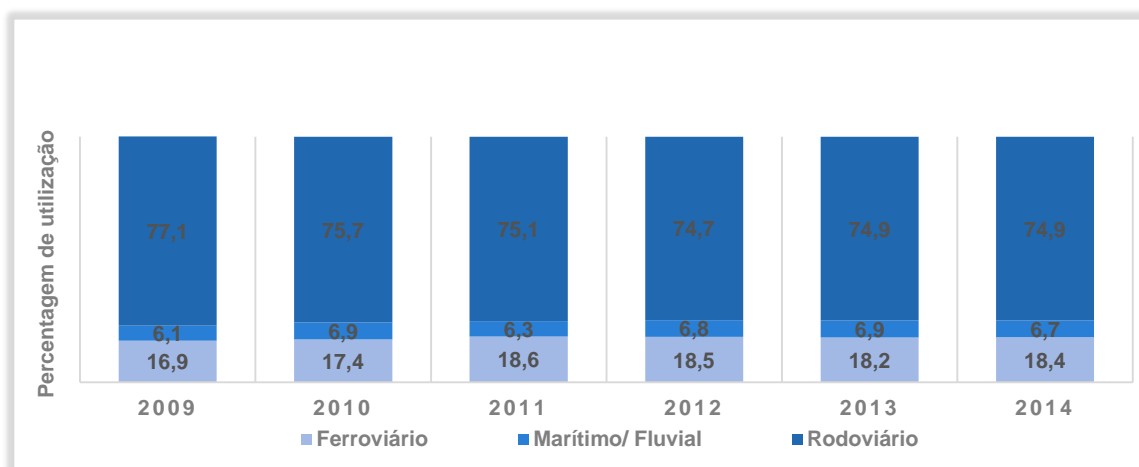


Figura 9: Repartição do transporte terrestre de mercadorias, UE-28 (Fonte: Adaptado da *Eurostat* 2016)

A aplicação de métodos computacionais para o planeamento do processo de distribuição origina, maioritariamente, reduções significativas nos custos de transporte e o impacto na GCA é por sua vez bastante considerável. Na literatura podemos encontrar as mais variadas implementações que obtiveram sucesso no planeamento automático de rotas de distribuição. O êxito destas deve-se, em

grande parte, aos progressos dos algoritmos na área das rotas de veículos e à evolução de novos *softwares* e tecnologias informáticas (Laporte e Osman, 1995).

3.2 PLANEAMENTO DE ROTAS

Uma definição eficiente das rotas dos veículos pode não só acarretar uma diminuição dos custos, como também, se tratar de um fator competitivo de extrema importância para o posicionamento das empresas no mercado. Se esta eficiência for atingida, os benefícios económicos serão consequentemente muito notáveis (Bianchi, 2000).

O estudo de problemas referentes ao planeamento de rotas de veículos iniciou-se na década de 50. Dantzig e Ramser foram os pioneiros, em 1959, a introduzir o *Truck Dispatching Problem*. Neste problema pretendia-se modelar a distribuição de combustíveis a partir de uma estação central para vários postos de abastecimento, a partir de uma frota de camiões homogêneos, percorrendo a menor distância possível. Cinco anos mais tarde, em 1964, Clarke e Wright generalizaram este problema para um problema de otimização linear que é vulgarmente encontrado na área de logística e de transporte: como fornecer um conjunto de clientes, geograficamente dispersos em torno de um CD e usando uma frota de camiões com iguais capacidades. Este tipo de problemas denominam-se por *Vehicle Routing Problems* e foram, e continuam a ser, um dos tópicos mais estudados em Investigação Operacional (Braekers et al., 2015).

Ao longo das últimas décadas, o VRP e as suas variantes têm despertado cada vez mais o interesse dos investigadores, o que consequentemente levou a uma proliferação da literatura académica referente a este tema. Porém, as características do problema e pressupostos divergem amplamente, e poucas foram as revisões de literatura que fizeram um esforço para classificar os artigos existentes em conformidade com os já escritos (Braekers, 2015). Assim, os modelos de VRP atuais são bastante diferentes dos apresentados originalmente por Dantzig e Ramser (1959) e Clarke e Wright (1964), visto que tentam cada vez mais incorporar complexidades da vida real. Algumas das restrições criadas são referentes a: tempos de viagem (condicionados pelo trânsito), limite de tempo para entregas e recolhas, informações que mudam dinamicamente o sistema ao longo dos anos, como é o caso das informações relativas à procura, existência de mais do que um CD (Braekers et al., 2015), frota heterogênea com capacidades e características diferentes, como o peso, volume e refrigeração, número de locais visitados em cada rota, a duração total, precedências entre as cidades de cada rota (Laporte, 1992), entre muitas outras.

3.2.1 DEFINIÇÃO DE VEHICLE ROUTING PROBLEM

O VRP trata-se de um problema de otimização combinatória, que visa determinar as rotas ótimas a serem executadas por um conjunto de veículos idênticos, que partem de um CD e servem um conjunto de clientes com uma procura específica e que estão sujeitas a determinadas restrições (Cordeau et al., 2007).

Num modelo de VRP simples deve ser garantido que: a procura é sempre satisfeita, cada um dos clientes é abastecido uma única vez e por um único veículo, todas as rotas têm como ponto inicial e

como ponto final o CD, a procura de produtos satisfeita pela rota não excede o limite da capacidade do veículo e que o custo total é minimizado (Baldacci et al., 2010). Como cada empresa pode ter objetivos organizacionais bastante distintos, a função objetivo que é definida pode ter os mais variados fins: minimização da distância total, minimização dos custos totais, minimização de tempos de operação, minimização do número de veículos da frota, entre outros. Na figura 10 é dado um exemplo de uma representação geral de um VRP.

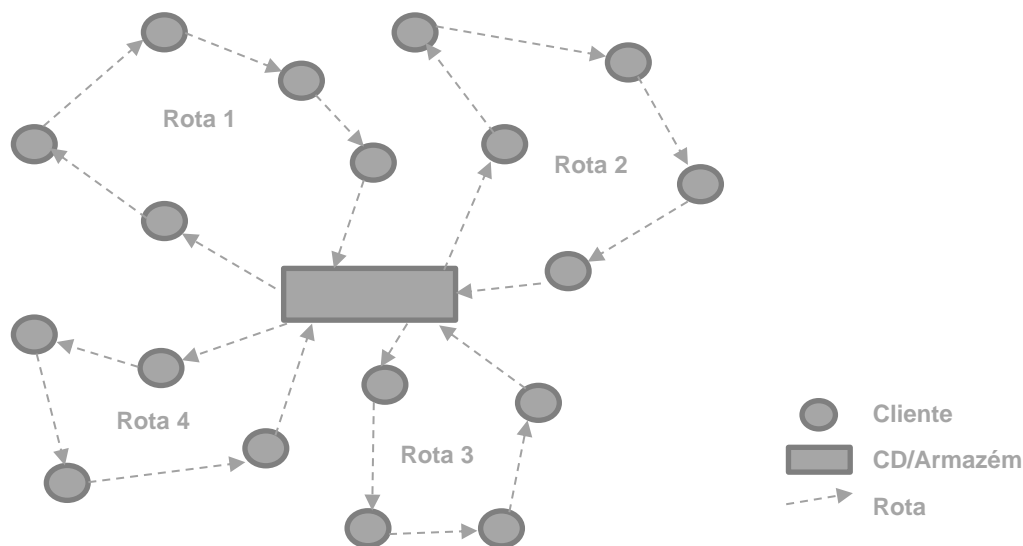


Figura 10: Representação gráfica de um VRP (Fonte: Adaptado de Larsen, 2000)

Uma vez que os problemas relacionados com o planeamento de rotas podem ter características muito distintas, foram desenvolvidos diferentes tipos de VRP. Seguidamente serão apresentados os elementos constituintes de um VRP e os algoritmos matemáticos exatos, métodos heurísticos e meta-heurísticos que podem ser aplicados para a resolução de um problema deste tipo. Por fim, serão expostos alguns tipos de VRP reconhecidos na literatura.

3.2.2 ELEMENTOS CONSTITUINTES DO VRP

Segundo Jozefowicz et al. (2007) e Toth e Vigo (2014) todos os sistemas de transporte devem considerar os seguintes elementos:

- **Rede de Distribuição-** Representação esquemática do espaço físico do problema, onde os nós simbolizam os clientes e centros de distribuição e os arcos a sequência do percurso a realizar. A procura dos clientes poderá estar associada a cada um dos nós do gráfico (*node-routing*) ou a cada arco (*arc-routing*). Quanto à simetria da rede, esta pode ser classificada como simétrica caso os arcos possam ser percorridos nos dois sentidos, caso contrário, classifica-se como assimétrica. Para além disso, cada arco pode possuir um determinado custo.
- **Clientes e Centros de Distribuição-** Cada cliente exige especificações distintas, sejam elas quantidades de produto, períodos de fornecimento, tempo necessário para a entrega ou o veículo que pode efetuar o serviço. Se a oferta não consegue satisfazer toda a procura, então

são estipuladas prioridades e haverá certamente penalizações, como insatisfação ou até mesmo perda de clientes. Os centros de distribuição são os pontos onde os veículos se abastecem para fornecerem os clientes, pelo que as rotas iniciam-se e acabam sempre nestes pontos.

- **Frota**- Conjunto de veículos que efetuam a distribuição da empresa. Esta frota pode ser homogênea caso todos os veículos exibam as mesmas características, ou heterogênea, no caso oposto. As características podem ser as mais variadas: capacidade (peso, volume, número máximo de paletes), tipos de produtos que podem transportar, equipamentos constituintes do veículo que auxiliem as operações de carga e descarga, custos associados ao veículo, como o preço do combustível. Existem ainda outras restrições relacionadas indiretamente com a frota, como as limitações dos motoristas relativamente à duração máxima de condução e a duração das pausas.
- **Custos**- Os custos podem ser subdivididos em fixos, para o veículo, ou variáveis, para os gastos com a sua utilização. Para saber o custo total das rotas é necessário conhecer o custo e o tempo de viagem de cada rota, de cliente para cliente e de cliente para o CD, ou vice-versa.
- **Objetivos**- Os objetivos dos VRP podem ser os mais variados e ter as mais variadas origens, pelo que a definição destes dependerá dos objetivos da empresa em questão. No entanto, como já foi mencionado anteriormente, os mais usuais são: a minimização dos custos totais da distribuição, minimização da distância total percorrida, minimização do número de veículos, maximização da taxa de ocupação, minimização dos tempos de viagem (Toth e Vigo, 2014).

3.2.3 DEFINIÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO DO VRP

A versão clássica do VRP, também conhecida como *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)*, concebe as rotas ótimas para as entregas, onde os veículos têm as mesmas características, apenas podem efetuar uma viagem e existe somente um único armazém central. O foco deste problema é o de garantir um conjunto de rotas com o menor custo possível, para que cada cliente seja visitado uma única vez, e ainda, que o veículo inicia e termine o seu percurso no armazém e que a capacidade de cada um deles não seja excedida (Braekers et al., 2015). Adicionalmente, sabe-se que as procuras são conhecidas previamente, determinísticas e não podem ser repartidas, ou seja, não podem haver dois ou mais veículos a fornecerem o mesmo cliente.

Marinakis et al., (2010) define o CVRP por uma rede $G=(V,A)$, onde $V=\{v_0, v_1, \dots, v_n\}$ representa o conjunto de vértices e $A=\{(v_i, v_j) : v_i, v_j \in V \wedge i \neq j\}$ o conjunto dos arcos. Os vértices com $i=1, \dots, n$ correspondem a pontos de procura, ou seja, zonas onde se situam os clientes, com procuras conhecidas e iguais ou superiores a zero, q_i , o primeiro vértice (v_0) representa o CD e como tal $q_0=0$. O conjunto A é formado por arcos que ligam esses vértices. Cada um dos arcos (v_i, v_j) representa um caminho, onde i é o ponto de partida e j o ponto de chegada, e ainda lhe está associado um custo não negativo c_{ij} , relativo à distância percorrida ou ao tempo de viagem. Os custos entre todos os vértices são expostos numa matriz simétrica de custos, C , no geral este custo de viagem é igual em ambos os sentidos, ou seja, $c_{ij} = c_{ji}$, no entanto ocorrem casos específicos em que a matriz de custos pode ser assimétrica, devido por exemplo à existência de estrada de apenas um sentido.

É necessário ainda ter em conta que existe uma frota constituída por v veículos de capacidade semelhante, e que o objetivo de um VRP simples é o de descobrir o conjunto de circuitos, constituído por várias rotas, que permite minimizar o custo total de distribuição definido como a soma dos custos dos arcos.

Torna-se necessário definir uma variável binária com três índices, x_{ijv} , que pode assumir o valor 1 caso o arco (i,j) seja efetuado pelo veículo v , caso contrário assume o valor de 0. Deste modo, surge o modelo matemático do VRP simples:

Índices:

- i - Local de partida
- j - Local de chegada
- v - Veículo

Parâmetros:

- c_{ij} - Custo da viagem entre o local i e o local j
- q_i – Procura do local i
- Q_v – Capacidade máxima do veículo v
- D_v – Duração máxima da rota percorrida pelo veículo v
- t_{ijv} – Tempo de viagem entre i e j , realizado pelo veículo v
- d_i – Tempo de descarga no local i
- S - Sub-conjunto de clientes

Variáveis de decisão:

x_{ijv} – variável binária, que assume o valor 1 caso o veículo v seja responsável por efetuar o percurso entre o local i e o local j , caso contrário é 0.

Função objetivo:

Minimizar o custo total associado à distribuição:

$$\min \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{v=1}^m c_{ij} x_{ijv} \quad (3.1)$$

Restrições:

As equações (3.2) e (3.3) garantem que cada cliente é abastecido apenas por um veículo:

$$\sum_{i=0}^n \sum_{v=1}^m x_{ijv} = 1, \quad \forall j \geq 0 \quad (3.2)$$

$$\sum_{j=0}^n \sum_{v=1}^m x_{ijv} = 1, \quad \forall i \geq 0 \quad (3.3)$$

A equação (3.4) assegura que todos os veículos que param num determinado cliente saem dele, garantindo a continuidade das rotas.

$$\sum_{j=0}^n x_{jiv} = \sum_{i=0}^n x_{ijv} , \quad \forall i = 0, \dots, n; j = 0, \dots, n \quad (3.4)$$

A equação (3.5) é responsável por não haver excesso de peso nos veículos, isto é, garante que a soma das quantidades carregadas por um veículo para satisfazer a quantidade pedida por cada cliente, q_i , não excede o limite máximo da capacidade do veículo, Q_v .

$$\sum_{i=0}^n q_i \sum_{j=0}^n x_{ijv} \leq Q_v , \quad v = 1, \dots, m \quad (3.5)$$

Por sua vez, a equação (3.6) controla se a soma dos tempos de serviço nos clientes, ou seja, as descargas, d_i , e o tempo de viagem entre os clientes, t_{ijv} , não ultrapassa o tempo máximo estipulado para cada rota, D_v .

$$\sum_{i=0}^n d_i \sum_{j=0}^n x_{ijv} + \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n t_{ijv} x_{ijv} \leq D_v , \quad v = 1, \dots, m \quad (3.6)$$

As duas equações seguintes (3.7) e (3.8) são criadas para entender se existe um veículo disponível para efetuar a rota.

$$\sum_{j=1}^n x_{ijv} \leq 1 , \quad v = 1, \dots, m \quad (3.7)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{jiv} \leq 1 , \quad v = 1, \dots, m \quad (3.8)$$

Por último, resta apenas acrescentar a equação que permite eliminar a criação de sub-rotas, a equação (3.9), onde S representa um sub-conjunto dos clientes.

$$\sum_{v_i \in S} \sum_{v_j \in S} x_{ijv} \leq |S| - 1 , \forall S \subseteq V \setminus \{0\}; S = \emptyset; v = 1, \dots, m \quad (3.9)$$

3.2.4 MÉTODOS DE RESOLUÇÃO DO VRP

Conhecidas as restrições do caso real do problema, o modelo matemático é construído e posteriormente implementado, para ser possível analisar e comparar os resultados, percebendo assim a relevância, ou não, da aplicação do modelo.

Uma vez que o VRP se trata de um problema que pode apresentar um conjunto de soluções muito elevado, torna-se impraticável avaliar cada um dos elementos do problema num período de tempo tolerável, como tal classifica-se como um problema *NP-Hard*, *non-deterministic polynomial-time hard*.

No decorrer dos anos, vários matemáticos contribuíram para o desenvolvimento de métodos que tentassem encontrar a melhor solução possível. Na literatura estudada foram encontradas diversas técnicas para os alcançar, destacando-se três tipos de abordagens:

1. Métodos exatos- apresenta a proposta com a melhor solução possível satisfazendo todas as restrições exigidas, garantindo que a proposta é a ótima. Porém, devido à complexidade destes problemas que têm de ter em conta um número elevado de componentes e restrições, pode não ser possível resolvê-los computacionalmente, uma vez que podem apresentar tempos de processamento muito extensos. Muitas vezes são apenas exequíveis em problemas de pequenas dimensões. À medida que são introduzidos novos *inputs* no problema, o tempo de resposta do modelo cresce exponencialmente. Um dos exemplos de abordagem exata foi apresentado em 1960, por Doig e Land, o método de *Branch and Bound (B&B)*.

a. *Branch and Bound*- é o algoritmo mais utilizado para resolver problemas de otimização de larga escala. O problema principal, P , é repartido em sub-problemas, P_i , de menor dimensão, que se tornam mais simples de solucionar do que o inicial e precisam de ser resolvidos para ser possível encontrar uma solução para o problema principal. Esta subdivisão do problema é designada por *Branching* e tem como intuito diminuir a dificuldade do primeiro problema, com divisões iterativas. Na figura 11 é possível observar-se a estrutura típica do método *B&B*. Depois de ser feita a repartição são estipulados os limites superiores e inferiores que as soluções têm de cumprir. Caso os sub-problemas estejam exteriores ao intervalo do limite são eliminados. Esta operação designa-se por *Bounding*.

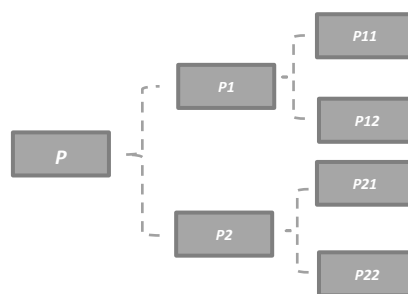


Figura 11: Diagrama do método B&B (Fonte: Adaptado de Doig et al., 1960)

2. Métodos Heurísticos – esta metodologia é menos minuciosa e rigorosa computacionalmente do que a anterior, porém, apesar de apresentar no final soluções boas, estas podem não ser as ótimas. Por um lado, torna-se eficiente a resolução a nível computacional, mas por outro lado diminui-se a precisão durante a resolução. Na literatura classificam-se estes métodos em três tipos (Assad et al.1983):

a. Métodos construtivos- possibilitam construir gradualmente uma solução para o problema, aproximada da solução ótima, baseando-se numa matriz de distância ou de tempos entre diferentes pontos. O algoritmo dos *Savings*, concebido em 1964 por Clarke e Wright é um exemplo de um método construtivo. O princípio deste algoritmo é o de poupar, tempo ou distância em que ambos acarretam custos, quando se unem duas rotas já existentes. Inicialmente, cada um dos clientes está diretamente ligado ao CD, existindo assim igual número de rotas e de clientes. Após a aplicação do método dos *Savings* algumas das

ligações individuais entre um cliente v_i e o v_0 são quebradas e são criadas novas ligações diretas entre clientes distintos. Isto faz com que os veículos não tenham de ir repetidamente ao CD cada vez que abastecem um cliente. Este método encontra-se ilustrado na figura 12.



Figura 12: (a) representa a definição inicial das rotas e (b) as rotas após a aplicação do Método dos Savings (Fonte: Adaptado de Clarke et al., 1964)

A poupança entre o cliente i e j , $Saving_{ij}$, é dada pela equação seguinte (3.11):

$$Saving_{ij} = C_{0i} + C_{j0} - C_{ij}, \quad i \neq j \quad \wedge \quad \forall (i,j) \in V$$

Este método procura o maior $Saving$, ordena todos os valores por ordem decrescente e de seguida constrói as rotas para a operação. Os valores para os Savings só são aceites, no caso de ligarem um cliente e o CD, isto é, são caminhos do princípio ou do final da rota. Uma rota fica completa quando se atinge o limite superior da capacidade do veículo, quando se adiciona um novo cliente e este limite é excedida, então deve iniciar-se uma nova rota. (3.11)

Existem ainda outros métodos construtivos como o método de inserção, o *minimal spanning tree approach* e o *multi-route improvement heuristics*. Este último método introduzido em 1993 por Thompson e Psaraftis, também conhecido como o método do vizinho mais próximo, elabora uma rota onde o veículo parte do CD para um cliente e posteriormente segue para o cliente que se encontra mais próximo e assim sucessivamente até finalizar a rota novamente no CD (Kinderwater e Savelsbergh, 1997).

- b. Métodos de melhoramento- permitem escolher aleatoriamente uma determinada rota de um conjunto de várias rotas possíveis e de seguida realizam-se alterações nos locais a visitar até se encontrar uma solução melhor.
 - c. Métodos compostos- conseguem alcançar resultados muito aproximados da solução ótima. Neste caso, tenta-se encontrar uma solução inicial muito boa e posteriormente aplicar métodos de melhoramento que permitam alcançar valores para soluções ainda melhores.
3. Métodos Meta-heurísticos- este tipo de algoritmos conseguem resolver problemas mais complexos de otimização quando os métodos heurísticos e os de otimização clássicos não são eficazes e eficientes o suficiente para os solucionar. Logo, a qualidade das soluções apresentadas será superior às apresentadas pelo método das heurísticas. As meta-heurísticas resolvem problemas de otimização e examinam as regiões mais promissoras da solução. São inúmeras as meta-heurísticas utilizadas, tais como: colónia de formigas (Reimann,2005), os algoritmos genéticos (Ho et al., 2008), o *simulated annealing* (Kirkpatrick et al.,1983) e o algoritmo *Tabu Search (TS)* (Fallahi et al.,2008).

3.2.5 DIFERENTES TIPOS DE VRP

O VRP pode ser aplicado numa vasta variedade de problemas relacionados com a distribuição e transportes. O problema que foi pioneiro no estudo de rotas de veículos é o *Traveling Salesman Problem (TSP)*. A partir deste problema surgiram diversas variantes, apesar das principais restrições poderem manter-se, existem outras que podem ser acrescentadas, eliminadas ou relaxadas. Estas restrições pretendem modelar um problema de forma a aproximá-lo dos problemas reais com que as empresas se deparam. Na figura 13 encontram-se algumas das variantes mais estudadas:

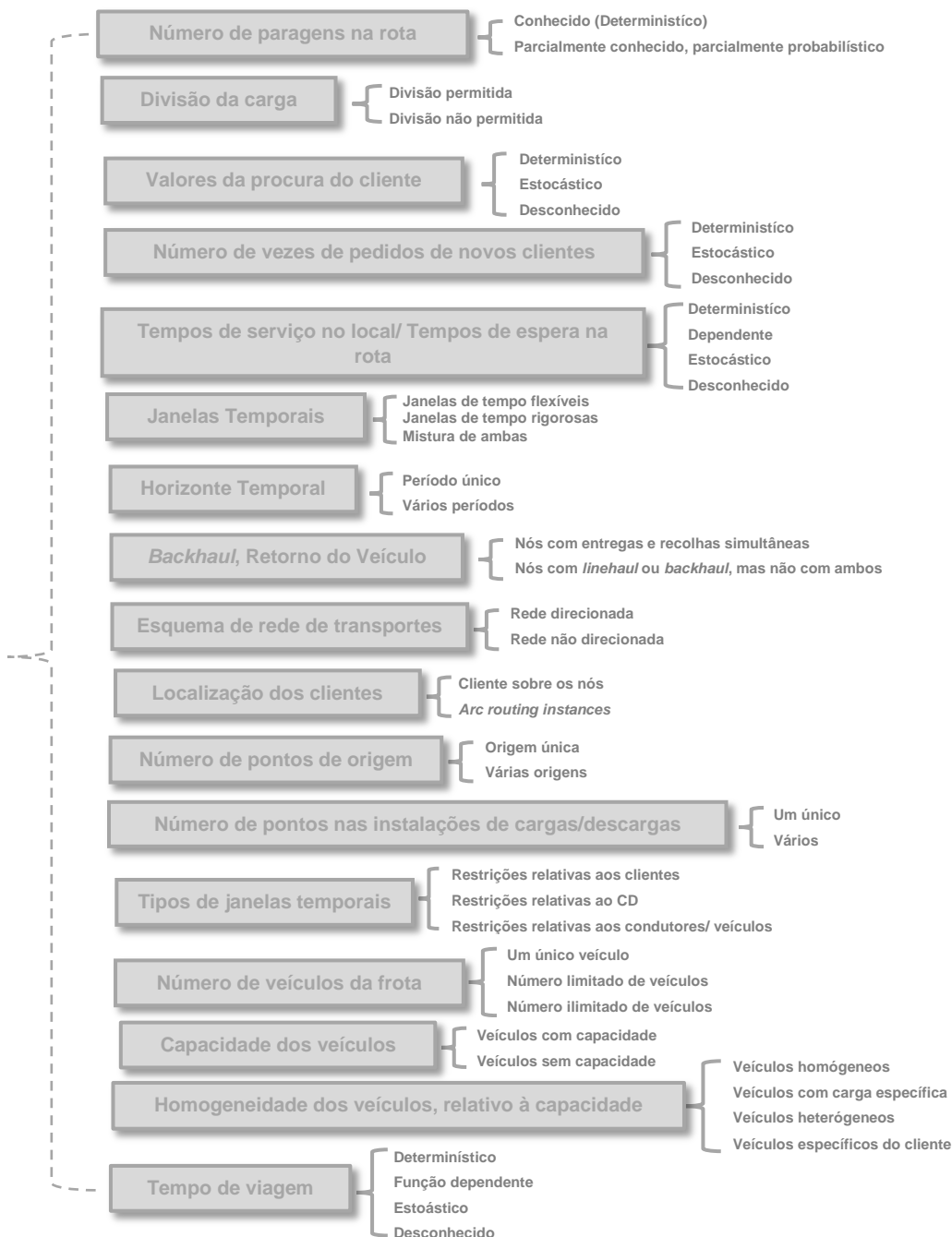


Figura 13: Restrições do VRP que originam diferentes tipos de VRP (Fonte: Adaptado de Braekers et al., 2015)

Sabendo as principais características e restrições do caso de estudo apresentado anteriormente, apenas será realizada uma revisão da literatura dos tipos de VRP que se revelam pertinentes para a resolução do mesmo.

