



## Otimização dos circuitos de distribuição milk-run numa empresa do sector automóvel

**SILVANA RAQUEL BARBOSA DE OLIVEIRA**

Outubro de 2018

# OTIMIZAÇÃO DOS CIRCUITOS DE DISTRIBUIÇÃO MILK- RUN NUMA EMPRESA DO SECTOR AUTOMÓVEL

Silvana Raquel Barbosa de Oliveira

**2018**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica





# **OTIMIZAÇÃO DOS CIRCUITOS DE DISTRIBUIÇÃO MILK- RUN NUMA EMPRESA DO SECTOR AUTOMÓVEL**

Silvana Raquel Barbosa de Oliveira  
1160079

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação de Doutora Maria Teresa Pereira.

**2018**

Instituto Superior de Engenharia do Porto  
Departamento de Engenharia Mecânica



POLITÉCNICO  
DO PORTO

isep

# JÚRI

## **Presidente**

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

## **Orientador**

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

## **Co-orientador**

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

## **Arguente**

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>



## AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação não teria sido possível sem o apoio e orientação de algumas pessoas a quem eu deixo aqui o maior apresso e os meus sinceros agradecimentos.

Aos meus pais, Ana Rosa e João Paulo, e ao meu irmão, Rui Miguel, o meu muito obrigado por estarem sempre do meu lado e acompanharem de perto todo o meu percurso académico, e acima de tudo, por sempre acreditarem em mim e fazer de mim a pessoa que sou hoje.

À minha orientadora, Doutora Maria Teresa Pereira, pela sua disponibilidade e interesse em ouvir a evolução do meu trabalho e pela aceitação imediata em ser a pessoa que me iria dar os maiores conselhos.

Ao meu coorientador, Luís Carlos Ramos Nunes Pinto Ferreira, por toda a ajuda no percurso de entrada na empresa Bosch e por toda a disponibilidade e atenção dada no decurso do projeto, e ao Professor Manuel Pereira Lopes por me ter encaminhado com os melhores conselhos para um futuro no mercado profissional promissor.

Ao Engenheiro Bruno Costa, o meu orientador e chefe na Bosch Car Multimédia, S.A., por todo o apoio constante no decurso do estágio, pelos ensinamentos e pela disponibilização dos meios necessários para a realização da dissertação, pelas horas de pressão e também alegria, por ter acreditado em mim e sobretudo pela amizade que considero que levo.

Aos meus colegas de trabalho, que sempre me incentivaram e ajudaram a superar todas as dificuldades ao longo do meu percurso na empresa, e por todo o carinho que demonstraram.

Ao Ricardo Bertolucci, por me ter dado todo o apoio e ajuda necessária na fase final da concretização da minha dissertação.

Sem nunca esquecer, aos meus amigos do coração, que foram alicerces durante toda a vida universitária e serão certamente para a vida.

Sem vocês nada disto seria possível.

A todos, muito obrigada!

# BOSCH: UM IMPÉRIO BRACARENSE

## **PALAVRAS CHAVE**

milk-run, roteamento, VRP e as suas variantes, distribuição, modelo de apoio à decisão

## **RESUMO**

Nos dias de hoje, a competição paralela entre as empresas e os clientes muito meticulosos, torna o mundo empresarial mais exigente.

A presente dissertação, surge com o intuito de criar um modelo de roteamento capaz de definir as rotas de distribuição, otimizando o conjunto das mesmas. Associado a estas, muitas vezes uma má distribuição, é geralmente despendido tempo e recursos desnecessários às empresas.

Desenvolvida num ambiente empresarial do sector automóvel, e de forma a melhorar todo o processo dos circuitos milk-run, foi criada uma ferramenta de apoio à decisão, alicerçada num modelo matemático de programação inteira, para as rotas do edifício de montagem manual.

A ferramenta de apoio à decisão, utilizou dados de planos de produção referentes a Julho e Agosto de 2018, sendo resolvido o cálculo do modelo matemático no software *IBM ILOG CPLEX 12.0.8*.

Para este período, foi testado um modelo matemático com foco na minimização do número de veículos, demonstrando que o mesmo otimizava o conjunto de milk-runs no parque de produção, mas não otimizava o roteamento. De forma a obter melhores resultados, foi modificada a função objetivo do modelo matemático, de forma a conjugar o roteamento de veículos com a minimização do tempo de ciclo dos comboios logísticos, garantindo a minimização do número de veículos.

Assim, obtendo o melhor dos dois “mundos”, foi possível otimizar a quantidade de veículos necessários em dois para o transporte de placas, eliminando custos à empresa no que concerne a contratações, compra e manutenção de veículos e eliminar qualquer tipo de paragem de linhas por falta de abastecimento devido a atrasos no abastecimento. Foram ainda criadas ilustrações das rotas realizadas por cada milk-run.

Em suma, a ferramenta de apoio à decisão criada demonstrou ser eficiente apresentando melhorias face à sistemática existente.

**KEYWORDS**

milk-run, routing, VRP and its variants, distribution, decision support model

**ABSTRACT**

Nowadays, the parallel competition between companies and meticulous customers, makes the business world more demanding.

The present thesis aims to create a routing model capable of defining and optimizing the distribution routes. The poor distribution usually associated with these causes the loss of time and necessary resources to the companies.

Developed in a corporative environment in the automotive sector, and in order to improve the entire process of the milk-run circuits, a decision-support tool, based on a mathematical model of integer programming, was created for the routes of the manual assembly building.

The decision support tool used production plans data for July and August 2018, solving the mathematical model calculation in *IBM ILOG CPLEX 12.0.8* software.

During this period of time, a mathematical model was tested focusing on minimizing the number of vehicles. This mathematical model optimized the set of milk-runs in the production park, but did not optimize the routing. In order to obtain better results, the objective function of the mathematical model was modified, in order to combine the routing of vehicles with the minimization of the logistics trains cycle time, ensuring the number of vehicles minimization.

Thus, it was possible to optimize the number of vehicles needed for the transport of plates, eliminating costs to the company regarding to hiring, purchase and maintenance of vehicles and eliminate any kind of line stop due to lack of supply caused by delays in supply. Illustrations of the routes performed by each milk-run were also created.

In conclusion, the developed decision support tool proved to be efficient and presented improvements in relation to the existing systematic.

## LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

BBS	Bosch Business System
BPS	Bosch Production System
CVRP	Capacitated Vehicle Routing Problem
DCVRP	Distance-Constrained Vehicle Routing Problem
DVRP	Dynamic Vehicle Routing Problem
EFQM	European Foundation for Quality Management
FIFO	First In First Out
FSVRPTW	Fuzzy Selective Vehicle Routing Problem with Time Windows
HFVRP	Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem
I&D	Investigação e Desenvolvimento
ILP	Programação Linear Inteira
IoT	Internet Of Things
MDVRP	Multiple Depot Vehicle Routing Problem
NP	Non-Deterministic Polynomial Time
OVRP	Open Vehicle Routing Problem
PCB	Printed Circuit Board
PLs	Programas Lineares
POUP	Point of Use Provider
PVRP	Periodic Vehicle Routing Problem
SMC	Smart Manufacturing Control
SVRP	Stochastic Vehicle Routing Problem
TIR	Transporte Internacional Rodoviário
TSP	Traveling Salesman Problem
VRP	Vehicle Routing Problem
VRP WITH LIFO	Vehicle Routing Problem With Lifo
VRPBTW	Vehicle Routing Problem with Backhauls with Time Windows
VRPPD	Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery
VRPPDTW	Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery with Time Windows
VRPSD	Vehicle Routing Problem with Stochastic Demand
VRPSF	Vehicle Routing Problem with Satellite Facilities
VRPTW	Vehicle Routing Problem with Time Windows
WIP	Work in Progress
Km/H	Quilómetros por Hora
m/s	Metros por Segundo



## GLOSSÁRIO DE TERMOS

---

Bordo-de-Linha	Local de acesso aos componentes por parte dos operadores de linha; a localização procura minimizar distâncias e tempos de deslocação dos operadores.
Bottlenecks	Designação do componente que limita a capacidade ou desempenho de todo o sistema.
Chão de Fábrica	Termo dado ao espaço onde se dá o processo produtivo.
Ciclo Hamiltoniano	É um circuito que permite passar por todos os vértices de um grafo $G$ , não repetindo nenhum, ou, seja, passar por todos uma e uma só vez por cada.
Grafo	Conjunto de vértices e um conjunto de arestas que ligam pares de vértices distintos.
Just-in-Time	Sistema de administração da produção que determina que tudo deve ser produzido, transportado ou comprado na hora exata.
Kanban	O kanban é um meio de sinalização que indica o material ou produto solicitado, em que quantidade e como deve ser produzido.
Milk-Run	Sistema de entregas que abastece os clientes com mercadoria e recolhe, para economizar nos custos de transporte
Mizusumashi	Palavra japonesa que significa “alfaiate-de-água”; o mizusumashi é o operador logístico responsável pela movimentação de material e informação.
Picking	Consiste na recolha em armazém de certos produtos, face a pedido de cliente, seja um processo produtivo ou um cliente externo.
Rich VRP's	Ramificações do VRP, mais modernas.
Roteamento	Definição de um conjunto de rotas.
Tempo de Ciclo	Quantidade total de tempo decorrido desde que uma tarefa, processo ou serviço é iniciada até que seja concluída.

---

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - METODOLOGIA ADOTADA	25
FIGURA 2 - EMPRESA ROBERT BOSCH GMBH	29
FIGURA 3 - PIRÂMIDE DOS ALICERCES DA "HOUSE OF ORIENTATION".	30
FIGURA 4 - EMPRESA BOSCH CAR MULTIMÉDIA, S.A.	31
FIGURA 5 – LOGÍSTICA INTERNA POR OPERADOR E POR MIZUSUMASHI (COIMBRA,2013,P.129)	37
FIGURA 6 - ILUSTRAÇÃO DE UM VRP CLÁSSICO. OS CUSTOMER'S REPRESENTAM OS CLIENTES, O DEPOT REPRESENTA O DEPÓSITO CENTRAL E OS CIRCUITOS COLORIDOS REPRESENTAM CINCO ROTAS DIFERENTES.	41
FIGURA 7 - RELAÇÕES ENTRE PROBLEMAS BÁSICOS DA CLASSE VRP. (BOCTIS,SORENSEN, 2009)	44
FIGURA 8 -COMPARAÇÃO ENTRE TSP E VRP, DEMONSTRANDO QUE UM VRP É CONSTITUÍDO POR INÚMEROS TSP'S.	44
FIGURA 9 - O CIRCUÍTO $A \Rightarrow B \Rightarrow C \Rightarrow E \Rightarrow D \Rightarrow A$ É O CIRCUITO ÓTIMO	45
FIGURA 10 - TAXONOMIA DOS MÉTODOS DE RESOLUÇÃO DO VRP	51
FIGURA 11- EXEMPLO DE SUPERMERCADOS, POSICIONADOS DE FORMA A SER MAIS FÁCIL AO COMBOIO LOGÍSTICO A DISTRIBUIÇÃO DE PLACAS E FORNECIMENTO DE VÁRIAS LINHAS..	66
FIGURA 12 - ILUSTRAÇÃO DO COMBOIO LOGÍSTICO DA BOSCH CAR MULTIMÉDIA , S.A.	68
FIGURA 13 - TIPOS DE SUPORTES EXISTENTES PARA TRANSPORTE DE PLACAS.	71
FIGURA 14 – SUPERMERCADOS ABASTECEDORES DAS LINHAS DE PRODUÇÃO DO EDIFÍCIO 101.	79
FIGURA 15 – ILUSTRAÇÃO DA ROTA DO MILK-RUN 1, SEGUNDO O MODELO REPRESENTATIVO DA MINIMIZAÇÃO DE VEÍCULOS, COM VARIANTE 6.	83
FIGURA 16 - ILUSTRAÇÃO DA ROTA DO MILK-RUN 2, SEGUNDO O MODELO REPRESENTATIVO DA MINIMIZAÇÃO DE VEÍCULOS, COM VARIANTE 2.	84
FIGURA 17 - ILUSTRAÇÃO DA ROTA DO MILK-RUN 1, SEGUNDO O NOVO MODELO, COM VARIANTE 6.	87
FIGURA 18 - ILUSTRAÇÃO DA ROTA DO MILK-RUN 2, SEGUNDO O NOVO MODELO, COM VARIANTE 6.	88
FIGURA 19 - LAYOUT COM DATA 21/05/2018, DEMONSTRANDO OS SUPERMERCADOS A ABASTECER, EDIFÍCIO 101 - PISO 2	104
FIGURA 20 - LAYOUT COM DATA 21/05/2018, DEMONSTRANDO OS SUPERMERCADOS A ABASTECER, EDIFÍCIO 101 - PISO 0	105
FIGURA 21 - LAYOUT COM DATA 21/05/2018, COM DETALHE DOS LOCAIS A ABASTECER, EDIFÍCIO 104	106
FIGURA 22 - SISTEMA ANTIGO DE ENGATE, USADO NOS COMBOIOS LOGÍSTICOS, PARA ATRELAR AS CARRUAGENS	107
FIGURA 23 - CONTRABALANÇO USADO PARA O ENGATE NO COMBOIO LOGÍSTICO, SENDO MANUSEADO COM O PÉ E ENGATE FIXO NAS CARRUAGENS	108
FIGURA 24 - COMBOIO LOGÍSTICO REAL, COM DUAS CARRUAGENS ATRELADAS.	109
FIGURA 25 - PLANTA DA EMPRESA BOSCH CAR MULTIMÉDIA, S.A.	112

## ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - BIOGRAFIA DA HISTÓRIA DA EMPRESA ROBERT BOSCH GMBH	27
TABELA 2 - BENEFÍCIOS DO USO DO SISTEMA MILK-RUN	38
TABELA 3 - VARIANTES ESPECÍFICAS DO VRP	49
TABELA 4 - TAXONOMIA DE PROBLEMAS DE ROTEAMENTO DE VEÍCULOS COM BASE NA EVOLUÇÃO E NA QUALIDADE DA INFORMAÇÃO (PILLAC, GUÉRET AND MEDAGLIA,2011).	50
TABELA 5 - APLICAÇÕES DE MÉTODOS EXATOS	56
TABELA 6 - CARACTERÍSTICAS DA MOTA EM CIRCULAÇÃO NO EDIFÍCIO 101	68
TABELA 7 - COMBINAÇÕES DE CARRUAGENS ATRELADAS AO COMBOIO LOGÍSTICO	69
TABELA 8 - DESIGNAÇÃO DO CONSUMO DE MATERIAL NAS LINHAS	69
TABELA 9 - PARÂMETROS DO MODELO MATEMÁTICO	74
TABELA 10 - COMBINAÇÕES DA QUANTIDADE POSSÍVEL TRANSPORTADA NO COMBOIO LOGÍSTICO (UNIDADES).	78
TABELA 11 –BASE DE DADOS DA PROCURA EM UNIDADES, NECESSÁRIAS NOS SUPERMERCADOS, EM CADA PERÍODO DE CICLO DO MILK-RUN (DADOS DAS SEMANAS 27 E 28 DE JULHO DE 2018).	81
TABELA 12 - DADOS PRATICADOS PARA A UTILIZAÇÃO DE COMBOIOS LOGÍSTICOS ATRAVÉS DA FERRAMENTA DE APOIO À DECISÃO	86
TABELA 13 - BASE DE DADOS, EM UNIDADES DE TEMPO, QUE O MILK-RUN DEMORA A PERCORRER, ENTRE SUPERMERCADOS A ABASTECER.	110
TABELA 14 - BASE DE DADOS, EM UNIDADES, DA PROCURA TOTAL NOS SUPERMERCADOS.	111



# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>23</b>
<b>1.1</b>	<b>ENQUADRAMENTO DO TRABALHO</b>	<b>23</b>
<b>1.2</b>	<b>OBJETIVOS DO TRABALHO</b>	<b>24</b>
<b>1.3</b>	<b>METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO</b>	<b>25</b>
<b>1.4</b>	<b>ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO</b>	<b>26</b>
<b>1.5</b>	<b>APRESENTAÇÃO DA EMPRESA ROBERT BOSCH GmbH</b>	<b>27</b>
1.5.1	HISTÓRIA	27
1.5.2	HOUSE OF ORIENTATION	30
1.5.3	BOSCH CAR MULTIMÉDIA, S.A.	31
1.5.3.1	TECNOLOGIAS PRODUZIDAS NA BOSCH EM BRAGA	32
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>35</b>
<b>2.1</b>	<b>ROTEAMENTO DE VEÍCULOS</b>	<b>35</b>
2.1.1	CONCEITOS SOBRE O SISTEMA LOGÍSTICO MILK-RUN	36
2.1.1.1	MIZUSUMASHI	36
2.1.1.2	SUPERMERCADOS	37
2.1.1.3	BENEFÍCIOS DO SISTEMA MILK-RUN	38
2.1.1.4	AMOSTRAGEM	39
2.1.2	PROBLEMAS NP-COMPLETOS OU NP-DIFÍCEIS	40
<b>2.2</b>	<b>VRP – VEHICLE ROUTING PROBLEM</b>	<b>40</b>
2.2.1	FORMULAÇÃO MATEMÁTICA	42
<b>2.3</b>	<b>VARIANTES DO VRP CLÁSSICO</b>	<b>43</b>
2.3.1	TRAVELING SALESMAN PROBLEM	44
2.3.2	CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM (CVRP)	46
2.3.3	VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS (VRPTW)	46
2.3.4	DYNAMIC VRP (DVRP)	47
2.3.5	STOCHASTIC VRP (SVRP)	47
2.3.6	VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH BACKHAULS (VRPB) AND VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH PICK-UP AND DELIVERY (VRPPD)	48
2.3.7	DISTANCE-CONSTRAINED CAPACITED VEHICLE ROUTING PROBLEM (DCVRP)	48
<b>2.4</b>	<b>CATEGORIZAÇÃO DO VRP</b>	<b>50</b>
<b>2.5</b>	<b>MÉTODOS DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE PLANEAMENTO DE ROTAS DE VEÍCULOS</b>	<b>51</b>

2.5.1	MÉTODOS EXATOS .....	52
2.5.1.1	CATEGORIAS DOS MÉTODOS EXATOS .....	52
2.5.1.2	MÉTODO BRANCH & BOUND.....	54
2.5.1.3	BRANCH & CUT E BRANCH & PRICE .....	55
2.5.2	MÉTODOS APROXIMADOS .....	57
<b>2.6</b>	<b>PART FEEDING PROBLEM .....</b>	<b>58</b>
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>62</b>
<b>3.1</b>	<b>DESCRIÇÃO DO PROBLEMA.....</b>	<b>62</b>
3.1.1	DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO 101 e 104.....	63
3.1.1.1	DESCRIÇÃO DO PARQUE DE PRODUÇÃO - LAYOUT'S .....	63
3.1.2	MODELO DE DISTRIBUIÇÃO ATUAL .....	65
3.1.2.1	CARACTERIZAÇÃO DO COMBOIO LOGÍSTICO .....	67
3.1.2.2	TIPOS DE CARRUAGENS .....	68
3.1.2.3	CONSUMO DE DIFERENTES SUPORTES DE MATERIAL NAS LINHAS.....	69
3.1.2.4	DISTRIBUIÇÃO DE PRODUTO NOS SUPERMERCADOS DO EDIFÍCIO 101.....	71
3.1.3	MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DESEJADO .....	72
<b>3.2</b>	<b>PARÂMETROS PARA A FORMULAÇÃO MATEMÁTICA .....</b>	<b>73</b>
<b>3.3</b>	<b>IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS .....</b>	<b>77</b>
3.3.1	BASE DE DADOS DE VEÍCULOS.....	78
3.3.2	BASE DE DADOS DE TEMPOS.....	79
3.3.3	BASE DE DADOS DE PRODUÇÃO.....	80
3.3.3.1	MODELO DOS TURNOS .....	82
3.3.4	RESULTADOS DO MODELO MATEMÁTICO - MINIMIZAR VEÍCULOS.....	83
3.3.5	RESULTADOS DO MODELO MATEMÁTICO – ROTEAMENTO DE VEÍCULOS DE FORMA A MINIMIZAR O TEMPO DE CICLO, GARANTINDO A MINIMIZAÇÃO DO NÚMERO DE VEÍCULOS .....	85
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>91</b>
<b>4.1</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>91</b>
<b>4.2</b>	<b>CONTINUAÇÃO DE PROPOSTA DE TRABALHO FUTURO.....</b>	<b>92</b>
<b>4.3</b>	<b>TRABALHOS DESENVOLVIDOS NO DECURSO DO ESTÁGIO .....</b>	<b>92</b>
<b>5</b>	<b>BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO.....</b>	<b>95</b>
<b>6</b>	<b>ANEXOS .....</b>	<b>103</b>
<b>6.1</b>	<b>LAYOUT DO EDIFÍCIO 101 – PISO 2.....</b>	<b>104</b>

---

<b>6.2</b>	<b>LAYOUT DO EDIFÍCIO 101 – PISO 0.....</b>	<b>105</b>
<b>6.3</b>	<b>LAYOUT DO EDIFÍCIO 104.....</b>	<b>106</b>
<b>6.4</b>	<b>MODELO ANTIGO USADO NOS COMBOIOS LOGÍSTICOS .....</b>	<b>107</b>
<b>6.5</b>	<b>MODELO ATUAL DE ENGATE, USADO NOS COMBOIOS LOGÍSTICOS .....</b>	<b>108</b>
<b>6.6</b>	<b>ILUSTRAÇÃO ORIGINAL DO COMBOIO LOGÍSTICO DA EMPRESA.....</b>	<b>109</b>
<b>6.7</b>	<b>BASE DE DADOS DE TEMPOS .....</b>	<b>110</b>
<b>6.8</b>	<b>BASE DE DADOS DE PRODUÇÃO .....</b>	<b>111</b>
<b>6.9</b>	<b>PLANTA DA EMPRESA BOSCH CAR MULTIMÉDIA, S.A .....</b>	<b>112</b>



# INTRODUÇÃO

- 1.1 ENQUADRAMENTO DO TRABALHO**
- 1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO**
- 1.3 METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO**
- 1.4 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO**
- 1.5 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA ROBERT BOSCH GmbH**
  - 1.5.1 HISTÓRIA
  - 1.5.2 HOUSE OF ORIENTATION
  - 1.5.3 BOSCH CAR MULTIMÉDIA, S.A.



# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 ENQUADRAMENTO DO TRABALHO

O projeto apresentado nesta dissertação foi desenvolvido em ambiente industrial, tendo sido realizado no departamento de produção (MOE1-P) de uma empresa líder no fornecimento de tecnologia e serviços. Inserido no âmbito da disciplina de Dissertação do Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), este projeto serve como testemunho à realização do estágio, que outorgara a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e Gestão Industrial.

Toda a elaboração deste trabalho foi desenvolvido em ambiente de estágio na empresa Bosch Car Multimédia, S.A., em Braga.

O mesmo, tem como intuito o desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à decisão baseado num modelo matemático de programação inteira para o roteamento de milk-runs, no circuito das rotas internas do milk-run do departamento MOE2 da instituição referida, direcionada a mesma, para o sector automóvel.

Num mercado cada vez mais competitivo e sendo a indústria automóvel um sector exigente e em constante evolução, o aumento da produtividade é um fator importante para quem procura estar sempre na linha da frente. Apenas as empresas que consigam criar produtos com qualidade, a preços competitivos, respondendo rapidamente às necessidades do cliente, extremamente exigente neste sector, conseguirão atraí-lo. (Mendes, 2010).

Desempenhando um papel crucial no funcionamento de todo o processo fabril, a logística interna tem vindo a ganhar especial relevância. Desta forma é necessário que seja garantido um correto e contínuo fluxo de materiais para que as linhas de montagem sejam abastecidas corretamente, na hora exata e na quantidade certa.

Com a concorrência atual, torna-se quase imperativo que uma empresa aposte na otimização dos seus processos produtivos e logísticos. Consequentemente, para que estes sejam realizados de forma eficaz e eficiente é necessário eliminar desperdícios e ajustar recursos, o que possibilita reduzir o preço final do produto e garantir a satisfação do cliente. (Bruno Amorim, 2008)

Este estudo vem de encontro à necessidade de melhorar e otimizar fluxos, mais concretamente no processo de abastecimento às linhas da montagem manual, utilizando uma sistemática rápida precisa e eficaz.

## 1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Este trabalho tem como principal objetivo propor um modelo de roteamento de veículos para o processo de distribuição de material pelas linhas manuais de uma empresa de grande porte do segmento automóvel, visando uma melhoria para a empresa e essencialmente para o cliente.

Como tal foram estabelecidos, desde o início os seguintes objetivos específicos:

- Fazer a requisição de todos os elementos essenciais à formulação matemática do algoritmo VRP, referentes à rota milk-run;
- Identificar e propor soluções de melhoria traduzindo-as numa maior eficiência à empresa;
- Planejar e implementar o algoritmo nos circuitos milk-run externos (Edifício 101) de forma a otimizar a rota e minimizar todos os desperdícios dos circuitos;
- Normalizar o novo processo de distribuição de produto às linhas.

Para a realização deste projeto foi também essencial a colaboração mútua de todos os colaboradores nos circuitos de distribuição milk-run. Junto falo dos próprios distribuidores milk-run, os chefes de turno, chefes de equipa, engenheiros na gestão de tarefas, chefes de produção, colaboradores de transporte externo (camião TIR), tendo eles todos, uma relevância extrema para a implementação da mudança. Com a perceção por parte de todos, de que a implementação do algoritmo trazia vantagens para os envolventes e com a motivação dos mesmos, a aplicação da nova sistemática tornou-se num conceito de otimização e não de resistência à vicissitude.

Desta forma, com um ambiente de interajuda e ligação à evolução, pretende-se que a aplicação do algoritmo traga à empresa uma mudança geral, trazendo benefício para o operador, para a Bosch e cliente final.

### 1.3 METODOLOGIA DE INVESTIGAÇÃO

A metodologia utilizada no desenvolvimento desta dissertação engloba cinco etapas de forma a permitir a realização dos objetivos propostos.

Inicialmente foi realizada uma pesquisa bibliográfica baseada nos temas, *Milk-Run*, *Roteamento de Veículos*, *VRP e as suas variantes*, *Métodos de Resolução*, *Modelo de Apoio à Decisão e Logística Interna*, com o intuito de fundamentar a elaboração do projeto.

Posteriormente, para um melhor conhecimento e análise do processo de abastecimento na área de processo manual, foi feito um levantamento da situação atual, procedendo-se à caracterização e análise de cada lacuna existente, conhecendo assim, especificamente, todo o layout da empresa.

Já com a visão global de todo o processo, analisaram-se diversas propostas de melhoria a aplicar para a otimização do mesmo. Desta análise resultou a elaboração do novo modelo de distribuição e desenvolvido um modelo matemático, que será logrado com a criação de uma ferramenta de apoio à decisão para o roteamento, capaz de suportar o modelo de negócio da Bosch Car Multimédia, S.A, que depois de implementado, foi sujeito a uma avaliação de resultados, a qual permitiu aferir acerca do sucesso da sua aplicação.

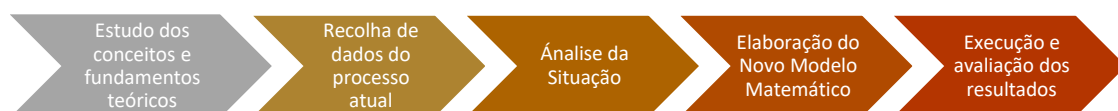


Figura 1 - Metodologia Adotada

## 1.4 ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

A presente dissertação elaborada em ambiente empresarial encontra-se estruturada em 5 capítulos.

No capítulo inicial pretende-se dar a conhecer o enquadramento e os objetivos do trabalho, assim como as metodologias utilizadas. Foi também exposta toda a história do grupo Bosch e o seu contributo em Portugal.

No segundo capítulo, serão apresentados conceitos e fundamentos teóricos relativos a filosofias e metodologias utilizadas neste trabalho.

Por sua vez, o terceiro capítulo é dedicado à descrição e caracterização do problema, bem como os métodos e ferramentas utilizadas para levantamento de dados. São ainda neste capítulo apresentadas as soluções propostas e define-se a estratégia implementada e os resultados.

No quarto capítulo, apresentasse todas as atividades executadas e enunciam-se as principais conclusões. Aqui faz-se uma síntese das conclusões obtidas ao longo desta dissertação.

Por fim, no quinto capítulo são enunciadas todas as fontes de estudo utilizadas para a consumação desta dissertação.

## 1.5 APRESENTAÇÃO DA EMPRESA ROBERT BOSCH GmbH

### 1.5.1 HISTÓRIA

A história da multinacional Robert Bosch GmbH, começou em meados de 1886, contando já com 131 anos de existência. Conhecida por Bosch e de origem alemã, é uma empresa de engenharia e eletrônica com sede em Gerlingen, na Alemanha, sendo globalmente a maior rede de oficinas do mundo.

Toda a sua evolução começou com a fundação da "Oficina de Mecânica de Precisão e Engenharia Elétrica", quando Robert recebeu a aprovação oficial para a sua abertura. Globalmente ativa, Robert Bosch GmbH, é caracterizada pelo compromisso social e orientação inovadora. Na tabela abaixo evidenciamos toda a biografia Bosch.

Tabela 1 - Biografia da História da Empresa Robert Bosch GmbH

<b>ANO</b>	<b>Descrição</b>
1886	No dia 15 de novembro de 1886, Robert Bosch recebeu aprovação oficial para abrir uma "Oficina para Mecânica de Precisão e Engenharia Elétrica".
1897	Primeira instalação de sucesso do dispositivo de ignição magnética de baixa voltagem da Bosch em automóveis.
1898	Primeiro escritório da Bosch na Grã-Bretanha.
1902	Entrega do primeiro sistema de ignição magnética de alta voltagem com velas de ignição da Bosch.
1905	Abertura da primeira unidade fabril da Bosch em Paris.
1906	Estabelecimento da Robert Bosch New York Inc., a primeira filial da Bosch nos EUA.
1921	Primeiro Bosch Service em Hamburgo. "Max Eisenmann & Co" iria instalar e realizar reparações nos sistemas de iluminação da Bosch em Hamburgo.
1927	Produção em série de bombas de injeção de combustível e bocais Bosch para motores a diesel.
1932	Aquisição do fabricante de sistemas de aquecimento Junkers & Co. GmbH em Dessau.
1933	Lançamento do refrigerador Bosch.
1942	Robert Bosch falece em Stuttgart. 12 de Março, Robert faleceu com 80 anos, devido a complicações resultantes de uma inflamação no ouvido médio.
1951	Sistema de injeção de gasolina para carros de passageiros com motores de dois tempos.
1953	Lançamento no mercado de aparelhos hidráulicos Bosch.

---

1963	Aquisição da Erich Wetzel Verpackungsmaschinen GmbH marcou a entrada da Bosch no segmento de máquinas de embalagem.
1964	A organização beneficente Vermögensverwaltung Bosch GmbH adquire a participação maioritária da Robert Bosch GmbH.
1967	Início da produção do sistema eletrónico de injeção de gasolina eletrónico.
1976	Início da produção de sensores lambda.
1978	Início da produção em série do ABS, o sistema de frenagem anti-bloqueio controlado eletronicamente.
1989	Lançamento do primeiro sistema independente de navegação de veículo da Europa: TravelPilot IDS.
1995	Início da produção para o primeiro programa de estabilidade eletrónica do mundo – O ESP®.
1997	Início da produção de sistema de injeção a diesel de alta pressão Common Rail.
2000	Produção em série para o sistema de injeção direta de gasolina DI Motronic.
2001	A Bosch assume o controlo da Mannesmann Rexroth AG, juntando-a com a divisão de Tecnologia de Automação para formar a Bosch Rexroth AG.
2003	Aquisição da Buderus AG in Wetzlar. Após a Bosch ter adquirido Budeurs, deu-se a fusão das duas divisões de tecnologia e aquecimento das empresas.
2007	Aquisição do fornecedor de soluções de telessaúde Health Hero Network em Palo Alto, Califórnia.
2008	Aquisição da Innovations Software Technology GmbH em Immenstaad
2010	Início de produção para sistema de frenagem preditivo de emergência. Primeiro carros de produção em série com tecnologia paralela totalmente híbrida.
2011	A Bosch inicia a produção em série de acionamentos eBike.
2013	Início de produção do controle de estabilidade para veículos de duas rodas.
2015	Registou 13 novas patentes automóveis.
2017	Bosch Portugal bate recorde de vendas. Faturação rondou os 1.5 biliões de euros. Bosch Aveiro produz o esquentador mais avançado do mundo.

---

O Grupo Bosch é líder no fornecimento de tecnologia e serviços, empregando mais de 400.500 colaboradores por todo o Mundo.

As suas operações dividem-se em quatro setores:

- Soluções de Mobilidade
- Tecnologia Industrial
- Bens de Consumo
- Tecnologia de Energia e Edifícios

Como líder em Internet Of Things, a Bosch oferece aos seus clientes soluções inovadoras para casas e cidades inteligentes, mobilidade e indústria conectada. Utiliza assim a sua experiência em tecnologia de sensores, software, e serviços, assim como a sua própria cloud IoT, oferecendo aos seus clientes soluções conectadas a todos os níveis, provenientes de uma única fonte. O objetivo estratégico é desta forma, criar soluções para uma vida conectada, e para melhorar a qualidade de vida em todo o mundo com produtos e serviços inovadores que despertem o entusiasmo.



Figura 2 - Empresa Robert Bosch GmbH

## 1.5.2 HOUSE OF ORIENTATION

Há quase 120 anos, o Grupo Bosch tem sido bem-sucedido pelo seu pioneirismo e pelas suas soluções úteis e inovadores. De forma a entender e vivenciar a cultura da empresa, "House of Orientation" define a visão do desenvolvimento futuro e os princípios que estão por trás dos processos, retratando a capacidade de explorar para ser promissor no futuro.

House of Orientation é composta pelos alicerces: Visão, Missão, Valores, Competências Empresariais e "Bosch Business System" (BBS).

Visão, é a imagem da empresa compartilhada do futuro, apontando em que direção se deve desenvolver e dirigir todas as ações.

Missão, tem o BeQIK como linha de orientação concreta, revelando o foco das ações. BeQIK significa: Qualidade (Q), Inovação (I) e Orientação do Cliente (K).

No que toca aos valores da Bosch, estes são os fundamentos nos quais se baseiam os sucessos do passado e sobre os quais se constrói o futuro. Orientam todas as ações demonstrando o que é importante e com que é que a empresa está comprometida.

Quando falamos nas competências empresariais, expressamos vantagens competitivas. Proferimos assim, uma visão estratégica a longo prazo, a vontade de gerar novas soluções tecnológicas de alto nível (força inovadora), processos eficientes, presença internacional, qualidade e credibilidade e por fim, desenvolvimento de colaboradores.

Conduzir, orientar, direcionar e fortalecer a visão, a missão, os valores e as competências empresariais é a metodologia sistemática do BBS, seguida pela empresa.

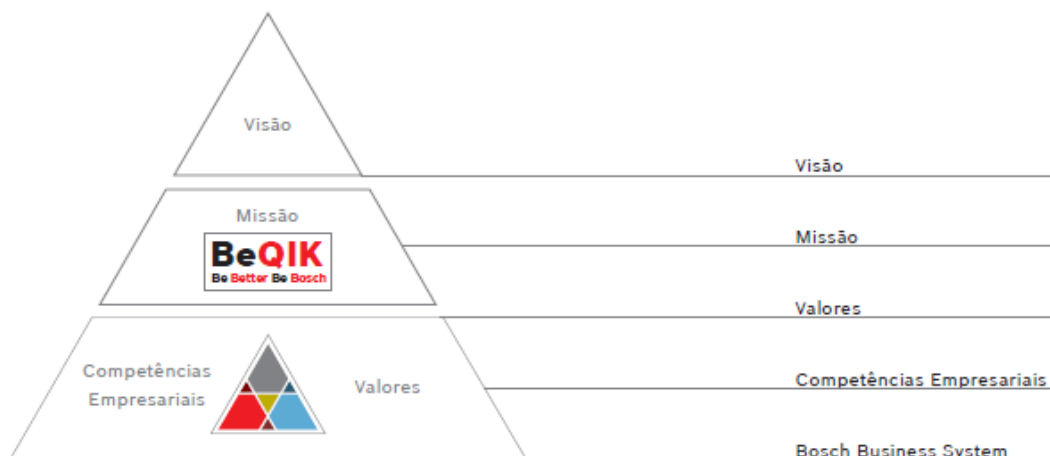


Figura 3 - Pirâmide dos Alicerces da "House of Orientation".

### 1.5.3 BOSCH CAR MULTIMÉDIA, S.A.

Localizada na região denominada Minho, e situada ao Norte de Portugal, Bosch Car Multimédia, S.A., iniciou as suas atividades em Braga com a produção de autorrádios para a marca Blaupunkt, em 1990 e, ao longo dos anos, tornou-se num dos principais motores de desenvolvimento de região e num dos mais importantes exportadores nacionais.

Atualmente, a instituição é a principal unidade produtiva e um dos principais centros de I&D da divisão Bosch Car Multimédia na Europa. Com cerca de 3400 colaboradores, a entidade de Braga é um dos maiores empregadores da região e a maior fábrica do grupo em Portugal.

Inovando o seu portefólio de produtos constantemente, e incluindo neste as mais recentes inovações do mercado, a entidade marca a sua posição competitiva no mercado global, entregando tecnologia multimédia automóvel desenvolvida e produzida de Braga para todo o mundo.

Enquanto um dos dez principais exportadores a nível nacional (volume de exportação de mais de 95 por cento), a Bosch em Braga tem contribuindo ativamente para a economia do país e da boa reputação da tecnologia desenvolvida e produzida em Portugal e exportada a nível mundial.



Figura 4 - Empresa Bosch Car Multimédia, S.A.

### 1.5.3.1 TECNOLOGIAS PRODUZIDAS NA BOSCH EM BRAGA

Atualmente, a empresa desenvolve soluções inteligentes integradas de infotainment e instrumentação, com foco na segurança e conforto do condutor, e nas necessidades de conectividade do mercado tecnológico. Para além da produção eficiente e com níveis de qualidade excelente, a empresa faz o desenvolvimento mecânico, eletrónico e, mais recentemente, de software, e está a trabalhar em soluções de multimédia automóvel inovadoras como a tecnologia de head-up-display, sistemas de instrumentação livremente programáveis, realidade aumentada e o processo de optical bonding aplicado a sistemas de instrumentação e infotainment.

A aposta contínua, em atividades de I&D faz com que o sucesso da empresa seja cada vez mais consistente, e que os resultados anuais garantam a sua sustentabilidade. Neste sentido, a Bosch-Braga tem estabelecido parcerias com universidades locais de modo a acelerar o desenvolvimento de produtos e tecnologias inovadoras que respondam às últimas tendências do mercado, tais como conectividade, soluções integradas e soluções user-friendly altamente eficientes.

#### 1.5.3.1.1 25 ANOS DE TECNOLOGIA AUTOMÓVEL DE BRAGA PARA O MUNDO

Com o decorrer dos anos, a empregadora Bosch Car Multimédia, S.A., foi adquirindo cada vez mais competências. Consagrou-se pela primeira certificação em gestão da qualidade, seguindo da inauguração do centro de investigação e desenvolvimento, ao início da produção de controladores, introdução de sistemas de navegação, ..., até ao último marco histórico da Bosch Braga, sucedido este, em outubro do ano 2017, após receber o prémio europeu de excelência da EFQM (European Foundation for Quality Management). Espelhada com o novo modelo de excelência, a entidade tem tudo para ser a Marca do mercado mundial.

# REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

## **2.1 ROTEAMENTO DE VEÍCULOS**

- 2.1.1 CONCEITOS SOBRE O SISTEMA LOGÍSTICO MILK-RUN
- 2.1.2 PROBLEMAS NP-COMPLETOS OU NP-DIFÍCEIS

## **2.2 VRP – VEHICLE ROUTING PROBLEM**

- 2.2.1 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

## **2.3 VARIANTES DO VRP CLÁSSICO**

- 2.3.1 TRAVELING SALESMAN PROBLEM
- 2.3.2 CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM (CVRP)
- 2.3.3 VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS (VRPTW)
- 2.3.4 DYNAMIC VRP (DVRP)
- 2.3.5 STOCHASTIC VRP (SVRP)
- 2.3.6 VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH BACKHAULS (VRPB) AND VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH PICK-UP AND DELIVERY (VRPPD)
- 2.3.7 DISTANCE-CONSTRAINED CAPACITED VEHICLE ROUTING PROBLEM (DCVRP)

## **2.4 CATEGORIZAÇÃO DO VRP**

## **2.5 MÉTODOS DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE PLANEAMENTO DE ROTAS DE VEÍCULOS**

- 2.5.1 MÉTODOS EXATOS
- 2.5.2 MÉTODOS APROXIMADOS

## **2.6 PART FEEDING PROBLEM**



## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo é efetuada uma revisão bibliográfica com o objetivo de auxiliar o nosso conhecimento, permitindo um dimensionamento dos conhecimentos para a concretização do presente projeto.

Desta forma, numa primeira abordagem é elaborada uma desmedida pesquisa relativamente à definição do VRP (Vehicle Routing Problem) e todas as suas variantes. Tendo em conta que o nosso trabalho sobreleva rotas com um único veículo em cada distribuição, o nosso foco também passa pela revisão íntegra do TSP (Travelling Salesman Problem). Propósito o nosso que passa assim pela criação de uma ferramenta de apoio à decisão para as rotas de uma empresa do sector automóvel, ressaltando a nossa pesquisa também na formulação do algoritmo de forma a compilar todos os ideais para o trabalho.