3.2.5.1 CAPACITATED VRP (CVRP)

O CVRP trata-se de um modelo simples e o mais elementar do VRP, onde a principal divergência relativamente ao modelo TSP é a existência de mais do que um veículo e o fato dos veículos terem capacidade limitada. Neste tipo de problemas as procuras dos clientes são determinísticas, isto é, conhecidas antecipadamente, não é possível serem subdivididas e os veículos que constituem a frota são semelhantes e partem de um único CD central. As restrições diferentes deste modelo exigem assim que: a soma da procura total de cada rota não possa exceder a capacidade máxima imposta por lei para o veículo que efetua a rota e os veículos da frota têm todos de ter a mesma capacidade. Tal como em grande parte dos casos, o principal objetivo deste problema é reduzir os custos totais de deslocação, tanto em número de veículos da frota, como em tempo despendido e distância total das rotas (Toth e Vigo, 2014).

A proposta de solução final terá que apresentar o modo como devem ser alocados os veículos disponíveis para as diversas rotas, de modo a que a operação de distribuição apresente o menor custo possível.

Assim, tal como num VRP clássico, este tipo de problema pode ser modelado tendo em atenção as características de cada empresa em particular. No entanto, o acréscimo de algumas restrições pode provocar alterações no problema, originando novos tipos de VRP.

3.2.5.2 HETEROGENEOUS FLEET VRP (HFVRP)

O modelo *HFVRP* é uma generalização do *CVRP*, contudo a frota de veículos não é homogênea, ou seja, os veículos disponíveis para realizar as entregas podem ser de diferentes tipos e como tal, as suas características são distintas. Esta conceptualização é pertinente, dado que na maioria dos casos reais estudados a frota é heterogênea. Neste modelo, ao contrário do *CVRP*, é definida uma frota de v tipos diferentes de veículos com capacidades de $\{Q_1, \dots, Q_v\}$ e com diferentes custos fixos associados $\{Cf_1, \dots, Cf_v\}$ (Pessoa e Aragão, 2009). O *HFVRP* busca alcançar um conjunto de rotas que satisfaça a total procura dos clientes, garantindo ainda que a procura total dos clientes atribuídos à rota do veículo i é inferior ou igual a Q_i e minimizando os custos totais. Os custos totais tratam-se do somatório dos custos variáveis, como a distância total percorrida, com os custos fixos, que resultam do uso dos veículos (Dullaert et al., 2002).

3.2.5.3 VRP WITH TIME WINDOWS (VRPTW)

O modelo do VRPTW apresenta restrições adicionais relativas aos limites temporais para visitar os clientes. Cada um dos clientes tem associada uma janela temporal $[a_i, b_i]$, e é neste intervalo de tempo que o cliente tem de ser abastecido (Bräysy e Gendreau, 2001). No entanto, o CD também

pode ter uma janela temporal para o carregamento. Uma proposta para uma determinada rota torna-se impraticável quando o veículo que fornece um determinado cliente chega ao destino num momento superior ao limite superior definido, b_i , porém pode chegar antes do limite inferior, a_i , havendo neste caso um tempo de espera antes de conseguir efetuar a operação de descarga. Ocorrem casos particulares em que as janelas temporais são flexíveis, uma vez que é permitido infringir as restrições dos limites de tempo, contudo a função objetivo sofrerá uma penalização se a entrega se realizar depois do instante b_i . O objetivo deste problema permanece o mesmo de todos os outros anteriormente referidos: reduzir o número de veículos da frota, o tempo de viagem entre clientes e o tempo de espera até ser possível abastecer os clientes dentro dos limites temporais exigidos (Cordeau et al., 2001).

O VRPTW tem muita aplicabilidade no sector da indústria, uma vez que obriga a ter em conta o horário disponível para serem realizadas as cargas e as descargas num determinado CD (Desrosiers e Dumas, 1995). No entanto, existem muitos outros contextos em que é possível adotar este modelo como é o caso das entregas e recolhas de correspondências (Taner et al., 2012), recolha de resíduos (Kim et al., 2006), planeamento dos horários dos autocarros escolares (Tsutsumi e Kato, 2003), horários de comboios e aviões e todos os casos em que é exigido que o cliente pague pelo produto ou serviço, ou que verifique a chegada do mesmo.

3.2.5.4 DYNAMIC VRP (DVRP)

A maior parte dos métodos de planeamento de rotas soluciona problemas estáticos, onde as constantes e as restrições são conhecidas antes de se iniciar a rota. Contudo, no DVRP estes parâmetros podem sofrer alterações ao longo da operação. Opostamente aos problemas estáticos, neste método a informação que se considera relevante para o problema de planeamento, como a localização dos clientes, a duração do serviço prestado no ato de entrega ou recolha, os valores da procura dos clientes ou até mesmo, as durações de viagem das viaturas entre cada cliente, podem ser uma incógnita no começo das operações.

Na maioria das aplicações do DVRP são considerados dois tipos diferentes de pedidos: pedidos antecipados, clientes estáticos, em que as encomendas são realizadas antes do início da distribuição, e pedidos imediatos, clientes dinâmicos, em que as encomendas podem ser feitas enquanto está a ocorrer a distribuição (Larsen e Madsen, 2000).

Os veículos que já se encontram a realizar uma rota, definida no início da distribuição, podem receber novos pedidos que podem causar alterações no caminho futuro e ter que ser realizado um novo planeamento para satisfazer todas as encomendas.

Este tipo de problemas, em que a informação não é conhecida *à priori*, amplia a complexidade do problema. Por exemplo, quando ocorre um acidente, uma avaria ou simplesmente um atraso de um dos veículos, os clientes que ainda faltavam ser abastecidos irão ser afetados e é necessário fazer um re-planeamento.

O avanço exponencial das tecnologias de informação e comunicação fez com que fosse possível a comunicação entre os veículos e os centros de distribuição, contribuindo significativamente para a atualização constante e dinâmica de dados, favorecendo inclusive o planeamento de rotas. Para ser

praticável esta simbiose torna-se necessário utilizar equipamentos de comunicação e de posicionamento, como o *Electronic Data Interchange (EDI)* e o *Global Positioning System (GPS)*, e ainda sistemas de informação geográficos, como o *Geographic Information Systems (GIS)* (Psaraftis, 1995).

Os táxis, os serviços de emergência, como as ambulâncias, ou os serviços porta-a-porta, por exemplo, quando são transportadas pessoas idosas ou doentes, são alguns dos serviços onde se aplica este modelo.

3.2.5.5 Multi-Compartment VRP (MCVRP)

Em diversas indústrias do mercado, os produtos finais que estas entregam aos seus clientes podem ser considerados como homogêneos, uma vez que podem ser transportados juntos. No entanto, existem outros tipos de indústrias, em que os seus produtos não são considerados homogêneos. Nestes casos, para tentar economizar os custos com o transporte, as empresas utilizam veículos com compartimentos para ser possível o transporte de produtos heterogêneos no mesmo veículo, mas em compartimentos diferentes (Derigs et al., 2010).

Neste modelo conhecido como MCVRP, para além da capacidade total do veículo, cada compartimento apresenta a sua própria capacidade, que pode não ser a mesma entre compartimentos. A disposição do espaço para a carga num veículo pode ser configurável em alguns casos, onde os separadores existentes entre os compartimentos são ajustáveis, conseguindo assim estabelecer os limites de cada compartimento e podendo até abranger o volume total do veículo (Henke et al., 2017). Noutros casos, esses compartimentos já não são flexíveis como os anteriores, sendo os compartimentos fixos e onde não é possível de maneira alguma uma nova configuração.

No problema do MCVRP a procura é toda assegurada por um único CD, que abastece um conjunto de clientes com uma frota homogênea. No entanto, a principal particularidade deste modelo é o facto de os veículos serem constituídos por vários compartimentos, em que cada uma dessas divisões agrupa produtos semelhantes e tem uma capacidade limitada. Estes compartimentos podem ter características físicas que fazem com que apenas seja possível levar produtos muito específicos nessas condições, como por exemplo, a temperatura e a pressão. O MCVRP permite assim, a entrega de diferentes produtos, que devem ser mantidos em compartimentos separados ao mesmo cliente. Cada cliente pode apresentar diferentes procuras para os mais distintos tipos de produtos e deste modo, os veículos mantêm-nos em compartimentos diferentes.

Este tipo de variante do VRP não tem recebido muita atenção por parte da comunidade científica (Gebhard, 2012). Embora o problema tenha sido definido e formulado matematicamente em 2010 por Derigs et al., já tinham sido iniciados estudos sobre problemas com variáveis semelhantes nos anos 80 por Brown e Graves, 1986, onde foram realizadas publicações com problemas de restrições de carga semelhantes. Contudo, foram Muyldermans e Pang (2010) e Derigs et al. (2010), que prosseguiram os estudos sobre esta temática.

Alguns dos casos reais onde pode ser aplicado este modelo é na área do retalho, onde muitos dos produtos necessitam de ser separados, quer seja por razões de higiene ou por razões logísticas. Por exemplo, os produtos lácteos quando são transportados costumam ser levados em veículos com

múltiplos compartimentos, para ser possível agrupar diferentes tipos de leite, como o de vaca e de cabra, ou leites de diferentes qualidades ou de diferentes datas de amamentação (Mendoza et al., 2010). Outros dos casos de aplicação real são os serviços públicos que utilizam os veículos para recolha de lixo, como o trabalho de Elbek et al. (2016) e o de Henke et al. (2017), ou as empresas de distribuição de comida que requerem vários níveis de refrigeração (Chajakis et al., 2013), ou até o transporte de gado vivo para os matadouros e que necessita de diferentes compartimentos para os animais de diferentes espécies (Oppen et al., 2008). No entanto, o problema real mais estudado de um VRP com múltiplos compartimentos é o da entrega de combustíveis. Caso o leitor tenha curiosidade em saber mais sobre o problema corrente nas petrolíferas recomenda-se o trabalho de Coelho et al. (2015).

3.2.5.6 CVRP WITH LOADING CONSTRAINTS (L-CVRP)

Na maioria da literatura dos problemas de CVRP, a capacidade do veículo é assumida como sendo uma medida unidimensional simples, no entanto esta abordagem pode não ser a mais adequada nas aplicações reais. Por exemplo, quando os veículos transportam o máximo de carga admissível, distribuir a mercadoria pelo espaço disponível no veículo é uma questão crucial, uma vez que tem de ser tido em conta o formato das cargas e o seu volume. Até pode ser possível na teoria satisfazer a restrição do peso máximo admissível, mas, no entanto, o *layout* para a disposição dos produtos no veículo pode ser inviável. Para tentar abordar problemas deste tipo, na última década foram desenvolvidos vários estudos onde se tenta integrar o problema de cargas multi-dimensionais ao modelo do CVRP, surgindo assim na literatura o *CVRP with loading constraints (L-CVRP)*. Tanto os problemas de duas dimensões como os de três dimensões (**2L-CVRP** e **3L-CVRP**) consideram tanto a definição de rotas como a disposição da carga do veículo, porém neste último a componente da carga é abordada como sendo um *Container Loading Problem* (Pinto, 2016). Uma vez que a N&R apenas distribui cargas com três dimensões, apenas será detalhado o modelo 3L-CVRP.

O modelo 3L-CVRP é uma extensão do 2L-CRP para um eixo tridimensional e apresenta como principais características: o número de rotas da solução não pode ser maior do que o número de veículos da frota, todos os clientes só podem ser visitados uma única vez, e ainda, é necessário um carregamento ortogonal viável, ou seja, os artigos devem estar completamente dentro do veículo e as arestas das paletes têm de estar paralelas às arestas do veículo.

Neste tipo de problemas, as operações de descarga podem ser facilitadas se os produtos que são para ser entregues no mesmo local já estiverem próximos uns dos outros e ainda se a disposição dos mesmos estiver relacionada com a sequência das entregas. Este método obriga a que quando é feita uma descarga, a restante mercadoria que fica no camião não pode ser movimentada. Para além disso, é também necessário que quando ocorra uma descarga não esteja nenhum produto de outro cliente por cima da mercadoria a retirar.

Na figura 14, encontram-se representados dois carregamentos para o mesmo veículo, no entanto, a situação (a) não é a recomendável e não cumpre os requisitos anteriormente exigidos, enquanto a situação (b) é a mais correta. Em ambos os casos o ponto de origem é 0 e a sequência das entregas é 1-2-3 com retorno à origem, como tal o primeiro cliente a ser abastecido deveria ter a sua

mercadoria mais próxima da porta do caminhão, o que não se verifica no primeiro caso, e ainda é preciso movimentar as embalagens quando se for abastecer o primeiro cliente, o que não era suposto acontecer.

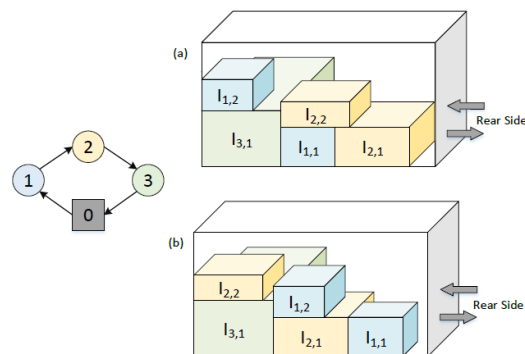


Figura 14: Restrição da sequência no modelo 3L-CVRP (Fonte: Adaptado de Pinto, 2016)

A estabilidade da carga é uma das outras questões mais investigadas nos *Container Loading Problem*, uma vez que se houver pré-controlo da disposição da carga no caminhão podem ser evitados movimentos durante o transporte ou durante as operações de carga e descarga. Tais movimentações podem provocar danos aos materiais e até mesmo ferir os trabalhadores.

Relativamente aos algoritmos encontrados na literatura para o 3L-CVRP, na generalidade simplesmente se aplica os algoritmos meta-heurísticos aplicados no 2L-CVRP para os 3L-CRP. Segundo Vidal et al. (2013), grande parte das técnicas usadas são baseadas nos algoritmos meta-heurístico *Tabu Search* combinados com outros métodos heurísticos para os carregamentos. Gendreau et al. (2006) foram os primeiros a introduzir algoritmos TS complementados com duas heurísticas de embalagem para resolver problemas com restrições de carga. Já Tarantilis et al. (2009) definiram uma meta-heurística, denominada como *Guided Tabu Search (GTS)*, que relaciona o algoritmo TS com o *Guided Local Search (GLS)*. Para além dos artigos científicos escritos por estes autores, houve muitos outros autores que abordaram a problemática das cargas no VRP com algoritmos meta-heurísticos. Se o leitor tiver curiosidade em saber mais sobre o tema poderá consultar os artigos de Zhu et al. (2012), Bortfeldt (2012), Tao e Wang (2010) e ainda, Wang et al. (2010).

Este tipo de VRP tem sido aplicado em diversos casos reais, nomeadamente em organizações que necessitam de distribuir bens alimentares ou outro tipo de produtos, e necessitam de ter em conta a organização das cargas nos seus veículos.

Todos os tipos de VRP descritos anteriormente podem ser aplicados em diferentes problemas reais, no entanto, têm todos o mesmo fim: garantir que todas as restrições são respeitadas e apresentar a melhor proposta para a sua resolução, garantindo um processo mais eficiente e que possivelmente conduza a uma redução significativa dos custos da operação.

3.3 CONCLUSÃO

Neste capítulo foi elaborada uma revisão bibliográfica onde se estudou o desenvolvimento do planeamento de rotas ao longo dos anos, mais precisamente do conhecido *Vehicle Routing Problem*. Foi analisado pormenorizadamente o conceito de VRP, os seus elementos, o seu modelo matemático clássico, os diferentes tipos de VRP existentes, com especial ênfase nos que apresentam características semelhantes ao caso de estudo e ainda, foram apresentadas diferentes metodologias para a resolução dos mesmos.

Após esta revisão e tendo em conta as características do caso de estudo, é possível concluir-se que nem sempre a aplicação de um tipo específico de VRP a problemas reais é uma situação simples e linear.

A principal restrição do VRPTW é a imposição de janelas temporais específicas para cada cliente, e apesar dos clientes da N&R também terem associado a eles um tempo específico para as entregas, esse tempo nunca ultrapassa o tempo definido para as rotas de distribuição da empresa. Isto quer dizer que no período que a N&R realiza as suas rotas de distribuição, todos os clientes estão no local para as receber. Como tal, este tipo de VRP não será o escolhido para o modelo.

Embora a empresa possua uma frota heterogénea de veículos no CD Carnaxide, daí ter sido descrito o modelo HFVRP, o trabalho a desenvolver na dissertação irá apenas incidir na distribuição de mercadoria aos clientes da zona de Lisboa e Vale do Tejo, e nessa operação apenas são utilizados os veículos pesados, com iguais características entre eles.

Um dos objetivos que deve ser adicionado, aos já definidos anteriormente, é o de tornar a operação de cargas e descargas mais eficiente, pelo que a disposição das mesmas dentro do veículo deve ser tida em conta. Para cumprir este último requisito, analisou-se a variante do VRP referente à disposição das cargas, 3L-CVRP.

Por fim, relativamente ao espaço para a carga nos veículos sabemos que cada camião da N&R tem uma divisão, havendo uma fração do espaço que apenas serve para transportar paletes e a restante para transportar os tubos. Tendo em consideração esta característica dos veículos, a principal, o modelo MCVRP é o que respeita especificamente esta condição, pelo que o modelo a desenvolver para solucionar o problema do caso de estudo será baseado neste tipo de variante do VRP, onde estão disponíveis dois compartimentos diferentes, um somente para colocar paletes e outro apenas para tubos.

4 DEFINIÇÃO DO MODELO MATEMÁTICO

Conforme foi exposto no capítulo da revisão bibliográfica, o problema apresentado pela N&R será modelado como uma variante do VRP, o *Multi-Compartment VRP*. Deste modo, a próxima etapa envolve o desenvolvimento da formulação matemática do problema, o que implica definir os índices, os parâmetros, as variáveis, a função objetivo e as restrições necessárias para representar as imposições particulares do caso de estudo. A formulação matemática deste problema foi baseada no trabalho de Derigs et al. (2010) e no de Henke et al. (2017).

Considere-se um conjunto de n clientes que tem associado a cada um deles uma ordem de encomenda, o_p . Nesta encomenda, o índice i representa o cliente a abastecer e o índice p , o tipo de produto pedido, paletes ou tubos. Sendo que foi estabelecido que $p=1$ é referente a paletes e $p=2$ a tubos.

A frota é constituída por m veículos com iguais capacidades entre eles. No entanto, cada veículo, de índice v , é constituído por dois compartimentos, de índice c . Num deles só podem ser colocadas paletes e no outro apenas tubos. Também ficou definido que para este índice, $c=1$ é o compartimento apenas para paletes e $c=2$ é o compartimento só para tubos. A capacidade de cada um dos tipos de compartimentos é igual em todos os veículos, $cmax_c$, isto é, o limite máximo de paletes que podem ser introduzidas é igual em todos os veículos e o limite máximo de tubos é também o mesmo em todos os veículos.

Quando um veículo faz uma viagem de um local i , $i \in \{0, \dots, n\}$ para outro local j , $j \in \{0, \dots, n\}$, implica que lhe esteja associado um tempo de viagem, $tviagem_{ij}$, e uma distância de viagem, $dviagem_{ij}$. Cada veículo irá assim satisfazer um conjunto de clientes. O local com $i=0$ representa o centro de distribuição.

A duração total das entregas é constituída por uma fração fixa e por outra variável. A parte fixa, que corresponde ao parâmetro ta , é o tempo despendido para tratar de questões administrativas, como pagamentos e preenchimento de documentos administrativos no ato da entrega ao cliente da mercadoria. Relativamente à parte variável, esta irá dividir-se em duas parcelas, o tempo de descargas de paletes, tdp_i , e o tempo de descargas de tubos, tdt_i . Estes dois últimos valores dependerão do número de paletes e do número de tubos a entregar em cada cliente, por isso é que está associado a estes o índice i . Como cada cliente pode apresentar um valor diferente para as quantidades de cada tipo de produto pedido, o tempo de descarga em cada cliente irá variar de cliente para cliente.

De seguida, apresentam-se os índices, os conjuntos, os parâmetros, as variáveis e as funções do modelo desenvolvido para o MCVRP.

Índices e Conjuntos

i - local visitado, $i \in L = \{0, \dots, n\}$

j - local a visitar, $j \in L = \{0, \dots, n\}$

v - veículo, $v \in V = \{1, \dots, m\}$

p - tipo de produto, $p \in P = \{1,2\}$

c - compartimento, $c \in C = \{1,2\}$

Parâmetros

o_{ip} - Quantidade pedida pelo cliente i do produto p .

$dviagem_{ij}$ - Distância da viagem entre o local i e j , em km.

$tviagem_{ij}$ - Tempo de viagem entre o local i e j , em minutos.

ta - Tempo fixo no cliente para tratar de questões administrativas, em minutos.

tdp - Tempo de descarga por cada palete, em minutos.

tdt - Tempo de descarga por cada tubo, em minutos.

tt - Tempo total disponível para a operação de distribuição, em minutos.

$cmax_c$ - Capacidade máxima do compartimento c .

k - Velocidade média do veículo, em km por minuto.

Variáveis

Variáveis positivas

$dtotal_v$ - Variável auxiliar que guarda o valor da distância total percorrida por cada veículo v .

$ttotal_v$ - Variável auxiliar que guarda o valor do tempo total de cada veículo v .

u_i - Variável auxiliar inteira que assume valores consoante a posição do cliente i na rota.

Variáveis de decisão

x_{ijvpc} - variável binária que assume o valor 1 se o veículo v transportar a encomenda do local i para o local j do produto p , no compartimento c . Caso contrário assume o valor 0.

vf_v - variável que assume o valor 1 se o veículo v efetuar uma rota e 0 caso contrário.

Função objetivo

Uma função objetivo define o que é realmente importante maximizar ou minimizar, de acordo com os objetivos definidos para o problema em questão.

Para este caso de estudo em particular, a função objetivo que melhor corresponde ao pedido da N&R corresponde à minimização da distância percorrida, em quilómetros.

Ao diminuir a distância percorrida, dispondo da mesma frota, do mesmo número de condutores e do mesmo tempo de serviço, a N&R poderá, como consequência, diminuir os custos associados aos combustíveis, melhorar a eficiência dos seus serviços e até mesmo reduzir o tempo despendido na operação de distribuição.

Para se entender a função objetivo que foi definida é necessário esclarecer ao leitor que os clientes da N&R quando efetuam as suas encomendas, encomendam sempre paletes, mas podem não solicitar tubos. Assim, a função objetivo pode ser obtida através do somatório da multiplicação da distância entre dois pontos i e j , e a variável binária que indica se o veículo v transporta o produto $p=1$, as paletes, no compartimento $c=1$, compartimento das paletes, entre esses dois pontos.

$$\text{Min } z = \sum_v^m \sum_i^n \sum_j^n x_{ijv11} \times \text{dviagem}_{ij} \quad (5.1)$$

Restrições

As restrições que de seguida se apresentam asseguram que cada rota começa no CD, restrição (5.2), e que cada rota tem necessariamente de acabar no CD, restrição (5.3).

$$\sum_{i \geq 1} x_{0iv11} = v f_v, \quad \forall v \in V \quad (5.2)$$

$$\sum_{i \geq 1} x_{i0v11} = v f_v, \quad \forall v \in V \quad (5.3)$$

As duas equações seguintes garantem que para todas as rotas, cada cliente só será visitado uma única vez. A equação (5.4) obriga a que a cada cliente chegue apenas um único veículo e por outro lado, a equação (5.5) obriga a que de cada cliente parta apenas um único veículo.

$$\sum_{i \geq 1} \sum_{v \geq 1} x_{jiv11} = 1, \quad \forall j \in L \setminus \{0\} \wedge j \neq i \quad (5.4)$$

$$\sum_{i \geq 1} \sum_{v \geq 1} x_{ijv11} = 1, \quad \forall j \in L \setminus \{0\} \wedge j \neq i \quad (5.5)$$

Relativamente à continuidade das rotas, a equação (5.6), a seguir disposta, assegura que quando um veículo chega a um cliente terá também que o deixar e seguir para o destino seguinte.

$$\sum_{j \geq 1} x_{jiv11} = \sum_{j \geq 1} x_{ijv11}, \quad \forall i \in L, \forall v \in V \quad (5.6)$$

A equação seguinte, (5.7), permite garantir que a capacidade do compartimento das paletes não é ultrapassada, enquanto que a equação (5.8) garante que a capacidade do compartimento dos tubos não é ultrapassada.

$$\sum_{i \geq 0} \sum_{j \geq 0} o_{i1} \times x_{ijv11} \leq \text{cam}x_1, \quad \forall v \in V, \forall i, j \in L \wedge i \neq j \quad (5.7)$$

$$\sum_{i \geq 0} \sum_{j \geq 0} o_{i2} \times x_{ijv22} \leq cmax_2, \quad \forall v \in V, \forall i, j \in L \wedge i \neq j \quad (5.8)$$

Para assegurar que cada cliente será apenas visitado por um veículo ao qual foi alocado uma rota, surge a restrição (5.9).

$$x_{ijv11} \leq vf_v, \quad \forall i, j \in L, \forall v \in V \quad (5.9)$$

A equação (5.10) garante que o limite de tempo por turno não é ultrapassado. Ou seja, a soma do tempo despendido na operação de distribuição não ultrapassa o tempo disponível, por turno para a operação de distribuição por condutor. O tempo de uma rota irá incluir não só o tempo de viagem entre os pontos, como ainda o tempo utilizado para descargas e tratamento de questões administrativas.

$$\sum_{i \geq 0} \sum_{j \geq 0} (tviagem_{ij} + tdp \times o_{i1} + tdt \times o_{i2} + ta) \times x_{ijv11} \leq tt, \quad \forall v \in V \quad (5.10)$$

A equação (5.11) elimina a criação de sub-rotas. Nesta restrição n representa a dimensão do conjunto dos clientes, enquanto a variável u indica a posição que cada cliente tem numa rota de distribuição.

$$u_i - u_j + n \times x_{ijv11} \leq n - 1, \quad \forall i, j \in L \setminus \{0\} \wedge i \neq j, \forall v \in V \quad (5.11)$$

As duas equações seguintes, (5.12) e (5.13), não são restrições, mas foram construídas para calcular a distância total percorrida e o tempo total gasto por cada veículo, respetivamente.

$$dtotal_v = \sum_{i \geq 0} \sum_{j \geq 0} x_{ijv11} \times dviagem_{ij}, \quad \forall v \in V \quad (5.12)$$

$$ttotal_v = \sum_{i \geq 0} \sum_{j \geq 0} x_{ijv11} \times (tviagem_{ij} + tdp \times o_{i1} + tdt \times o_{i2} + ta), \quad \forall v \in V \quad (5.13)$$

Uma das condições que foi exigida pela N&R era a de que se um cliente vai ser abastecido pelo veículo v , este terá que transportar tanto a encomenda dos tubos como a das paletes. Pelo que a equação (5.14) a seguir disposta garante que é o mesmo veículo a levar todas as encomendas que um cliente possa pedir.

$$x_{ijv11} = x_{ijv22}, \quad \forall i, j \in L, \forall v \in V \quad (5.14)$$

O modelo concebido para a resolução do MCVRP é, assim, formado pela função objetivo (5.1) e por todas as restrições desde a (5.2) até à (5.14). Pretende-se encontrar a sequência de visita dos clientes que minimize a distância total percorrida, respeitando as capacidades do veículo e dos compartimentos, as relações de incompatibilidade e o tempo total disponível para cada rota.

5 RECOLHA DE DADOS

No capítulo anterior foi construído o modelo matemático que posteriormente será aplicado em linguagem GAMS e que simulará a operação de distribuição da N&R.

Torna-se, assim, essencial aplicar este modelo ao caso de estudo e, conseqüentemente, analisar as possíveis melhorias na definição das rotas. Para ser possível essa aplicação ao caso real, é necessário realizar a recolha e o tratamento dos dados da empresa. No subcapítulo 6.1 é concretizada a recolha de dados que permite descrever a situação real da empresa, como a caracterização da frota, dos clientes, horários de funcionamento, tempos de serviço, entre outros. No subcapítulo 6.2, são apresentadas as rotas que a N&R efetuou na sua distribuição, durante um mês. Este último subcapítulo permitirá fazer no futuro uma comparação entre os valores reais e os obtidos pelo modelo. O modelo elaborado aceitará como *input* os dados recolhidos em 6.1 e deverá conceder como *output* a rota ótima, isto é, a sequência das entregas a efetuar para que sejam minimizadas as distâncias totais percorridas.

5.1 METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO

Após a identificação do tipo de problema a tratar no capítulo 3 e com o intuito de solucionar o problema apresentado no capítulo 2, foi delineada uma estratégia para conseguir resolver o presente caso de estudo. Neste capítulo, pretende-se assim apresentar ao leitor a metodologia que será seguida ao longo da dissertação.

Segundo Bassanezi (2002), a construção de um modelo matemático, que represente coerentemente uma situação ou um problema real, deve envolver uma sequência de etapas, simplificada e retratadas no esquema da figura 15. Essa sequência de etapas é composta por seis fases: experimentação, abstração, formulação, validação, modificação e aplicação.

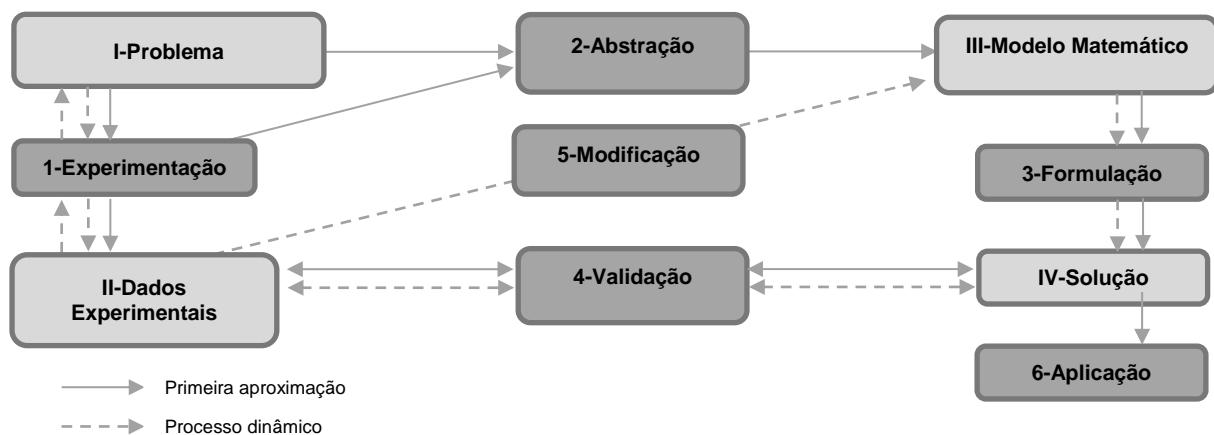


Figura 15: Esquema da metodologia a seguir para a modelação matemática (Bassanezi, 2002)

Na primeira etapa, a experimentação, são caracterizados e analisados detalhadamente os dados do problema que se pretende modelar. O problema neste ponto ainda não é matemático. Este

processo de recolha de dados é fundamental para o sucesso dos resultados obtidos com o futuro modelo matemático. Torna-se, então, essencial direcionar a recolha de dados, para ser facilitado depois a aplicação direta destes no modelo.

Para a recolha e tratamento de dados foi necessário analisar um mês de pedidos de encomendas da empresa, reunir com o responsável pela distribuição e observar no CD as várias fases da operação de distribuição. Para além do tratamento de dados foi preciso assumir-se pressupostos e simplificações devido à complexidade do problema, para ser possível a sua resolução.

A segunda etapa, abstração, trata-se da construção do modelo. É nesta fase que é construído o modelo genérico, onde são definidas as variáveis, é descrito o problema numa linguagem própria e perceptível ao contexto do problema em estudo, e ainda, são formuladas as mais diversas hipóteses que podem ocorrer. Por último, são simplificados certos pontos, de modo a tornar o problema resolúvel, sem porém perder valor.

Na terceira etapa, a formulação, ocorre a troca da linguagem empírica anterior por uma linguagem matemática apropriada, sendo assim formulado o problema matemático. Este modelo de otimização teve em consideração a particularidade do VRP do caso de estudo, o veículo apresenta dois compartimentos diferentes, tratando-se por isso de um MCVRP e assim construiu-se o modelo baseado nos trabalhos de Derigs et al. (2010) e Henke et al. (2017).

A quarta etapa, a validação, corresponde ao processo de aceitação, ou não, do modelo proposto. O modelo é testado e são comparadas as soluções obtidas com os valores reais observados. O grau de aproximação das previsões será o fator decisivo para a sua validação. Um bom modelo será aquele que tem a capacidade de prever novos fatos ou relações que não eram suspeitáveis. Deste modo, a rejeição ou não de um modelo depende de muitos fatores, incluindo os seus objetivos, restrições e recursos disponíveis. No entanto, num bom modelo é imprescindível que este apresente melhorias simples e represente razoavelmente a situação analisada.

A quinta etapa, a modificação, trata-se da reformulação do modelo. Na maioria dos casos, o modelo necessita de sofrer alterações que conduzam a uma solução que represente com maior exatidão e precisão o problema do caso de estudo e posteriormente, deve ser novamente testado. Depois desta reformulação, surge a sexta e última etapa, a aplicação, o modelo após estar finalizado está preparado para ser aplicado. Os resultados que se obtiveram devem ser avaliados quanto ao objetivo inicial definido, que neste caso foi a otimização das rotas com vista à minimização da distância percorrida.

Na última etapa, foram criados três cenários diferentes onde se variaram as condições iniciais definidas para o trabalho e foram analisados os resultados destes cenários relativamente à situação real da empresa, quanto às distâncias percorridas, duração das rotas, número de rotas realizadas, percentagem de ocupação dos compartimentos, custos de combustíveis, entre outros. Após esta avaliação de resultados foi elaborada uma análise de sensibilidade ao melhor cenário, divergindo alguns parâmetros relevantes, como a procura.

Após este esclarecimento da metodologia a seguir para o restante trabalho, espera-se que o leitor tenha compreendido a estratégia delineada para a resolução deste caso de estudo.

5.2 RECOLHA E TRATAMENTO DE DADOS

Esta etapa é de extrema relevância para a correta solução do problema em estudo, uma vez que a qualidade dos dados recolhidos irá influenciar a proximidade do modelo com o caso real da dissertação. Deste modo, os resultados que serão obtidos posteriormente dependem da recolha de dados e do seu tratamento.

Os dados necessários recolher para a aplicação no modelo matemático são referentes ao tipo de produto final, à frota responsável pela distribuição, aos clientes, aos tempos de visita e aos horários de funcionamento.

Antes de mais, convém esclarecer que todas as vezes que neste capítulo for referido o turno de uma encomenda, é sempre relativo ao turno em que as encomendas foram realizadas pelos clientes, e não ao turno em que estas foram expedidas do CD. Num dia existem sempre dois turnos, o turno da manhã e o turno da tarde.

Tipo de produto final

Quando um cliente efetua uma encomenda, esta pode ser composta por vários tipos de produtos, que são colocados numa palete, que posteriormente será colocada no veículo que fará a entrega ao cliente. Se essa encomenda incluir pedidos de tubos, esses não serão colocados na palete.

Assim, cada encomenda é caracterizada por número de tubos e número de paletes. As paletes utilizadas na N&R são as Europaletes EPAL, com 1200 mm de comprimento, 800 mm de largura e 144 mm de altura. Relativamente aos tubos comercializados pela empresa, estes podem ter 3 m, 5 m ou 6 m de comprimento.

Frota

Apesar da N&R possuir na sua frota veículos ligeiros e pesados, na operação de distribuição aos seus clientes apenas são usados os veículos pesados de mercadorias. Como o presente trabalho pretende focar-se na distribuição aos clientes, só serão então caracterizados os veículos pesados de mercadorias.

A N&R possui no seu CD de Carnaxide dois desses veículos, da marca Renault modelo Midlum 220 dxi, com 7.6 metros de comprimento de carga, 2.25 metros de altura e 2.48 de largura. No interior de cada um destes veículos é feita uma divisão do espaço de acordo com o tipo de produto que se pretende transportar. Uma parte do veículo permite transportar paletes, no máximo 12, e a outra fração só tubos, no máximo 100 unidades. Apesar de a empresa ter estipulado que o número máximo de tubos é de 100 unidades, o compartimento para os tubos consegue transportar mais unidades do que estas. Assim, como os pedidos de encomenda de tubos raramente ultrapassam este valor, não serão estudadas ao pormenor as restrições dimensionais dos tubos, como o comprimento e o diâmetro. Para além disso, supondo que era atingido o limite de 100 tubos num pedido de

encomenda e mesmo que todos os tubos apresentassem as dimensões dos maiores tubos comercializados pela N&R, a capacidade do compartimento continuava a não ser excedida.

A figura 16 que se segue representa as dimensões dos veículos e a divisão da carga em compartimentos.

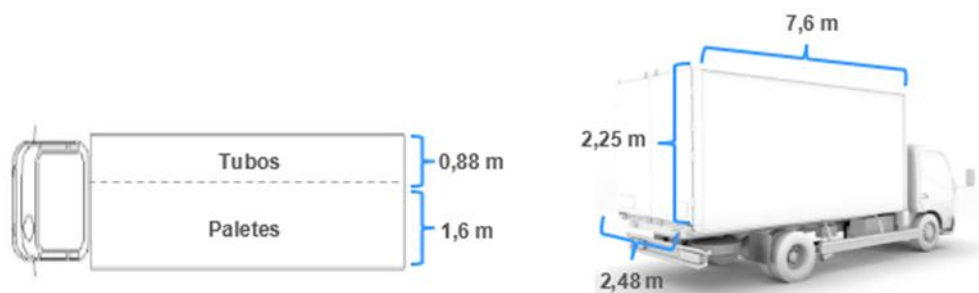


Figura 16: Representação das dimensões dos veículos da N&R e dos seus compartimentos

Como se pode conferir pela figura 16 o volume total do veículo é de $42,4 \text{ m}^3$, onde precisamente $27,4 \text{ m}^3$ armazena paletes e 15 m^3 tubos, o que corresponde a uma percentagem 64,5 % e 35,5 %, respetivamente, para cada tipo de compartimento.

Um dos maiores clientes da N&R é o AKI e este necessita de entregas semanais constantes, pelo que a empresa reserva para esses dias, apenas durante a manhã, um dos seus veículos pesados apenas para este cliente. Nas manhãs de terça-feira entrega na loja do AKI de Loures, nas manhãs de quarta-feira no Colombo, Setúbal, Oeiras, Sintra, nas manhãs de quinta-feira nas lojas da Amadora, Montijo, Expo e nas manhãs de Sexta nas lojas de Alcabideche e Alverca. De acordo com a disponibilidade dos veículos, foi construída a tabela 1 que apresenta o número de veículos livres todos os dias da semana, por turnos da manhã ou da tarde.

Tabela 1: Número de veículos pesados disponíveis por dia da semana e por turno

	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
Manhã	2	1	1	1	1
Tarde	2	2	2	2	2

Outro dado que foi necessário obter foi a velocidade dos veículos. Uma vez que grande parte dos percursos são realizados entre localidades, a velocidade média assumida é de 50 km/h. Esta velocidade é convertida para km/minuto, dado que os dados do problema se apresentam todos em minutos, assim a velocidade será de 0,83 km/minuto

Cientes

A N&R apresenta uma procura heterogénea, tanto a nível de clientes como a nível das quantidades requisitadas, provocando pedidos de encomenda que divergem bastante diariamente. Só no passado ano de 2016 foram registadas encomendas de 9 653 clientes diferentes por todo o país.

Assim, para ser possível tratar deste caso de estudo, optou-se por analisar 4 semanas consecutivas de encomendas entre o dia 19 de junho de 2017, segunda-feira, e o dia 14 julho de 2017, sexta-feira. A análise das encomendas implicou alguma recolha de dados de forma manual, o que impossibilitou alargar o período em análise. O software da empresa quando regista um pedido de um cliente assinala tanto os pedidos feitos em loja, como os pedidos por *e-mail* ou por chamada. No entanto, não faz distinção entre os pedidos que são entregues pela N&R e os que são os próprios clientes a levar da loja. Quando é feita uma encomenda para expedir, esta é impressa e entregue ao responsável logístico. Este facto levou a que a recolha de dados para esta fase tivesse de ser realizada manualmente. Durante o período em análise, todos os dados destas faturas impressas para a distribuição, foram transpostos para o Excel para posteriormente ser possível tratar a informação recolhida. Assim, tiveram de ser registados todas as informações referentes a cada cliente, morada e código postal, número de unidades de paletes e de tubos e ainda, o dia da semana em que foi realizado o pedido, se foi durante a manhã ou de tarde e a hora do pedido.

Na tabela 2 estão resumidos o número de pedidos de clientes recebidos em cada dia da semana, por turno, durante as quatro semanas analisadas e o total de paletes e de tubos a entregar.

Tabela 2: Número de clientes, paletes e tubos registados por dia e por turno

Semana	Dia	Turno	Clientes	Paletes	Tubos	Turno	Clientes	Paletes	Tubos
1	Segunda	Manhã	9	12	25	Tarde	8	10	23
1	Terça	Manhã	6	6	0	Tarde	6	8	70
1	Quarta	Manhã	6	6	8	Tarde	5	8	0
1	Quinta	Manhã	7	7	30	Tarde	6	7	0
1	Sexta	Manhã	7	7	30	Tarde	5	5	18
2	Segunda	Manhã	8	11	0	Tarde	6	10	19
2	Terça	Manhã	7	7	45	Tarde	5	7	4
2	Quarta	Manhã	10	19	0	Tarde	4	4	12
2	Quinta	Manhã	7	11	8	Tarde	4	5	9
2	Sexta	Manhã	9	18	112	Tarde	8	12	3
3	Segunda	Manhã	6	9	87	Tarde	4	7	10
3	Terça	Manhã	8	11	160	Tarde	4	6	23
3	Quarta	Manhã	7	10	20	Tarde	6	9	5
3	Quinta	Manhã	11	15	80	Tarde	6	8	0
3	Sexta	Manhã	6	9	6	Tarde	6	7	96
4	Segunda	Manhã	10	15	52	Tarde	6	10	0
4	Terça	Manhã	10	15	75	Tarde	5	7	8
4	Quarta	Manhã	8	10	30	Tarde	5	5	10
4	Quinta	Manhã	8	11	51	Tarde	5	7	90
4	Sexta	Manhã	8	13	41	Tarde	9	14	10

É de salientar que uma encomenda quando é recebida, só é entregue no turno seguinte, ou seja, se uma encomenda for recebida na segunda-feira de manhã, só será entregue na segunda-feira à tarde. Por outras palavras, quando na tabela 2 observamos na semana 1 a segunda-feira de manhã e temos 12 paletes, significa que foram pedidas 12 paletes e que essas 12 paletes serão expedidas nesse mesmo dia no turno da tarde.

Os dados representados na tabela 2 permitem apoiar o pressuposto que foi mencionado anteriormente relativamente à capacidade máxima para o compartimento dos tubos. O número máximo de pedidos de tubos raramente ultrapassa as 100 unidades. Nos casos dos turnos em que foi

ultrapassada a capacidade do compartimento, as encomendas foram sempre realizadas em turnos da manhã, o que implica que sejam transportadas no turno da tarde, onde há dois veículos disponíveis para fazer a rota das entregas. Assim, fica assegurado que existe capacidade para transportar as encomendas de tubos, não havendo necessidade de complicar o estudo com a análise das dimensões dos tubos.

No anexo 2 estão expostas as matrizes com os valores das encomendas de cada cliente pelos 40 turnos analisados, que posteriormente serão utilizados como dados para a resolução do modelo.

Com base nos dados analisados na tabela 2, foi construída a tabela 3, onde são apresentadas as médias por turno do número de clientes, de tubos e de paletes encomendadas, em cada uma das semanas.

Tabela 3: Média do número de clientes, paletes e tubos por turno e por semana

Semana	Manhã			Tarde		
	Média clientes turno	Média paletes turno	Média tubos turno	Média clientes turno	Média paletes turno	Média tubos turno
1	7	7.6	18.6	6	7.6	22.2
2	8.2	13.2	25.8	5.4	7.6	9.4
3	7.6	10.8	54.6	5.2	7.4	26.8
4	8.8	12.8	49.8	5.8	8.2	23.6

Pela observação da tabela 3 é viável comparar os valores das encomendas pedidas de manhã e de tarde e concluir que tanto a nível de número de paletes, como de tubos e de clientes, o turno da manhã apresenta valores médios mais elevados.

Relativamente ao cálculo das distâncias entre o CD e cada um dos clientes, e entre os próprios clientes, recorreu-se à ferramenta disponível no *site* do Google Maps. Através dos valores das distâncias, procedeu-se ao cálculo direto dos tempos de viagem. Assim, para obter os tempos de viagem basta apenas dividir a distância pela velocidade média dos veículos, que como já foi dito anteriormente assumiu-se como 50 km/h. Como a unidade de tempo no presente caso de estudo foi estipulada em minutos, ao valor anterior deve-se multiplicar por 60.

As matrizes de distância encontram-se representadas no anexo 3, enquanto os tempos de viagem serão calculados no GAMS a partir da equação referida anteriormente que permite o seu cálculo direto através da matriz de distância. O processo de construção das matrizes de distância foi bastante moroso, dado que foram analisadas 40 amostras de turnos, cada uma com um conjunto de clientes diferentes, e como tal foram muito elevados os pares de distâncias entre clientes e clientes e CD que tiveram de ser observados e registados individualmente. No total, foram registadas 2538 distâncias entre os locais, mas uma vez que se adoptou uma matriz de distâncias simétricas só foi necessário calcular metade do valor referido. Ou seja, foi necessário colocar no Google Maps 1269 pares de locais e obter assim as distâncias entre eles.

Tempos de visita

O cálculo do tempo de visita em cada cliente depende de três componentes, em que duas delas são variáveis e uma é fixa. A componente fixa diz respeito ao tempo médio estimado que o condutor despende durante cada visita para receber os pagamentos e tratar de assuntos administrativos que sejam necessários com o cliente. Para este tempo de visita fixo estima-se um valor de 5 minutos por cada cliente atendido.

Quanto às componentes variáveis, devem ser considerados os tempos de descarga de paletes e os tempos de descarga de tubos, em cada um dos clientes. Devido às informações reveladas pelo responsável logístico, foi assumido que o tempo médio de descarga de uma paleta, ou seja, o tempo que decorre desde que o condutor inicia a descarga de uma paleta até ao momento em que abandona no local desejado pelo cliente, é de aproximadamente 4 minutos por paleta. Por outro lado, o tempo para a descarga de cada tubo é de 30 segundos.

Assim, o tempo despendido por cada cliente inicia-se em 5 minutos e é variável de acordo com o número de paletes e de tubos entregues.

Horário de funcionamento

O horário de distribuição inicia-se às 9h e finaliza-se às 18h. Os condutores têm ainda direito a 1 hora de almoço, das 13h às 14h, em que retornam obrigatoriamente ao CD de Carnaxide. Logo, cada dia é composto por 8 horas de trabalho, divididos em dois turnos, manhã e tarde, em que cada um deles tem um horário de trabalho útil de 240 minutos.

O camião que parte de manhã é sempre preparada na tarde de véspera, excepto na manhã de segunda-feira em que o veículo foi preparado na sexta-feira à tarde da semana anterior. Por outro lado, o camião que parte de tarde é preparado durante a hora de almoço dos condutores.

Quando um condutor termina a rota da manhã abandona o veículo no CD e vai almoçar. Durante esta pausa para almoço, os trabalhadores que se encontram no CD e que já têm indicações das cargas que devem ser colocadas no veículo para a rota da tarde carregam o camião, deixando-o preparado para o condutor abandonar o local quando terminar o seu almoço. Terminada a rota da tarde, o condutor regressa ao CD e é novamente carregado o camião mas desta vez para rota da manhã do dia seguinte.

5.3 SITUAÇÃO ATUAL

Neste subcapítulo será apresentado ao leitor a situação atual das rotas da empresa no período em análise, isto é, para as encomendas que foram recolhidas anteriormente quais foram as rotas que os condutores fizeram em cada turno e qual foi a distância total percorrida em cada uma delas. Estes valores serão posteriormente comparados com a solução que será obtida com o modelo de otimização e permitirão concluir se a aplicação do modelo é vantajosa para a resolução do caso de estudo.

Embora durante os 20 dias de recolha de dados na empresa tenham sido registadas as rotas que o responsável logístico definiu, não existiam registos dos quilómetros percorridos pelos veículos. Por

este motivo, foi necessário proceder-se a uma aproximação dos quilómetros realizados na situação atual. Para esse cálculo, recorreu-se à matriz distância construída através do Google Maps e à sequência da ordem das entregas que foi estipulada pelo responsável logístico. A tabela 4 representa os resultados obtidos para as distâncias percorridas no total para cada turno, tendo sido percorridos no total dos 20 dias 4718,2 km. É de salientar novamente, que o dia e turno são referentes à preparação da encomenda e que esta só sairá no turno seguinte.

Tabela 4: Distância total percorrida por cada turno

Dia e Turno encomenda	Distância total	Dia e Turno da chegada encomenda	Distância total
1-Manhã	69.8 Km	11-Manhã	133.2 Km
1-Tarde	123.1 Km	11-Tarde	45.5 Km
2-Manhã	139.9 Km	12-Manhã	178.7 Km
2-Tarde	65.44 Km	12-Tarde	82.2 Km
3-Manhã	67.6 Km	13-Manhã	141.7 Km
3-Tarde	61.4 Km	13-Tarde	86.1 Km
4-Manhã	129.9 Km	14-Manhã	220,9 Km
4-Tarde	147.4 Km	14-Tarde	109.1 Km
5-Manhã	166.85 Km	15-Manhã	92.3 Km
5-Tarde	72.7 Km	15-Tarde	108.7 Km
6-Manhã	158.9 Km	16-Manhã	96.4 Km
6-Tarde	152.3 Km	16-Tarde	141.1 Km
7-Manhã	183.3 Km	17-Manhã	117.4 Km
7-Tarde	109.7 Km	17-Tarde	70.9 Km
8-Manhã	148.1 Km	18-Manhã	159.1 Km
8-Tarde	74.6 Km	18-Tarde	100.3 Km
9-Manhã	99.3 Km	19-Manhã	157.6 Km
9-Tarde	68.6 Km	19-Tarde	132.8 Km
10-Manhã	120.5 Km	20-Manhã	120.3 Km
10-Tarde	126.1 Km	20-Tarde	138.4 Km

Caso o leitor tenha curiosidade em saber quais foram as rotas efetuadas em cada dia e a distância percorrida em cada uma delas, pode consultar o anexo 4 e examinar com maior detalhe os dados que permitiram a construção da tabela 4.

6 RESOLUÇÃO DO CASO DE ESTUDO

Após se ter desenvolvido o modelo matemático baseado num problema de planeamento de rotas com veículos que possuem vários compartimentos (MCVRP) e de se ter procedido ao tratamento de dados do problema, considera-se necessário aplicar o modelo construído ao caso de estudo real e analisar as possíveis melhorias que este pode conceder na definição das rotas.

Para isso, o modelo matemático foi implementado em linguagem GAMS. Este *software* recorre ao algoritmo ILOG CPLEX para resolver o modelo. O modelo recebe como *input* os dados recolhidos no capítulo anterior e deverá restituir como *output* a rota ótima, isto é, a sequência das entregas que o veículo deve efetuar, de modo a minimizar a distância total percorrida.

Para a compreensão futura dos resultados obtidos, é fundamental lembrar as características mais relevantes e próprias deste caso de estudo. Consideraram-se 4 semanas de distribuição da empresa, o que corresponde a 20 dias de trabalho, em que cada dia apresenta sempre dois turnos de entregas, o da manhã e o da tarde, tendo por isso sido analisados no total 40 turnos.

Relativamente ao tempo total despendido em cada cliente irá depender de cliente para cliente, sendo sempre composto por três parcelas, tempo necessário para descargas de paletes, tempo necessário para descarga de tubos e tempo gasto para tratamento de questões administrativas. Apesar da última parcela referida ser fixa para todos os clientes, as duas primeiras variam de cliente para cliente, consoante o número de paletes e de tubos que encomendem. A tabela 5 apresenta esses valores para cada parâmetro relacionado com o tempo em que o veículo esteve parado em cada cliente e ainda, apresenta os valores dos parâmetros relacionados com a duração máxima definida para cada turno, capacidades máximas de cada compartimento e velocidade média.

Tabela 5: Parâmetros do modelo

Parâmetro	Descrição	Valor
ta	Tempo fixo no cliente para tratar de questões administrativas, em minutos.	5
tdp	Tempo de descarga por cada palete, em minutos	4
tdt	Tempo de descarga por cada tubo, em minutos	0,5
tt	Tempo total disponível para a operação de distribuição por turno, em minutos.	240
k	Velocidade média do veículo, em km/minuto	0,83
cm_{ax_1}	Capacidade máxima do compartimento das paletes, em unidades	12
cm_{ax_2}	Capacidade máxima do compartimento dos tubos, em unidades	100

O número de veículos disponíveis para a operação de distribuição depende do dia da semana a analisar e do turno, sendo que existem sempre dois veículos disponíveis com exceção dos turnos da terça-feira, quarta-feira, quinta-feira e sexta-feira de manhã, em que só está livre um único veículo. Por último, considerou-se que a velocidade média dos veículos é de 50 km/h e que capacidade máxima em cada veículo para o compartimento das paletes é de 12 unidades, enquanto a capacidade máxima do compartimento dos tubos é de 100 unidades.

O modelo apresentado no capítulo 4 foi implementado no *software* GAMS e como tal, foi necessário testar o modelo aplicando-o a um turno simples de entregas, isto é, um turno que apresenta-se poucos clientes.