Para a obtenção da solução final foram analisados diversos métodos possíveis, para que seja escolhido o mais eficaz e eficiente de forma a serem obtidos resultados satisfatórios.

Após a análise de todos os métodos de resolução associados a este, será definido o algoritmo que permitirá a resolução do problema.

### 2.1 ROTEAMENTO DE VEÍCULOS

O problema de distribuição é uma das questões mais importantes em várias empresas.

Distribuição, refere-se ao problema de fornecer bens ou serviços de um depósito (empresa) para os clientes. A redução de custos, no processo de distribuição, é um dos grandes desafios que uma organização enfrenta. A condição da localização do cliente que está espalhada por uma área, geralmente faz com que o veículo seja conduzido de maneira distante e ineficiente. A eficiência esperada é o tempo, a duração da rota e o número de mercadorias que podem ser transportadas (Wahyuningsih, Satyananda, Hasanah ,2016).

Desta forma, para a resolução de todas as incógnitas derivadas da má distribuição, o roteamento de veículos será a base de resolução do problema.

Este pode ser assim modelado usando o Problema de Roteamento de Veículos (VRP) e a teoria dos grafos através do Problema do Caixeiro Viajante (TSP).

### 2.1.1 CONCEITOS SOBRE O SISTEMA LOGÍSTICO MILK-RUN

Quando retratamos o nosso trabalho, articulamos indispensavelmente a este, o conceito Milk-Run, pois a elaboração do mesmo centraliza-se no planeamento de rotas internas.

De forma a dar resposta ao mercado exigente e competitivo, há uma incessante necessidade de melhorar os processos internos, em termos de logística interna. Esta tem vindo a exercer um papel fundamental no que diz respeito à boa performance dos processos produtivos. É pois, necessário, que seja garantido um correto e contínuo fluxo de materiais, para que as linhas de montagem sejam abastecidas acertadamente. Destarte, é importante que os materiais sejam entregues à hora certa, na quantidade certa, respeitando os critérios de qualidade e conseguindo assim, uma boa implementação da filosofia Just-In-Time.

Face à evolução competitiva do mercado, as organizações optaram pela implementação do sistema Milk-Run.

O sistema de abastecimento Milk Run consiste no abastecimento de materiais às linhas de montagem, realizado de modo sistemático, normalmente em ciclos de 20 a 60 minutos, em percursos e horários normalizados. Estes abastecimentos são realizados por operadores logísticos, que estão encarregues de fazer a recolha de material no armazém (picking) e a respetiva entrega pelas diferentes linhas. Estes materiais são colocados em pequenas caixas ou containers (no nosso caso), de forma a eliminar os grandes volumes de materiais e por consequência o WIP.

#### 2.1.1.1 MIZUSUMASHI

Quando falamos no sistema Milk-Run, no nosso caso específico, associamos a este o mizusumashi aumentando o mesmo a eficiência no transporte de bens para os postos de trabalho.

O mizusumashi é um operador logístico que faz o transporte interno dos materiais, numa rota pré-determinada e num ciclo de tempo fixo. É um elemento fundamental para a melhoria do fluxo da logística interna, uma vez que é este elemento que movimenta grande parte da informação (por exemplo, ordens de produção nos casos em que existe a utilização de kanbans de produção) e dos materiais ao longo do chão da fábrica.

De acordo com Coimbra, (2013), durante o ciclo de trabalho, o mizusumashi movimenta lotes de materiais ou produtos, entre armazéns, supermercados e bordos-de-linha, e ao parar em certas estações ao longo do chão de fábrica, identifica as necessidades do material.

O meio de transporte utilizado pelo operador logístico é o comboio logístico, um veículo motorizado que pode puxar várias carruagens cheias de material pela fábrica. Este é, normalmente, o método mais eficaz quando a distância entre a armazenagem dos bens e a produção é grande e quando existe um considerável volume de material a mover.

Na figura 5, é ilustrada a diferença entre a utilização do mizusumashi, em detrimento do uso de empilhadores ou outro tipo de meio de transporte semelhante. Este último apresenta muitas limitações, uma vez que tem uma capacidade de carga menor e acaba por fazer mais movimentos de ida e volta desnecessários. Como opera segundo a ordem em que recebe a informação, numa rota não definida, não há controlo da sua capacidade e em determinadas partes do dia pode estar mais sobrecarregado que noutras, o que baixa ainda mais a produtividade. No caso do comboio logístico, que é o nosso caso específico, falamos de um transporte mais constante, com maior capacidade e com rotas fixas e estudadas para o efeito. Trata-se, portanto, de um meio mais produtivo.

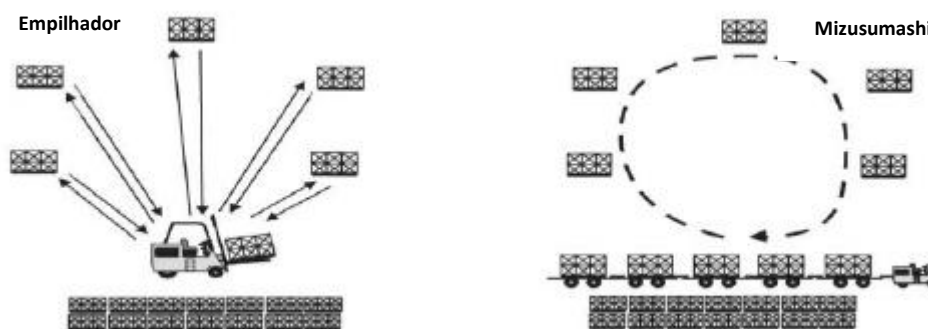


Figura 5 – Logística interna por operador e por mizusumashi (Coimbra,2013,p.129)

### 2.1.1.2 SUPERMERCADOS

O supermercado é um local de armazenamento secundário em que a matéria-prima é guardada perto do ponto de utilização, para que os consumidores possam “puxar” quando precisam. Este, é assim composto por localizações fixas para cada referência, possibilitando assim um fácil acesso para o picking de materiais e uma fácil gestão visual (Coimbra, 2013).

Para que o supermercado funcione, pode ser necessário alterar a forma como o produto é armazenado (paletes, caixas, ...). Para Gross & McInnis, (2003), a unidade de armazenagem deve ser pequena o suficiente para ser armazenada no supermercado, ser facilmente transportada para a produção nos casos em que é necessária integralmente, ou para facilitar o picking de determinadas quantidades, quando os operadores apenas necessitam de algum do seu material.

Desta forma, de acordo com Mendes, (2010), são locais que ajudam a que a operação de picking seja rápida e fácil, garantindo o FIFO (First In First Out) e permitindo nivelar o stock de acordo com a procura, uma vez que quando é retirado um artigo é gerada uma informação, que pode ser simplesmente visual, para que esse artigo seja repostado.

### 2.1.1.3 BENEFÍCIOS DO SISTEMA MILK-RUN

Préstimo de toda a sistemática, os milk-run tornam-se numa forma eficiente de transportar material entre as várias secções que podem existir numa empresa. Citamos assim os benefícios do sistema milk-run.

Tabela 2 - Benefícios do Uso do Sistema Milk-Run

<b>Benefícios</b>	<b>Descrição</b>
Económicos	Poupança a nível de equipamento, recursos humanos, tempo e stocks. Um único operador movimenta grandes quantidades de carga de uma só vez, eliminando deslocações em vazio.
Produtivos	Frequência de um maior número de abastecimentos, feitos em lotes mais pequenos, reduzindo stock. Melhor utilização do espaço disponível na empresa para manobras (comboio logístico de quatro rodas precisa de pouco espaço para manobrar).
Congestionamento	Com o sistema milk-run, este permite eliminar os “bottlenecks” de trânsito ao eliminar o uso de empilhadores obrigatórios para transferir material. Paralelamente com menos congestionamento na empresa, há também menos equipamentos e produto danificado.
Flexibilidade	Possibilita a adaptação a mudanças de métodos de produção, ou seja, sempre que haja mudança do layout da empresa ou rotas, os comboios logísticos estão aptos para transportar material de vários tamanhos e formas, facultando mudanças, revisões, variações, modificações e ajustamentos.
Qualidade	Aliada à produtividade a qualidade também sai beneficiada, uma vez que os comboios logísticos apenas fazem o abastecimento de matéria fiável (só peças em bom estado e corretas chegam à área de produção) e diminuem a ocorrência de defeitos durante a movimentação.

#### 2.1.1.4 AMOSTRAGEM

De forma a avaliarmos a distribuição de tempo pelas diversas tarefas feitas, foi utilizada a cronometragem no acompanhamento do operador, durante o circuito.

As cronometragens consistem assim, na:

- Descrição do sistema de trabalho (processo, método, condições de trabalho, especificações, ...);
- Determinação das variáveis (distância, peso, tipo de produto, ...);
- Determinação das quantidades de referência;
- Determinação dos tempos reais para cada fase do processo.

Na realização de um estudo de tempos, para que o processo seja feito de forma correta, existem considerações e cuidados que se deve ter em vista, de forma a atingir os objetivos propostos. Encontrando-se o observador, num meio fabril onde deve ter em consideração todo o meio envolvente e não somente o seu caso em estudo, deve seguir alguns princípios:

- ✓ O técnico deverá conhecer a fundo o processo e ter liberdade para poder conformar o mesmo;
- ✓ O processo ou posto de trabalho deve estar conformado;
- ✓ Domínio da técnica de cronometragem;
- ✓ Evitar interrupções durante a cronometragem;
- ✓ Posicionar-se de maneira a que o operador consiga realizar a tarefa com o mínimo de influência por parte do observador;
- ✓ Os regulamentos internos da empresa devem ser analisados antes da realização de um Estudo de Tempos;
- ✓ Informar o trabalhador sobre a finalidade do estudo e informá-lo sobre o objetivo do mesmo;
- ✓ Garantir todas as medidas de segurança;
- ✓ O formulário para a cronometragem é um documento (confirmação de processo), logo não deve ser preenchido a lápis;
- ✓ O levantamento de tempos deve ser feito com o processo em andamento ou estabilizado;
- ✓ Não devem ser realizadas cronometragens de movimentos muito pequenos ou muito longos.

Segundo Refa, (1991), existem dois procedimentos de medição que podem ser seguidos:

- ✓ Medição do tempo contínuo (F) – são os tempos entre o início da cronometragem e os acontecimentos finais de cada fase do processo.
- ✓ Medição do tempo unitário (ti) – trata-se da duração de uma fase do processo.

Para o estudo dos circuitos feitos pelo milk-run, foram previamente feitas medições do tempo unitário e posteriormente medição do tempo contínuo, através da utilização de um cronómetro e de um formulário previamente elaborado.

### 2.1.2 PROBLEMAS NP-COMPLETOS OU NP-DIFÍCEIS

Na teoria dos algoritmos, que retratamos posteriormente, os problemas tratáveis pertencem à classe P (polinomiais), enquanto os intratáveis pertencem à classe NP (não-polinomiais/Non-Deterministic Polynomial Time – *NP-hard*). Dentro da classe de NP estão os problemas NP-completo e nestes, não se conhece a solução determinística capaz de ser executada em tempo polinomial.

Derivados problemas importantes em redes, pertencem à classe NP-completo, sendo um deles o roteamento. Durante a revisão bibliográfica é enunciado o VRP e as suas variantes, pertencentes os mesmos a este tipo de NP. Atualmente, muitos destes problemas possuem boas aproximações (heurísticas), que apesar de não gerarem o resultado ótimo, obtém soluções próximas à solução ótima, com excepcionais resultados. Os métodos exatos também são benignos na solução final do problema, no entanto o tempo de processamento do algoritmo, torna este método ineficaz.

## 2.2 VRP – VEHICLE ROUTING PROBLEM

O problema de roteamento de veículos (VRP) tem-se caracterizado como uma das grandes histórias de sucesso da pesquisa operacional, fornecendo e facilitando, há mais de cinquenta anos, soluções ideais de planeamento para frotas de veículos num grande número de aplicações da vida real. Para Dantzing e Ramser, (1959), o VRP surge naturalmente como um problema central na área dos transportes, distribuição e logística sendo elevado o número de casos reais que podem ser modelados como um problema de otimização de rotas de veículos.

Tal qual Christofides, (1976), VRP é um nome genérico dado a toda uma classe de problemas envolvendo a visita de clientes por veículos.

Em termos gerais, mediante Laporte, (2007), este pode ser definido como o problema de planear rotas ótimas operadas por uma frota de veículos para enviar uma determinada quantidade de mercadoria (ou mercadorias), que estão localizadas num ou

vários depósitos, para um conjunto de clientes geograficamente dispersos, enquanto satisfazem algumas restrições. A solução obtida através da resolução de um VRP indicará como deverão ser afetados os diferentes recursos disponíveis de modo a realizar a operação de transporte ao mais baixo custo. Em alguns casos, também é objetivo do VRP minimizar os custos fixos através da identificação do menor número possível de veículos que são absolutamente necessários para suprir todos os requisitos dos clientes.

O VRP constitui desta forma, um dos problemas de otimização combinatória mais desafiadores.

Devido à complexidade inerente a um problema real, é necessário recorrer à modelação matemática de modo a resolver um VRP. Este modelo inclui um conjunto de restrições que descrevem o problema e que têm necessariamente de ser satisfeitas, como por exemplo: o número de veículos disponíveis e a capacidade dos mesmos não podem ser ultrapassados; os clientes têm restrições quanto ao tempo de entrega de mercadorias que têm de ser respeitadas; o início e o fim no depósito central; a quantidade de mercadoria não poderá exceder a capacidade do veículo; e cada cliente é visitado uma única vez (Mester e Bräysy, 2007).

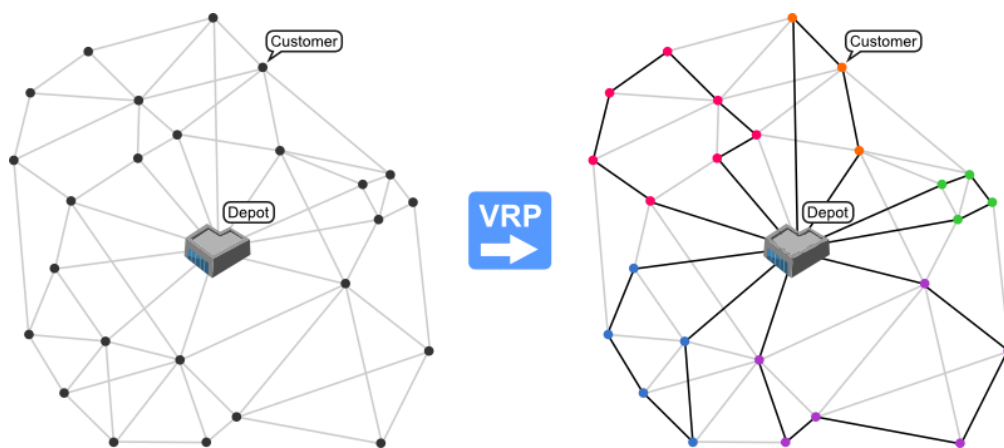


Figura 6 - Ilustração de um VRP Clássico. Os Customer's representam os clientes, o Depot representa o depósito central e os circuitos coloridos representam cinco rotas diferentes.

### 2.2.1 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

Quando abordamos problemas de roteamento de veículos, estamos sujeitos a diversas formulações, uma vez que as restrições diferem do modo como cada organização opera. Segundo Wahyuningish, Satyananda, Hasanah, (2016), um problema VRP simples pode ser formulado:

$$\min \sum_{k \in K} \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} c_{ij} x_{ij}^k \quad (1)$$

Onde:

$$x_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{se houver fluxo no arco de origem } i \text{ e destino } j, \text{ utilizando o veículo } k, \text{ sendo } i \neq j \\ 0, & \text{caso não haja fluxo no arco de origem } i \text{ e destino } j, \text{ utilizando o veículo } k. \end{cases}$$

Sujeito às seguintes restrições:

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in N} x_{ij}^k = 1, \quad \forall i \in V - \{0\} \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N - \{0\}} x_{0j}^k = 1, \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{j \in N - \{0\}} x_{j0}^k = 1, \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{i \in N - \{0\}} q_i \sum_{j \in N} x_{ij}^k \leq Q, \quad \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ih}^k - \sum_{j \in N} x_{hj}^k = 0, \quad \forall h \in V - \{0\}, \forall k \in K \quad (6)$$

$$x_{ij}^k \in \{0,1\}, \quad \forall i \in N, j \in N, k \in K \quad (7)$$

$x_{ij}^k$  é uma variável de decisão binária.

Segundo os autores, a formulação matemática acima debruçasse sobre um problema de roteamento de veículos, onde os veículos iniciam e terminam o seu percurso no mesmo depósito com uma frota homogénea. Sem abordar restrições que muitas vezes são adaptadas consoante os vários tipos de roteamentos, como janelas temporais horários de entregas a clientes, abordamos os parâmetros utilizados na formulação acima. Sendo:  $G = \{V, E\}$  um grafo, onde  $V = \{0, N\}$  é o conjunto de vértices, designando 0 o depósito e  $N = \{1,2,3,\dots,n\}$  o conjunto de clientes;  $i$  e  $j$  dois índices representados pelo início e fim do circuito e  $k$  um índice que representa o veículo utilizado; e  $E = (i, j) \mid i, j$

$\in V, i \neq j$  } o conjunto de arcos entre o depósito e os clientes e ainda entre estes. Quando abordamos a distância entre o cliente  $i$  e  $j$ , representasse por  $C_{ij}$ , entre o depósito e o cliente  $i$  é  $C_{0i}$  e finalmente entre o cliente  $i$  e o depósito  $C_{i0}$ .  $K = \{k1, k2, k3, \dots, km\}$  representa o conjunto de veículos que abastece os clientes, e  $Q$  a capacidade do veículo. Finalmente, procura pelo conjunto  $i$  representasse por  $q_i = \forall i \in \{1, 2, \dots, n\}$ .

Assim, a equação (1), representa a função objetivo do problema que pretende minimizar o custo de transporte para abastecer o conjunto de clientes, estando este sujeito a algumas restrições. Relativamente à equação (2), esta garante que todos os clientes são abastecidos uma única vez, recorrendo somente a um veículo. Debruçados nas equações (3) e (4), estas restrições garantem que cada veículo terá que sair do depósito inicial e voltar necessariamente ao depósito inicial. De forma a cumprir os requisitos de capacidade, a restrição (5) garante que um veículo não seja sobrecarregado, ou seja, a soma da procura dos clientes a abastecer não ultrapasse a sua capacidade de carga.

A equação (6), é uma restrição de conservação de fluxo que assegura que quando um veículo chega a determinado cliente  $h$ , deverá ter que sair em direção a outro cliente.

Por fim, a equação (7) assegura que a variável de decisão  $x_{ij}^k$  é binária, tomando apenas valores de zero e um.

### 2.3 VARIANTES DO VRP CLÁSSICO

Devido às exiguidades de algumas organizações, o problema clássico de rotas de veículos tem vindo a ser adaptado num conjunto de variantes. Essas variantes têm origem na comutação ou adição de restrições ao VRP clássico como por exemplo, os limites temporais no período de visita aos clientes (problema de rotas com janelas temporais ou VRPTW), o conhecimento parcial dos parâmetros envolvidos (problema estático - SVRP), a capacidade de cada veículo (CVRP) a dinâmica do problema (problema dinâmico – DVRP), entre outros.

Tratando-se o VRP de uma proliferação do TSP (Travelling Salesman Problem), onde neste, somente um único veículo visita todos os locais pré-destinados, focar-nos-emos também nesta variante do modelo clássico.

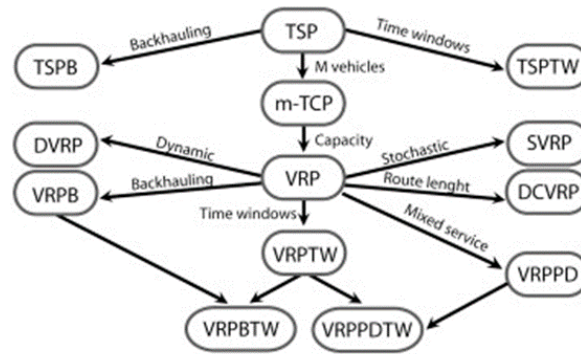


Figura 7 - Relações entre problemas básicos da classe VRP. (Boctis,Sorensen, 2009)

Demonstradas as relações existentes entre algumas das variantes mais básicas na figura 7, detalhamos sucintamente algumas delas, começando inicialmente pelo problema que será pioneiro no nosso estudo do estabelecimento de rotas milk-run.

### 2.3.1 TRAVELING SALESMAN PROBLEM

Conhecido por “problema do caixeiro-viajante” (Traveling Salesman Problem - TSP) tem por objetivo definir a rota que minimiza a distância a percorrer pelo veículo, na sua tarefa de visitar um determinado número de cidades necessárias e, após a qual, terá que regressar à cidade de onde partiu. Desta forma e segundo Guerreiro, (2009), pode ser considerado um caso particular de um Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP), (abordado no próximo ponto), pois são problemas com características semelhantes, contudo com a principal diferença que no TSP trata-se de um só veículo que visita um determinado número de clientes, mas que têm em comum a principal restrição em que a capacidade deste veículo tem de ser igual ou superior à procura total de bens pelos clientes percorridos na rota que se pretende otimizar.