Após a verificação do modelo e com o intuito de fornecer no final um conjunto mais variado de possíveis soluções para o problema, foram construídos três cenários distintos. O primeiro cenário, subcapítulo 6.1, deriva da aplicação do modelo MCVRP utilizando exatamente os dados recolhidos no capítulo 6 e que representam a situação atual da empresa. O segundo cenário, subcapítulo 6.2, testa a viabilidade de se utilizar apenas um veículo na operação de distribuição se for relaxada a duração máxima permitida para cada turno, caso o total do número de paletes seja igual ou inferior a 12 paletes e o número de tubos seja igual ou inferior a 100 tubos. Nos turnos em que esta última condição não se verifica, mantêm-se dois veículos na operação. Por último, o terceiro cenário, subcapítulo 6.3, analisa a hipótese de existir sempre um único veículo para a operação e nos turnos em que não é possível atender todos os clientes, os últimos clientes a terem realizado a encomenda são abastecidos no turno seguinte. Após a apresentação dos resultados obtidos em cada cenário no subcapítulo 6.4 serão comparados os três cenários entre si e também com os valores atuais que a empresa apresenta com o seu método de definição manual de rotas e que já foi exposto.

Uma vez que os resultados computacionais da aplicação do modelo para os três cenários foram muitos extensos, dado que cada cenário apresenta 40 testes, no presente capítulo apenas serão resumidos os resultados finais que permitiram obter conclusões para o trabalho. Caso o leitor pretenda analisar ao pormenor as rotas de cada turno e de cada cenário, encontram-se nos anexos 6, 7 e 8 os valores detalhados de cada um dos cenários 1, 2 e 3, respetivamente.

Por fim, no subcapítulo 6.5 selecionou-se o melhor cenário exposto e realizou-se uma análise de sensibilidade a este. Neste estudo foram avaliados os impactos que determinados parâmetros podem ter sobre os resultados finais.

6.1 CENÁRIO 1

Como já foi mencionado anteriormente, no cenário 1 foi aplicado o modelo matemático desenvolvido que se baseia num caso particular do VRP, o MCVRP, e foram inseridos os dados recolhidos no capítulo 6.1.

A comparação dos resultados do cenário 1 com os da empresa atualmente, permitirá fazer uma análise direta, uma vez que são inseridos no modelo exatamente os mesmos parâmetros que se verificam na situação real da empresa. Por outras palavras, será confrontada a solução que o modelo devolve para as rotas com as rotas definidas manualmente pelo responsável logístico da N&R.

A figura 17 expõe a análise comparativa da distância percorrida entre o primeiro cenário e os resultados da empresa N&R.

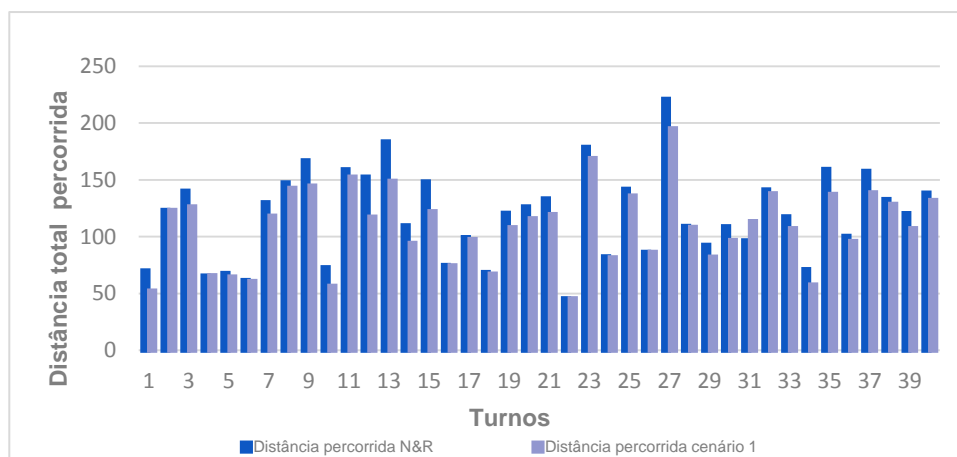


Figura 17: Análise comparativa das distâncias percorridas no cenário 1 e na empresa N&R

Na tabela 6 estão demonstradas as distâncias totais percorridas e a distância média percorrida por turno para ambos os casos analisados.

Tabela 6: Resumo das distâncias totais percorridas no cenário 1 e na N&R

	Distância percorrida N&R (Km)	Distância percorrida cenário 1 (km)
Total	4718,2	4323,54
Média por turno	117,96	108,1

Tanto pela análise da figura 17, como pela leitura dos dados da tabela 6, conclui-se que o primeiro cenário apresenta valores inferiores aos da empresa. O cenário 1 permite alcançar uma redução mensal de cerca de 395 km, o que equivale a uma redução percentual de 8,4%, o que representa uma diminuição média por turno de 10 Km.

Quanto à utilização da frota disponível, a figura 18 permite comparar o número de veículos usados neste primeiro cenário com os resultados da empresa.

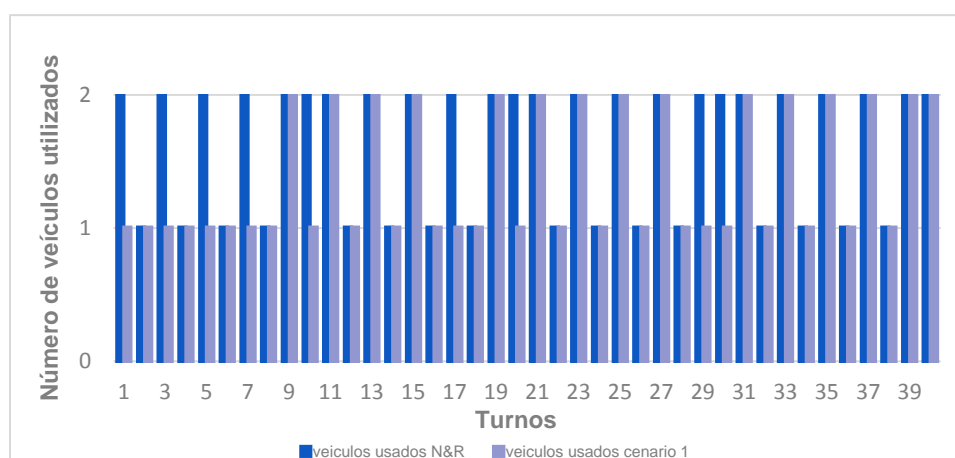


Figura 18: Análise comparativa do número de veículos utilizados no cenário 1 e na empresa N&R

Pela confrontação dos valores, é possível concluir que houve uma diminuição do número de veículos utilizados, não em todos os turnos, mas sim em nove dos quarenta turnos estudados. O somatório do número de veículos utilizados durante este mês traduz-se no número de rotas totais que a empresa realizou. No caso real foram realizadas 64 rotas, enquanto no cenário 1 apenas foram efetuadas 55 rotas, registrando-se por isso uma diminuição significativa do número de rotas. Esta diminuição de 14% pode ser vantajosa para empresa, não só porque não emprega todos os seus veículos que estão disponíveis no momento, permitindo assim reduzir os custos associados ao desgaste dos veículos, como ainda não necessita que o condutor que iria efetuar a rota seja alocado a essa tarefa.

Quanto à percentagem de ocupação de cada compartimento do veículo, na figura 19 são comparados os valores do compartimento das paletes e na figura 20 os valores dos compartimentos dos tubos. Em ambos os gráficos é considerada a percentagem média de ocupação por turno, isto é, num turno em que se verificarem duas rotas é registrada a média de ocupação de cada compartimento entre essas duas rotas.

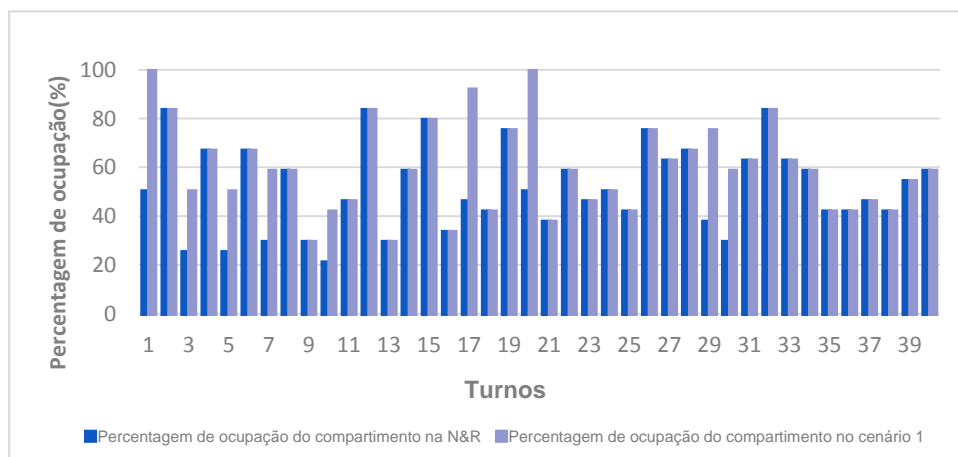


Figura 19: Análise comparativa da percentagem de ocupação do compartimento das paletes no cenário 1 e na empresa N&R

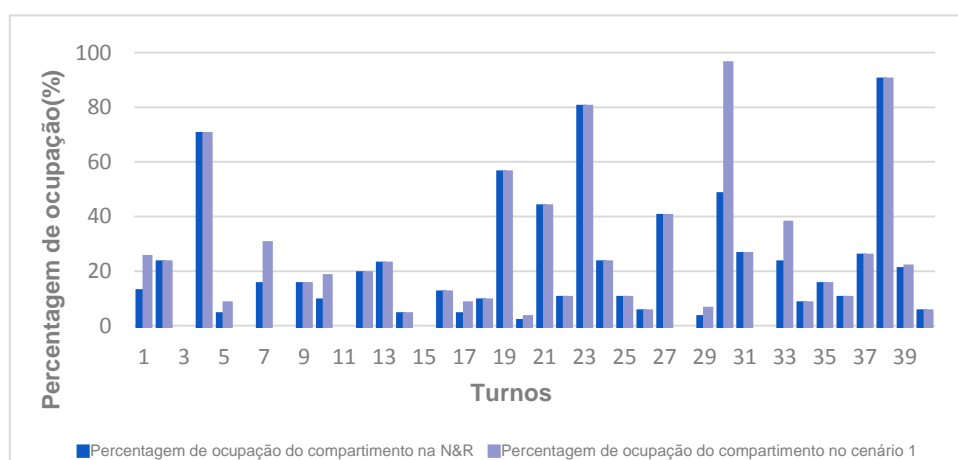


Figura 20: Análise comparativa da percentagem de ocupação do compartimento dos tubos no cenário 1 e na empresa N&R

Comparando os resultados obtidos no cenário 1 com os valores da N&R, verifica-se um aumento significativo da percentagem de ocupação dos compartimentos, com maior nuance no compartimento das paletes. A média de ocupação do compartimento das paletes passou de 49% para 57%, enquanto o compartimento dos tubos aumentou de 19 % para 23%. Por observação dos gráficos pode-se concluir que em todos os turnos analisados ambas as percentagens de ocupação mantiveram-se ou aumentaram. Esta situação verifica-se porque, em certos casos, o número de veículos utilizados passou de 2 para 1, fazendo com que a ocupação do único veículo que fará a distribuição aumente.

Relativamente aos custos associados à operação de distribuição, através da tabela 7 é viável realizar-se uma comparação entre os custos deste cenário e os da empresa. É de realçar que nestes custos apenas serão contabilizados os custos associados ao consumo de combustível e não serão tidos em consideração outros custos como por exemplo, o desgaste dos veículos. Para esta análise assumiu-se um consumo médio de combustível por parte do veículo de 29 litros/ 100 km e que o preço do gasóleo por litro é de 1,29 €. Assim, o preço do combustível por cada quilómetro percorrido é 0,37 €.

Tabela 7: Custos combustíveis mensais e por turno da distribuição na empresa e no cenário 1

	Custos da N&R (€)	Custos do cenário 1 (€)
Total	1765,07	1617,44
Média por turno	44,13	40,44

A diferença dos custos com combustíveis com a implementação do modelo matemático é relativamente pequena face aos valores reais da empresa durante o mês de estudo. Comparando os resultados obtidos verifica-se uma redução mensal de 148 € e anual de 1776 €, o que equivale a uma redução anual de 8,4 %.

Por último, para concluir o estudo deste cenário é necessário ressaltar que apesar dos custos associados ao combustível não terem sido reduzidos significativamente, a redução do número de veículos utilizados permite facultar uma solução mais apropriada à realidade da empresa. No caso de o veículo não ser necessário, o condutor que estaria alocado a ele pode ser direcionado para a realização de outras tarefas no CD. Para além disso, ao ser minorado o número total de rotas, a taxa de ocupação do veículo aumenta o que tornará a operação de distribuição mais eficiente, uma vez que um único veículo irá visitar um número maior de clientes. Pode-se concluir que este cenário veio melhorar a situação da empresa e conseguiu diminuir 8,4% a distância total percorrida, o principal objetivo do trabalho.

6.2 CENÁRIO 2

Neste novo cenário é analisada a viabilidade da utilização de um único veículo para a operação de distribuição, se o somatório do número paletes encomendados no turno for igual ou inferior a 12 unidades e o somatório do número de tubos encomendados for igual ou inferior a 100 unidades. Caso esta condição não se verifique, são utilizados na mesma os dois veículos disponíveis. Para este cenário foi também relaxada a restrição do tempo total para cada rota, deixando de existir o limite de tempo de 240 minutos.

A figura 21 ilustra a análise comparativa da distância percorrida por este cenário, o cenário anterior e os resultados atuais da empresa.

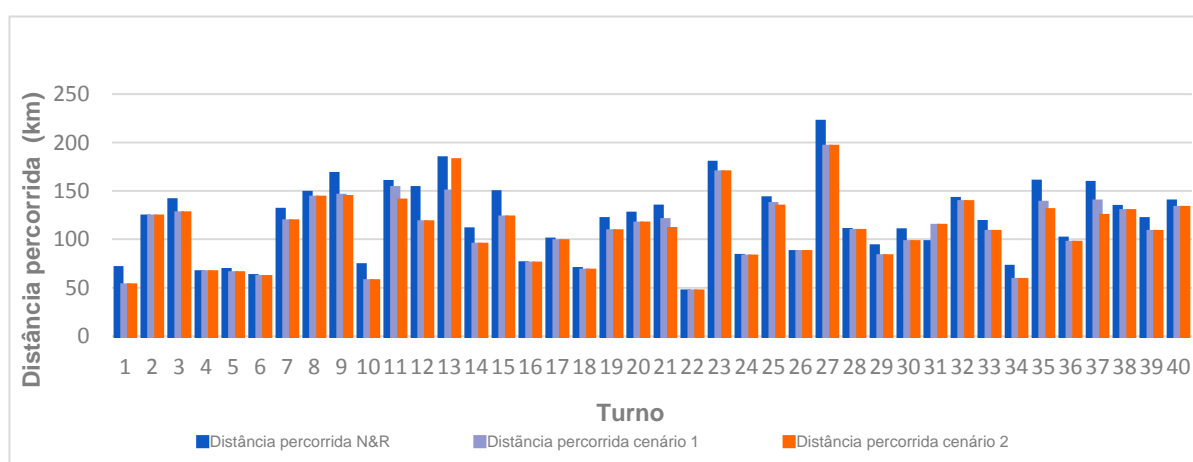


Figura 21: Análise comparativa das distâncias percorridas na empresa N&R, no cenário 1 e no cenário 2

Por observação do gráfico da figura 21 é possível entender que se registou uma diminuição dos quilómetros percorridos com este novo cenário face à situação atual da empresa. No entanto, essa diferença de valores não foi tão significativa do cenário 1 para o cenário 2, havendo apenas 6 turnos onde se notou uma ligeira diminuição dos quilómetros percorridos.

Na tabela 8 apresenta-se uma tabela que sintetiza as distâncias totais e médias por turno para a situação atual da empresa e para o cenário 1 e 2.

Tabela 8: Resumo das distâncias totais percorridas na N&R, no cenário 1 e no cenário 2

	Distância N&R (Km)	Distância cenário 1 (km)	Distância cenário 2 (Km)
Total	4718,2	4323,54	4307,29
Média por turno	117,96	108,1	107,68

Analisando os valores da tabela 8, verifica-se uma redução considerável de 410,91 km por mês da situação atual da empresa para o cenário 2, o que equivale a uma diminuição por turno de 10,28 km. Com este novo cenário reduz-se 8,7% da distância percorrida por mês. Comparativamente ao cenário proposto no subcapítulo anterior, existem também melhorias, mas a diferença entre os valores é mais ténue, verificando-se uma redução por mês de 16,25 km, o que equivale a uma redução de 0,4 %.

Na figura 22 pode-se observar o número de veículos usados em cada um dos cenários e os usados na realidade pela empresa.

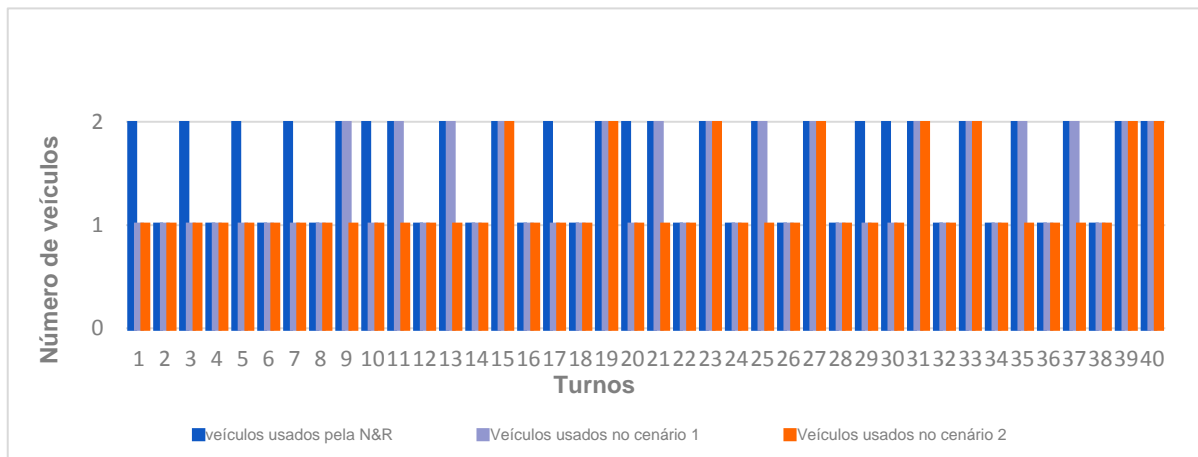


Figura 22: Análise comparativa do número de veículos utilizados na empresa N&R, no cenário 1 e 2

Pela confrontação dos valores, é possível concluir que houve uma diminuição do número de veículos utilizados da situação atual da empresa para o cenário 2. Através da observação do gráfico da figura 22 confirma-se que 16 rotas foram eliminadas, uma vez que se registou em 16 turnos um veículo a menos no cenário 2 em comparação com os resultados da empresa. O somatório do número de veículos utilizados durante o mês representa o número de rotas totais que a empresa realizou. No caso real foram 64 rotas, enquanto no cenário 2 apenas foram efetuadas 48 rotas, registando-se por isso uma diminuição bastante significativa do número de rotas. Pode-se concluir que este cenário oferece uma redução de 25% do número total de rotas efetuadas face à situação inicial, enquanto o cenário 1 apresentava uma redução de 14%.

No que diz respeito à ocupação de cada compartimento, a figura 23 permite efetuar uma análise comparativa entre a percentagem de ocupação das paletes no cenário 2 com o cenário 1 e com a situação atual da empresa, enquanto a figura 24 permite fazer essa mesma comparação mas relativamente à percentagem de ocupação de tubos.

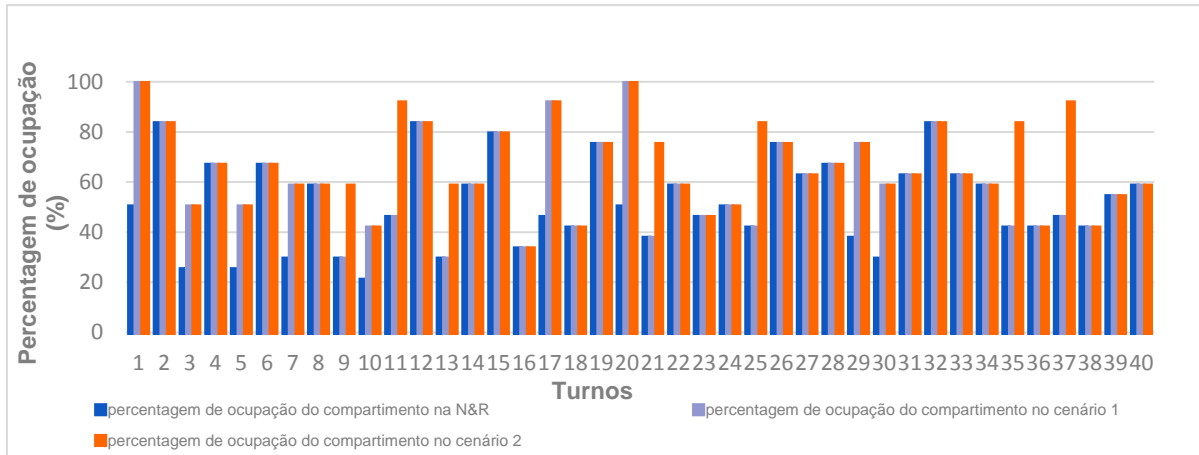


Figura 23: Análise comparativa da percentagem de ocupação do compartimento das paletes na empresa N&R, no cenário 1 e no cenário 2

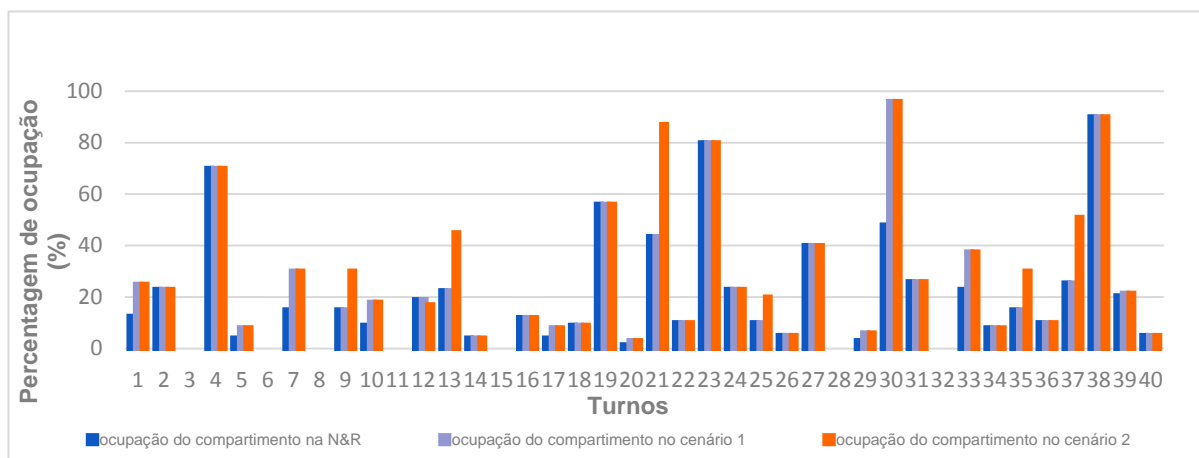


Figura 24: Análise comparativa da percentagem de ocupação do compartimento dos tubos na empresa N&R, no cenário 1 e no cenário 2

Como pode ser comprovado pela análise dos gráficos das figuras 23 e 24, a situação que apresenta melhores resultados relativamente ao aproveitamento do espaço disponível no veículo é o cenário 2. A redução do número de veículos que efetuam as rotas leva a que o único veículo existente tenha de se deslocar com mais carga, o que fará com que a rentabilidade do espaço do veículo aumente significativamente.

Na figura 25 pode-se avaliar o impacto que este novo cenário tem sobre a duração média das rotas em cada turno e comparar os seus valores com os do primeiro cenário.

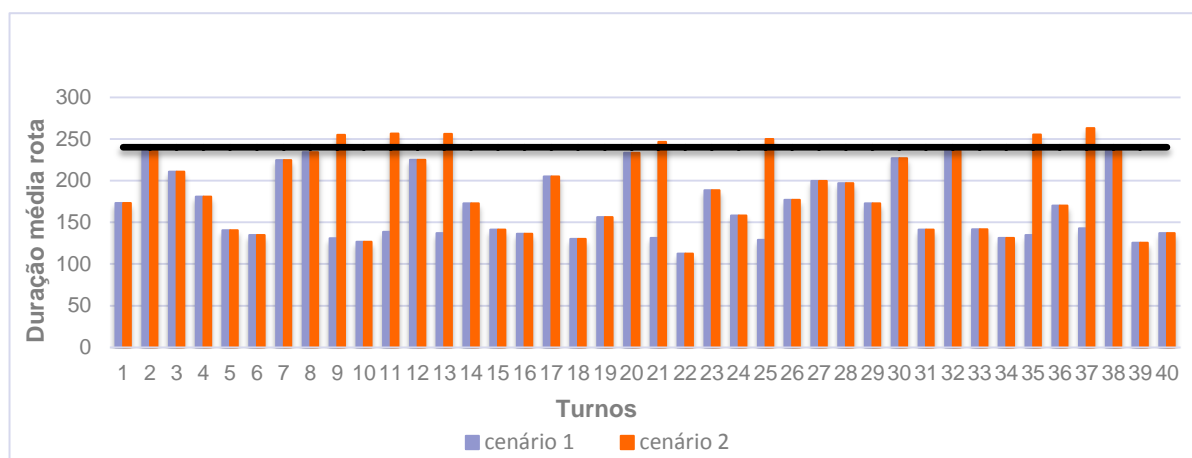


Figura 25: Análise comparativa da duração média das rotas do cenário 1 e do cenário 2

Comparando os resultados do cenário 1 com os resultados do cenário 2, verifica-se, como seria de esperar, um aumento significativo do tempo de distribuição quando existe apenas um veículo a efetuar a operação. A média da duração de uma rota por turno para o cenário 1 é de 169 minutos, enquanto a média para o cenário 2 é ligeiramente superior, atingindo os 190 minutos.

Com a aplicação deste novo cenário chegou-se à conclusão que quando ocorre esta redução de veículos, podem existir casos em que o tempo total por turno definido inicialmente, 240 minutos, para efetuar cada uma das rotas, pode não ser suficiente. Por este motivo é que, como já foi referido no início do subcapítulo, neste cenário foi retirada a restrição do limite de tempo para cada rota. Dos 40 testes realizados para o cenário 2 verificaram-se 7 casos em que este limite é ultrapassado. Quando a reta horizontal preta é interseçada significa que nesse ponto a rota irá exceder o limite estipulado pela empresa. Pela observação do gráfico é possível entender que ocorreram 7 casos onde tal acontecimento se verificou e 4 casos que apesar de muito próximos não chegaram a conseguir a interseção. A tabela 9 apresenta esses 7 turnos em que se registou a infração.