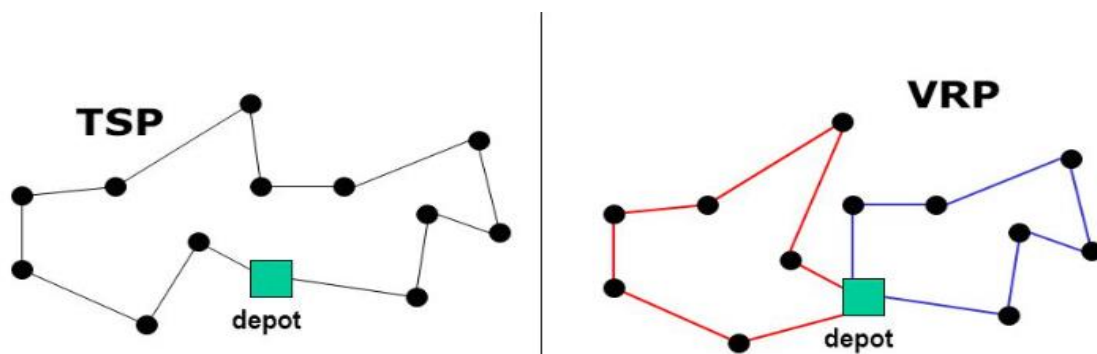


Figura 8 -Comparação entre TSP e VRP, demonstrando que um VRP é constituído por inúmeros TSP's.

Dado um arquétipo, na figura 9, são apresentados dados que consistem em custos atribuídos às arestas de um grafo completo finito, e o objeto é encontrar um ciclo Hamiltoniano, ou seja, um ciclo em que o veículo passe por todos os vértices, do grafo, com o peso total mínimo. No contexto do TSP, os ciclos Hamiltonianos, são designados por circuitos.

Caso, os circuitos possuam arcos de ligação diretos com todos os vértices do mesmo grafo, este patenteia-se de grafo completo. Se, por algum motivo, faltar um grafo de ligação entre os vértices, o mesmo designa-se como incompleto.

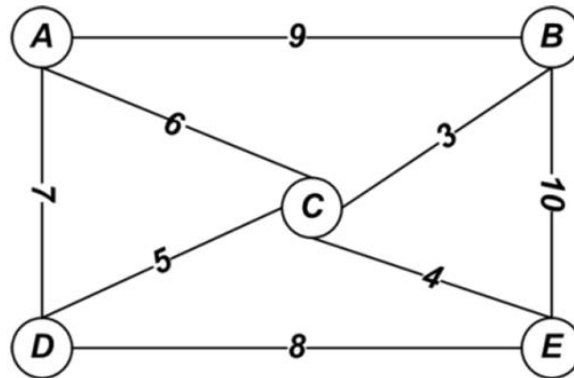


Figura 9 - O circuito  $A \Rightarrow B \Rightarrow C \Rightarrow E \Rightarrow D \Rightarrow A$  é o circuito ótimo

De acordo com a figura, (grafo completo), de Bonyadi,Azgadi,Hosseini, é nítido, que a rota de menor custo seria (A,B,C,E,D,A), com um custo final de 31.

Em geral, o TSP inclui duas vertentes diferentes:

- *TSP simétrico*
- *TSP assimétrico*

Na forma simétrica, mais conhecida como STSP, existe apenas um caminho entre duas cidades, ou seja, a distância entre A e B é igual à distância entre as cidades B a A.

No entanto, no formato ATSP, ou, no TSP assimétrico, não existe tal simetria e é possível ter dois custos ou duas distâncias diferentes entre duas cidades.

Assim, o número de circuitos no ATSP e STSP, em  $n$  vértices (cidades) são  $(n-1)!$  e  $(n-1)!/2$ , respetivamente.

De salientar ainda, que os grafos que representam estes TSP's, são grafos completos.

Consoante Garey e Johnson, (1979), o TSP (Travelling Salesman Problem), é um problema NP-Completo e é frequentemente usado para testar algoritmos de otimização.

### 2.3.2 CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM (CVRP)

Contemplando um relaxamento da restrição de limitação de tempo, não impondo limites à duração máxima das rotas obtidas o CVRP é a variante mais elementar do VRP diferendo desta na medida citada.

A principal restrição deste problema é a soma da procura total de cada circuito não poder ser maior que a capacidade do veículo afetado para esse trajeto, tendo todos os veículos a mesma capacidade.

Assim sendo, o desígnio deste problema consiste maioritariamente em diminuir os custos totais, tanto a nível de veículos pertencentes à frota, como na distância e tempo de ciclo da mesma, sem nunca esquecer a capacidade de cada veículo. Consoante a quantidade e alocação de veículos associados a cada rota era esperado que toda a envolvente do procedimento de distribuição tivesse o menor custo possível.

### 2.3.3 VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS (VRPTW)

A particularidade desta variante prende-se com o facto de, por vezes, as entregas e recolhas terem de respeitar um certo horário, por norma, imposto pelo cliente. Ou seja, a cada cliente é associado uma janela temporal  $[a_i, b_i]$ , definindo-se um intervalo dentro do qual cada cliente tem que ser fornecido. Por norma, nas grandes empresas, os centros de distribuição também podem estar associadas janelas temporais para o carregamento de cada veículo.

Segundo Cordeau et al., (2001), a solução torna-se inviável se o camião que abastece um determinado cliente chegar após o limite temporal superior  $b_i$ , podendo, no entanto, chegar antes do limite inferior da janela temporal  $a_i$ , incorrendo neste caso num tempo de espera adicional para poder efetuar a operação de descarga. Há ainda a possibilidade de se permitir uma violação na restrição das janelas temporais (janelas temporais flexíveis), caso em que geralmente se adiciona uma penalização na função objetivo para as situações em que a chegada ao cliente é feita após o instante  $b_i$ .

Nesta variante é frequente haver um duplo objetivo: minimizar o número de veículos que constituem a frota e o tempo de viagem/tempo de espera que é necessário para fornecer os clientes dentro da janela temporal definida.

### 2.3.4 DYNAMIC VRP (DVRP)

Sendo DVRP uma prorrogação do VRP clássico, esta variante tem como intenção se adaptar às situações ocorrentes hora a hora, ou seja, os parâmetros e a dimensão do problema sofrem alterações em tempo real.

Como definição desta variante, temos um planeamento que consegue mudar de acordo com as necessidades em tempo real.

Posto isto, percebemos que na variante DVRP é possível haver mudança caso, por exemplo, um dado veículo se encontre já no decorrer da sua rota, e haja premência de alterar o seu circuito tendo em conta as necessidades do cliente futuro, ou numa outra visão em que seja necessário fazer uma variação no número de veículos afetos à rota.

Segundo, Bianchi, (2000), entre as várias alternâncias possíveis, referentes aos parâmetros da variante, assumimos que a DVRP tem como objetivo monitorar a função objetivo dos sub-problemas estáticos, de forma a se obterem os extremos e consequentemente os parâmetros que melhor otimizam a operação.

### 2.3.5 STOCHASTIC VRP (SVRP)

Como citado anteriormente, num VRP todos os segmentos constituintes são determinísticos.

Contudo, consoante a realidade e os acontecimentos, muitas das vezes súbitos, remetemo-nos à incerteza de uma dada restrição integrante do VRP.

Nesta variante, ao considerar uma restrição com uma dada incerteza, como por exemplo, a aleatoriedade associada a clientes, a procuras ou a tempo de viagem, leva a que seja necessário tomar decisões que tenham em consideração essas características do problema. Num SVRP as variáveis estocásticas consentem assim uma distribuição probabilística discreta, sendo somente possível ter perceção das mesmas após a rota ter dado início. Esta contrariedade confere uma maior dificuldade de resolução ao problema.

No SVRP ao contrário de um VRP determinístico em que existe um conjunto de soluções aproximadas do ótimo e conhecendo-se anteriormente todas as variáveis, a solução encontrada para cada rota, é a que se espera ser a melhor para a minimização de custos.

### 2.3.6 VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH BACKHAULS (VRPB) AND VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH PICK-UP AND DELIVERY (VRPPD)

Na definição da primeira variante do VRP, temos o facto de os clientes poderem ser abastecidos ou retornar produtos somente numa rota.

São conhecidos dois tipos de restrições, na variante VRPB:

- o conjunto de clientes que necessitam de ser abastecidos com mercadoria;
- o conjunto de clientes que necessitam que a mercadoria seja recolhida.

A ideia desta variante passa por tentar minimizar todo o custo envolvente no transporte, ou seja, têm em conta a redução de várias viagens e a rentabilidade adquirida na recolha e abastecimento na mesma rota. De referir que todas as recolhas feitas no cliente acontecem posteriormente ao abastecimento dos clientes.

Face à segunda variante, VRPPD é a que mais se aproxima da citada anteriormente, diferindo da mesma nas restrições envolventes. Neste caso, os veículos associados à distribuição nas rotas estipuladas, tem como encargo fazer a entrega de mercadoria no cliente tal como recolher a mercadoria que seja necessária de variadas organizações. Ou seja, a cada cliente está associada uma oferta e uma procura de um dado produto que deve ser entregue e recolhido na mesma visita (Toth & Vigo, 2002). Por conseguinte, a rota determinada consegue satisfazer todos os pedidos de carga e descarga de mercadoria.

### 2.3.7 DISTANCE-CONSTRAINED CAPACITED VEHICLE ROUTING PROBLEM (DCVRP)

Associada à variante CVRP (capacited vehicle routing problem), e sendo esta uma extensão da mesma, DCVRP adapta-se a organizações onde a capacidade de carga de um dado veículo e a distância máxima que o mesmo pode percorrer na rota, são fixas. Destarte, as restrições definidas limitam todo o problema.

Com o decorrer dos anos, foram elaborados diversos estudos sobre variantes de VRP existentes, pesquisando a sua adaptabilidade nas diversas organizações. Foi notório, que cada organização se adaptava de forma diferente a uma determinada realidade e que havia necessidade de aditar/condicionar restrições à variante.

Mais recentemente foram desenvolvidas profusas abordagens e alterações ao modelo inicial. Denominadas de “Rich VRP’s”, segundo Bochtis, Sorensen, (2009), estas variantes têm como desígnio responder a novos e complexos problemas com características específicas que tem vindo a surgir.

Préstimo destas pesquisas, as diferentes adaptações possibilitaram uma maior ramificação do VRP, isto é, surgiram VRP’s mais específicos. Na tabela infra, singularizamos inúmeras variantes à procura de tornar o problema VRP mais ajustável à

realidade vivida nas numerosas entidades. Estas derivadas de personalizações, intervêm significativamente num resultado de roteamento mais preciso e, conseqüentemente, mais adequado ao modelo de distribuição.

Tabela 3 - Variantes Específicas do VRP

#### VRPSD - Vehicle Routing Problem with Split Deliveries

- Nesta variante é minimizada a restrição que obriga os clientes a serem visitados uma única vez, se tal reduzir globalmente os custos. O objetivo passa por minimizar a frota de veículos e o tempo total para satisfazer a procura de todos os clientes.

#### MDVRP - Multiple Depot Vehicle Routing Problem

- Esta variante introduz a possibilidade de existir mais de que um depósito, sendo assim caracterizada pela existência de vários armazéns que servem um determinado conjunto de clientes.

#### HFVRP - Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem

- Generalização direta do clássico CVRP, esta variante assume que há uma disponibilidade de vários tipos de veículos e cada um com características diferentes. Na sua definição a frota existente é heterogénea.

#### VRP with LIFO

- Esta variante é congénere à variante VRPPD, no entanto tem como exceção o facto de existir uma restrição no carregamento dos veículos. Quando se faz uma entrega, a mercadoria entregue tem que ser a recolhida mais recentemente. Esta restrição faz com que haja um aumento da eficiência da operação.

#### VRPBTW - Vehicle Routing Problem with Backhauls and Time Windows

- Esta variante foca-se em duas restrições : a primeira é necessariamente a redução no número de rotas existentes e a segunda evidência a redução da distância total percorrida de todas as rotas. A capacidade do veículo e o tempo de ciclo de cada rota nunca podem ser violados.

#### VRPPDTW - Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery with Time Windows

- Esta variante requer a satisfação de um conjunto de solicitações de transporte. Identica ao VRPBTW Incorpora-se nestas janelas temporais associadas aos locais a visitar.

#### OVRP - Open VRP

- Esta variante admite que os veículos não necessitam de voltar ao armazém inicial, não sendo desta forma as rotas circuitos, mas sim caminhos.

#### VRPSF - VRP with Satellite Facilities

- Nesta variante existe a vicissitude do uso de satélites que reestabelecem o circuito dos veículos durante a rota.

#### PVRP - Periodic Vehicle Routing Problem

- Esta variante garante a distribuição a um dado conjunto de clientes num determinado número de vezes, num período de m. dias, ou seja num horizonte definido.

Não citando todas as variantes existentes, estas são as mais procuradas pelas organizações presentemente.

## 2.4 CATEGORIZAÇÃO DO VRP

Nas descrições anteriormente retratadas de variantes do VRP, é abalizado que toda a informação necessária para abordar o problema é previamente conhecida, e não está sujeita a alterações. No entanto, numa situação real de planeamento, é crucial lidar com incerteza relativamente à informação disponível.

Segundo, Pillac, Guéret, Medaglia, (2011), são distinguidas duas dimensões usadas para classificar estes tipos de limitações: a evolução e a qualidade da informação. A evolução da informação diz respeito às alterações que poderão ocorrer na informação inicialmente considerada, por exemplo, pelo surgimento de novos serviços, ou pelo cancelamento de serviços, durante a fase de execução. No que lhe concerne, a qualidade da informação está associada à incerteza sobre a informação que está disponível. A tabela seguinte expressa quatro categorias distintas caracterizadas a partir das duas dimensões referidas.

Tabela 4 - Taxonomia de problemas de roteamento de veículos com base na evolução e na qualidade da informação (Pillac, Guéret and Medaglia,2011).

		Qualidade da Informação	
		Conhecimento de dados determinístico	Conhecimento de dados estocásticos
Evolução da Informação	Input conhecido com antecedência	Estático Determinístico	Estático Estocástico
	Input alterado ao longo do tempo	Dinâmico Determinístico	Dinâmico Estocástico

Tendo em conta a informação, e de acordo com o nosso problema que será descrito no capítulo seguinte, lidamos com pedidos de placas que já são previamente conhecidos e caracterizados, não havendo alterações ao respetivo pedido. Consoante a produção e os novos pedidos dos clientes externos são feitos novos pedidos ao longo do tempo.

Percebemos desta forma, que com base na tabela acima o nosso problema enquadra-se na categoria Dinâmico Determinístico.

## 2.5 MÉTODOS DE RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS DE PLANEAMENTO DE ROTAS DE VEÍCULOS

Os problemas de roteamento de veículos (*Vehicle Routing Problems – VRP's*), que são de natureza combinatória, pertencem a uma categoria ampla de problemas de pesquisa operacional conhecida como problemas de otimização de rede (Fávero e Belfiore, 2006).

Através da revisão de literatura, temos a percepção da evolução que esta pesquisa teve na proposta de resolução do VRP (*Vehicle Routing Problem*) e as suas variantes.

Pretendendo a resolução dos mesmos, há uma distinção nos vários métodos desenvolvidos sendo classificados em duas categorias, métodos exatos e métodos aproximados.

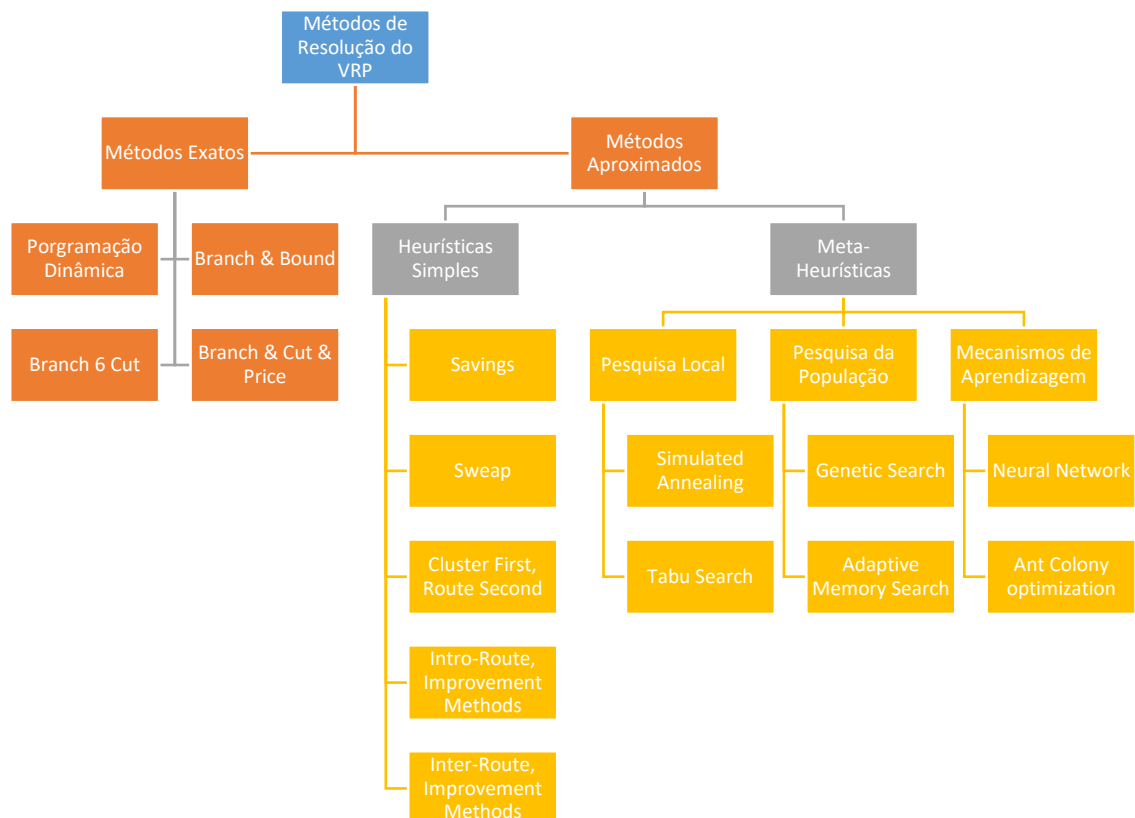


Figura 10 - Taxonomia dos métodos de resolução do VRP

### 2.5.1 MÉTODOS EXATOS

Foco do nosso trabalho, os métodos exatos permitem identificar a solução ótima do problema. Porém, algoritmos de tempo polinomial, resolvem apenas problemas de pequena dimensão, que não refletem a realidade. A dificuldade computacional existe aquando da dimensão e do número de pontos a ser atendido do problema, crescendo a mesma, de forma exponencial.

Os algoritmos exatos, são tipicamente derivados da formulação linear inteira (ILP), tal como referido por Jean-Yves Potvin, (1996), onde as variáveis de decisão do problema apenas podem tomar valores inteiros, sendo eles maiores ou iguais a zero, podendo o modelo ser formulado por:

$$\begin{aligned}
 & \text{Minimizar} && \sum_i \sum_j d_{ij} x_{ij} \\
 & \text{Sujeito a:} && \sum_j x_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots, N, \\
 & && \sum_i x_{ij} = 1, \quad j = 1, \dots, N, \\
 & && (x_{ij}) \in X, \\
 & && x_{ij} = 0 \text{ or } 1,
 \end{aligned}$$

Segundo o autor, nesta formulação de modelo exato, o N representa o número de vértices,  $d_{ij}$  é a distância entre os vértices  $i$  e  $j$ , e os  $x_{ij}$  são as variáveis de decisão:  $x_{ij}$  é definido como 1 quando o arco  $(i, j)$  é incluído no circuito, e 0 caso contrário.  $(x_{ij}) \in X$  onde este denota o conjunto de restrições de quebra de subtítulos que restringem as soluções viáveis para aqueles que consistem num único circuito.

Para Carvalho e Rbechini Jr., (2006), uma solução, considerada viável, é aquela que satisfaz em primeiro lugar a limitação dos recursos e, em segundo, as restrições tecnológicas da execução das tarefas.

#### 2.5.1.1 CATEGORIAS DOS MÉTODOS EXATOS

De acordo com Laport and Nobert, (1987), e verificada a taxonomia dos métodos de resolução do VRP, os métodos exatos estão divididos em três categorias principais, sendo: procura direta em árvores de pesquisa, programação dinâmica (PD) e por último, programação inteira (PI).

### 2.5.1.1.1 PROCURA DIRETA EM ÁRVORES DE PESQUISA

Christofides, Mingozzi e Toth, (1981), debruçaram-se sobre dois métodos de solução exata para a resolução de problemas de roteamento de veículos, funcionando os mesmos pela procura direta numa árvore de pesquisa Branch & Bound. Nisto falamos, em branching on arcs e branching on routes.

Na primeira variante, os autores afirmam que os ramos da árvore de pesquisa eram criados através da inclusão e exclusão de um determinado arco na solução. Já na segunda variante, cada nó presente na árvore de pesquisa constitui uma única rota possível de ser realizada, consistindo a quantidade de veículos no problema pelo número de níveis existentes na árvore de pesquisa. Durante a pesquisa, os autores procederam ao teste dos métodos usando dez problemas e variando o número de clientes entre  $N=10$  até  $N=25$ . Durante o desenvolvimento do teste, os autores afirmaram que embora os métodos de pesquisa direta em árvore tenham tido resultados de solução ótima, esta devesse ao facto dos problemas serem de tamanho reduzido e relativamente livres de restrições.

### 2.5.1.1.2 PROGRAMAÇÃO DINÂMICA (PD)

Segundo Toscani e Veloso, (2001) a programação dinâmica é um método iterativo, ascendente, que costuma ser aplicado a determinados problemas de otimização. O método opera, decompondo um problema em subproblemas mínimos, solucionando-os, guardando os resultados parciais, combinando subproblemas menores e subresultados para obter e resolver os iniciais, até recompor e resolver o problema original.

Esta é aplicável aos problemas de otimização com a seguinte propriedade: “uma solução não ótima de um subproblema não pode ser subsolução de solução ótima do problema”. Isto significa que só soluções ótimas dos subproblemas podem compor uma solução ótima do inicial. Em consequência, na procura de uma solução ótima, as soluções não ótimas de subproblemas podem ser descartadas, e é esse o processo que torna os algoritmos desenvolvidos por programação dinâmica mais eficientes que os algoritmos diretos.

Além disso, os subproblemas são resolvidos uma única vez, e suas soluções são guardadas para serem usadas tantas vezes quantas forem necessárias (Toscani e Veloso, 2001).

Segundo Bellman, (1957), “uma estratégia ótima apresenta a propriedade segundo a qual, a despeito das decisões tomadas para se atingir um estado particular num certo estágio, as decisões restantes a partir deste estado devem constituir uma estratégia ótima.”

### 2.5.1.1.3 PROGRAMAÇÃO INTEIRA (PI)

Descrita como uma das ferramentas comumente usada para resolver vertentes de otimização combinatória, a programação inteira consiste em problemas de programação matemática em que a função-objetivo que representa a finalidade real do problema, bem como as restrições, são lineares, porém uma ou mais variáveis de decisão podem apenas assumir valores inteiros, maiores ou igual a zero. Sendo as variáveis especificamente do tipo binário, são frequentemente utilizadas na otimização, pois expressam problemas de decisão, conhecidas também como variáveis de decisão sim-ou-não, restritas a dois valores, 0 e 1. Seria assim representada por:

$$x_j \begin{cases} 1, & \text{se a decisão for sim;} \\ 0, & \text{caso contrário;} \end{cases}$$

Ligada a função objetivo, muitas vezes a problemas de distâncias percorridas, minimização de custos de transporte, veículos utilizados ou tempos de ciclo, ..., esta tem como intuito dar resposta a grande parte dos problemas VRP. De acordo com Vanderbei, (2014), a forma geral para a resolução de problemas de maximização ou minimização de uma função linear é definida por:

$$(F.O.) \quad \text{maximizar} \quad C^T x$$

Sujeito às seguintes restrições:

$$\begin{aligned} Ax &= b \\ x &\geq 0 \\ x &\in \mathbb{N} \end{aligned}$$

Contudo, quando falamos em problemas de programação inteira, sendo estes considerados problemas NP-Completo, são usualmente resolvidos por métodos exatos como: Branch & Bound, Branch & Cut, Branch & Price, ..., e método de geração de colunas.

### 2.5.1.2 MÉTODO BRANCH & BOUND

Inserido nos métodos de resolução de problemas de programação inteira, o método Branch & Bound é o mais destacável. Segundo Blazewicz et al.,1996, o princípio do método Branch & Bound é resumido como uma enumeração de todas as soluções praticáveis de um dado problema de otimização combinatorial de maximização e minimização, tal que características e propriedades não compartilhados por qualquer solução ótima são detetados previamente. É desta forma um método, que apesar de não testar explicitamente todas as soluções possíveis, garante a otimização da solução obtida. Para os autores, Nemhauser, Rinnoy Kan & Todd, 1989, o método trata-se de

uma conceção de divisão e conquista, ou seja, otimizar pequenos sub-conjuntos tendo em conta o resultado total em vez de resolver integralmente o conjunto total de soluções.

O método descrito está dividido em duas operações:

*-Branching:* há a divisão do problema em sub-problemas mais pequenos, facilitando a análise, eliminação de todas as hipóteses inviáveis sem comprometer a plenitude do conjunto de soluções.

*-Bounding:* eliminar soluções de baixa qualidade através de comparações com limitantes. São usualmente utilizados dois limitantes: superior e inferior. Quando se trata de um problema de minimização, o limitante superior é um valor conhecido e viável da função objetivo, não necessariamente o valor ótimo, que serve como ajuste na avaliação das soluções obtidas, ou seja, soluções que têm o valor superior ao limitante superior são rejeitadas por serem soluções piores que a atualmente conhecida. No entanto, o limitante inferior, num problema de minimização é uma estimativa da função objetivo tendo como base a solução parcial até então obtida. De salientar, que o limitante inferior, nesses casos, é sempre menor ou igual ao valor da função objetivo, já que o seu cálculo é baseado num sub-conjunto da solução enquanto a função objetivo é calculada considerando a solução completa. Desta forma, é praticável eliminar soluções que tenham limitantes inferiores piores dos que atuais limitantes superiores conhecidos.

### 2.5.1.3 BRANCH & CUT E BRANCH & PRICE

Envolvido nos métodos exatos, este algoritmo pode ser determinado como uma derivação ou melhoria do algoritmo Branch & Bound, com a particularidade de ter um procedimento de corte, ou seja, uma restrição adicionada ao método.

De acordo com, Botin, (2006), o propósito de adicionar um corte é para limitar o tamanho do domínio das soluções. Assim sendo, o algoritmo executa decomposições do domínio de soluções com a ramificação e em seguida corta esses subdomínios com o intuito de eliminar regiões que não possuam soluções viáveis.

Em termos de performance este algoritmo é muito semelhante ao Branch and Bound, com o acréscimo do procedimento de “Cut”, em que pode aumentar a rapidez a encontrar as soluções ótimas.

Quando falamos no método Branch & Price, este é similar ao anteriormente falado, contudo esta metodologia realça a geração de colunar em vez da geração de planos de corte.

Segundo Fávero e Belfiore, (2006), foram testadas algumas aplicações com métodos exatos, que detalhamos na tabela 5.

Tabela 5 - Aplicações de Métodos Exatos

Autor, Ano	Método Exato	Descrição
Baker,1982	Branch & Bound	Neste artigo foi utilizada a estratégia B&B com algoritmo de etiquetamento para um problema de roteamento com um único veículo e restrições de janelas de tempo e capacidade do veículo. O objetivo do modelo foi minimizar o tempo total das rotas.
Desrochers, Desrosiers e Solomon ,1992	Método de geração de Colunas – Programação Dinâmica	Neste trabalho, foi implementado o método de geração de colunas para dar solução ao problema de roteamento e programação de veículos com janelas de tempo (VRPTW) e frota homogênea. Os autores assumem que o número de veículos é ilimitado, o que faz com que o tamanho da frota seja determinado simultaneamente com os roteiros (FSVRPTW). O objetivo do modelo foi minimizar a distância total percorrida. Os autores aplicam o método de solução ao conjunto de problemas propostos por Solomon (1987). Na maior parte dos problemas com 100 clientes, não foi possível uma solução ótima. Em função disto, os autores modificaram os problemas originais, criando dois outros com 25 e 50 clientes. Todos os problemas com 25 clientes obtiveram soluções ótimas, conseguindo também resolver alguns problemas originais. O maior problema resolvido envolvia 100 clientes e 18 veículos.
Kolen et al. ,1987	<i>Branch &amp; Bound</i>	Com restrições de janela de tempo (VRPTW), neste artigo os clientes são atendidos por uma frota de veículos homogênea. O objetivo foi determinar um conjunto de rotas factíveis, de forma a minimizar a distância total percorrida, respeitando as restrições de janela de tempo e capacidade dos veículos.
Bard, Kontoravdis e Yu ,2002	<i>Branch &amp; Cut</i>	Neste artigo foi desenvolvido um procedimento com o método Branch and Cut, para VRPTW com frota homogênea. O objetivo foi minimizar o número de veículos necessários e a distância total percorrida, garantindo que as restrições de capacidade dos veículos e de janelas de tempo fossem respeitadas. Além dos circuitos, procurou-se determinar o número de veículos necessários (FSVRPTW). O método proposto foi testado com seis conjuntos de problemas (R1,C1,RC1,R2,C2.RC2) de Solomon (1987).

---

Christiansen, Lysgaard, 2007	<i>Branch &amp; Price</i>	Focados na geração de colunas, os autores desenvolveram um algoritmo exato para a resolução de problemas CVRP. Neste artigo, os autores contêm procuras estocásticas, afirmando os mesmos que o problema pode ser formulado como um problema de partição e, o subproblema que pode ser obtido por programação dinâmica. Todas as instâncias utilizadas pelos autores eram inferiores a 60 clientes. Por surpresa, a maior instância era 60 cliente e 16 rotas, afirmando os autores assim, que os resultados eram auspiciosos.
---------------------------------	---------------------------	--

---

### 2.5.2 MÉTODOS APROXIMADOS

Abordando superficialmente, quando falamos em métodos aproximados, ilustramos o facto de estes não garantirem a solução ótima do problema, mas sim resultarem em soluções sub-ótimas de grande qualidade a um esforço computacional súpero. Desta forma, as heurísticas ganharam grande relevo a nível mundial.

Segundo Nicholson, (1971), este define heurísticas como um procedimento para resolver problemas através de um foco “intuitivo”, em geral racional, no qual a estrutura do problema possa ser interpretada e explorada inteligentemente para obter uma solução razoável.

Reeves, (1993), delibera heurísticas como uma técnica que busca boas soluções (perto da ótima) com um custo operacional razoável, sem garantir soluções factíveis ou ótimas e, em muitos casos, não é capaz de afirmar quão próximo uma solução factível está da solução ótima. Além da teoria da complexidade computacional representar uma forte justificativa para a utilização de métodos heurísticos na solução de VRP, outro forte argumento apresentado pelo autor corresponde à possibilidade de modelar o problema real com maior precisão, uma vez que as heurísticas são mais flexíveis e aptas a operar com funções objetivos e/ou restrições mais complicadas e mais realistas do que os algoritmos exatos.

No entanto, tendo em conta as variantes existentes, uma heurística simples tem como desvantagem a exploração somente de um subconjunto da totalidade de soluções latentes, isto porque, estes algoritmos tendem a ficar bloqueados devido ao facto de um afastamento dessa solução implicar uma deterioração da função objetivo.

Com a finalidade de tornar todo o processo de pesquisa fidedigna, foram implementados novos métodos.

Para isso, foram desenvolvidas muitas pesquisas nas últimas décadas com o sentido de melhorar os métodos heurísticos, sem, no entanto, prejudicar a sua principal característica, que é a flexibilidade. Estes trabalhos deram origem a estratégias geralmente conhecidas como metaheurísticas.

De acordo com Souza, (2011), metaheurísticas são procedimentos destinados a encontrar uma boa solução, eventualmente a ótima, consistindo na aplicação, em cada passo, de uma heurística subordinada, a qual tem que ser modelada para cada problema específico. A principal característica das metaheurísticas é a capacidade que estas possuem de escapar de ótimos locais.

## 2.6 PART FEEDING PROBLEM

Quando abordamos a sistemática milk-run, temos em idealização secundária e intuitiva, a forma como as linhas de montagem manual são abastecidas. Na realidade atual das empresas, falamos muitas vezes em problemas de abastecimento, suportando a organização, custos de mão-de-obra, serviços, manutenção, ..., desnecessários. A eficiência da linha depende assim do reabastecimento de peças na linha.

Uma linha de montagem manual, é uma linha de produção que consiste numa sequência de estações de trabalho onde as tarefas de montagem são realizadas por operadores. A produtividade da mesma, depende proporcionalmente do abastecimento feito às linhas, caso contrário, implica a sua paralisação, o que acarreta custos.

Kumnuck, Prombanpon, (2015), debruçaram-se sobre a determinação do número ideal de milk-runs a abastecer, tendo em conta, o número de rampas em cada linha e a quantidade de material da mesma, o tempo de ciclo de cada linha, e o tempo de abastecimento à linha de montagem manual. Considerando estes dados, concluíram através de equações formuladas, que o número de trabalhadores depende do tempo de ciclo da linha, da quantidade de rampas (de igual dimensão) e do tempo da realização da operação de abastecimento, conforme nas equações seguintes utilizadas:

$$\frac{N^{\circ} \text{ de Rampas de Abast.} \times T. \text{ de Ciclo (min)}}{\text{Tempo de Abastecimento}} = N^{\circ} \text{ de Rampas Abastecidas}$$

$$\frac{N^{\circ} \text{ de Rampas de Abast.}}{N^{\circ} \text{ de Rampas Abastecidas}} = N^{\circ} \text{ de milk'runs}$$

Contudo, este caso de estudo no nosso caso não é adaptável devido à diferenciação de quantidades de material existente nas rampas das linhas de montagem.

Num outro estudo, Choi, Lee, (2002), propuseram um sistema de abastecimento dinâmico para uma linha de montagem automóvel baseados numa solução heurística. Numa primeira fase, basearam-se no consumo de material expectável, onde se esperava que o nível de stock de segurança nas rampas fosse sempre alcançado. Numa outra fase, essas ordens eram dadas aos milk-runs, que distribuía dinamicamente o material pelas linhas da fábrica através das rotas formadas pelo VRP. Dedicados ao desenvolvimento do algoritmo dinâmico de abastecimento, tendo em conta que o objetivo passa por diminuir o número de milk-runs e as penalidades para os desvios de entrega, as simulações do algoritmo demonstraram aos autores que, com as melhorias no abastecimento, o número de milk-runs diminuía tornando o sistema proposto mais eficiente que os sistemas estáticos de abastecimento, no que toca ao nível de inventário e utilização de milk-runs.

Os problemas de abastecimento, são motivo de constrangimentos e atrasos de produção em algumas organizações, refletindo-se em gastos financeiros dispensáveis. Sendo o nosso caso de estudo, um modelo de abastecimento dinâmico os problemas relativos a este, serão debruçados sobre um estudo de rotas utilizando o modelo exato, para o roteamento de veículos.



# DESENVOLVIMENTO

## **3.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA**

- 3.1.1 DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO 101 e 104
- 3.1.2 MODELO DE DISTRIBUIÇÃO ATUAL
- 3.1.3 MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DESEJADO

## **3.2 PARÂMETROS PARA A FORMULAÇÃO MATEMÁTICA**

## **3.3 IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS**

- 3.3.1 BASE DE DADOS DE VEÍCULOS
- 3.3.2 BASE DE DADOS DE TEMPOS
- 3.3.3 BASE DE DADOS DE PRODUÇÃO
- 3.3.4 RESULTADOS DO MODELO MATEMÁTICO - MINIMIZAR VEÍCULOS
- 3.3.5 RESULTADOS DO MODELO MATEMÁTICO – ROTEAMENTO DE VEÍCULOS DE FORMA A MINIMIZAR O TEMPO DE CICLO, GARANTINDO A MINIMIZAÇÃO DO NÚMERO DE VEÍCULOS

### 3 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo apresenta-se de forma mais detalhada o problema tratado durante o período de estágio, fazendo-se a sua devida caracterização. Desta forma, pretende-se identificar e analisar todas as atividades críticas do processo, de modo a eliminar possíveis desperdícios e formular soluções de melhoria.

Iremos explicar todo o modo de trabalho já existente na empresa, detalhando todos os passos necessários até à implementação da nova sistemática.

Após a análise toda, delineamos a ferramenta de apoio à decisão, com o método de distribuição desenvolvido para a solução do problema.

#### 3.1 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Com intuito de tornar mais eficiente o sistema milk-run já implementado na empresa, trazendo este, inúmeras vantagens a todos os níveis, foi proposto fazer um estudo e elaboração de um modelo de distribuição que se adaptasse e tornasse a mesma, mais hábil.

Com a logística interna já agregada e todo o processo standardizado, ressaltamos inevitavelmente na redução de custos relativos à quantidade de operadores necessários ao processo e comboios logísticos em percurso, transmudando o modelo de distribuição de PCB's existente.

Fazendo-se acompanhar de todas mudanças que trariam lucros à empresa, a multinacional viu-se obrigada a acompanhar o modelo de distribuição que mais vantagem presentearia à sua organização. Empreendida a sistemática milk-run, foi necessário conhecer integralmente todo o layout do edifício 101 e 104, as lacunas existentes na sistemática, todos os pontos abertos, fazer a supervisão e conhecimento do terreno, reconhecer o modelo de distribuição atual e todo o método de trabalho, ressaltar todos os problemas encontrados nos milk-run e na sua distribuição, entre outros.

Reconhecido todo o terreno, e refletido o nosso trabalho na semana 27 e 28 de julho do ano decorrente, e no dia oito de agosto, de imediato foi perceptível que o nosso problema envolveria um caso de TSP relativo ao edifício 104 e um VRP no edifício de montagem final.

### 3.1.1 DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO 101 e 104

Dividido em dois edifícios, o trabalho manual e montagem final do produto terminante, encontrasse localizado nos edifícios 101 e 104 da empresa. Representante das linhas de montagem final, o bloco 101 é constituído pela junção de 80 linhas manuais, finais e células, incluindo salas limpas (salas onde não há qualquer tipo de contacto com poeira e onde o material é estritamente sensível – processamento de placas bonding), e fresas (onde a placa mãe, após vários processos de reflow, inserção de componentes manuais, soldadura, ICT'S, testes visuais e elétricos ..., sofre a separação do contorno da placa). Constituído somente por 6 linhas de montagem manual, o edifício 104 não tem na sua constituição o forte da produção final, sendo um único milk-run suficiente para fazer o transporte de material necessário a este, contudo, é ainda assim base essencial de material para linhas alocadas no edifício 101.

Trabalhando com uma diversidade de marcas conceituadas, tais como: Jaguar, BMW, Bombardier, Porsche, Volvo, ... entre outras, a empresa tornou-se imperativa à perfeição do produto. Posto isto, o foco é satisfação do cliente final, procurando a organização um trabalho perfeccionista e inigualável.

Com a noção de que cada marca é equiparável e requer particulares necessidades, a fundação Bosch adaptasse às mesmas da melhor forma.

Nisto, falamos em tempos de produção, em quantidade de material, em processos pela qual a placa necessita transitar, até à fase de montagem final incluindo todo o processo logístico de que é integrante, há necessidade de verificação constante do estado da placa, aos testes de funcionamento, a prazos de iniciação de produção e entrega..., que cada marca delibera com a empresa.

Enfatizado com o BPS (Bosch Production System), a frequência de componentes nas linhas e a quantidade imprescindível, é crucial para a produção de um produto final num determinado período de tempo, existindo desta forma, os supermercados associados a derivadas linhas, facilitando todo o processo de abastecimento.

Multinacional, foi substancial à empresa tornar o processo de fabrico o mais standarizado possível

#### 3.1.1.1 DESCRIÇÃO DO PARQUE DE PRODUÇÃO - LAYOUT'S

O edifício 101 constitui o parque do grupo Bosch, onde se encontra a grande produção dividindo-se a mesma, em dois pisos de linhas de montagem manual, piso 0 e piso 2. No piso 1, situado entre estes, estão os balneários para os colaboradores da Bosch, usufruindo os mesmos do local para se prepararem para o dia de trabalho, tendo espaço para deixar todos os seus pertences de forma segura e organizada.

Em constante mudança, os layout's referentes às secções de montagem, são revistos mês a mês e adaptados consoante as alterações das diversas linhas existentes. Nestas alterações, temos que ter em conta os efeitos secundários adjacentes, tais como a ocupação de espaço que uma linha preenche e o modo como vai operar de forma a facilitar o operador que nela opera, como também, todo o trabalho externo à linha, no caso as rotas, os supermercados do material...

O piso 2, tem como ofício o cais. Contrariamente ao andar 0, neste há a recolha de todo o material extrínseco ao edifício, distribuindo-o posteriormente pelos supermercados, linhas de produção. Através do camião externo, dá entrada no cais, PCB's e material logístico, à posteriori, arrumado nos locais fixados para tal. Localizado também neste andar, encontrasse o local de stock de placas, alocados estas em suportes containers ou caixas polímero/vidros, dependendo do processo que sofrerá subseqüentemente. Com cerca de 40 linhas manuais em constante produção, é imprescindível abastecer as mesmas com material.