Tabela 9: Duração das rotas que ultrapassam o limite estabelecido pela N&R

Turno	9	11	13	21	25	35	37
Duração da rota (min)	255	256	256	247	250	255	263
Tempo a mais (min)	15	16	16	7	10	15	23
Média de tempo a mais (min)	15						
Probabilidade de ocorrer evento (%)	17,5						

Ao analisar a tabela 9 é possível apurar que o limite de tempo estabelecido só foi excedido em 17,5% dos ensaios realizados e que o tempo máximo que uma rota verificou foi de 263 minutos, ou

seja, 23 minutos a mais do estabelecido. No entanto, nem todos as rotas que exigem mais tempo atingem esses 23 minutos, sendo a média do tempo a mais que a rota pode demorar de 15 minutos.

Todos os turnos que aumentaram a duração das suas rotas, como se pode ver pela tabela 13, são turnos com número ímpar, isto é, tratam-se das encomendas que chegaram de manhã e que vão ser distribuídas durante a tarde. Para estudar uma solução viável que pudesse ser apresentada à empresa para contornar este tempo que é excedido, foi necessário analisar as rotas que antecediam estes atrasos. Ou seja, foi necessário examinar se as rotas que foram realizadas de manhã no mesmo dia em que se verificou rotas mais longas eram muito inferiores a 240 minutos. Como tal, foram analisadas as rotas da manhã correspondentes aos turnos 8, 10, 12, 20, 24,34 e 36, como demonstra a tabela 10.

Tabela 10: Duração das rotas anteriores às rotas que excedem o limite de tempo estabelecido

Turno	8	10	12	20	24	34	36
Duração da rota (min)	234	127	220	233	158	131	170
Tempo a menos (min)	6	113	20	7	82	109	70

Como se pode observar pela tabela 10, os turnos que antecedem os turnos com excesso de tempo, têm sempre valores significativamente inferiores a 240 minutos, com exceção dos turnos 8 e 20. Como os motoristas iniciam as rotas da manhã às 9h, nos casos em que o turno da tarde necessite de mais tempo, sugere-se que os motoristas quando terminem a rota da manhã, que é mais curta do que os 240 minutos, façam a sua pausa de uma hora de almoço e iniciem de seguida a rota da tarde que é mais longa. Assim, os trabalhadores continuariam a trabalhar as 8 horas diárias. Deste exemplo, o único turno que apresenta constrangimento é o 8. O turno 9 seguinte necessita de mais 15 minutos, enquanto o turno 8 apenas pode conceder 6 minutos, o que faz com que no total sejam necessários 489 minutos, 234 minutos do turno 8 mais 255 minutos do turno 9, havendo assim 9 minutos que excediam o limite do total das 8 horas por dia. Por isso, outra opção seria os trabalhadores receberem horas extra.

Outra questão que se podia levantar aqui seriam as janelas temporais dos clientes. Uma vez que na maioria os clientes são abastecidos nas suas lojas, e que na generalidade encerram às 20h, duas horas depois das 18h, este fator não apresenta qualquer constrangimento.

Quanto aos custos associados ao consumo de combustíveis foi elaborada a tabela 11 que permite realizar uma análise comparativa entre a situação da empresa, o cenário 1 e o cenário 2.

Tabela 11: Custos combustíveis mensais e por turno da distribuição na empresa, no cenário 1 e no cenário 2

	Custos da N&R (€)	Custos do cenário 1 (€)	Custos do cenário 2 (€)
Total	1765,07	1617,44	1611,36
Média por turno	44,13	40,44	40,28

A diferença dos custos com combustíveis com a implementação do modelo matemático mantém-se pouco significativa, verificando-se uma redução mensal de 153,71 € face à situação atual da empresa e a diferença de valores entre os dois cenários não apresenta qualquer relevância. O cenário 2 consegue assim uma redução de 8,7 % dos custos associados aos combustíveis, face à situação atual da N&R e de 0,4 %, em relação ao cenário 1.

Com o intuito de finalizar o estudo deste cenário é necessário lembrar que apesar dos custos associados ao combustível não terem sido minorados expressivamente, a redução do número de veículos utilizados apresenta inúmeras vantagens para o caso de estudo. Este último cenário consegue melhorar notoriamente o aproveitamento do espaço dos veículos, reduzir significativamente o número de rotas realizadas e ainda consegue reduzir o número de motoristas alocados à operação de distribuição. Posto isto, pode-se concluir que este cenário veio melhorar a situação atual da empresa, conseguindo diminuir a distância total percorrida e ainda apresentar algumas melhorias face ao cenário 1.

6.3 CENÁRIO 3

Neste novo cenário é estudada a hipótese da utilização exclusiva de um único veículo para realizar a operação de distribuição das encomendas aos clientes da N&R. Nos turnos em que se verifique que o total das paletes ultrapassa o limite máximo por veículo, 12 paletes, ou nos casos em que se verifique que o total dos tubos infringe também o seu limite máximo, 100 tubos por veículo, é apresentada uma nova alternativa. Nesta nova opção, os últimos clientes que efetuaram a sua encomenda passarão a ser abastecidos no turno seguinte. Apesar da N&R ter como norma fornecer os seus clientes no turno seguinte, quando foi apresentada a hipótese do estudo deste novo cenário a empresa apoiou a ideia, impondo apenas que no máximo o cliente seria visitado 24 horas depois da sua encomenda. Ou seja, a encomenda só pode ser entregue, no máximo, nos dois turnos seguintes.

De seguida serão apresentados os resultados obtidos com o cenário 3, acompanhados de uma análise comparativa entre este novo cenário e os outros dois cenários anteriores e a situação atual da empresa.

Dos 40 casos observados houve um único turno, o turno 15, em que nenhum dos clientes desse turno encomendou tubos, apenas paletes. Assim, neste caso em particular foram requisitados no total 18 paletes e 0 tubos. Como não havia necessidade de levar produtos no compartimento dos tubos, este compartimento foi removido, deixando assim mais espaço para transportar paletes, sendo possível levar 18 paletes no máximo, exatamente o valor necessário. Todos os outros casos que foram também analisados, as divisões dos seus compartimentos mantiveram-se, uma vez que a alteração da divisão não iria beneficiar em nada a situação, mantendo-se assim disponível espaço para no máximo 12 paletes e 100 tubos. Nos outros casos em que também haviam 0 encomendas para tubos, o número de paletes não ultrapassava as 12 unidades, não havendo assim necessidade de se alterar a configuração do espaço.

A figura 26 apresenta um gráfico que permite realizar a análise comparativa da distância percorrida com este novo cenário e as situações descritas anteriormente.

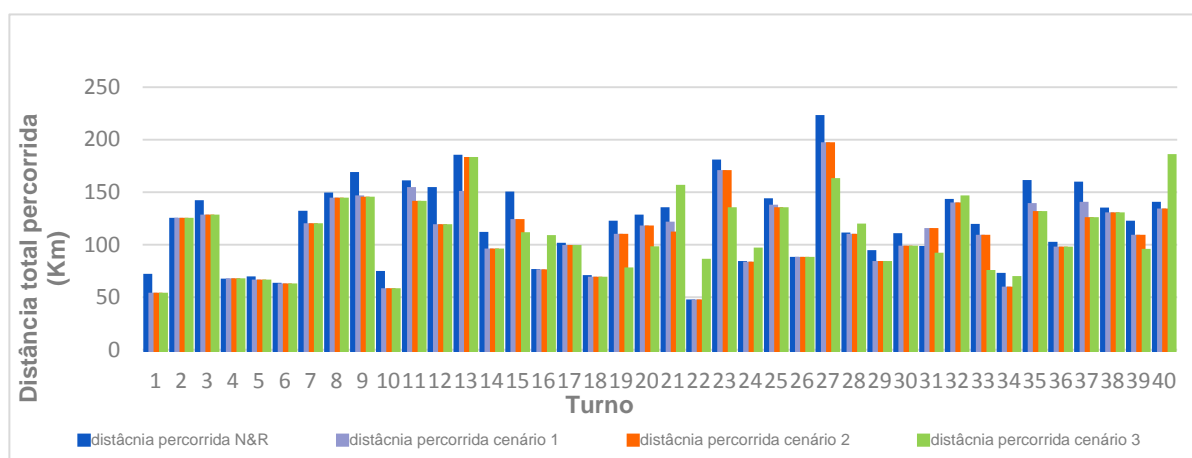


Figura 26: Análise comparativa das distâncias percorridas nos três cenários e na empresa N&R

Para se conseguir entender com maior detalhe a diferença entre os quilômetros percorridos em cada uma das situações, foi construída a tabela 12. Nesta tabela 12 encontram-se as distâncias totais percorridas durante um mês de funcionamento de entregas e a distância média por turno percorrida.

Tabela 12: Resumo das distâncias totais percorridas na N&R, no cenário 1, 2 e 3

	Distância N&R (km)	Distância cen. 1 (km)	Distância cen. 2 (km)	Distância cen. 3 (km)
Total	4718,2	4323,54	4307,29	4310,37
Média	117,96	108,1	107,68	107,75

Pela análise dos resultados, pode-se concluir que este cenário, tal como os outros já estudados anteriormente, permite uma redução significativa da distância percorrida face à situação atual da empresa. Com este cenário ocorre uma redução mensal de 407,87 km, o que equivale a 8,6 %.

Neste cenário, como o número de veículo utilizados por turno toma sempre o mesmo valor, a representação gráfica com o número de veículos utilizados não iria apresentar qualquer relevância, pelo que foi construída a tabela 13. A tabela 13 permite que o leitor consiga comparar a redução significativa que este novo cenário provocou no número total de rotas realizadas por mês.

Tabela 13: Quadro resumo do número de rotas realizadas por mês na N&R e nos três cenários

	Empresa N&R	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Número total de rotas por mês	64	55	48	40

Esta nova proposta permite fornecer uma solução que melhora manifestamente a necessidade de utilização de veículos, reduzindo 24 rotas por mês em relação ao cenário atual da empresa, o que se traduz numa redução de 37,5%.

Quanto ao aproveitamento do espaço disponível nas viaturas, os gráficos 27 e 28 apresentam a percentagem de ocupação do compartimento das paletes e dos tubos, respetivamente, para cada um dos três cenários criados e para a situação atual da empresa.

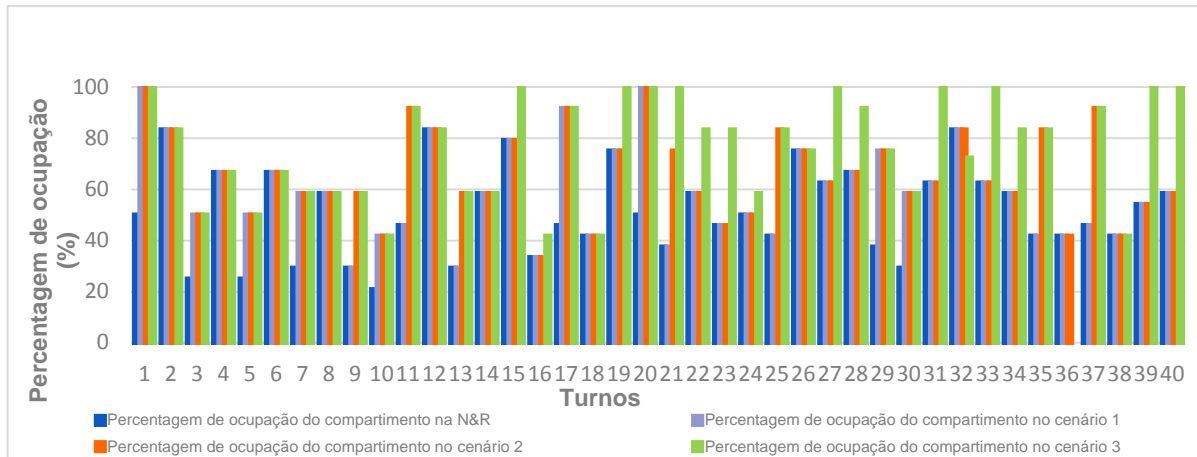


Figura 27: Análise comparativa da percentagem de ocupação do compartimento das paletes no cenário 1, 2, 3 e na empresa N&R

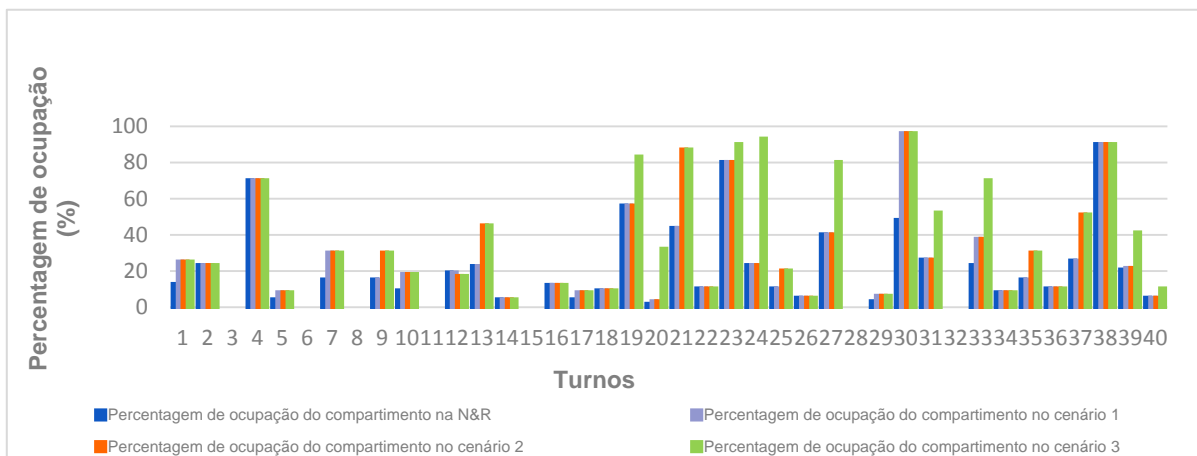


Figura 28: Análise comparativa da percentagem de ocupação do compartimento dos tubos no cenário 1, 2, 3 e na empresa N&R

Como já seria de esperar, de todos os cenários expostos o que apresenta valores mais elevados para as percentagens de ocupação dos dois compartimentos dos veículos é o último cenário. Se o número de rotas é diminuído, consequentemente os veículos que continuam a efetuar as rotas tem de ir com maior carga, o que faz com que o espaço dentro de cada compartimento seja melhor aproveitado. Podemos relatar que atualmente a empresa apenas utiliza em média 38,5 % do espaço total disponível nos veículos, porém com a aplicação deste cenário 3 é possível que esta percentagem seja convertida para 61,1%, assinalando-se um aumento bastante significativo. Como um dos objetivos da empresa, definidos inicialmente, é o de tornar a operação de distribuição mais

eficiente, no próximo subcapítulo será realizada um estudo mais pormenorizado sobre o aproveitamento dos espaços de carga em cada um dos cenários.

Relativamente à duração das rotas, o gráfico da figura 29 permite analisar e comparar a duração média das rotas entre o cenário 3 e os resultados anteriores.

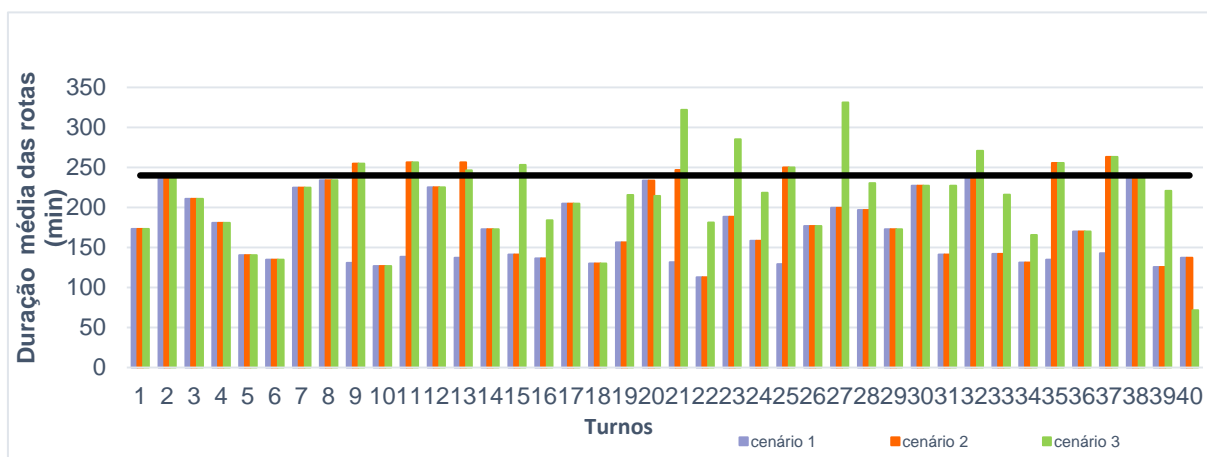


Figura 29: Análise comparativa da duração média das rotas do cenário 1, 2 e 3

Apesar da duração média das rotas neste novo cenário ser de 213 minutos, ou seja, inferior ao máximo estipulado para cada turno, existem novamente turnos onde esse limite é ultrapassado. Este tipo de acontecimento verificou-se em 11 dos ensaios. Pela observação do gráfico podemos verificar que tanto o turno 2 como o turno 38 estiveram muito próximos de infringir o limite. No entanto, o turno 2 apresentou uma rota com duração de 239 minutos e o turno 38 apresentou uma rota com exatamente 240 minutos, não havendo excesso de tempo em nenhum deles.

A tabela 14 faz uma análise temporal aos turnos em que há necessidade de ultrapassar o limite estabelecido.

Tabela 14: Duração das rotas que ultrapassam o limite estabelecido pela N&R

Turno	9	11	13	15	21	23	25	27	32	35	37
Duração da rota (min)	255	256	246	253	322	285	250	331	271	255	263
Tempo a mais (min)	15	16	6	13	82	45	10	91	31	15	23
Média de tempo a mais (min)	32										
Probabilidade de ocorrer evento (%)	27,5										

Ao analisar a tabela 14, é possível perceber que o limite de tempo estabelecido foi excedido em 27,5% dos ensaios realizados e que o tempo máximo que uma rota verificou foi de 331 minutos, ou seja, 91 minutos a mais do estabelecido. A média de tempo a mais que se consumiu, dos 11 ensaios em que se registou um atraso, foi de 32 minutos.

Uma das soluções para solucionar este problema seria a empresa remunerar o motorista pelo tempo extra de trabalho. Convém realçar que esta despesa é pouco significativa face ao ordenado

que a empresa deixa de pagar com este cenário, uma vez que só é necessário um veículo e um condutor para a operação.

Foram registados 20 clientes que não conseguiram ir logo no turno seguinte ao qual fizeram o pedido de encomenda. Pelo que a probabilidade de um cliente não ser atendido logo no turno seguinte ao ter realizado o pedido de encomenda e ter que esperar pelo dia seguinte, foi de 7,6%, o que se traduz numa probabilidade de ocorrência reduzida.

Quanto aos custos associados ao consumo de combustíveis, foi elaborada a tabela 15 que permite realizar uma análise comparativa entre a situação da empresa e todos os cenários.

Tabela 15: Custos combustíveis mensais e por turno da distribuição na empresa e nos cenários

	Custos N&R (€)	Custos cen. 1 (€)	Custos cen. 2 (€)	Custos cen. 3 (€)
Total	1765,07	1617,44	1611,36	1612,51
Média por turno	44,13	40,44	40,28	40,31

A diferença dos custos com combustíveis com a implementação do modelo matemático mantém-se pouco significativa, verificando-se uma redução mensal de 152,56 € face à situação atual da empresa e a diferença de valores entre os três cenários é irrisória. Apesar de haver uma diminuição dos custos em todos os cenários, a empresa caso queira optar por um dos cenários, os custos associados ao consumo de combustíveis não serão um dos aspetos a ter em consideração, uma vez que essa redução assume valores praticamente idênticos em todos os cenários.

Para finalizar a análise deste cenário, deve ser realçado que os custos associados aos combustíveis, a distância total percorrida e o número de veículos necessários foram minimizados. Por sua vez o aproveitamento do espaço disponível nas viaturas melhorou significativamente, oferecendo assim uma operação mais eficiente, que necessite de menos recursos para ser realizada, como de funcionários e de veículos. Apesar do nível de serviço prestado ao cliente diminuir, é uma descida muito pouco acentuada, registando-se uma probabilidade de 7,6% de não ser possível entregar a encomenda no turno seguinte ao pedido ter sido realizado. Mas a maior vantagem deste cenário ainda não foi revelada. Dado que a nova loja da empresa, com centro de distribuição, que será aberta brevemente em Alverca ainda não possui viaturas para a operação de distribuição, com este cenário seria escusado um novo investimento. Assim, a empresa evitaria uma elevadíssima despesa sem a aquisição de um novo veículo.

6.4 CONFRONTAÇÃO FINAL DOS CENÁRIOS

Com o objetivo de se realizar uma comparação final rigorosa dos três cenários em estudo com a situação atual da empresa foi desenvolvido este subcapítulo. Pretende-se, assim, que o leitor ao acabar de ler esta subseção consiga perceber qual o cenário que apresenta uma melhor proposta de valor para a empresa N&R.

Na tabela 16 são apresentados os resultados dos fatores que possuem maior relevância neste caso de estudo, onde os valores a negrito assinalam o cenário com melhor prestação na categoria dessa linha.

Tabela 16: Resultados da aplicação dos três cenários e da situação atual da N&R

	N&R	Cen.1	Cen.2	Cen.3
Distância total percorrida (km)	4718	4324	4307	4310
Distância média do turno (km)	118	108	108	108
Redução da distância total em relação à N&R (%)		8,36	8,7	8,65
Duração média do turno (min)		169	190	213
Nº de rotas realizadas no total	64	55	48	40
Redução do nº de rotas em relação à N&R (%)		14,1	25	37,5
Percentagem média de ocupação do compartimento das paletes (%)	49	57	65,3	77,7
Aumento da ocupação do compartimento das paletes em relação à N&R (%)		8	16,3	28,8
Percentagem média de ocupação do compartimento dos tubos (%)	19,4	23,1	26,5	31,6
Aumento da ocupação do compartimento dos tubos em relação à N&R (%)		3,7	7,1	12,2
Custos totais combustíveis	1765	1617	1611	1613
Redução dos custos dos combustíveis em relação à N&R (%)		8,4	8,7	8,7

Principiando a comparação dos cenários pelas distâncias percorridas, é possível constatar que o cenário 2 é o que apresenta o valor mais reduzido, sendo no entanto irrisória a diferença de valores entre este cenário e o cenário 3, que apresenta uma solução com mais 2,98 km por mês. Em relação à duração média das rotas, foi o cenário 1 que apresentou uma proposta melhor, porém também foi este cenário que propôs um maior número de rotas por mês. O cenário 3 foi o que conseguiu reduzir notoriamente o número de rotas efetuadas, garantindo que não seria necessário utilizar dois veículos para a operação de distribuição. Logo, como seria de esperar, é também este cenário que apresenta uma maior duração das rotas, uma vez que necessita de abastecer um maior número de clientes do que os dois primeiros cenários.

Relativamente ao aproveitamento do espaço dos compartimentos é claro de entender que o cenário 3 é o que consegue alcançar melhores resultados dado que só existe um veículo e este tem de aproveitar ao máximo o espaço existente nele. Como um dos problemas apresentados pela

empresa era relativo ao uso do espaço existente para carga, neste mesmo subcapítulo será realizada uma análise mais detalhada sobre este aproveitamento do espaço em cada um dos cenários.

Como seria de prever, o valor dos custos despendidos com combustíveis será menor nos cenários 2 e 3. Esta ocorrência é fácil de explicar porque a distância percorrida e os custos com combustíveis para este estudo assumiram-se como sendo proporcionais, pois não foram tidos em consideração os impactos que a carga pode ter no aumento do consumo de combustível.

Após esta última análise dos cenários, é fácil de entender que o cenário 3 é sem dúvida a melhor opção das três apresentadas, possibilitando reduzir não só todos os resultados em estudo, como ainda permite que a empresa não necessite de investir num novo veículo para o novo CD de Alverca.

Os resultados computacionais da aplicação do modelo criado aos três cenários encontram-se resumidos na tabela 17. Em primeiro lugar, convém esclarecer que os resultados que são apresentados correspondem às médias dos quarenta turnos de cada cenário. Para ser possível obter os valores da tabela 17, quando foram retirados do *software* GAMS os valores referentes à sequência das rotas, distâncias, duração, número de paletes e de tubos, também foram extraídas as informações referentes ao número de restrições, número de variáveis e variáveis inteiras, tempos de execução e gap. Com esses valores dos resultados computacionais foram construídas tabelas para cada cenário e para cada turno e posteriormente foram calculadas as médias para cada cenário que se apresentam na tabela 17.

Tabela 17: Resultados computacionais para cada cenário 1,2 e 3

	Nº restrições	Nº variáveis	Nº variáveis inteiras	Tempo de execução (s)	Gap (%)
Cenário 1	298	209	202	0,014	0
Cenário 2	453	311	306	0,016	0
Cenário 3	527	359	342	0,022	0

Comparando os três cenários podemos assumir que o cenário 1 é o que apresenta resultados em média um pouco mais divergentes dos restantes cenários, uma vez que nos outros dois cenários se tenta utilizar apenas um veículo e a complexidade do problema aumenta ligeiramente quando se adicionam mais clientes a uma rota. É possível ainda constatar que o tempo de execução aumenta com a complexidade do problema, isto é, quando há um incremento do número de variáveis e de restrições. Porém, para os três cenários pode-se apurar que a resolução de cada um dos 40 ensaios é muito simples e rápida, pelo que o gap é sempre de 0%.

No caso de estudo foi mencionado também que um dos desejos da empresa N&R é tornar a operação de cargas e descargas mais eficiente, de modo a que não só o trabalho dos funcionários seja facilitado, como também possa ser minimizado no futuro o tempo para a operação de descargas nos clientes e ainda, seja melhorado o aproveitamento do espaço de carga disponível.

Na tabela 16 apenas foram mencionados os valores de ocupação de cada tipo de compartimento individualmente, não havendo uma percepção do impacto de cada uma dessas percentagens na carga total do caminhão. Assim, tendo em consideração as dimensões volumétricas do caminhão e de cada compartimento e ainda, os valores referidos na tabela 16, foram construídos os quatro gráficos circulares que se seguem na figura 30. Mais uma vez pode-se confirmar que o cenário 3, de todos os cenários apresentados, é o que apresenta uma melhor proposta tendo em conta os requisitos pedidos pela direção da empresa. Os gráficos circulares da figura 30 têm o intuito de expor ao leitor o impacto que a carga de cada compartimento tem sobre o volume total do caminhão.