Ilustrado o piso 0, abordamos agora o piso 2, dando este, continuidade a processos decorrentes, e assegurando também a finalização para diversas marcas do produto final. Parte integrante neste andar, são as fresas. Estas têm como intuito, laborar o recorte do bordo do PCB, para que o mesmo consiga sofrer os processos finais de controlo e montagem final do produto. Com cerca de 37 linhas a laborar neste piso, tornasse de igual forma, indispensável o abastecimento dos vários supermercados na produção, de forma a garantir a continuidade de produção.

O abastecimento às linhas acontece, após os milk-runs distribuírem o produto pelos os 21 supermercados existentes neste edifício, abrangendo cada um várias linhas, dando assim uma continuidade periódica no fluxo de produção.

Já no edifício 104, as linhas manuais nele integrantes tem todas como objetivo a finalização do produto, enviando-o em seguida para o cliente. Aqui, o milk-run único tem que abastecer 9 supermercados para que as linhas de produção deem continuidade ao seu trabalho, sem qualquer paragem. Não sendo problemático, este edifício trabalha somente com o abastecimento de um milk-run, tratando-se aqui de um TSP. O estudo passa assim, a não estar focado neste edifício, uma vez que este está otimizado.

### 3.1.2 MODELO DE DISTRIBUIÇÃO ATUAL

Implementado há doze anos, o sistema milk-run foi uma mais-valia para a organização, tornando-a mais competitiva, funcional e estrutural.

Com a progressão da empresa no mercado, a sistemática inicial de abastecimento interno viu-se obrigada a adaptar-se às diferentes produções do grupo Bosch, modificando continuamente o meio de transporte de material interno (carruagens e veículo motorizado), tal como os circuitos desenhados para eles.

Na atualidade, a organização sustenta um modelo de distribuição do produto, competente para uma produção eficiente. No entanto, existem várias lacunas ainda por laminar que se refletem na produção de produto final.

Começando por explicar as falhas que esporadicamente ocorrem derivadas do abastecimento externo, proferimos o eventual não cumprimento do tempo de ciclo eleito para o trajeto do camião entre o edifício 108 - 101. Contratado pelo grupo, e unicamente exclusivo, o camião externo, tem como encargo fazer a recolha, de carruagens com material inacabado do edifício 108 para o 101, e entrega de produto final e material logístico, do edifício 101 para o 104, garantindo assim uma produção continuada. Com um tempo de circuito já estabelecido de 34 e 37 minutos, tornasse imperativo o não abastecimento de material nos cais das edificações. No entanto, por motivos adversos, tais como falha de motorista, atrasos no tempo de ciclo, as carruagens de material não chegam no tempo proferido, levando à não garantia de fornecimento e atraso na produção.

Falha outra e ainda no mesmo cais, é derivada da falta de material para dar continuidade aos processos de finalização de produto. Isto acontece, originário da supressão de material nacional e internacional, não fornecendo os recursos necessários à empresa. Ainda que pontual, esta quebra influencia os prazos de entrega do produto acabado.

Um outro problema refletido nos atrasos de entrega de produto aos supermercados, são as rotas estabelecidas para os milk-run internos. Com a mudança contínua do layout dentro do parque, e estando o grupo Bosch enfatizado com o sistema BPS, há uma procura regular por um frequente fornecimento de material.

Situada no nível 3 na maturidade de execução do BPS, os circuitos cumprem um tempo de ciclo menor ou igual a 30 minutos e o nível de entrega de material maior ou igual a 75%.

Apoiado em bases existentes para o cálculo de tempo total de transporte, tendo em conta a distância entre pontos de paragem nos circuitos, os pontos de abastecimento, capacidades..., para engenhar as rotas, estas apresentam algumas incoerências, não dando as respostas necessárias para a passagem de nível da organização.

Assim, administrando de forma arbitrária as linhas a cada milk-run, tendo apenas em conta a continuidade de processo de uma linha para outra, estimativas existentes e

resumindo-se ao senso partilhado entre os responsáveis da organização desta tarefa, sem nunca abandonar o sistema BPS, é assumido o itinerário. Contudo, após a implementação dos mesmos aquando das mudanças na secção, é por vezes necessário fazer alterações consideráveis devido à não coerência total da junção dos supermercados nos circuitos, o que implica dias em todo o procedimento. Uma falha decorrente disto, é muitas vezes, ser o próprio mizusumashi a adaptar a rota consoante os pedidos das linhas, trazendo um desconsenso de tarefas entre os diversos turnos e uma não standarização dos circuitos. Hábito frequente ainda, é a escolha das linhas a abastecer conforme o supermercado. Derivado do mesmo supermercado alocar diversos suportes de material para diferentes linhas, cada um na rampa a ele pertencente, de forma a melhorar o trabalho, muitas vezes incoerente, é o mizusumashi que toma a decisão de abastecer as linhas do mesmo supermercado.

Em suma, o modelo de distribuição existente ainda que bem implementado na multinacional e destacando o Bosch Production System numa procura pela melhoria contínua, conta ainda com adversidades quando tentamos perceber de forma rápida e eficaz o número de milk-run e rotas necessárias para o abastecimento das linhas produtivas, uma vez que todo o processo que dá resposta às questões, é elaborado de forma manual. Derivado disto, está associado muitas vezes um custo prescindível à empresa no que tange a contratações, compra de equipamentos, à quantidade de percursos necessários, uma vez que podem existir erros de visão humana quando elaborados os circuitos. Todas as falhas secundárias à sistemática, mas substanciais na melhoria da mesma, têm um impacto na produção sendo desse modo útil analisar estes pontos.

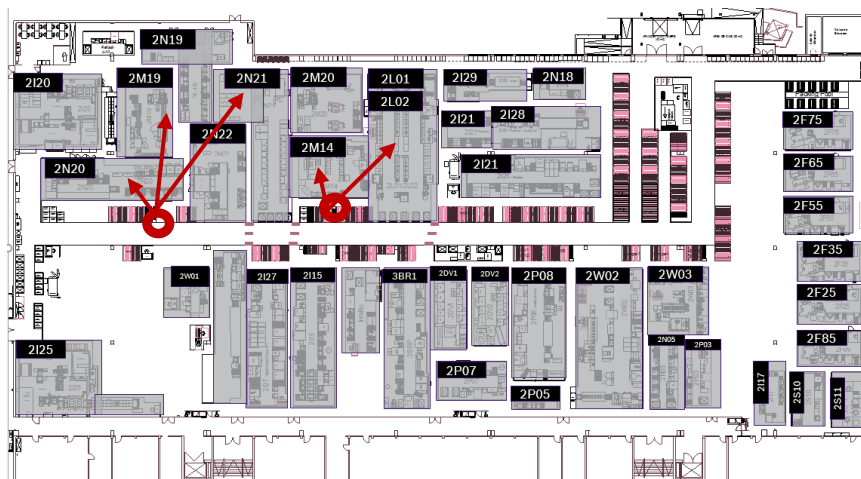


Figura 11- Exemplo de supermercados, posicionados de forma a ser mais fácil ao comboio logístico a distribuição de placas e fornecimento de várias linhas..

### 3.1.2.1 CARACTERIZAÇÃO DO COMBOIO LOGÍSTICO

Adaptada a sistemática ao grupo Bosch, com o decorrer dos tempos foi necessário adaptar o milk-run aos vários tipos de componentes produzidos e transportados. Constituído por um veículo de tração, que vulgarmente se denomina por mota, conduzida esta por um operador, e ainda atrelando um certo número de carruagens logísticas (nos quais é transportado o material). No conjunto formam o comboio logístico, a empresa debruçou-se nas falhas que estes teriam e influenciariam no processo de produção.

Primeiramente falamos, na velocidade de circulação da mota internamente. Derivado da não existência de limite de velocidade, existiam riscos tanto em colisão de motas afetando o material transportado, como marcas no chão-de-fábrica provenientes do excesso de aceleração e travagem em movimento linear como em curvas, e empilhamento de vários comboios logísticos no mesmo local, por cada mizusumashi circular a um limite de velocidade diferente.

Seguidamente, proferimos o tipo de carruagens existentes, o modo de engate entre elas e a quantidade admissível de carruagens atreladas.

Com vista à melhoria, a organização adaptou as carruagens a três tipos de suportes transportados: containers, caixas polímero e caixas de vidro, (figura 13). Sendo estes três tipos selecionados para o transporte de placas, demonstrou ser o método e quantidade ideal. Contudo, quando falamos no sistema de engate existente entre as mesmas e a mota, este não foi o que melhor se adaptava. Por último, a organização não tinha assumido nenhuma quantidade fixa para o número de carruagens a circular, havendo muitas vezes espaço insuficiente no elevador de mudança de piso para mais que uma mota, dificuldades de manobra nas curvas aquando de outros veículos, carruagens vazias em circulação sem necessidade.... Com resolução a estes problemas, e já no período de estágio, houve uma mudança nesta secção.

Para dar término à causa raiz de maior parte das contrariedades sucedidas com o milk-run, foi implementado um limite de velocidade de circulação igual para todos. Com uma celeridade máxima de 4,2 quilómetros por hora (Km/H), (1,167 m/s), em cada mota, tanto o risco de colisão, como os empilhamentos diários, integrou o nível mais baixo dos últimos tempos. Relativamente as marcas no chão, que obrigava a uma limpeza específica e muitas vezes mudança de pavimento, passaram também a não ocorrer trazendo uma melhoria interna no parque.

Quando nos remetemos à questão das carruagens, tendo em conta as rotas, elevador, movimentação de material, foi estabelecido internamente que nenhuma mota poderá circular com mais de 4 carruagens, sendo estas suficientes para garantir a não paragem das linhas de produção. Nas mesmas, foi também modificado o sistema de engate. Muitas vezes motivo de contratempos, o sistema de engate existente tinha pontos de desvantagem. Com o uso contínuo, estes elementos tendiam a sofrer desgaste. No caso

dos eixos de ligação, devido a algumas paragens mais repentinas do comboio logístico, ficavam sujeitos a forças de travagem elevadas, agravadas pelas massas elevadas do material transportado, levando alguns a entortar-se (situação de empeno). Dando feito a este problema, surgiu a ideia de alterar o sistema de engate, para um mais robusto, mais ergonómico (os operadores não tinham necessidade de se baixar para atrelar carruagens, passando a utilizar somente o pé), não exigindo manutenção contínua (eliminação de partes móveis) (Anexo 6.4/6.5).

Resumidamente, com estas melhorias o milk-run deixou de apresentar os problemas anteriormente falados.



Figura 12 - Ilustração do comboio logístico da Bosch Car Multimédia , S.A.

Dado às necessidades que a empresa foi encontrando durante os anos de trabalho, foi necessário fazer a escolha das motas, para a constituição do comboio logístico, que melhor daria ênfase ao trabalho e seria mais rentável.

Assim, dado a aplicabilidade das mesmas serem para o mesmo efeito, apresentamos as características das motas a circular na produção do edifício 101, na tabela 6.

Tabela 6 - Características da mota em circulação no edifício 101

Quantidade de Motas	Marca e Modelo	Peso Bruto (Kg)	Capacidade de Carga (Kg)
5	Fantozzi Colibri T 600 D	193 Kg	200 Kg

### 3.1.2.2 TIPOS DE CARRUAGENS

Abordado anteriormente, o grupo Bosch opera com diversos materiais, necessitando estes de condições próprias no suporte do material e no meio de transporte.

Decorrente disto, falámos sempre em material com condições anti estáticas, uma vez que na área de produção, o nível de eletricidade estática é elevado.

Divididas em três modelos de carruagens e três padrões de suporte às placas, temos: carruagens para transporte de containers, carruagens para transporte de caixas

polímero, e uma carruagem para transporte de caixa de vidros (bonding). As carruagens direcionadas para o transporte de containers podem transportar entre 8 a 10 containers, dependendo se as placas pedidas nas linhas estão em containers pequenos ou grandes, contudo devido ao baixo uso de containers grandes, foi usado para o estudo, os containers mais utilizados na produção. Já as carruagens de transporte de caixas conseguem transitar no seu conjunto máximo 20 caixas.

Quando há referência, à carruagem única para transporte de material bonding (vidros), esta consegue transportar na sua capacidade máxima 16 caixas. Desta forma, inferimos a existência de várias combinações de agregação no comboio logístico, representadas na tabela 7 abaixo:

Tabela 7 - Combinações de carruagens atreladas ao comboio logístico

<b>CARRUAGENS A ATRELAR</b>									
<b>Milk-Runs</b>	A	B	C	D	E	F	G	H	I
C.Containers	1	2	3	0	2	3	1	0	4
C. Caixas	2	1	0	3	2	1	3	4	0
C.Vidros	1	1	1	1	0	0	0	0	0

Atendendo às nove possíveis configurações da constituição do comboio logístico, este depende diretamente das linhas onde vai abastecer/recolher material. Posto isto, e tendo em conta o nosso caso de estudo, apesar de termos à disposição estes possíveis comboios logísticos, e ainda haver a possibilidade de andarem vários milk-runs com o mesmo conjunto de carruagens, o nosso objetivo é diminuir o número de milk-runs a abastecer todas as linhas de produção num tempo de ciclo menor ou igual a 30 minutos.

### 3.1.2.3 CONSUMO DE DIFERENTES SUPORTES DE MATERIAL NAS LINHAS

Com a diferente produção de material, as linhas têm necessidades diferentes de consumos. Desta forma, desdobramos o plano de consumo de cada linha e o supermercado pertencente, demonstrando em que suporte as placas chegam às linhas de produção.

Tabela 8 - Designação do consumo de material nas linhas

<b>LINHA/SUPERMERCADO</b>	<b>CAIXAS VIDROS</b>	<b>CAIXAS POLÍMERO</b>	<b>CAIXAS CONTAINERS</b>
2M19/2N20 – 1B		X	X
2I20/2I25 – 1B	X		
2W01 -1G		X	

2I27- 1C		X	
2I15 -1D		X	
3BR1 -1E	X	X	
2DV1/2DV2- 1F		X	
2W02 -1H		X	
2L01/2L02 - 1A			X
2M14 -1A			X
2P07 -1G		X	
2P08 -1G		X	
2N21 – 1B	X		
2P03 – 1G		X	
2I08/2I06/2I19 – 2I	X		
2I23 - 2U	X		
2I01 – 2U		X	
2I04/2I07 – 2U		X	
2I09/2I22/2I18/2I03 -2J		X	
2I05 – 2K		X	X
2I11 - 2U		X	
2I16 – 2M		X	
2I10 - 2L		X	
2I32 – 2M		X	
2I14/2M15 -2M		X	
2I12/2I13 -2N		X	
2N02/2N06/2N16 -2O		X	
2N14/2N17-2R			X
2N09 - 2P			X
2FR1 -2Q			X
2P05 – 1G		X	
2D01 -2S			X

### 3.1.2.4 DISTRIBUIÇÃO DE PRODUTO NOS SUPERMERCADOS DO EDIFÍCIO 101

Quando se aborda o edifício 101, recorda-se anteriormente as linhas de montagem final e manuais existentes neste, tais como salas limpas e fresas.

Relacionadas, algumas linhas dependem continuamente de outras, dando seguimento ao trabalho iniciado. Esclarecimento deste ponto deve-se, ao facto de o milk-run muitas vezes levar a produção para uma determinada linha, e posteriormente, com o auxílio do Poup, o produto já trabalhado é transportado para a linha complementar, suprimindo transporte intermédio de produto pelo milk-run. Ou seja, a quantidade de produção da linha final irá ser igual à produção que a linha complementar de montagem manual anterior têm. Dado o nosso foco ser a diminuição do número de milk-runs do edifício 101, trabalhando este com uma quantidade de milk-runs maior que os edifícios restantes do grupo, é crucial conhecer o terreno e perceber quais as linhas que necessitam dependentemente do milk-run e aquelas cujas dependências é somente da linha de montagem manual anterior.

Assim, o circuito do milk-run não é tão fatigante, a partir do momento em que ele somente abastece supermercados nos bordos de linhas, e onde muitas vezes, o mesmo está agrupado com várias linhas.



Figura 13 - Tipos de suportes existentes para transporte de placas.

### 3.1.3 MODELO DE DISTRIBUIÇÃO DESEJADO

De braço dado com o Bosch Production System, a melhoria continua nos processos da organização é primordial.

Com a evolução da multinacional surgiu a necessidade de se criar um modelo de distribuição de produto pelas linhas automatizado, tornando a logística interna ainda mais forte.

Derivado das inúmeras horas e dias na standarização e implementação de novos circuitos, o objetivo do nosso trabalho passa pela gênese de um método de roteamento, eliminado assim todos os pontos negativos deste item do BPS, tornando-o num método de lucro mais eficiente.

Para apoio, o trabalho passa pela criação de um sistema de apoio à decisão que objetiva a ajuda ao responsável pelos circuitos.

Na ferramenta posteriormente apresentada, esta deverá ser capaz de efetuar um roteamento totalmente habilitado e operativo, minimizando este, o número de milk-runs necessários à distribuição de produto às linhas.

Num raio de ação relativamente pequeno, referindo-nos a metros (m) de distância entre linhas a abastecer, não faz sentido falarmos em métodos aproximados. Neste caso, referimo-nos ao uso de um modelo matemático de programação linear inteira que obtém as soluções exatas.

No estudo feito, temos assim como constante uma frota homogénea, onde todos os veículos motorizados têm a mesma constituição e capacidade de transporte, remetendo-nos assim para um problema típico de roteamento de veículos (VRP).

Tendo em conta, que cada comboio logístico será ajustado para um determinado circuito, e este veículo fará, num dado período de tempo, sempre o mesmo trajeto, abastecendo de forma constante os supermercados, debruçar-nos-íamos sobre um TSP. No entanto, a formulação matemática usada para a resolução de um problema de roteamento VRP, é capaz de resolver problemas TSP, o que contrariamente, não se verifica.

Debruçados no problema, os clientes, neste caso, especificam os supermercados existentes que o milk-run terá que abastecer. Estes supermercados estão agrupados horizontalmente de forma a que o milk-run passe num só corredor e consiga abastecer os supermercados no bordo-de-linha, sem que tenha que fazer desvios e subpercurso no interior das células. Como o nosso edifício é constituído por dois pisos, tendo estes, em cada piso, um só corredor principal, o milk-run consegue efetuar a inversão de marcha no mesmo corredor, evitando desta forma percursos desnecessários ao circuito.

No total, existem assim de 21 supermercados que serão abastecidos conforme o circuito mais apropriado para cada milk-run.

Como a intenção do grupo Bosch é garantir uma produção contínua em todas as linhas de produção, sem qualquer tipo de paragem associada a falta de PCB's, o objetivo maioritário dos comboios logísticos é o carregamento das rampas das linhas, garantindo sempre um stock mínimo contínuo, nas mesmas. Perceível de imediato é, uma questão que fica em aberto no que toca à distribuição de material. Após o consumo do material nas células, o que acontece aos suportes de placas vazios deixadas nas rampas apropriadas a estas?

Como anteriormente citado, o milk-run têm que garantir um abastecimento aos supermercados das linhas, assegurando uma produção constante. Contudo, este não tem como preocupação secundária fazer o carregamento do material vazio, uma vez que existe uma pessoa específica para essa tarefa. Claro que, é fácil argumentar que no bom senso de cada colaborador, e sendo estes uma equipa de trabalho, sempre que houver trajeto em vazio, e nunca prejudicando o transporte de placas, o material de suporte vazio é recolhido, por isso não é considerada a recolha no modelo.

Concluindo, na ferramenta de apoio à decisão apresentada procuramos a solução exata para os panoramas estudados.

### 3.2 PARÂMETROS PARA A FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

Prevalecendo todos os passos descritos anteriormente, e para uma maior clareza do modelo matemático fazemos uma abordagem ao problema e ao modelo matemático. Descrevendo a nossa formulação matemática de uma forma integral, o problema pode ser apresentado como um grafo  $G = (S,A)$  onde  $S = \{1,2,3,...,21\}$  corresponde ao conjunto de supermercados a abastecer no edifício 101 e  $A = \{(i,j) \mid i,j \in S, i \neq j\}$  corresponde ao conjunto de arcos de ligação (percursos) entre os supermercados. Além destes, são ilustrados os seguintes conjuntos:  $V = \{1,2,3,4\}$  o conjunto de veículos definido por  $(k)$ ,  $C = \{1,2,3,...,9\}$  corresponde ao conjunto de combinações possíveis de carruagens que cada comboio logístico pode levar atrelado definido por  $(o)$ ,  $C_v = \{6,7,8,9\}$  corresponde ao conjunto de configurações de carruagens de caixas vidro, estando  $C_v \in C$ , e  $N = \{1,2,3,...,n\}$  corresponde ao conjunto de supermercados a abastecer incluindo o depósito inicial de recolha de material ( ponto  $\emptyset$  ) e depósito que marca o fim do circuito ( ponto  $n+1$  ). Quando falamos no suporte que auxilia o transporte de placas, falamos num conjunto distinguido por caixas polímero (b), containers (c) e caixas de vidro (g), sendo o domínio deste  $\mathbb{Z}_0^+$ .

Assim, sendo  $i \in S \cup \{0\}$ ,  $j \in S \cup \{n+1\}$ ,  $k \in V$ ,  $o \in C$ , em que os valores dos índices  $i$  e  $j$  terão necessariamente que ser sempre diferentes ( $i \neq j$ ), de forma a existir movimentação entre os supermercados. Quando abordamos as variáveis de decisão, de forma a auxiliar o nosso modelo matemático, estas podem ser apresentadas da seguinte forma:

$$x_{ij}^{ko} \begin{cases} 1, & \text{se houver fluxo no arco de origem } i \text{ e destino } j, \text{ utilizando o veículo } k, \text{ e configuração } o, \text{ sendo } i \neq j \\ 0, & \text{caso não haja fluxo do arco de origem } i \text{ e destino } j, \text{ utilizando o veículo } k, \text{ e configuração } o, \text{ sendo } i \neq j \end{cases}$$

$w_j^{ko}$  = Distância percorrida pelo veículo  $k$ , de configuração  $o$ , para chegar ao supermercado de índice  $j$ .

Para além das variáveis de decisão do modelo matemático, o modelo apresenta os seguintes parâmetros.

Tabela 9 - Parâmetros do modelo matemático

<b>Parâmetro</b>	<b>Descrição</b>
$t_{ij}$	Tempo de percurso do arco com origem no supermercado de índice $i$ e destino no supermercado de índice $j$ .
$h$	Nó seguinte. ( $h \neq 0$ e $h \neq n+1$ )
$cb^o$	Capacidade, de suporte de caixas polímero, que determinado veículo de configuração $o$ , possui.
$cc^o$	Capacidade, de suporte de containers, que determinado veículo configuração $o$ , possui.
$cg^o$	Capacidade, de suporte de caixas de vidros, que determinado o veículo configuração $o$ , possui.
$M$	Constante de alto valor que garante a veracidade de restrições.

Desta maneira, o modelo matemático passa pela redução do número de milk-runs a abastecer as células, otimizando os circuitos de percursos desnecessários. Assim, evidenciando inicialmente a função objetivo (F.O.), seguido das restrições a que o modelo está sujeito, apresentamos a seguinte formulação:

**(F.O.)**

$$\text{minimizar M. R.} = \sum_{k \in V} \sum_{o \in C} \sum_{j \in S} x_{0j}^{ko} \quad (3.1)$$

**Sujeito às seguintes restrições:**

$$\sum_{k \in V} \sum_{o \in C} \sum_{i \in S \cup \{0\}, i \neq j} x_{ij}^{ko} = 1, \quad \forall j \in S \quad (3.2)$$

$$\sum_{j \in S} \sum_{o \in C} x_{0j}^{ko} \leq 1, \quad \forall k \in V \quad (3.3)$$

$$\sum_{j \in S} x_{0j}^{ko} \cdot M \geq \sum_{i \in S \cup \{0\}, i \neq j} \sum_{j \in S \cup \{n+1\}, i \neq j} x_{ij}^{ko}, \quad \forall o \in C, \forall k \in V \quad (3.4)$$

$$\sum_{k \in V} \sum_{o \in C} \sum_{j \in S, i \neq j} x_{ij}^{ko} \leq 1, \quad \forall i \in S \cup \{0\} \quad (3.5)$$

$$\sum_{i \in S \cup \{0\}} x_{ij}^{ko} = \sum_{h \in S \cup \{n+1\}} x_{jh}^{ko} = 0, \quad \forall j \in S, \forall o \in C, \forall k \in V \quad (3.6)$$

$$\sum_{i \in S \cup \{0\}} \sum_{j \in S, i \neq j} x_{ij}^{ko} \cdot pc_j \leq cc^o, \quad \forall k \in V, \forall o \in C \quad (3.7)$$

$$\sum_{i \in S \cup \{0\}} \sum_{j \in S, i \neq j} x_{ij}^{ko} \cdot pb_j \leq cb^o, \quad \forall k \in V, \forall o \in C \quad (3.8)$$

$$\sum_{i \in S \cup \{0\}} \sum_{j \in S, i \neq j} x_{ij}^{ko} \cdot pg_j \leq cg^o, \quad \forall k \in V, \forall o \in C \quad (3.9)$$

$$\sum_{i \in S \cup \{0\}, i \neq j} \sum_{j \in S \cup \{n+1\}, i \neq j} x_{ij}^{ko} \cdot t_{ij} \leq 1800, \quad \forall j \in S, \forall o \in C, \forall k \in V \quad (3.10)$$

$$(w_i^{ko} + t_{ij}) - M(1 - x_{ij}^{ko}) \leq w_j^{ko}, \quad \forall i \in S \cup \{0\}, \forall j \in S \cup \{n+1\}, \forall k \in V, \forall o \in C \quad (3.11)$$

$$x_{ij}^{ko} \in \{0,1\}, \quad \forall i \in S \cup \{0\}, \forall j \in S \cup \{n+1\}, \forall k \in V, \forall o \in C, \quad i \neq j \quad (3.12)$$

$$w_i^{ko} \geq 0, \quad \forall i \in S \cup \{0, n+1\}, \forall k \in V, \forall o \in C \quad (3.13)$$

Este modelo matemático assegura através da função objetivo (3.1), que o número de milk-runs a circular será minimizado.

A primeira restrição (3.2), assegura que todos os clientes, denominados de supermercados, presentes no modelo, deverão ser fornecidos exatamente uma vez em cada ciclo, por somente um veículo utilizado e apenas uma configuração. A segunda restrição, nomeadamente a equação (3.3), garante que todos os comboios logísticos saem apenas uma vez do supermercado inicial (ponto 0), por ciclo.

A restrição (3.4), garante que cada vez que um veículo tenha que abastecer pelo menos um supermercado, o mesmo tem que sair do depósito inicial, ou seja, do supermercado abastecedor (ponto 0 e ponto n+1).

A quarta restrição, equação (3.5), assume que apenas um veículo usa uma configuração com capacidade de caixas de vidros, isto é, garante que somente existe uma configuração de carruagens de caixas de vidros a ser utilizada.

A restrição de conservação de fluxo é assegurada pela equação (3.6), uma vez que esta assegura a continuidade do fluxo de um veículo, garantindo que quando um dado veículo com uma determinada configuração chega a um dado supermercado de índice  $j$ , este tem que continuamente seguir noutra direção para outro supermercado ( $h$ ).

As restrições (3.7), (3.8) e (3.9), são referentes às capacidades do veículo. Estas garantem que o somatório das quantidades de produto a entregar pelo veículo de índice  $k$  e configuração  $o$ , deverão ser inferiores, e no máximo iguais, à capacidade do veículo, inferindo que a capacidade do veículo nunca é violada. Como no nosso caso e novamente, os milk-runs a utilizar podem levar três tipos de suporte diferentes de placas, nomeadamente caixas polímero, containers e caixas de vidro, estas estão divididas nas três restrições citadas acima, tratando a primeira do suporte de containers, a segunda restrição de caixas polímero e por último referimo-nos às caixas de vidro.

A restrição (3.10) assume que o tempo de ciclo, de um dado veículo, com índice  $k$  e configuração  $o$ , tem uma limitação de tempo a cumprir a partir do momento que o mesmo sai do depósito inicial (local de abastecimento – ponto 0) até ao fim do percurso, com término no mesmo depósito (ponto  $n+1$ ), garantindo assim a equação, que o tempo de ciclo do circuito é menor, ou no mínimo igual, a 1800 segundos.

A restrição definida como MTZ, é implícita na equação (3.11), sendo que esta tem como intuito evitar a existência e criação de subpercursos, permitindo que haja uma ligação entre todos os supermercados envolvidos na rota. Esta restrição é usualmente utilizada para problemas que tenham janelas de entrega, utilizando o tempo de deslocação e serviço, sendo que no nosso caso existe um limite de tempo de ciclo nas rotas.

A penúltima restrição (3.12), assume que o valor da variável de decisão  $x_{ij}^{ko}$  que concede o fluxo aos arcos seja de valor binário, nomeadamente zero e um, definindo assim o domínio da variável.

Finalmente, a última restrição (3.13), garante os intantes em que um comboio logístico atinge o nó  $i$  calculados, são superiores, e no mínimo iguais, a zero.

### 3.3 IMPLEMENTAÇÃO E RESULTADOS

Empreendedora e dinâmica, o foco da empresa passa pela criação de uma ferramenta de roteamento que diminuía todo o trabalho manual e muitas vezes arbitrário na criação dos circuitos milk-run, permitindo ao responsável pela distribuição de produto, a realização de um trabalho mais eficiente, menos demorado e assertivo.

De maneira a reprovar algumas falhas existentes nos circuitos atuais da empresa, tais como: milk-runs em excesso para a quantidade de produto a ser entregue, tarefas mal distribuídas para os comboios logísticos, tempos de ciclo não cumpridos, subpercurso, ..., a ferramenta criada deverá ser capaz de: ser manuseada continuamente e de forma diária; deverá ser celebrada com o intuito de poder substituir o número de veículos em circulação e ainda liberar para o acrescento/eliminação de supermercados a abastecer; deverá ter associado os diferentes tipos de suportes de placas, que por casualidade poderão sofrer alterações, desempenhando desta forma o roteamento para as entregas de produto.

De modo a facultar uma ferramenta perceptível e rápida ao responsável pela elaboração das rotas, e sendo o software mais utilizado na empresa, foram criadas na plataforma *Microsoft Excel*, bases de dados com os parâmetros a utilizar no modelo matemático, sendo estas as bases do algoritmo. Com o auxílio ainda do software *IBM ILOG CPLEX Optimization Studio 12.8.0.0*, o processo foi completado pois o software corre de forma mais rápida o modelo.

Lado a lado, e como citado acima, para que a ferramenta de apoio à decisão criada fosse executável, foi necessário a criação de bases de dados no que toca a tempos entre supermercados a abastecer; combinações possíveis das diferentes carruagens existentes na empresa para atrelar ao comboio logístico e ainda os suportes diferentes para o transporte de placas. Estas bases de dados, imprescindíveis na ferramenta de apoio à decisão, serão detalhadas no decurso do subcapítulo.

### 3.3.1 BASE DE DADOS DE VEÍCULOS

Empregue com o intuito de ser usada para informação das características dos veículos que a empresa utiliza, com o objetivo de estes entrarem no modelo de roteamento, foi necessário definir as limitações que cada comboio logístico poderia estar sujeito. Como citado no subcapítulo anterior, existe um conjunto possível de combinações para as carruagens que cada comboio logístico, pode ter atrelado. Com capacidades diferentes, há nove configurações possíveis para a constituição do mesmo. Possibilidades estas, são ocorrentes pela restrição exigida pelo grupo Bosch, de somente ter quatro carruagens atreladas à mota. Num outro ponto, é necessário ainda saber, que tipo de suporte de placas é constituído o comboio logístico. Diferenciados por três modelos, nomeadamente caixas polímero, containers e caixas de vidro, esta diferença no modelo de placas deve-se ao facto da produção de placas não ter a mesma dimensão para todo o tipo de clientes que a entidade serve. Apesar dos veículos motorizados, terem atrelado exatamente as mesmas quantidades de carruagens e não havendo mais nenhum modelo existente em circulação no parque, há a necessidade de criar uma base de dados que evidencie as diferentes quantidades de unidades de material que o veículo pode transportar. Através da tabela 10, temos a perceção que no pior dos casos possíveis, o comboio logístico transporta 40 unidades de suportes, já no melhor dos casos apresentados, há um possível transporte de 80 unidades, num conjunto de 9 composições. Caso o grupo Bosch assente ser necessário fazer uma mudança a nível das carruagens ou suportes de auxílio de placas unicamente é necessário integrar os dados do novo modelo, tanto da carruagem (quantidade que transporta), caso haja mudança, quer da estrutura que condiciona os pcb's, corretamente na tabela da base de dados associada. Hipótese ainda é, a extinção de um dado tipo de carruagens ou suportes. Se essa redução acontecer, deve ser efetuada a devida eliminação da base de dados do pressuposto. Ainda em consideração, na base de dados criada, há a possibilidade da configuração do veículo, ser composta apenas por um dado tipo de carruagens.

Tabela 10 - Combinações da quantidade possível transportada no comboio logístico (unidades).

<b>Milk-runs</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
<b>C. Containers</b>	20	30	10	0	40	10	20	30	0
<b>C. Caixas</b>	40	20	60	80	0	40	20	0	60
<b>C. Vidros</b>	0	0	0	0	0	16	16	16	16
<b>TOTAL UNIDADES</b>	60	50	50	<b>80</b>	<b>40</b>	66	56	46	56

### 3.3.2 BASE DE DADOS DE TEMPOS

De igual modo, para dar continuidade a ser possível o modelo de apoio à decisão, é necessário ter em conta os tempos de percurso que o milk-run terá para deslocação dentro do parque. Com o propósito de diminuir percursos e subpercursos, muitas das vezes feitos sem qualquer necessidade aquando da visita do comboio logístico ao supermercado, é imprescindível esta base de dados à nossa ferramenta de roteamento.

Sendo os clientes do modelo matemático, os supermercados, é fundamental referir que cada supermercado é abastecedor de várias linhas do parque, tendo no mesmo, várias rampas distintas. Focada a multinacional num processo de produção em crescimento, e estando continuamente a fazer aumentos de edifícios e linhas de produção associado a estas, novos supermercados, é crucial ter em consideração o modo como a ferramenta irá trabalhar. Com o propósito de uma utilização entendível, e sem ser necessário ao responsável pela aplicação da ferramenta de roteamento, a alteração constante de especificações de tempos e a necessidade de elaborar cálculos para as mesmas, temos como ponto fixo, o supermercado abastecedor de material (ponto 0).

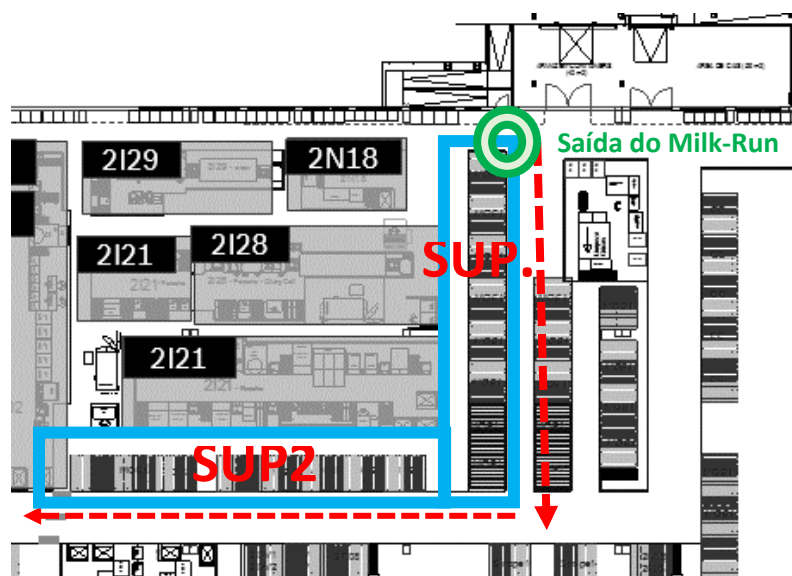


Figura 14 – Supermercados abastecedores das linhas de produção do edifício 101.

Sendo o supermercado principal, abastecedor do parque de produção, abrangente de alguns metros, o milk-run coloca-se na melhor posição para o carregamento dos suportes de placas, designados por Sup. e Sup2. Como a distância percorrida pelo milk-run, é independente da zona de carregamento, todos os comboios logísticos passam pela zona completa abastecedora do parque, sendo assumida a mesma distância percorrida para todos e desta forma, o mesmo tempo despendido para o seu trajeto.

Considerando uma heurística dinâmica é necessário salientar que cada quantidade de material que o milk-run abastece no supermercado definido, é consumido na linha momentos após este ser transportado pelo Poup para dentro da célula. Após a sua recolha, o supermercado referente fica novamente livre para o próximo abastecimento sendo este contínuo e feito pelo milk-run, de trinta em trinta minutos.

Outras situações a ter em conta, dentro do parque de produção, é a distância que o milk-run percorre em trajeto obrigatório, para a mudança de piso. Integral desta necessidade, o elevador é auxiliador ao percurso da rota que alberga as diferentes áreas, acrescentando tempo ao circuito. Foram associados assim 12 segundos de tempo de paragem e ainda contemplado nesta base de dados, e com a devida importância, é o tempo de arranque da mota. Tendo a mesma, a inevitabilidade de paragem de supermercado para supermercado a abastecer, é necessário contabilizar também o tempo gasto com esta necessidade. Foi considerado assim, um tempo de arranque para a mota de 7,8 segundos.

Sendo a sua velocidade 1,167 m/s, foi preciso e vantajoso ter uma base de dados em segundos percorridos, de forma a não obrigar ao utilizador da ferramenta a realizar o cálculo e posterior conversão de dados. No futuro, caso haja a necessidade de eliminação de algum supermercado, ou inserção de alguma linha/novo supermercado, aos circuitos, apenas se terá de alterar na base de dados. Desta forma, a base de dados consiste nos tempos de percurso entre os supermercados a abastecer das diferentes manuais, incluindo o tempo de arranque da mota.

### 3.3.3 BASE DE DADOS DE PRODUÇÃO

Pilar fundamental à ferramenta de roteamento, é a base de dados com as necessidades dos supermercados, ou seja, a sua procura. Celebrado o estudo dos dados, nas semanas 27 e 28 de julho, de segunda-feira a sexta-feira, e retirados também dados no dia 08 de agosto, tendo em conta o 1º e 2º turno, foi elaborado o estudo considerando 49 linhas de produção, 4 milk-runs a abastecer e os 21 supermercados abastecedores das mesmas. Sendo o período de estágio decorrente com estes dois turnos a laborar, foi notório o modo de trabalho do dia-a-dia. Trabalhando os dois de igual forma, foi esclarecedor de imediato, que os supermercados a abastecer seriam os mesmos para os dois turnos, incluindo a mesma quantidade de produção. Contudo, a empresa labora com 4 turnos (1º, 2º, 4º e 5º), sendo que a quantidade de linhas a trabalhar, os supermercados a abastecer e as necessidades de cada supermercado, diferem no resto dos turnos. De citar ainda, que durante a recolha de dados, algumas das linhas de montagem manual, não se encontravam a trabalhar, não sendo necessário o abastecimento do supermercado da mesma, e ainda, a quantidade necessária a cada linha não era a procura da linha em produção a 100%, devido a uma fase baixa de produção. Derivado de uma produção contínua de produto final, e não mudando o fabrico do mesmo diariamente, o funcionamento do planeamento das linhas de montagem manual é feito

com meses de antecedência. Este é proporcional de dia para dia, não mudando o plano de produção durante meses, influenciando assim uma não mudança diária dos circuitos milk-run. De forma a comprovar o descrito, foram retirados dados da procura em Agosto, o que demonstrou, que as diferenças não eram substâncias para mudanças futuras no modelo pois não influenciaria no roteamento.

Distinguidos anteriormente os vários suportes existentes na multinacional, para a distribuição de placas pelos supermercados, e identificados em que tipo de suporte as placas eram alocadas nas rampas à manual referente, foi necessário saber a procura em cada, verificada na tabela 11.

Um outro parâmetro a ter em conta neste ponto, é o fato do comboio logístico levar todo o produto, do supermercado abastecedor principal, para fornecer os supermercados a ele impostos. Ou seja, daqui sabe-se, que maioritariamente o distribuidor deixa o material no supermercado a ele alusivo, e não recolhe material para deixar num supermercado seguinte. Porém, existem supermercados esporádicos, em que isso acontece, devido à continuidade necessária de processo, de uma célula para outra, e desta forma, há necessidade de abastecimento de um supermercado para outro. No entanto, não é efetivamente um acontecimento comum em todas as linhas de montagem final.

Tabela 11 –Base de dados da procura em unidades, necessárias nos supermercados, em cada período de ciclo do milk-run (dados das semanas 27 e 28 de julho de 2018).