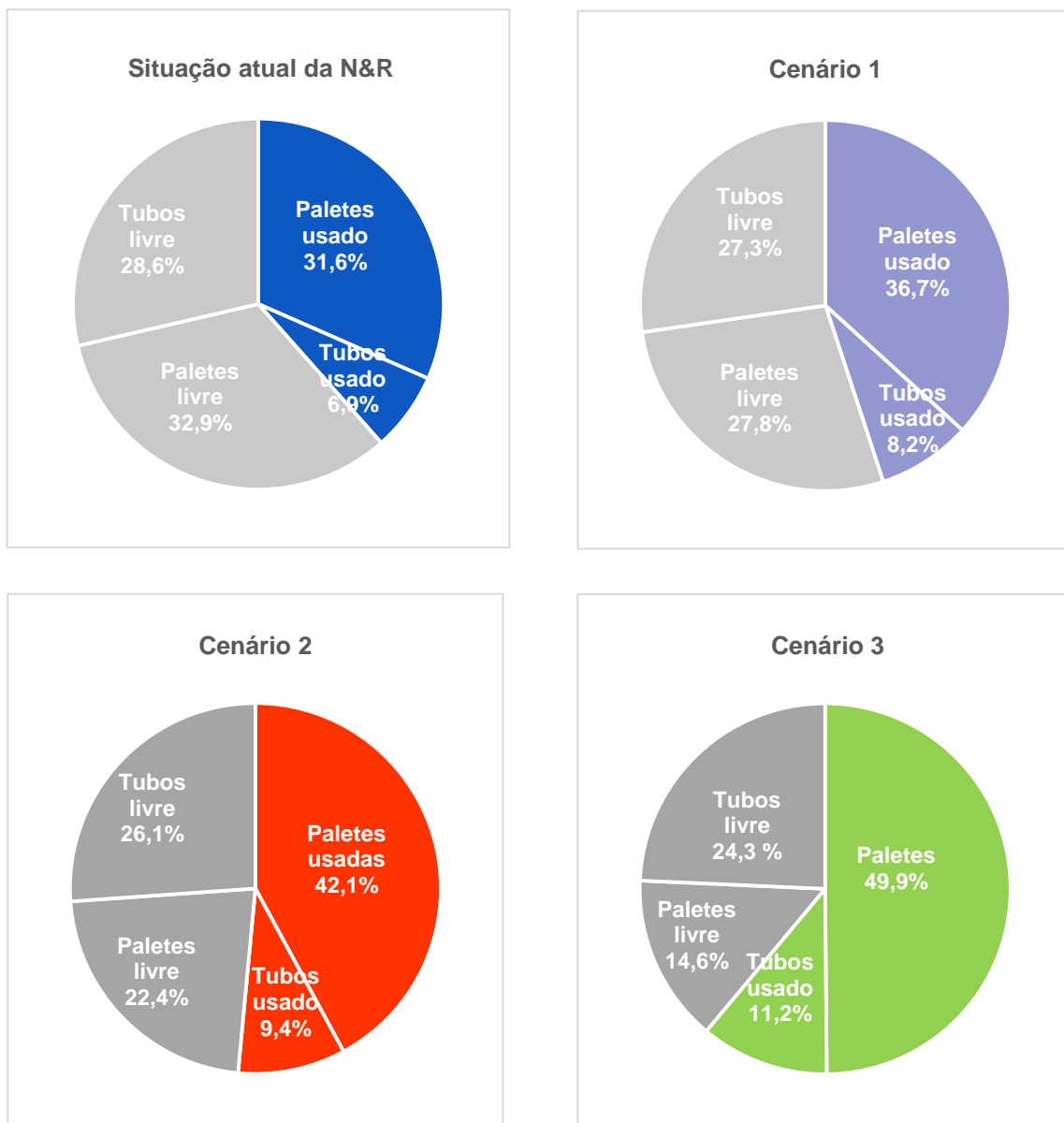


Figura 30: Representação gráfica das percentagens de espaço livre e ocupado em cada cenário e na empresa

Pela observação do primeiro gráfico circular da figura 30, referente à situação atual da empresa, conclui-se que a percentagem total desocupada no veículo é de 61,5 %, enquanto no cenário 1 diminui para 55,1 %, no cenário 2 para 48,5% e o último cenário para 38,9 %. Mais uma vez, se comprova que a situação que apresenta uma menor percentagem de espaço livre é o cenário 3. Analisando a situação oposta, relativo ao espaço ocupado pelos produtos no veículo, podemos relatar que atualmente a empresa apenas utiliza em média 38,5 % do espaço total disponível nos veículos, contudo nos restantes cenários estudados ocorre um aumento significativo do espaço utilizada. Quanto ao cenário 1, este apresenta uma percentagem total de ocupação de 44,9%, o cenário 2 51,5% e por fim, o cenário 3 apresenta 61,1 % de espaço usado.

Apesar de haver uma melhoria com a implementação de qualquer um dos cenários, é de realçar que ainda se possuem percentagens relativamente elevadas de espaço vazio, como 55,1 %, 48,5% e 38,9%. Estes valores verificam-se porque apesar de haver uma diminuição significativa do espaço livre referente às paletes, a percentagens de tubos livres não diminuiu em proporções semelhantes. Este facto pode ser justificado pela baixa procura, em média, que há de tubos pelos clientes da empresa e, no entanto, há uma percentagem significativa de espaço reservado no veículo para este tipo de produto.

A configuração do espaço para a carga é crucial para um melhor aproveitamento do volume existente no veículo, pelo que no futuro deveria ser estudada a hipótese de uma nova configuração do espaço. Dado que as encomendas de tubos são muito inferiores às encomendas de paletes, deveria ser avaliado um novo formato para as dimensões de cada compartimento, onde o volume para colocar os tubos fosse reduzido e fosse assim aumentado o espaço para paletes. Deste modo, era possível melhorar o nível de serviço prestado aos clientes porque havendo mais espaço para paletes não haveria a necessidade de se passar estas encomendas para o dia seguinte como aconteceu com o cenário 3. Quando havia necessidade de se passar um cliente para o turno seguinte no cenário 3, o que se verificava na maioria das vezes é que este acontecimento ocorria por causa do número total de paletes exceder a capacidade máxima disponível nesse compartimento e não o número total de tubos. Por este motivo é que deveria ser examinada uma nova configuração que favorecesse o aumento do compartimento das paletes e diminuísse o espaço para os tubos.

Comprovou-se assim, mais uma vez, que o cenário 3 é o que apresenta uma melhor proposta de valor para a empresa, tendo em consideração os objetivos definidos inicialmente pela N&R e os resultados obtidos através da implementação do modelo. No entanto, não pode ser ignorado que este novo cenário apresenta duas desvantagens para a empresa: a diminuição do nível de serviço prestado ao cliente e o pagamento de horas extras ao único motorista existente. A probabilidade de ocorrência do primeiro evento é muito reduzida, 7,6% de possibilidade de um cliente efetuar uma encomenda e esta só ser entregue no turno seguinte ao que seria suposto. Relativamente ao pagamento de horas extras, é de notar que no cenário 2 também pode ser necessário pagar horas extras, este caso será detalhado seguidamente quando for apresentada a análise de custo mais pormenorizada de todos os custos associados ao transporte. Cabe agora à N&R optar pela solução que melhor se ajusta às suas necessidades e princípios enquanto empresa. Por um lado, pode diminuir ligeiramente o nível de serviço que sempre acostumou os seus clientes, mas por outro lado

melhora consideravelmente a nível económico e operacional com a implementação deste novo cenário. Com o cenário 3, para além de ser dispensado um trabalhador para realizar a distribuição e que pode ser alocado a outras tarefas no CD que seja mais necessário, evita também que seja adquirido um novo veículo para o novo CD de Alverca, evitando assim um grande investimento que de outro modo teria de ser feito.

Até agora, só tinham sido expostos os custos relativos ao consumo de combustíveis em cada um dos cenários. Contudo, a análise torna-se mais interessante e pode ser mais conclusiva, se tiver em consideração outros parâmetros que influenciam também os custos associados aos transportes, tais como: os custos de depreciação dos veículos e os custos dos condutores (Ramos et al., 2014).

Os custos de combustíveis são diretamente proporcionais à distância percorrida, como já foi referido. Para a depreciação dos veículos necessita-se de considerar os custos de aquisição dos veículos e os tempos de vida útil, para ser assim possível aplicar as taxas de amortização do veículo. O custo de aquisição de cada veículo foi de 40.000 € e o tempo útil de vida de 7 anos, o que corresponde a uma depreciação anual de 5.714 €. O ordenado mensal de cada motorista é de 900 €, 14 vezes ao ano e é sempre considerado um condutor por veículo. Considerou-se para todos os cenários 2 condutores, exceptuando o cenário 3. Nos cenários 1 e 2 e na situação atual da empresa, apesar de existirem turnos em que é apenas necessário um único condutor, a empresa tem sempre de pagar no final do mês aos dois condutores. Relativamente ao pagamento de horas extras, assumiu-se que o pagamento por hora extra seria 150% do valor pago por hora no horário normal, ou seja, 7,5 €/hora. Mesmo que passe apenas 1 minuto depois dos 480 minutos diários estabelecidos no contrato do trabalhador, este será contabilizado como custo com salários. Assumiu-se também que os trabalhadores teriam flexibilidade para quando acabam um turno da manhã mais cedo e necessitem de mais tempo para a rota da tarde, possam começar mais cedo do que as 14h, reduzindo assim as horas extras a serem pagas. O gráfico da figura 31 representa então os custos totais da distribuição da situação atual da N&R e os custos das três soluções propostas.

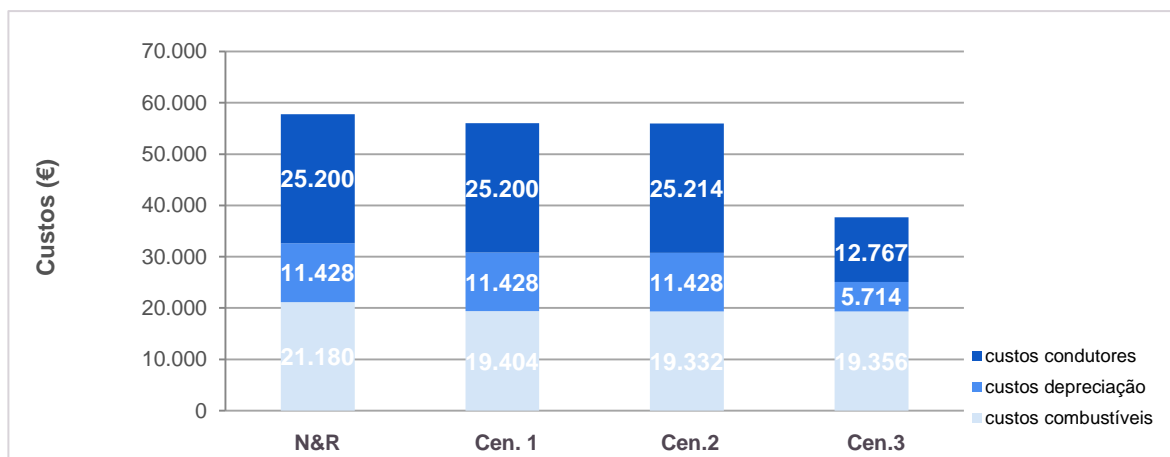


Figura 31: Custos totais de transporte para cada cenário

A partir do somatório dos custos de cada uma das componentes sabe-se que o valor para os custos totais anuais de transporte para a situação atual é de 57.808 €, para o cenário 1 de 56.032 €, para o cenário 2 de 55.974 € e por fim, para o cenário 3 de 37.837 €. O cenário 1 e 2 reduzem somente 3% estes custos. Mas uma vez mais, o último cenário volta a garantir que possui a melhor proposta de valor para a empresa, provocando uma redução anual de 35% dos custos de transporte, relativamente à situação atual.

Este trabalho tem o objetivo de desenvolver propostas bem fundamentadas à empresa que possam ajudar a melhorar a operação de distribuição. Porém, a escolha sobre qual a estratégia a adoptar vai depender única e exclusivamente da decisão final da empresa.

Outro dos pontos que a empresa pediu para ser estudado neste trabalho foi a possibilidade de uma melhoria na operação de cargas e descargas para os condutores, para que o seu trabalho possa ser mais eficiente. Atualmente a colocação dos produtos nos compartimentos dos camiões não segue qualquer ordem, sendo indiferente o local em que são colocadas as paletes ou os tubos dentro do compartimento. Para facilitar esta operação de descargas aos trabalhadores durante as rotas, propõe-se que seja aplicado o método de armazenagem *Last In First Out (LIFO)*. Dado que as rotas já estão definidas com o modelo de MCVRP e já se sabe qual a sequência de clientes a visitar seria recomendável que se seguisse este método.

Nesta metodologia LIFO, os produtos que são colocados em último lugar no camião, durante a operação de carregamento no CD antes de partirem para a distribuição, vão ser os que são retirados em primeiro lugar assim que se começar as entregas aos clientes. Por outras palavras, a ordem de carregamento do camião deve ser a inversa à sequência das entregas. Assim, o primeiro cliente a ser visitado terá o seu pedido junto à porta de descarga do camião, facilitando a operação para o trabalhador. Enquanto o último cliente a ser servido terá a sua mercadoria o mais afastada possível da porta de descarga.

O processo descrito anteriormente é relativo ao carregamento das paletes. No que diz respeito ao carregamento dos tubos, o método deve ser o mesmo, no entanto os tubos necessitam de ser empilhados uns por cima dos outros. Logo, os tubos que ficam por baixo serão os últimos a sair e os primeiros a serem colocados no camião, enquanto os primeiros tubos a sair para os clientes terão de ficar no topo do empilhamento. Esta metodologia permite tornar o processo de cargas e descargas mais eficiente, não só porque permite uma redução do esforço físico dos trabalhadores e como tal estes podem trabalhar com mais agilidade, como também pode permitir reduções de tempo de operação.

6.5 ANÁLISE DE SENSIBILIDADE AO CENÁRIO 3

Apesar dos três cenários propostos cumprirem o objetivo principal do estudo, minimizar as distâncias totais percorridas, o cenário 3 é aquele que consegue apresentar uma melhor proposta de valor para a empresa. Para além de alcançar o objetivo primordial, o último cenário é o que alcança melhores resultados a nível de redução do número de rotas totais efetuadas e de aumento da percentagem de ocupação dos compartimentos. Como tal, neste subcapítulo é realizada uma análise de sensibilidade apenas para o cenário 3, onde se alteram alguns parâmetros relevantes, como a procura e os tempos despendidos nos clientes. Assim, foram construídos três sub-cenários e posteriormente foram analisados os seus resultados, verificando-se se a alteração dos parâmetros conduziu a um melhoramento da solução proposta para o problema. Para este novo estudo, foram estudados novamente os 40 turnos recolhidos inicialmente.

Sub-Cenário 3a

Neste sub-cenário estudam-se as alterações nos resultados se houver uma redução de 10% das quantidades encomendadas pelos clientes. Para ser possível este estudo, foram observadas as quantidades reais encomendadas de paletes e de tubos no total para cada turno, e os valores dessas quantidades totais foram multiplicados individualmente pela constante 0.9, obtendo-se assim a nova quantidade total de cada tipo de produtos que será de esperar com a redução.

Após se saber as novas quantidades, foi necessário reduzir as quantidades pedidas pelos clientes já existentes. Por norma, o cliente que sofreu as alterações foi o último cliente que efetuou o pedido. Quando é preciso reduzir ainda mais as quantidades e o último cliente já não possui valores para a encomenda, então passa-se para o cliente anterior. Este processo é repetido consecutivamente até se obter as quantidades de tubos e paletes necessários para a redução de 10%.

Podia também ter sido reduzido 10% da encomenda de cada cliente. No entanto, esta redução seria insignificante na maioria dos casos e não apresentaria qualquer variação dos resultados. Sejam quais forem as quantidades de produtos que um cliente pede, estas encomendas são sempre empacotadas e colocadas na paleta. Na maioria dos casos os clientes apenas apresentam uma ou duas paletes encomendadas, pelo que se multiplicarmos esse valor por 0,9 devido à redução de 10%, o resultado arredondado voltaria a dar o valor inicial. Por este motivo, é que foi adoptado o primeiro raciocínio para a redução de 10% da procura, para ser possível provocar um impacto maior.

Será fácil de entender que ocorreram situações em que os últimos clientes deixaram de ter valores de paletes e de tubos para encomendar, pelo que tiveram que ser eliminados das matrizes de encomendas e distâncias e a nova rota obtida pelo programa GAMS já não inclui estes clientes. Para estes 40 turnos foi necessário refazer as matrizes de encomendas e matrizes de distâncias já existentes.

Sub-Cenário 3b

Neste sub-cenário estudou-se a situação inversa à anterior, foram analisadas as alterações nos resultados se houver um aumento de 10% das quantidades encomendadas pelos clientes. Novamente neste caso foram observadas as quantidades reais encomendadas de paletes e de tubos no total para cada turno, e os valores dessas quantidades foram multiplicados individualmente pela constante 1.1, obtendo-se deste modo as novas quantidades de cada tipo de produto.

Após se saber quantas paletes e tubos a mais passam a ser encomendados, tenta-se criar as novas rotas de distribuição. O cliente que irá aumentar as suas unidades pedidas é o último, novamente, esta escolha não teve nenhum motivo em particular mas uma vez que foi o último cliente a sofrer a redução seria coerente também ser este a sofrer o aumento. Como a capacidade de cada compartimento é limitativa para a formulação das rotas, uma vez que o máximo para os tubos continua a manter-se nas 100 unidades e de paletes nas 12 unidades, seria de prever que existem encomendas que vão ter que ir no turno seguinte. Não se tendo registado nenhum caso onde as encomendas tenham ido dois turnos a seguir ao suposto, situação que já foi referida anteriormente é inadmissível pelas normas da empresa.

Para estes novos turnos foi necessário também criar novamente matrizes de encomendas e matrizes de distâncias para os quarenta turnos analisados, tornando o processo da análise de sensibilidade demoroso.

Podia ter sido examinado o caso das quantidades terem aumentado devido a pedidos de novos clientes para além dos já existentes. No entanto, para esta situação seria necessário introduzir novas moradas de clientes para cada turno, o que poderia conduzir a valores mais irrealistas, uma vez que teriam de ser feitas suposições menos fidedignas sobre quais seriam os clientes que iriam efetuar os novos pedidos.

Sub-Cenário 3c

O último sub-cenário pretende entender de que forma a eliminação do tempo despendido em tarefas administrativas, 5 minutos por cliente, pode influenciar os resultados referentes à duração das rotas. Como foi demonstrado no subcapítulo anterior, com o cenário 3 existem alguns turnos que ultrapassam os 240 minutos por turno estipulados inicialmente pela empresa. Com a criação do sub-cenário 3 quer estudar-se o impacto que a eliminação das tarefas administrativas têm sobre a duração total das rotas de distribuição. Para estas tarefas administrativas serem eliminadas, seria necessário a empresa impor como condição aos seus clientes o pagamento por transferência bancária e nunca no ato da entrega da mercadoria.

Na tabela 18 estão presentes os resultados obtidos para os três sub-cenários aplicados nos 40 turnos.

Tabela 18: Quadro resumo dos resultados do cenário 3 e dos resultados obtidos com a aplicação de cada sub-cenário

	Cen. 3	Sub-cen. 3.a	Sub-cen. 3.b	Sub-cen. 3.c
Distância total	4310	3890	5016	4310
Aumento/ Diminuição da distância percorrida (%)		-9,74	+16,4	
Distância média por turno	108	97	125	108
Tempo médio por turno	213	198	226	180
Aumento/ Diminuição do tempo médio por turno (%)		-7	+6,1	-15,5%
% Paletes	77,7	69,6	85,8	77,7
Aumento/ Diminuição da ocupação do compartimento das paletes em relação à N&R (%)		-8,1	+8,1	
Percentagem média de ocupação do compartimento dos tubos (%)	31,6	27,2	36	31,6
Aumento/ Diminuição da ocupação do compartimento dos tubos em relação à N&R (%)		-4,4	+4,4	

Iniciando a análise de sensibilidade pela confrontação dos resultados referentes às distâncias totais percorridas, podemos constatar que no primeiro sub-cenário, em que há redução da procura, a distância percorrida pelos veículos diminui 9,74% enquanto na situação inversa com o aumento da procura ocorre um aumento percentual de 16,4% em comparação com o cenário 3. Apesar de não ter sido adicionado à tabela a variação dos custos referentes aos gastos com combustível, é de prever que a variação desses valores percentualmente seria a mesma que foi registrada para a variação da distância percorrida. O último sub-cenário 3.c não tem nenhuma variação dos quilômetros percorridos, dado que a sequência das rotas neste caso não sofre alterações pois o único valor que varia é o tempo despendido em cada cliente, logo só irão ser notadas alterações referentes à duração de cada rota.

Não foram colocados na tabela quaisquer valores relativos ao número de rotas porque não houve qualquer variação. Uma vez que apenas existia um condutor para efetuar as entregas, só podiam ser feitas no máximo duas rotas por dia.

Relativamente à duração média por turno, o sub-cenário 3.c é o que apresenta uma melhoria mais significativa, registrando-se uma diminuição de 15,5% do tempo médio por turno. O primeiro e o segundo sub-cenário apresentam uma melhoria de 7% e um agravamento de 6,1%, respectivamente, em relação ao cenário 3.

Quanto à ocupação do espaço de carga nos veículos, o sub-cenário 3.a apresenta uma diminuição de 8,1% do espaço ocupado com paletes, enquanto o sub-cenário 3.b um aumento de 8,1%, passando a haver neste caso uma percentagem de ocupação do compartimento das paletes de 85,8%. Por outro lado, quanto à ocupação do espaço para os tubos só se registou uma diminuição de

4,4% para o primeiro caso e um aumento de 4,4% para o segundo cenário. Como seria de prever no último sub-cenário não há qualquer variação dos valores referentes à ocupação dos compartimentos.

Como se pretende demonstrar pormenorizadamente o impacto que a eliminação das tarefas de recolha de pagamentos têm sobre os resultados finais, seguidamente será realizado um estudo mais detalhada sobre o sub-cenário 3.c. A tabela 19 apresenta os três únicos casos existentes no sub-cenário 3.c em que as rotas continuam a infringir o limite de tempo estipulado de 240 minutos.

Tabela 19: Duração das rotas que ultrapassam o limite estabelecido pela N&R

Turno	21	23	27
Duração da rota cenário 3 (min)	322	285	331
Duração da rota sub-cenário 3.c (min)	282	250	286
Tempo a mais sub-cenário 3.c (min)	42	10	46
Média de tempo a mais	33		
Probabilidade de ocorrer evento (%)	7,5		

Os três únicos turnos em que se registou tempos superiores a 240 minutos foram o 21, 23 e 27, havendo uma diminuição da percentagem de ocorrência deste tipo de acontecimento, passando de 27,5% para 7,5%. A média de tempo a mais quando se verifica um atraso passa a ser de 33 minutos, no entanto, o máximo de tempo a mais que o motorista terá que despende para finalizar a rota foi de 46 minutos e no cenário 3 era de 91 minutos, registando-se assim uma diminuição significativa de tempo.

Como já se sabe os turnos ímpares são referentes a encomendas que foram recebidas de manhã e como tal, o veículo irá entregá-las no turno da tarde. Por este motivo, foram analisados os três turnos da manhã de cada um desses dias em que se verifica excesso de tempo, ou seja, os turnos 20, 22 e 26. A tabela 24 apresenta os dados referentes ao tempo de cada uma dessas rotas.

Tabela 20: Duração das rotas anteriores às rotas que excedem o limite de tempo estabelecido, sub-cenário 3.c

Turno	20	22	26
Duração da rota (min)	184	151	147
Tempo a mais (min)	56	89	93

Como se pode observar pela tabela 20, os turnos que antecedem os turnos com excesso de tempo, têm sempre valores significativamente inferiores a 240 minutos. Como os motoristas iniciam as rotas da manhã às 9h, nos casos em que o turno da tarde necessite de mais tempo, sugere-se que os motoristas quando terminem a rota da manhã, que é mais curta do que os 240 minutos, façam a sua pausa de uma hora de almoço e iniciem de seguida a rota da tarde que é mais longa. Assim, os trabalhadores continuariam a trabalhar as 8 horas diárias.

O turno 21 necessita de mais 42 minutos e o turno 20 acaba 56 minutos antes do limite, pelo que o motorista assim não necessita de trabalhar mais do que o acordado. O turno 23 precisa apenas de mais 10 minutos e o turno 22 que o antecede finaliza-se 89 minutos antes, sendo possível aplicar a estratégia referida. Por último, o turno 27 necessita de 46 minutos e o turno 26 acaba 93 minutos antes do limite, sendo possível mais uma vez usar a estratégia referida.

Com esta análise de sensibilidade final do sub-cenário 3.c, entendemos que ao ser aplicada esta estratégia de eliminação de tarefas administrativas o condutor não necessita de efetuar minutos extras, nem a empresa necessita de ter mais um encargo financeiro. Deste modo o período de trabalho laboral do trabalhador é respeitado.

7 CONCLUSÕES E APLICAÇÕES FUTURAS

O lucro de qualquer empresa depende seriamente do sucesso das decisões estratégicas que esta toma. Com mercados cada vez mais competitivos, com consumidores mais exigentes e poucas possibilidades para investir em novas propostas, as empresas sentem cada vez mais a necessidade de melhorar as suas operações e torná-las mais eficientes. Foi nesta exigente realidade que a Nicolau & Rosa sempre sobreviveu.

Com a realização desta dissertação pretendeu-se desenvolver um modelo matemático que permite otimizar as rotas de distribuição da empresa, reduzindo assim a distância percorrida pelos seus veículos e tornando a operação mais eficiente. O modelo matemático construído foi baseado numa variante do conhecido *Vehicle Routing Problem* (VRP), o *Multi-Compartment Vehicle Routing Problem* (MCVRP). O modelo elaborado é do tipo Linear Inteiro Misto (MILP) e foi implementado na linguagem *General Algebraic Modeling System* (GAMS).

O modelo desenvolvido permite não só fornecer à N&R as rotas ótimas que minimizam a distância percorrida pelos veículos, como também permite melhorar o aproveitamento do espaço disponível para armazenar a carga e diminuir o número de rotas necessárias, respeitando sempre as restrições relativas às capacidades máximas de carga por compartimento.

Foram testados 3 cenários diferentes para os 20 dias observados, o que corresponde a 40 turnos de distribuição. Comparando as rotas da situação atual com as novas rotas criadas para cada um dos três cenários, pode-se perceber que em todos os casos com a aplicação destas rotas ótimas há melhoramentos muito significativos para a empresa. Conclui-se que a aplicação de modelos matemáticos de otimização a problemas reais continua a ser uma ferramenta muito vantajosa para o melhoramento contínuo das operações das empresas que se querem manter competitivas no mercado.

O primeiro cenário, que aplica exatamente as mesmas condições iniciais que as da empresa, consegue alcançar uma redução de 8,4% relativamente à distância total percorrida por mês e aos gastos relativos ao consumo de combustíveis. Por outro lado, obtém uma diminuição de 14,1% do número total de rotas por mês necessárias para efetuar a operação. Quanto ao cenário 2, onde se tenta utilizar apenas um veículo quando a capacidade de cada compartimento não é excedida e nos outros casos se usam dois veículos, a proposta apresenta uma redução de 8,7% da distância total percorrida por mês e dos gastos relativos ao consumo de combustíveis e ainda uma diminuição de 25 % do número total de rotas necessárias por mês. Por último, o cenário 3, neste caso apenas se pode utilizar um único veículo e quando a capacidade de um dos compartimentos é excedida o último cliente a efetuar a encomenda passa a ser fornecido no turno seguinte ao que era suposto, apresenta uma solução que permite reduzir 8,65% da distância total percorrida e dos gastos de combustíveis e diminuir significativamente o número de rotas necessárias, 37,5%.

Enquanto o cenário 1 e 2 apresentam uma redução de 3% dos custos totais associados aos transportes, o cenário 3 apresenta uma proposta com uma redução muito significativa de 35%.

Quanto à eficiência da operação de distribuição também é possível melhorar em todos os novos cenários, pois com a implementação deste modelo existe um melhor aproveitamento do espaço de

carga disponível em cada compartimento. Atualmente, a empresa apenas utiliza em média 38,5 % do espaço total disponível para carga. Com o cenário 1, o aproveitamento do veículo passa a ser de 45%, no cenário 2 passa a ser 51,5% e no último cenário de 61,1%.

Em todos os cenários desenvolvidos foi possível verificar-se uma redução não só na distância total percorrida, como no consumo de combustíveis e no número de rotas efetuadas. Para além destas três melhorias referidas anteriormente, os três cenários conseguiram melhorar o aproveitamento do espaço existente em cada compartimento, tornando assim a operação de distribuição mais eficiente. Deste modo, pode-se afirmar que todos os cenários conseguiram cumprir o principal objetivo: minimizar a distância percorrida pelos veículos.

No entanto, apesar de todos os cenários apresentarem melhorias significativas, o cenário 3 é claramente a proposta que a empresa deve ponderar, pois permite melhorar significativamente todos os parâmetros estudados e ainda permite que a viatura que deixa de ser utilizada possa ser alocada a outro CD da empresa, evitando assim a compra de um novo veículo e uma despesa vantajada para a N&R. Porém, o nível de serviço neste caso diminui 7,6%, dado que os clientes podem só receber a sua encomenda no turno a seguir ao que estariam à espera, e ainda, pode haver casos onde é necessário pagar horas extras aos condutores.

Através da análise de sensibilidade ao tempo gasto com tarefas administrativas durante as entregas, foi possível concluir que a eliminação destas tarefas das rotas irá provocar melhorias significativas. Se deixassem de ser praticadas estas atividades a empresa não necessitaria de pagar horas extras aos trabalhadores, uma vez que o tempo nunca excedia as 8 horas diárias e ainda se conseguia reduzir o tempo total de cada rota. Pelo que se aconselha a empresa a refletir sobre esta nova opção.

Como trabalho futuro, sugere-se que seja estudada a hipótese de uma nova configuração para os compartimentos de carga dos veículos. Deve ser analisada a opção de se reduzir o volume disponível para os tubos, uma vez que este tipo de produto apresenta uma procura menor relativamente às paletes e tem uma grande percentagem de espaço no veículo que não é utilizada. Se for reduzido o compartimento dos tubos, é possível aumentar o espaço para paletes e assim diminuir a probabilidade de um cliente ter que passar para o turno seguinte e haver um agravamento do nível de serviço prestado aos clientes.

Seria interessante considerar também como estudo futuro o desenvolvimento de uma ferramenta em MS Excel, suportada por heurísticas, para uma utilização autónoma por parte da empresa em definir as rotas no seu dia-a-dia, em vez de serem elaboradas manualmente pelo responsável logístico.

Por fim, espera-se que o trabalho realizado nesta dissertação seja uma ferramenta vantajosa para empresa decidir sobre qual a melhor alternativa para aperfeiçoar a sua atual operação de distribuição. Na tomada de decisão a N&R deve ter em consideração que este modelo é um modelo que apesar de caracterizar o melhor possível a situação atual da empresa, apresenta algumas limitações e que não consegue prever todas as situações que possam ocorrer no dia-a-dia de uma empresa. Assim, espera-se que seja adoptada a proposta que apresente mais vantagens do ponto de vista da empresa e que se adeque o melhor possível à realidade da empresa e às suas necessidades.

BIBLIOGRAFIA

Assad, A.A., Ball, A.I., Bodin, L., & Golden, B.L. (1983). Routing and Scheduling of Vehicles and Crews: the state of the art. *Computer & Operations Research*, 10 (2), 63-212.

Baldacci, R., Toth, P., & Vigo, D. (2010). Exact algorithms for routing problems under vehicle capacity constraints. *Annals of Operations Research*, 175(1), 213–245.

Bassanezi, R. (2002). Ensino-aprendizagem com modelagem matemática: Uma nova estratégia. Editora Contexto.

Bianchi, L. (2000). Notes on Dynamic Vehicle Routing - The State of Art. Technical Report, IDSIA-05-01. Available online: <http://people.idsia.ch/~leo/papers/IDSIA-05-01.pdf>

Bischoff, E., & Ratcliff, M. (1995). Issues in the development of approaches to container loading. *Omega*, 23(4), 377-390.

Bortfeldt, A. (2012). A hybrid algorithm for the capacitated vehicle routing problem with threedimensional loading constraints. *Computers & Operations Research*, 39(9), 2248–2257.

Bortfeldt, A., & Homberger, J. (2013). Packing first, routing second- a heuristic for the vehicle routing and loading problem. *Computers & Operations Research*, 40 (3), 873-885.

Braekers, K., Ramaekers, K., & Nieuwenhuyse, I.V. (2015). The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers & Industrial Engineering*, 99(1), 300-313.

Bräysy, O., & Gendreau, M. (2001). *Genetic Algorithms for the Vehicle Routing Problem with Time Windows*. SINTEF Applied Mathematics, Research Council of Norway.

Brown, G., & Graves, G.W. (1981). *Real-Time Dispatch of Petroleum Tank Trucks*. Management Science, 27(1), 19–32.

Chajakis, E.D, & Guignard, M. (2003). Scheduling deliveries in vehicles with multiple compartments. *Journal of Global Optimization*, 26(1), 43–78.

Clarke, G., & Wright, J. W. (1964). Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operations Research*, 12(4), 568–582.

Coelho, L.C, & Laporte G. (2015). Classification, models and exact algorithms for multicompartment delivery problems. *European Journal of Operational Research*, 242(3), 854–864.

Cordeau, J-F., Laporte, G., & Mercier, A. (2001). A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows. *Journal of the Operational Research Society*, 52(8), 928-936.

Cordeau, J-F., Laporte, G., Savelsbergh, M.W.P., & Vigo, D. (2007). Vehicle routing. C. Barnhart and G. Laporte (eds), *Handbook in Operation Research & Management Science*, 14(1), 367–428.

Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The truck dispatching problem. *Management Science*, 6(1), 80–92.

Derigs, U., Gottlieb, J., Kalkoff, J., Piesche, M., Rothlauf, F., & Vogel, U. (2010). Vehicle routing with compartments: applications, modelling and heuristics. Springer Berlin / Heidelberg, 33(1), 885–914.

Desrosiers, J., & Dumas, Y. (1995). Chapter 2 Time constrained routing and scheduling. In M.O, Balt, T.L., Magnanti, C.L., Monma, & G.L., Nemhauser. *Handbooks in Operations Research and Management Science, Network Routing*. North-Holland.

Doig, A.G., & Land, A.H. (1960). An Automatic Method for Solving Discrete Programming Problems. *Econometrica*, 28(3), 497–520.

Dullaert, W., Janssens, G., Sörensen, K., & Vernimmen, B. (2002). New heuristics for the Fleet Size and Mix Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Journal of the Operational Research Society*, 53(11), 1232-1238.

Elbek, M., & Wøhlk, S. (2016). A variable neighborhood search for the multi-period collection of recyclable materials. *European Journal of Operational Research*, 249(2), 540–550.

Eurostat (2016). *Energy, transport and environment indicators*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.

Falahi, A.E, Prins, C., & Calvo, R.W, (2008). A memetic algorithm and a tabu search for the multi-compartment vehicle routing problem. *Computers & Operations Research*, 35(5), 1725-1741.

Frazelle, E.H. (2002). *Supply Chain Strategy: The logistics of Supply Chain Management*. McGraw-Hill.

Fuellerer, G., Doerner, K.F., Hartl, R.F., & Iori, M. (2010). Metaheuristics for vehicle routing problems with three-dimensional loading constraints. *European Journal of Operational Research*, 201(3), 751-759.

Ganeshan, R., & Harrison, T.P. (1995). An introduction to supply chain management. *Department of Management Science and Information Systems*, 1(1), 2-7.

Gebhard, P. (2012). *The Vehicle Routing Problem with Compartments: Exact and Metaheuristic Approaches*. Tese de Mestrado em Engenharia de Inteligência Computacional. Technische Universität Wien.

Gendreau, M., Iori, M., Laporte, G., & Martello, S. (2006). A Tabu Search Algorithm for a Routing and Container Loading Problem. *Transportation Science*, 40(3), 342–350.

Hax, A. C., & Candea, D. (1984). *Production and inventory management*. Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall.

Henke, T., Speranza, M., Wäscher, G. (2017). *A Branch-and-Cut Algorithm for the Multi-Compartment Vehicle Routing Problem with Flexible Compartment Sizes*. Otto Von Guericke Universität Magdeburg. Faculty of Economics and Management. Available online: http://www.fww.ovgu.de/fww_media/femm/femm_2017/2017_04.pdf.

Jozefowicz, N., Semet, F., & Talbi, G. (2007). Multi-objective vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*, 189(2), 293-309.

Kim, B., Kim, S., & Sahoo, S. (2006). Waste collection vehicle routing problem with time Windows. *Computers & Operations Research*, 33 (12), 3624 – 3642.

Kinderwater, G.A.P, & Savelsbergh, M.W.P. (1997). Vehicle Routing: Handling Edge Exchanges. In E., Aarts, & J.K., Lenstra. *Local Search in Combinatorial Optimization*. United Kingdom: Princeton University Press.

Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D, & Vecchi, M.P. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, 220(1), 671-680.

LaLonde, B.J. (1998). Supply Chain Evolution by the Numbers. *Supply Chain Management Review*, 2 (1), 7-8.

Lambert, D.M., & Cooper, M.C. (2000). Issues in Supply Chain Management. *Industrial Marketing Management*, 29(1), 65-83.

Laporte, G. (1992). The vehicle routing problem: An overview of exact and approximated Algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59(2), 345-358.

Laporte, G., & Osman, I.H. (1995). Routing problems: A bibliography. *Annals of Operations Research*, 61(1), 227-262.

Larsen, A., & Madsen, O. B. G. The dynamic vehicle routing problem. Lyngby, Denmark: Technical University of Denmark (DTU), 2000. 191 pags. Tese de doutoramento, Denmark, 2000.

Li, S., Ragu-Nathan, B., Ragu-Nathan, T.S., & Rao, S.S. (2006). The impact of supply chain management practices on competitive advantage and organizational performance. *Omega*, 34(2), 107-124.

Marinakis, Y., & Marinaki, M. (2010). *A hybrid genetic – Particle Swarm Optimization Algorithm for the vehicle routing problem*. *Expert Systems with Applications*, 37(1), 1446–1455.

Mendoza, J.E, Castanier, B., Guéret, C., Medaglia, A.L., & Velasco, N. (2010). A memetic algorithm for the multi-compartment vehicle routing problem with stochastic demands. *Computers & Operations Research*, 37(11), 1886–1898.

Mester, D., Bräysy, O., & Dullaert, W. (2007). A multi-parametric evolution strategies algorithm for vehicle routing problems. *Expert Systems with Applications, An International Journal*, 32(2), 508–517.

Moura, A. (2008). A multi-objective genetic algorithm for the vehicle routing with time windows and loading problem. In: Bortfeldt, A., Homberger, J., Kopfer, H., Pankratz, G., Strangmeier, R. *Intelligent Decision Support*. Springer.

Moura, A., & Oliveira, J. (2009). An integrated approach to the vehicle routing and container loading problems. *OR spectrum*, 31(4), 775-800.

Muyldermans, L., & Pang, G. (2010). *On the benefits of co-collection: Experiments with a multi-compartment vehicle routing algorithm*. *European Journal of Operational Research*, 206(1), 93–103.

Novaes, A.G. (2004). *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Abastecimento de Distribuição: estratégia, operação e avaliação* (4ª ed.). Elsevier Brasil.

Oliver, R.K., & Webber, M.D. (1982). Supply-chain management: logistics catches up with strategy. *Outlook*, 5 (1), 42-47.

Oppen, J., & Løkketangen, A. (2008). A tabu search approach for the livestock collection problem. *Computers & Operations Research*, 35(10), 3213–3229.

Pessoa, A., Uchoa, E., & Aragão, M.P., (2009). A Robust Branch-Cut-and-Price Algorithm for the Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem. *Networks an International Journal*, 54(4), 167-177.

Pinto, Telmo. Models and advanced optimization algorithms for the integrated management of logistics operations. Minho: Universidade do Minho, Escola de Engenharia, 2006. 195 pags. Tese de doutoramento, Doutoramento em Engenharia Industrial e de Sistemas, Minho, 2006.

Psaraftis, H.N. (1995). Dynamic vehicle routing: Status and prospects. *Annals of Operations Research*, 61(1), 143-164.

Ramos, T., Gomes, M., & Póvoa, A. (2014). *Assessing and improving management practices when planning packaging waste collection systems*. Resources, Conservation and Recycling, 116-129.

Reimann, M. (2005). Analyzing a vehicle routing problem with stochastic demands using Ant Colony Optimization. *Advanced OR and AI Methods in Transportation*, 764-769.

Ruan, Q., Zhang, Z., Miao, L., & Shen, H.(2013). A hybrid approach for the vehicle routing problem with three-dimensional loading constraints. *Computers & Operations Research*, 40(6), 1579–1589.

Simchi-Levi, D., Chen, X., & Bramel, J. (2005). *The Logic of Logistics. Theory, Algorithms and Applications for Logistics Management*. Springer.

Simchi-Levi, D., Kaminsky, P., & Simchi-Levi, E. (2000). *Designing and Management the Supply Chain: Concepts, Strategies and Case Studies*. USA: McGraw-Hill.

Stock, J.R., & Lambert, D.M. (2001). *Strategic Logistics Management* (4^a ed.). McGraw-Hill.

Swenseth, S.R., & Godfrey, M.R. (2002). Incorporating transportation costs into inventory replenishment decisions. *International Journal of Production Economics*, 77(2), 113–130.

Taner, F., Galić, A, Carić, T. (2012). Solving practical vehicle routing problem with time windows using metaheuristic algorithms. University of Zagreb, Croácia. Faculty of Transport and Traffic Sciences.

Tao, Y., & Wang, F. (2010). A new packing heuristic based algorithm for Vehicle Routing Problem with Three-dimensional Loading constraints. *2010 IEEE Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, 972–977.

Tarantilis, C.D, Zachariadis,E.E., & Kiranoudis,C.T. (2009). A hybrid metaheuristic algorithm for the integrated vehicle routing and three-dimensional container-loading problem. *Intelligent Transportation Systems, IEEE Transactions on*, 10(2), 255–271.

Toth, P., & Vigo, D. (2014). *Vehicle Routing: Problems, Methods, and Applications* (2^a ed.). (Monographs on Discrete Mathematics and Applications) (2^a ed.). SIAM-Society for Industrial and Applied Mathematics.

Tsutsumi, M., Kato, K. (2003). Applying vehicle routing problem with time windows to day care courtesy bus service. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*.

Vidal, T., Crainic, T.G, Gendreau, M., & Prins, C. (2013). Heuristics for multi-attribute vehicle routing problems: a survey and synthesis. *European Journal of Operational Research*, 231(1), 1-21.

Wang, L., Guo, S., Chen, S., Zhu, W., & Lim, A. (2010). Two Natural Heuristic for 3D Packing with Practical Loading Constraints. In: Zhang, B.T., Orgun, M.A. *PRICAI 2010: Trends in Artificial Intelligence*. Springer, Berlin, Heidelberg.

Wang, L., Guo, S., Chen, S., Zhu, W., & Lim, A. (2010). *Two natural heuristics for 3D packing with practical loading constraints*, in *PRICAI 2010: Trends in Artificial Intelligence*, Springer, 256–267.

Wei, L., Zhang, Z., Zhang, D., & Lim, A. (2015). A variable neighborhood search for the capacitated vehicle routing problem with two-dimensional loading constraints. *European Journal of Operational Research*, 243(3), 798-814.

Wieberneit, N. (2008). Service network design for freight transportation: a review. *OR Spectrum*, 30(1), 77–112.

Zhu, W., Qin, H., Lim, A., & Wang, L. (2012). A two-stage tabu search algorithm with enhanced packing heuristics for the 3L-CVRP and M3L-CVRP. *Computers & Operations Research*, 39 (9), 2178–2195.

Pesquisa na Internet

<http://maps.google.pt/>

ANEXOS

Anexo A1- Produtos comercializados pela N&R (Categorias)

	SKU		SKU
Sistemas de Canalização	4722	Sistemas de drenagem e esgotos	1410
Acessórios de latão	431	Tubo esgoto doméstico e acessórios	258
Conex e tubo de inox	207	Dallmer e Outros	200
Tubo inox e acessórios VC	311	Tubo e Acessórios Insonorizado	76
Inox roscado tubo e acessórios	299	Caleira e drenagem	255
Tubo cobre e acessórios	292	Válvulas, sifões e tubos extensíveis	260
Cobre Sudo-Press	169	Jimten	155
Acessórios de bronze	170	Tubos corrugados	121
Tubos+ acessórios de ferro galvanizado	348	Saneamento e acessórios	85
Ac.ranhurados	198	Complementos de canalização	2313
Acessórios Junta Rápida	90	Abraçadeiras e fixação	460
Tubo Pex e Acessórios Uponor	260	Massas, vedantes e soldas	217
Tubo e acessórios Pex Diversos	241	Acessórios de ligação e anilhas	381
Multicamada Uponor MLCP	300	Bichas Malha de Aço	311
Multicamada RTM	59	Contadores, suportes e caixas	196
Tubo e Acess. Multicamada	169	Valvularia diversa	454
Aces. Aperto p/ Multicamada	53	Valvularia industrial	294
Tubo e Acessórios de ferro preto	24	Equipamentos complementares	1000
Tubo e Acessórios PPR Nacional	133	Material de Incêndio	171
Tubo Hidronil e Acessórios	223	Bombas Grundfos e Outros	155
PVC Pressão e Acessórios DIN	64	Outras bombas e diversos	44
Tubo PEAD+ Acessórios PPFV	289	Filtros	133
Tubo PEAD gás+ Acessórios latão	148	Rega	271
Calha técnica	62	Equipamentos para piscinas	109
Isolamento Armacell	182	Aspiração Central Aertécnica	117
Materiais para gás	359	Decorativos	840
Válvulas para gás	106	Eletrodomésticos	35
Ligações em inox	78	Lava Louças Rodi	32
Diversos gás	175	Wedi	18
Produção de água quente e climatização	2629	Resguardos Duche	113
Esquentador e Termoacumulador	118	Toalheiros	104
Escape de gases	641	Autoclimo e Ferragens de Cisternas	185
Caldeiras, Radiadores e acessórios	408	Tampos de sanita	41
Tubo Cobre Ac.Refrigeração	68	Móveis de casa-de-banho	85
Alfa Laval	19	Banheiras e bases duche	58
Ar Condicionado	136	Loiça Sanitária	169
Aquecimento por biomassa	188	Ferramentas	1012
Aquecimento Solar	338	Ferramentas Rothenberger	267
Baxi	713	Bosch, Testo e Outros	364
Torneiras e misturadoras	1119	Campingaz, Coleman	221
Neoperl	104	Raaco e Outros	160
Torneiras JGS	295		
Torneiras Grohe	255		
Complementos Duche	100		
Torneiras com temporizador e eletrónica	197		
Torneiras ASM	44		
Torneiras Guglielmi	54		
Torneiras Mamoli	70		

Dia 16- Manhã:

	p1	p2
i1	1	0
i2	2	33
i3	2	10
i4	1	0
i5	1	0
i6	2	0
i7	1	0
i8	2	9
i9	1	0
i10	2	0
Total	15	52

Dia 16- Tarde:

	p1	p2
i1	1	0
i2	2	0
i3	2	0
i4	2	0
i5	1	0
i6	2	0
Total	10	0

Dia 17- Manhã:

	p1	p2
i1	2	0
i2	1	0
i3	2	0
i4	1	0
i5	2	4
i6	2	35
i7	1	1
i8	1	30
i9	2	0
i10	1	0
Total	15	70

Dia 17- Tarde:

	p1	p2
i1	1	0
i2	1	0
i3	2	8
i4	1	0
i5	2	0
Total	7	8

Dia 18- Manhã:

	p1	p2
i1	1	0
i2	1	0
i3	1	0
i4	1	0
i5	1	30
i6	2	0
i7	1	0
i8	2	0
Total	10	30

Dia 18- Tarde:

	p1	p2
i1	1	0
i2	1	0
i3	1	0
i4	1	10
i5	1	0
Total	5	10

Dia 19- Manhã:

	p1	p2
i1	2	0
i2	1	10
i3	2	0
i4	1	5
i5	1	36
i6	2	0
i7	1	0
i8	1	0
Total	11	51

Dia 19- Tarde:

	p1	p2
i1	1	0
i2	1	10
i3	2	80
i4	1	0
Total	5	90

Dia 20- Manhã:

	p1	p2
i1	2	0
i2	2	0
i3	1	0
i4	1	0
i5	2	10
i6	1	31
i7	2	0
i8	2	0
Total	13	41

Dia 20- Tarde:

	p1	p2
i1	2	0
i2	1	0
i3	2	10
i4	2	0
i5	1	0
i6	1	0
i7	2	0
i8	1	0
i9	2	0
Total	14	10

Dia 19- Manhã:

	i0	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8
i0	0	13	10.3	10.7	10.5	9.2	12	37	48.2
i1	13	0	3.1	6.1	7.4	3.4	6.8	27.5	48.4
i2	10.3	3.1	0	5	6.3	1	5.7	30.1	45.9
i3	10.7	6.1	5	0	1.7	6	1.4	27.7	49.4
i4	10.5	7.4	6.3	1.7	0	6.6	1.8	29.1	48.6
i5	9.2	3.4	1	6	6.6	0	5.9	30.2	44.9
i6	12	6.8	5.7	1.4	1.8	5.9	0	27.5	48.5
i7	37	27.5	30.1	27.7	29.1	30.2	27.5	0	25.1
i8	48.2	48.4	45.9	49.4	48.6	44.9	48.5	25.1	0

Dia 20- Manhã:

	i0	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8
i0	0	19.8	14.2	5.5	15	9	14.8	16.4	13.3
i1	19.8	0	7.5	14.1	13.2	12.4	23.9	27.9	29.9
i2	14.2	7.5	0	7.7	11	8.1	19.6	23.2	25.3
i3	5.5	14.1	7.7	0	11.3	6.4	16.1	14.7	18.9
i4	15	13.2	11	11.3	0	5.4	19.4	25	27.4
i5	9	12.4	8.1	6.4	5.4	0	13.1	21	23.3
i6	14.8	23.9	19.6	16.1	19.4	13.1	0	28.7	26.5
i7	16.4	27.9	23.2	14.7	25	21	28.7	0	10.1
i8	13.3	29.9	25.3	18.9	27.4	23.3	26.5	10.1	0

Dia 19- Tarde:

	i0	i1	i2	i3	i4
i0	0	20	17.3	24	43.4
i1	20	0	5.3	2.8	61.5
i2	17.3	5.3	0	4.5	59
i3	24	2.8	4.5	0	64
i4	43.4	61.5	59	64	0

Dia 20- Tarde:

	i0	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8	i9
i0	0	13.9	11.4	12.9	16.1	9.9	6.5	10.1	31.8	26.1
i1	13.9	0	4	4.9	29.2	17.4	14.6	18	45	39.3
i2	11.4	4	0	2	26.2	14.4	11.6	15	41.9	34.8
i3	12.9	4.9	2	0	27.7	15.8	13	16.4	43.4	35.3
i4	16.1	29.2	26.2	27.7	0	16.2	17.1	15.9	37.4	30.3
i5	9.9	17.4	14.4	15.8	16.2	0	2.3	0.6	37.2	30.2
i6	6.5	14.6	11.6	13	17.1	2.3	0	2.9	36.4	29.3
i7	10.1	18	15	16.4	15.9	0.6	2.9	0	35.8	28.8
i8	31.8	45	41.9	43.4	37.4	37.2	36.4	35.8	0	12.3
i9	26.1	39.3	34.8	35.3	30.3	30.2	29.3	28.8	12.3	0

Anexo A4- Rotas reais efetuadas pela N&R durante 20 dias

Turno	Rota	Distância	Paletes	Tubos	% Paletes	% Tubos
1	1: i0-i7-i4-i5-i1-i2-i6-i0	43,4	9	0	75	0
	2: i0-i9-i8-i3-i0	26,4	3	25	25	25
2	1: i0-i7-i1-i4-i2-i6-i5-i3-i8-i0	123,1	10	23	83,33	23
3	1: i0-i5-i3-i2-i0	67,8	3	0	25	0
	2: i0-i1-i6-i4-i0	72,11	3	0	25	0
4	1: i0-i6-i5-i2-i3-i4-i1-i0	65,44	8	70	66,67	70
5	1: i0-i5-i4-i2-i0	40,6	3	0	25	0
	2: i0-i6-i1-i3-i0	27	3	8	25	8
6	1: i0-i5-i2-i1-i3-i4-i0	61,4	8	0	66,67	0
7	1: i0-i6-i7-i4-i3-i0	56,5	4	0	33,33	0
	2: i0-i5-i1-i2-i0	73,4	3	30	25	30
8	1: i0-i5-i2-i4-i6-i1-i3-i0	147,4	7	0	58,33	0
9	1: i0-i3-i7-i1-i2-i0	109,45	4	10	33,33	10
	2: i0-i4-i6-i5-i0	57,4	3	20	25	20
10	1: i0-i3-i5-i4-i0	42,1	3	0	25	0
	2: i0-i2-i1-i0	30,6	2	18	16,67	18
11	1: i0-i2-i3-i4-i1-i0	117,4	4	0	33,33	0
	2: i0-i6-i7-i8-i5-i0	41,5	7	0	58,33	0
12	1: i0-i6-i3-i2-i1-i4-i5-i0	152,3	10	19	83,33	19
13	1: i0-i1-i2-i3-i0	109,7	3	31	25	31
	2: i0-i4-i6-i7-i5-i0	73,6	4	14	33,33	14
14	1: i0-i3-i1-i4-i5-i2-i0	109,7	7	4	58,33	4
15	1: i0-i1-i9-i6-i10-i8-i2-i0	81,70	11	0	91,67	0
	2: i0-i5-i4-i3-i7-i0	66,40	8	0	66,67	0
16	1: i0-i2-i1-i3-i4-i0	74,60	4	12	33,33	12
17	1: i0-i4-i3-i5-i7-i0	51,30	5	8	41,67	8
	2: i0-i6-i2-i1-i0	48,00	6	0	50	0
18	1: i0-i3-i4-i1-i2-i0	68,60	5	9	41,67	9
19	1: i0-i1-i9-i8-i5-i0	66,3	8	102	66,67	100
	2: i0-i4-i3-i2-i6-i7-i0	54,2	10	10	83,33	10
20	1: i0-i7-i4-i5-i0	58,9	5	0	41,67	0
	2: i0-i2-i1-i6-i3-i8-i0	67,2	7	3	58,33	3
21	1: i0-i3-i5-i2-i4-i0	68,6	6	87	50	87
	2: i0-i6-i1-i0	64,6	3	0	25	0
22	1: i0-i1-i3-i2-i4-i0	45,5	7	10	58,33	10
23	1: i0-i5-i7-i0	91,8	2	70	16,67	70
	2: i0-i3-i1-i2-i6-i4-i8-i0	86,9	9	90	75	90
24	1: i0-i1-i4-i2-i3-i0	82,2	6	23	50	23
25	1: i0-i6-i3-i4-i7-i5-i0	65,5	2	0	16,67	0
	2: i0-i1-i2-i0	76,2	8	20	66,67	20
26	1: i0-i2-i4-i3-i1-i5-i6-i0	86,1	9	5	75	5
27	1: i0-i1-i11-i4-i10-i9-i5-i2-i8-i0	102,5	10	80	83,33	80
	2: i0-i3-i6-i7-i0	118,4	5	0	41,67	0
28	1: i0-i4-i5-i2-i3-i6-i1-i0	109,1	8	0	66,67	0
29	1: i0-i1-i5-i0	45,3	4	0	33,33	0
	2: i0-i3-i6-i2-i4-i0	47	5	6	41,67	6
30	1: i0-i1-i0	39,8	1	0	8,33	0
	2: i0-i5-i2-i6-i3-i4	68,9	6	96	50	96
31	1: i0-i7-i3-i1-i4-i2-i0	46,1	7	43	58,33	43
	2: i0-i10-i8-i9-i5-i0	50,3	8	9	66,67	9
32	1: i0-i3-i4-i1-i2-i6-i5-i0	141,1	10	0	83,33	0

33	1: i0-i4-i3-i6-i5-i2-i7-i0	62,7	9	43	75	43
	2: i0-i1-i8-i10-i9-i0	54,7	6	3	50	0
34	1: i0-i2-i3-i1-i5-i4-i0	70,9	7	8	58,33	8
35	1: i0-i2-i8-i4-i3-i0	74,4	5	0	41,67	0
	2: i0-i1-i5-i6-i7-i0	84,7	5	30	41,67	30
36	1: i0-i2-i1-i3-i5-i4-i0	100,3	5	10	41,67	10
37	1: i0-i1-i2-i3-i4-i5-i6-i0	47,3	9	51	75	51
	2: i0-i7-i8-i0	110,3	2	0	16,67	0
38	1: i0-i4-i3-i1-i2-i0	132,8	5	90	41,67	90
39	1: i0-i6-i4-i5-i0	48,6	4	41	33,33	41
	2: i0-i3-i2-i1-i7-i8-i0	71,7	9	0	75	0
40	1: i0-i9-i8-i4-i0	91,9	5	0	41,67	0
	2: i0-i7-i5-i6-i1-i2-i3-i0	46,5	9	10	75	10

Anexo A5- Modelo em GAMS

Neste anexo é apresentado o modelo que foi implementado em linguagem GAMS. É de salientar que no exemplo o número de veículos disponíveis era dois, no entanto, em outros casos era apenas um. Sempre que foram inseridos no modelo novos dados referentes a um novo turno, haviam alterações a fazer, como mudar o número de veículos disponíveis, o número de clientes a abastecer e as tabelas referentes às distâncias entre pontos e às quantidades de produtos pedidos.

SETS

i i0 corresponde ao CD e de i1 a i9 os cliente /i0*i9/

v veiculo /v1*v2/

c compartimento c1 para paletes e c2 para tubos /c1*c2/

p tipo de produto /p1*p2/;

Alias(i,j);

scalar tdt tempo medio de descarga de tubos por unidade em minutos /0.5/;

scalar tdp tempo medio de descarga de paletes por unidade em minutos /4/;

scalar ta tempo medio para tratamento de questões administrativas /5/;

scalar tt tempo total de cada turno /240/;

scalar k velocidade media dos veiculos /50/;

TABLE o(i,p) ordem de encomenda do cliente i do produto p

	p1	p2
i1	1	0
i2	3	0
i3	1	0
i4	2	0
i5	1	0
i6	1	0
i7	1	0
i8	1	20
i9	1	5

;

TABLE dviagem(i,j) Distância de i para j

	i0	i1	i2	i3	i4	i5	i6	i7	i8	i9
i0	0	9.2	16.3	9.7	8	7.9	14.5	6.5	7.7	5.5
i1	9.2	0	13.3	7	3.3	2.8	9.3	5.5	10.6	8.2
i2	16.3	13.3	0	10.4	16.8	11.9	3	18.1	16.2	15.5
i3	9.7	7	10.4	0	11.2	10.8	7.7	12	6.8	6.1
i4	8	3.3	16.8	11.2	0	0.8	16.9	2.5	13.3	11.8
i5	7.9	2.8	11.9	10.8	0.8	0	11.9	3	11.7	10.2
i6	14.5	9.3	3	7.7	16.9	11.9	0	15.1	12.7	12
i7	6.5	5.5	18.1	12	2.5	3	15.1	0	12.2	10.7
i8	7.7	10.6	16.2	6.8	13.3	11.7	12.7	12.2	0	4.4
i9	5.5	8.2	15.5	6.1	11.8	10.2	12	10.7	4.4	0

;

PARAMETERS

cmax(c) capacidade maxima compartimento c

/ c1 12

c2 100/;

PARAMETER

tviagem(i,j) tempo de viagem de i para j;

tviagem(i,j)=dviagem(i,j)*60/k;

VARIABLES

x(i,j,v,p,c) variavel igual a 1 se o veiculo v transportar o produto p da encomenda de i para j no compartimento c

dtotal(v) distancia total percorrida por cada veiculo v

ttotal(v) tempo total percorrido por cada veiculo v

ptotal(v) numero de paletes transportadas por cada veiculo v

tutotal(v) numero de tubos transportados por cada veiculo v

u(i) variavel que assume um valor consoante a posição do ponto i na rota

vf(v) variavel que assume o valor 1 se o veiculo v efetuar uma rota e 0 caso contrário

z quilometros percorridos com a distribuicao;

positive variables ttotal,dtotal,ptotal,tutotal;

integer variables u;

binary variables x,vf;

EQUATIONS

Objetivo Define a funcao objetivo minimizar os quilometros percorridos

Eq1(j,v) Assegura que cada rota começa no CD
 Eq2(j,v) Assegura que cada rota termina no CD
 Eq3(j) So se chega a cada cliente apenas uma unica vez
 Eq4(j) So se parte de cada cliente apenas uma unica vez
 Eq5(v,i) Assegura o movimento dos veiculos
 Eq6(v) Assegura que a capacidade do compartimento das paletes de um veiculo v nao e ultrapassada
 Eq7(v) Assegura que a capacidade do compartimento dos tubos de um veiculo v nao e ultrapassada
 Eq8(j,i,v) Define se um veiculo v e necessario para a distribuicao
 Eq9(v) Garante que o tempo total de uma rota nao ultrapassa o tempo de cada turno
 Eq10(i,j,v) Elimina as subrotas
 Eq11(v) Calcula a distancia total percorrida
 Eq12(v) Calcula o tempo total necessario
 Eq13(v) Calcula o numero total de paletes por cada veiculo
 Eq14(v) Calcula o numero total de tubos por cada veiculo
 Eq15(i,j,v) Garante que é sempre o mesmo veiculo que abastece o cliente se este fizer uma encomenda com dois produtos diferentes;

Objetivo..z=e=Sum((v,i,j),x(i,j,v,'p1','c1')*dviagem(i,j));
 Eq1(j,v)\$ (ord(j) eq 1) .. Sum((i)\$ (ord(i) gt 1), x(j,i,v,'p1','c1')) =e= vf(v);
 Eq2(j,v)\$ (ord(j) eq 1) .. Sum((i)\$ (ord(i) gt 1), x(i,j,v,'p1','c1')) =e= vf(v);
 Eq3(j)\$ (ord(j) gt 1).. sum((i,v)\$ (ord(i) <> ord(j)), x(i,j,v,'p1','c1')) =E= 1;
 Eq4(j)\$ (ord(j) gt 1).. sum((i,v)\$ (ord(i) <> ord(j)), x(j,i,v,'p1','c1')) =E= 1;
 Eq5(v,i)..Sum(j,x(j,i,v,'p1','c1'))=e=Sum(j,x(i,j,v,'p1','c1'));
 Eq6(v)..Sum((i,j)\$ (ord(i)>1 and ord(i) <> ord(j)), o(i,'p1')*x(i,j,v,'p1','c1')) =l= cmax('c1');
 Eq7(v)..Sum((i,j)\$ (ord(i)>1 and ord(i) <> ord(j)), o(i,'p2')*x(i,j,v,'p2','c2')) =l= cmax('c2');
 Eq8(j,i,v)..x(j,i,v,'p1','c1')=l=vf(v);
 Eq9(v)..Sum((i,j),(tviagem(i,j)+(tdp*o(i,'p1'))+(tdt*o(i,'p2'))+ta)*x(i,j,v,'p1','c1'))=l=tt;
 Eq10(i,j,v)\$ (ord(i) <> ord(j) and ord(i) <> 1 and ord(j) <> 1)..u(i)-u(j)+card(i)*x(i,j,v,'p1','c1')=l=card(i)-1;
 Eq11(v)..dtotal(v)=e=Sum((i,j),x(i,j,v,'p1','c1')*dviagem(i,j));
 Eq12(v)..ttotal(v)=e=Sum((i,j),x(i,j,v,'p1','c1')*(tviagem(i,j)+(tdp*o(i,'p1'))+(tdt*o(i,'p2'))+ta));
 Eq13(v)..ptotal(v)=e=Sum((i,j),x(i,j,v,'p1','c1')*o(i,'p1'));
 Eq14(v)..tutotal(v)=e=Sum((i,j),x(i,j,v,'p2','c2')*o(i,'p2'));
 Eq15(i,j,v)..x(i,j,v,'p1','c1')=e=x(i,j,v,'p2','c2');

Model Modelovalidacao /all/;
 Modelovalidacao.optcr=0;
 Modelovalidacao.optfile=1;
 solve Modelovalidacao using mip minimizing z;
 display z.l, u.l, x.l, ttotal.l, dtotal.l, ptotal.l, tutotal.l;

Anexo A6- Rotas efetuadas com a implementação do cenário 1 durante 20 dias

Turno	Rota	Tempo (min)	Distância (Km)	Paletes	Tubos	% Paletes	% Tubos
1	1: i0-i7-i4-i5-i1-i6-i2-i3-i8-i9-i0	172,9	52	12	25	100	25
2	1: i0-i8-i3-i5-i6-i2-i4-i1-i7-i0	239,22	123,1	10	23	83,33	23
3	1: i0-i5-i3-i4-i6-i2-i1-i0	210,56	126,3	6	0	50	0
4	1: i0-i6-i5-i2-i1-i4-i3-i0	180,65	65,54	8	70	66,67	70
5	1: i0-i2-i5-i4-i1-i6-i3-i0	140,4	64,5	6	8	50	8
6	1: i0-i4-i1-i3-i5-i2-i0	134,72	60,6	8	0	66,67	0
7	1: i0-i6-i7-i4-i5-i2-i1-i3-i0	224,72	118	7	30	58,33	30
8	1: i0-i4-i2-i5-i3-i1-i6-i0	234	142,5	7	0	58,33	0
9	1: i0-i4-i0 2: i0-i5-i6-i2-i1-i7-i3-i0	44,96 216,38	144,5	1 6	0 30	8,33 50	0 30
10	1: i0-i5-i4-i1-i2-i3-i0	126,56	56,3	5	18	41,67	18
11	1: i0-i6-i2-i3-i1-i4-i5-i8-i0 2: i0-i7-i0	238,84 37,92	152,3	9 2	0 0	75 16,67	0 0
12	1: i0-i6-i3-i2-i4-i5-i1-i0	220,02	117,1	10	17	83,33	17
13	1: i0-i3-i0 I0i6i4i7i5i2i1i0	226,7 47,36	148,8	6 1	45 0	50 8,33	45 0
14	1: i0-i1-i3-i4-i5-i2-i0	172,8	94	7	4	58,33	4
15	1: i0-i9-i6-i10-i8-i2-i5-i0 2: i0-i1-i7-i3-i4-i0	171,52 110,76	121,9	11 8	0 0	91,67 66,67	0 0
16	1: i0-i4-i3-i1-i2-i0	136,16	74,3	4	12	33,33	12
17	1: i0-i6-i2-i1-i4-i5-i3-i7-i0	204,88	97,4	11	8	91,67	8
18	1: i0-i3-i4-i2-i1-i0	129,9	67	5	9	41,67	9
19	1: i0-i1-i9-i8-i0 2: i0-i5-i4-i3-i2-i7-i6-i0	96,9 215,58	107,9	6 12	29 83	50 100	29 83
20	1:0i5i4i7i8i3i6i1i2i0	233,46	115,8	12	3	100	3
21	1: i0-i3-i5-i4-i2-i0 2: i0-i6-i1-i0	158,26 104,52	119,4	6 3	87 0	50 25	87 0
22	1: i0-i1-i4-i2-i3-i0	112,6	45,5	7	10	58,33	10
23	1: i0-i8-i2-i1-i4-i6-i3-i0 2: i0-i7-i5-i0	208,28 168,16	168,7	9 2	90 70	75 16,67	90 70
24	1: i0-i3-i2-i4-i1-i0	158,3	81,5	6	23	50	23
25	1:i0-i6-i0 2: i0-i1-i2-i5-i7-i4-i3-i0	25,44 232,52	135,8	2 8	0 20	16,67 66,67	0 20
26	1: i0-i6-i5-i1-i3-i4-i2-i0	176,82	86,1	9	5	75	5
27	1: i0-i8-i1-i10-i9-i5-i0 2: i0-i2-i7-i6-i11-i4-i3-i0	164,68 234,44	195,1	7 8	66 14	58,33 66,67	66 14
28	1: i0-i5-i4-i1-i6-i2-i3-i0	196,72	108,1	8	0	66,67	0
29	1: i0-i5-i1-i4-i6-i2-i3-i0	172,52	82,1	9	6	75	6
30	1: i0-i1-i4-i3-i6-i5-i2-i0	226,92	96,6	7	96	58,33	96
31	1: i0-i5-i6-i2-i4-i1-i3-i7-i0 2: i0-i8-i9-i10-i0	200,86 81,22	113,4	10 5	43 9	83,33 41,67	43 9
32	1: i0-i4-i3-i5-i6-i2-i1-i0	239,48	137,9	10	0	83,33	0
33	1: i0-i9-i1-i0 2: i0-i8-i10-i7-i2-i5-i6-i3-i4-i0	71,08 212,44	107,1	4 11	0 75	33,33 91,67	0 75
34	1: i0-i3-i1-i5-i4-i2-i0	131,12	57,6	7	8	58,33	8
35	1: i0-i2-i0 2: i0-i8-i4-i3-i5-i7-i6-i1-i0	39,68 229,84	137,1	1 9	0 30	8,33 75	0 30

36	1: i0-i2-i4-i3-i5-i1-i0	169,96	95,8	5	10	41,67	10
37	1: i0-i5-i2-i1-i7-i8-i0	213,92	138,5	6	46	50	46
	2: i0-i3-i6-i4-i0	71,78		5	5	41,67	5
38	1: i0-i4-i1-i3-i2-i0	240	128,5	5	90	41,67	90
39	1: i0-i7-i8-i0	78,76	107	4	43	33,33	43
	2: i0-i3-i2-i1-i4-i5-i6-i0	172,14		9	0	75	0
40	1: i0-i2-i3-i1-i0	83,64	131,9	5	10	41,67	10
	2: i0-i8-i9-i4-i7-i5-i6-i0	190,64		9	0	75	0

Anexo A7- Rotas efetuadas com a implementação do cenário 2 durante 20 dias

Turno	Rota	Tempo (min)	Distância (Km)	Paletes	Tubos	% Paletes	% Tubos
1	1: i0-i7-i4-i5-i1-i6-i2-i3-i8-i9-i0	172,9	52	12	25	100	25
2	1: i0-i8-i3-i5-i6-i2-i4-i1-i7-i0	239,22	123,1	10	23	83,33	23
3	1: i0-i5-i3-i4-i6-i2-i1-i0	210,56	126,3	6	0	50	0
4	1: i0-i6-i5-i2-i1-i4-i3-i0	180,648	65,54	8	70	66,67	70
5	1: i0-i2-i5-i4-i1-i6-i3-i0	140,4	64,5	6	8	50	8
6	1: i0-i4-i1-i3-i5-i2-i0	134,72	60,6	8	0	66,67	0
7	1: i0-i6-i7-i4-i5-i2-i1-i3-i0	224,72	118	7	30	58,33	30
8	1: i0-i4-i2-i5-i3-i1-i6-i0	234	142,5	7	0	58,33	0
9	1: i0-i4-i5-i6-i2-i7-i3-i0	254,78	143,15	7	30	58,33	30
10	1: i0-i5-i4-i1-i2-i3-i0	126,56	56,3	5	18	41,67	18
11	1: i0-i6-i2-i3-i1-i4-i5-i8-i7-i0	256,28	139,4	11	0	91,67	0
12	1: i0-i6-i3-i2-i4-i5-i1-i0	220,02	117,1	10	17	83,33	17
13	1: i0-i3-i6-i4-i7-i5-i2-i1-i0	246,22	181,1	7	45	58,33	45
14	1: i0-i1-i3-i4-i5-i2-i0	172,8	94	7	4	58,33	4
15	1: i0-i9-i6-i10-i8-i2-i5-i0	171,52	77,1	11	0	91,67	0
	2: i0-i1-i7-i3-i4-i0	110,76	44,8	8	0	66,67	0
16	1: i0-i4-i3-i1-i2-i0	136,16	74,3	4	12	33,33	12
17	1: i0-i6-i2-i1-i4-i5-i3-i7-i0	204,88	97,4	11	8	91,67	8
18	1: i0-i3-i4-i2-i1-i0	129,9	67	5	9	41,67	9
19	1: i0-i1-i9-i8-i0	96,9	32	6	29	50	29
	2: i0-i5-i4-i3-i2-i7-i6-i0	215,58	75,9	12	83	100	83
20	1: i0-i5-i4-i7-i8-i3-i6-i1-i2-i0	233,46	115,8	12	3	100	3
21	1: i0-i6-i1-i2-i4-i5-i3-i0	246,62	110,1	9	87	75	87
22	1: i0-i1-i4-i2-i3-i0	112,6	45,5	7	10	58,33	10
23	1: i0-i8-i2-i1-i4-i6-i3-i0	208,28	76,9	9	90	75	90
	2: i0-i7-i5-i0	168,16	91,8	2	70	16,67	70
24	1: i0-i3-i2-i4-i1-i0	158,3	81,5	6	23	50	23
25	1: i0-i6-i1-i2-i5-i7-i4-i3-i0	249,84	133,2	10	20	83,33	20
26	1: i0-i6-i5-i1-i3-i4-i2-i0	176,82	86,1	9	5	75	5
27	1: i0-i8-i1-i10-i9-i5-i0	164,68	61,4	7	66	58,33	66
	2: i0-i2-i7-i6-i11-i4-i3-i0	234,44	133,7	8	14	66,67	14
28	1: i0-i5-i4-i1-i6-i2-i3-i0	196,72	108,1	8	0	66,67	0
29	1: i0-i5-i1-i4-i6-i2-i3-i0	172,52	82,1	9	6	75	6
30	1: i0-i1-i4-i3-i6-i5-i2-i0	226,92	96,6	7	96	58,33	96
31	1: i0-i5-i6-i2-i4-i1-i3-i7-i0	200,86	82,8	10	43	83,33	43
	2: i0-i8-i9-i10-i0	81,22	30,6	5	9	41,67	9
32	1: i0-i4-i3-i5-i6-i2-i1-i0	239,48	137,9	10	0	83,33	0
33	1: i0-i9-i1-i0	71,08	33,4	4	0	33,33	0
	2: i0-i8-i10-i7-i2-i5-i6-i3-i4-i0	212,44	73,7	11	75	91,67	75
34	1: i0-i3-i1-i5-i4-i2-i0	131,12	57,6	7	8	58,33	8
35	1: i0-i2-i1-i6-i7-i5-i3-i4-i8-i0	255,4	129,5	10	30	83,33	30
36	1: i0-i2-i4-i3-i5-i1-i0	169,96	95,8	5	10	41,67	10
37	1: i0-i5-i2-i1-i3-i4-i6-i7-i8-i0	262,94	123,7	11	51	91,67	51
38	1: i0-i4-i1-i3-i2-i0	240	128,5	5	90	41,67	90
39	1: i0-i7-i8-i0	78,76	39,8	4	43	33,33	43
	2: i0-i3-i2-i1-i4-i5-i6-i0	172,14	67,2	9	0	75	0
40	1: i0-i2-i3-i1-i0	83,64	32,2	5	10	41,67	10
	2: i0-i8-i9-i4-i7-i5-i6-i0	190,64	99,7	9	0	75	0

Anexo A8- Rotas efetuadas com a implementação do cenário 3 durante 20 dias

Turno	Rota	Tempo (min)	Distância (Km)	Paletes	Tubos	% Paletes	% Tubos
1	1: i0-i7-i4-i5-i1-i6-i2-i3-i8-i9-i0	172,9	52	12	25	100	25
2	1: i0-i8-i3-i5-i6-i2-i4-i1-i7-i0	239,22	123,1	10	23	83,33	23
3	1: i0-i5-i3-i4-i6-i2-i1-i0	210,56	126,3	6	0	50	0
4	1: i0-i6-i5-i2-i1-i4-i3-i0	180,648	65,54	8	70	66,67	70
5	1: i0-i2-i5-i4-i1-i6-i3-i0	140,4	64,5	6	8	50	8
6	1: i0-i4-i1-i3-i5-i2-i0	134,72	60,6	8	0	66,67	0
7	1: i0-i6-i7-i4-i5-i2-i1-i3-i0	224,72	118	7	30	58,33	30
8	1: i0-i4-i2-i5-i3-i1-i6-i0	234	142,5	7	0	58,33	0
9	1: i0-i4-i5-i6-i2-i7-i3-i0	254,78	143,15	7	30	58,33	30
10	1: i0-i5-i4-i1-i2-i3-i0	126,56	56,3	5	18	41,67	18
11	1: i0-i6-i2-i3-i1-i4-i5-i8-i7-i0	256,28	139,4	11	0	91,67	0
12	1: i0-i6-i3-i2-i4-i5-i1-i0	220,02	117,1	10	17	83,33	17
13	1: i0-i3-i6-i4-i7-i5-i2-i1-i0	246,22	181,1	7	45	58,33	45
14	1: i0-i1-i3-i4-i5-i2-i0	172,8	94	7	4	58,33	4
15	1: i0-i8-i9-i7-i2-i5-i3-i6-i4-i1-i0	253,28	109,4	18	0	100	0
16	1: i0-i2-i1-i3-i4-i5-i0	183,92	106,6	5	12	41,67	12
17	1: i0-i6-i2-i1-i4-i5-i3-i7-i0	204,88	97,4	11	8	91,67	8
18	1: i0-i3-i4-i2-i1-i0	129,9	67	5	9	41,67	9
19	1: i0-i5-i6-i1-i2-i3-i4-i0	215,58	75,9	12	83	100	83
20	1: i0-i5-i6-i2-i1-i3-i4-i0	214,2	96	12	32	100	32
21	1: i0-i3-i4-i2-i6-i8-i1-i5-i7-i0	322,02	154,6	12	87	100	87
22	1: i0-i5-i1-i6-i4-i2-i3-i0	181,16	84,3	10	10	83,33	10
23	1: i0-i3-i5-i4-i1-i2-i7-i6-i0	284,96	133,3	10	90	83,33	90
24	1: i0-i3-i5-i2-i4-i1-i0	218,38	94,9	7	93	58,33	93
25	1: i0-i6-i1-i2-i5-i7-i4-i3-i0	249,84	133,2	10	20	83,33	20
26	1: i0-i6-i5-i1-i3-i4-i2-i0	176,82	86,1	9	5	75	5
27	1: i0-i8-i2-i7-i6-i4-i3-i1-i5-i9-i0	331,2	161	12	80	100	80
28	1: i0-i3-i2-i8-i6-i7-i1-i4-i5-i0	230,36	117,8	11	0	91,67	0
29	1: i0-i5-i1-i4-i6-i2-i3-i0	172,52	82,1	9	6	75	6
30	1: i0-i1-i4-i3-i6-i5-i2-i0	226,92	96,6	7	96	58,33	96
31	1: i0-i7-i3-i1-i4-i2-i6-i5-i8-i0	227	90	12	52	100	52
32	1: i0-i3-i5-i6-i2-i1-i7-i8-i4-i0	270,52	144,6	13	0	72,22	0
33	1: i0-i1-i8-i6-i5-i7-i2-i3-i4-i0	216,08	73,4	12	70	100	70
34	1: i0-i3-i7-i1-i6-i5-i4-i2-i0	165,36	67,8	10	8	83,33	8
35	1: i0-i2-i1-i6-i7-i5-i3-i4-i8-i0	255,4	129,5	10	30	83,33	30
36	1: i0-i2-i4-i3-i5-i1-i0	169,96	95,8	5	10	41,67	10
37	1: i0-i5-i2-i1-i3-i4-i6-i7-i8-i0	262,94	123,7	11	51	91,67	51
38	1: i0-i4-i1-i3-i2-i0	240	128,5	5	90	41,67	90
39	1: i0-i7-i6-i3-i2-i1-i4-i5-i0	220,82	93,6	12	41	100	41
40	1: i0-i1-i3-i2-i6-i5-i7-i4-i8-i0	71,4	183,68	12	10	100	10