<b>SUPERMERCADO</b>	<b>PROCURA CAIXAS POLÍMERO</b>	<b>PROCURA CONTAINERS</b>	<b>PROCURA CAIXAS VIDRO</b>
<b>1A</b>	0	6	0
<b>1B</b>	0	0	9
<b>1C</b>	2	0	0
<b>1D</b>	1	0	0
<b>1E</b>	1	0	0
<b>1F</b>	5	0	0
<b>1G</b>	1	0	0
<b>1H</b>	1	0	0
<b>2I</b>	0	0	7
<b>2J</b>	4	0	0
<b>2K</b>	7	0	0
<b>2L</b>	2	0	0
<b>2M</b>	3	0	0
<b>2N</b>	2	0	0
<b>2O</b>	4	0	0
<b>2P</b>	0	2	0
<b>2Q</b>	0	4	0
<b>2R</b>	4	0	0
<b>2S</b>	0	2	0
<b>2U</b>	5	0	0

Quando se observa a base de dados da procura, sabe-se que a mesma é equiparável a duas semanas. Repensando nos dados retirados da quantidade de produção do dia oito de Agosto, imediatamente se entende que a base de dados da procura de agosto, não iria trazer mudança no roteamento, uma vez que o plano de produção é equiparável a Julho, diferindo somente em mais ou menos uma unidade por ciclo do que a base de dados do mês anterior. Tendo o milk-run, um tempo de ciclo de trinta minutos, e utilizada a procura nos supermercados, a base de dados antecedente, demonstra as quantidades consumidas nos mesmos perante estas condições. Desta forma, sustenta assim o modelo matemático, que com as restrições impostas no desenvolver da ferramenta através de programação, nomeadamente o facto de serem veículos homogéneos, terem um tempo de ciclo associado, só existir uma carruagem de vidros, terem restrições na combinação de carruagens, entre outras, irão suportar a ferramenta criada.

### *3.3.3.1 MODELO DOS TURNOS*

Dedicada a uma produção contínua, a empresa teve a necessidade de criar turnos para responder a todos os pedidos do mercado. Decorrendo o período de estágio, nos turnos de horário fixo (1º e 2º), e havendo a impossibilidade de conhecimento pessoal na forma de trabalho dos restantes (horário noturno e fins de semana), foi dedicado algum tempo para o estudo do modo de trabalho destes.

Assim sendo, o 4º turno labora de segunda-feira a quinta-feira das 23H00 às 06H00, e sábado e domingo das 06H00 às 17H00. O 5º turno, labora de quinta-feira a sábado das 23H00 às 06h00, e sábado e domingo das 19H30 às 06H00. Decorrente disto, é legítimo uma diminuição da quantidade de colaboradores na empresa.

Dado a existência de menos linhas a produzir, é inevitável dizer que o número de comboios logísticos a dar suporte ao abastecimento dos supermercados, é também inferior. Desta forma, sabe-se que as rotas existentes nestes horários serão diferentes dos turnos fixos.

### 3.3.4 RESULTADOS DO MODELO MATEMÁTICO - MINIMIZAR VEÍCULOS

O modelo matemático descrito, tem como objetivo a minimização dos comboios logísticos a circular no parque de produção, dando resposta a todos os pedidos de abastecimento. Com as restrições descritas no subcapítulo (3.2), e com as bases de dados criadas como ferramenta de apoio, utilizando como suporte de cálculo, a programação no software de otimização *IBM CPLEX 12.8.0.0*, foram retiradas algumas conclusões.

Quando o modelo corre, verifica-se rapidamente que é feito um cálculo instantâneo para definir as rotas milk-run. Ou seja, num curto espaço de tempo, são geradas as rotas, que minimizam a circulação de veículos.

Resultado é, quando se observa, que segundo o modelo matemático, na solução gerada, são apenas necessários dois veículos para dar resposta aos vinte e um supermercados. Como efeito, seria de desejar, que estas rotas fossem fáceis de laborar, resultando num trajeto entendível. Passamos a demonstrar os resultados obtidos:

Trajeto para o **milk-run 1** com a variante 6:

SUPERMERCADO - 1E - 2N - 2M - 1D - 2S - 2K - 2O - 2I - 2P - 2J - 1G - 1C - 1F - 1B - 1A - 1H - 2U - 2L – FINAL

O tempo de ciclo será de: 1799.52 segundos (30 minutos).

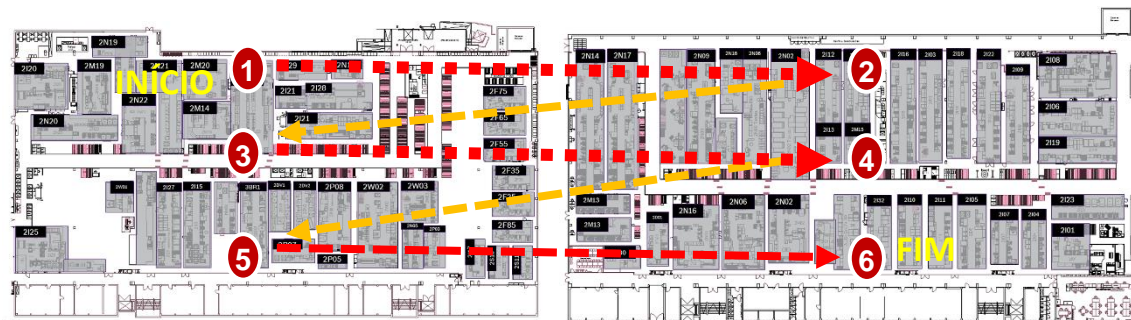


Figura 15 – Ilustração da rota do milk-run 1, segundo o modelo representativo da minimização de veículos, com variante 6.

Trajeto para o **milk-run 2** com a variante 2:

SUPERMERCADO - 2R - 2Q - FINAL

O tempo de ciclo será de: 399.49 segundos (6,6 minutos).



Figura 16 - Ilustração da rota do milk-run 2, segundo o modelo representativo da minimização de veículos, com variante 2.

Observando os resultados, é notório que as rotas geradas, apesar de satisfazer o proposto do modelo matemático, minimizando o conjunto de comboios logísticos em circulação no parque, comparativamente ao real, cumprindo o tempo de ciclo pretendido, dando saída a todas as necessidades dos supermercados, e respeitando todas as restrições, não são eficazes. Começando por explicar o trajeto do milk-run 1, constata-se que há uma mudança de piso constante para que o abastecimento dos supermercados seja feito. Ou seja, para todos os supermercados serem abastecidos, o milk-run teria que mudar de piso seis vezes, não sendo deste modo, uma rota equilibrada e otimizada. No entanto, mesmo não sendo a rota ideal, conseguiria ser cumprida no tempo de ciclo pretendido. O milk-run 2, com um tempo de ciclo inferior e abastecendo somente dois supermercados, cumpre as restrições impostas de igual forma, no entanto não satisfaz o ideal.

Desta forma, é certo que na realidade dos factos, é impraticável haver um milk-run a trabalhar de forma constante, com um tempo de ciclo “apertado” à restrição imposta de tempo de ciclo, mudando alternativamente de piso, e com o objetivo de dar resposta contínua aos supermercados, e outro, com um tempo de ciclo descontraído, tendo a ele somente associado, o abastecimento de dois supermercados. Além disso, dado o tempo de ciclo do milk-run 1 ser 1799.52 segundos (30 minutos), caso haja algum obstáculo no circuito, o mesmo deixa de cumprir o pressuposto e excede o tempo de ciclo. Assim sendo, não estando as rotas legitimamente repartidas, tanto em trabalho imposto ao milk-run, como em tempo de ciclo integrante, percebe-se que este modelo não seria a melhor solução. Desta forma, foi inevitável abordar uma nova vertente, de maneira a que esta conseguisse conjugar o roteamento de veículos, de forma a minimizar o tempo de ciclo, garantindo assim a minimização do número de veículos.

### 3.3.5 RESULTADOS DO MODELO MATEMÁTICO – ROTEAMENTO DE VEÍCULOS DE FORMA A MINIMIZAR O TEMPO DE CICLO, GARANTINDO A MINIMIZAÇÃO DO NÚMERO DE VEÍCULOS

De forma a conseguir ter uma solução ideal, contrariamente à anterior, foi necessário, conjugar o roteamento de veículos com a minimização do tempo de ciclo, garantindo sempre, a otimização do número de veículos.

Modificando a estratégia, seria vantajoso ter como foco no modelo matemático, a minimização do tempo de ciclo dos veículos. Contudo, se somente fosse essa a base, haveria sim uma melhoria nas rotas, no entanto, poderia haver um aumento no número de milk-runs a circular. Repensando os ideais, conclui-se que, se o foco espelhar a minimização do tempo de ciclo e o número de milk-runs a circular no parque, pode-se não atingir o ótimo de cada uma das partes, mas idealizamos o ótimo dos dois “mundos” (minimizar TMR- tempo de ciclo e número de milk-runs).

Desta forma, para que isto aconteça, é necessário haver uma penalização matemática, ligada ao uso de cada veículo. Isto porque, associada a esta penalização um custo fictício, a mesma fará com que o número de veículos seja sempre minimizado, para que o custo final, seja o menor possível.

Por outras palavras, estando um custo figurativo associado ao número de milk-runs em circulação, o modelo matemático fará com que haja uma viciação, o que irá originar circulação com menos veículos, mas com um melhor roteamento.

Mudada então a função objetivo do modelo matemático, esta representa-se por:

$$\text{minimizar TMR} = \sum_{i \in S \cup \{0\}, i \neq j} \sum_{j \in S \cup \{n+1\}, i \neq j} \sum_{k \in V} \sum_{o \in C} x_{ij}^{ko} \cdot t_{ij} + M \cdot \sum_{j \in S} \sum_{k \in V} \sum_{o \in C} x_{0j}^{ko}$$

Mudada a função objetivo, e continuando as restrições impostas no modelo anterior, iguais para este, foi estabelecido o custo de 1500 para a penalização associada à utilização de cada veículo.

Desta forma, considerado o planeamento da produção equiparável nos dois meses obtivemos, uma solução otimista, utilizando somente 2 dos 4 veículos existentes em circulação no parque de produção.

Este resultado revela ainda uma melhoria face ao sistema real, uma vez que, no decurso dos meses de Julho e Agosto foi eliminado um milk-run devido a uma má fase de produção, ou seja, somente 3 milk-runs abasteciam os supermercados do parque.

Com esta ferramenta, a melhoria é mais precisa, minimizando ainda em um o número de comboios logísticos necessários ao abastecimento.

Tabela 12 - Dados praticados para a utilização de comboios logísticos através da ferramenta de apoio à decisão

SUPERMERCADO	MILK-RUN 1	MILK-RUN 2
1A	Não	Sim
1B	SIM	Não
1C	SIM	Não
1D	SIM	Não
1E	SIM	Não
1F	SIM	Não
1G	Não	SIM
1H	Não	SIM
2I	SIM	Não
2J	SIM	Não
2K	SIM	Não
2L	SIM	Não
2M	SIM	Não
2N	SIM	Não
2O	SIM	Não
2P	SIM	Não
2Q	SIM	Não
2R	SIM	Não
2S	SIM	Não
2U	SIM	Não

Verificada a tabela 12, é distinta a utilização dos dois milk-runs. Dados estes resultados são demonstrados os resultados obtidos para cada milk-run:

Trajetos para o **milk-run 1** com a variante 6:

SUPERMERCADO - 1F - 1E - 1C - 1B - 1D - 2I - 2U - 2J - 2M - 2S - 2R - 2Q - 2P - 2O - 2N - 2L - 2K – FINAL

O tempo de ciclo será de: 851 segundos.

É perceptível de imediato, que o roteamento do milk-run 1, é feito pela distribuição inicial de material no piso superior, seguido do abastecimento do piso inferior. Com a configuração de carruagens 6, verificado na tabela 10, o milk-run abastece 66 unidades de suportes de placas. Como na empresa somente há uma carruagem para transporte de caixas de vidros, apenas um milk-run consegue fazer o abastecimento dos supermercados que dele necessitam. Desta forma associada a carruagem a este comboio logístico o milk-run abastece um maior número de supermercados derivado desta premissa. Na figura 17 é ilustrado o circuito desde a saída do depósito inicial (ponto 0), até à sua chegada indicando os pontos de paragem efetuados durante o percurso.

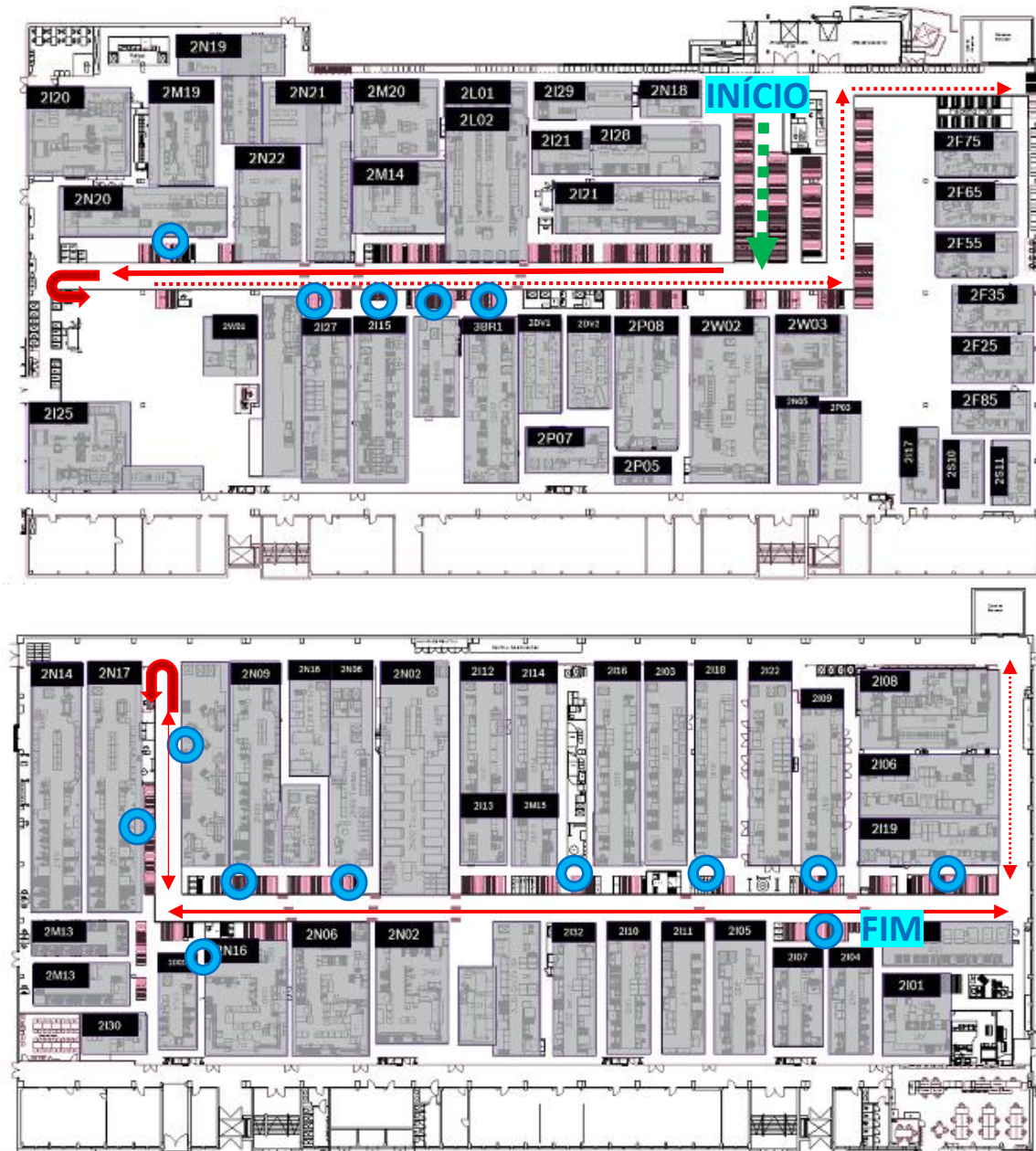


Figura 17 - Ilustração da rota do milk-run 1, segundo o novo modelo, com variante 6.

O roteamento do milk-run 2, é feito pela distribuição de material no piso superior após a saída do supermercado principal. Com a configuração de carruagens 3, verificado na tabela 10, este transporta somente caixas polímero e containers, devido à já utilização no milk-run 1 da carruagem que transporta as caixas de vidros. Desta forma, este comboio logístico abastece um número menor de supermercados transportando 50 unidades por ciclo. Segundo o software de programação, o resultado obtido



# CONCLUSÕES

**4.1 CONCLUSÃO**

**4.2 CONTINUAÇÃO DE PROPOSTA DE TRABALHO FUTURO**

**4.3 TRABALHOS DESENVOLVIDOS NO DECURSO DO ESTÁGIO**



## 4 CONCLUSÕES

### 4.1 CONCLUSÃO

Durante a realização desta dissertação, foi desenvolvida uma ferramenta de apoio à decisão, suportada por um modelo matemático criado, com o intuito de otimizar todo o processo de distribuição de placas na produção. Desta forma, salientamos os principais impactos, as dificuldades encontradas e expomos ideais futuros.

Incidindo o modelo num conjunto de quatro veículos, o método desenvolvido tinha como intuito minimizar o número de comboios logísticos a circular no parque de produção. Retirados os dados nos meses Julho e Agosto de 2018 e não estando a produção a 100% estes refletem uma fase de produção mais baixa. Derivado disto, foi reduzido no sistema real da Bosch neste período, em um veículo (3 milk-runs), a circular na produção.

Suportada a ferramenta por bases de dados e usada a programação, o método desenvolvido foi capaz de apresentar melhorias na quantidade de milk-runs a circular, face ao real praticado. No entanto, apesar de este resultado ser satisfatório, o roteamento dos mesmos não era o esperado, resultando em rotas não otimizadas. De forma a sobrevalorizar a ferramenta, foi modificada a função objetivo do modelo matemático. Decidido então, conjugar o roteamento de veículos com a minimização do tempo de ciclo garantindo, a minimização de comboios logísticos a circular, foram obtidos resultados mais otimistas. Imposta uma penalização ao uso dos comboios logísticos, obtivemos uma redução de quatro para dois milk-runs, reduzindo em mais um veículo face ao real implementando durante o período de baixa produção, demonstrando assim melhorias face à estrutura de abastecimento existente na empresa.

Este resultado otimizado, reduzindo em 85,4% em tempo de ciclo de entregas e 50% no conjunto de veículos existentes, demonstrando a possibilidade de diminuição nos custos da empresa nomeadamente no número de colaboradores contratados, custos em manutenção e compra de veículos, surgindo a possibilidade de aplicação no sistema real. Com as melhorias obtidas pela ferramenta de apoio à decisão, demonstra-se assim a possibilidade de redução de paragens de linhas de produção, diminuição no excesso de veículos em circulação no parque, redução nos tempos de ciclo, trazendo desta forma lucratividade à empresa.

No decurso da realização desta dissertação foram sentidas algumas dificuldades decorrentes do VRP ser uma área da investigação operacional elaborada, requerendo um conhecimento específico para a elaboração e implementação de toda a metodologia.

## 4.2 CONTINUAÇÃO DE PROPOSTA DE TRABALHO FUTURO

Como continuidade ao trabalho iniciado e em vista a um trabalho futuro, seria vantajoso para a multinacional a aplicação do modelo, nos turnos de laboração contínua e aplicabilidade no resto dos períodos do ano. Inserindo na ferramenta de apoio à decisão criada valores de novas premissas, tendo em conta pausas dos colaboradores, planeamento de produção esperada, perdas de tempo na troca de turnos, seria possível verificar se o modelo otimizaria sempre o número de milk-runs existentes, e perceber se algumas das restrições impostas no roteamento verificam a melhor solução para a empresa. Desta forma, a ferramenta de apoio à decisão criada passaria a ser utilizada como instrumento diário na empresa.

Com este feito, seria possível a verificação constante de quais as linhas que se encontravam a laborar e quantos milk-runs seriam necessários ao abastecimento dos supermercados.

## 4.3 TRABALHOS DESENVOLVIDOS NO DECURSO DO ESTÁGIO

Durante o período de estágio foram várias as tarefas secundárias a esta dissertação. Inserida num meio de trabalho, anteriormente desconhecido, foi promissor e enriquecedor tanto a nível pessoal como profissional. Entrando no mundo da produção, foram laboradas atividades desde: atualização e criação de standards; cronometragem dos tempos de ciclo de cada circuito; elaboração de sistemáticas em sectores da produção; ajuda secundária em elaboração de fmeas; elaboração de OPL – para o manuseamento de máquinas; verificações de processos já existentes na empresa; estudos de alternativa de descarga de material de produção do camião externo, em período de obras; resolução de adversidades no que toca a serviço externo; formações,...etc.

# BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

NENHUMA ENTRADA DE SUMÁRIO FOI ENCONTRADA.



## 5 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

Balas, E., Toth, P., (1983). "*Branch and Bound Methods for The Travelling Salesman Problem*". Management Science Research Report No. MSRR 488.

Bellmore, M. & Nemhauser, G. L., (1968). "*The Traveling Salesman Problem: a Survey*". Operations Research, Vol. 16(3), 538-558.

Bianchi, L.,(2000). "*Notes on Dynamic Vehicle Routing - The State of Art*". Technical Report, IDSIA-05-01, IDSIA, Switzerland.

Blazewics, J. Ecker, K.H., Pesch, E., Schmidt, G. and Weglarz, J., (1996). "*Scheduling Computer and Manufacturing Process*". 2th Edition, Springer- Verlag.

Botin, M., (2006). "*Anomalies in Distributed Branch-and-Cut Solving of the Capacitated Vehicle Routing Problem*". 28th International Conference on Information Technology Interfaces, 677–682.

Bochtis, D.D., Sorensen, C.G., (2009). "*The Vehicle Routing Problem in Field Logistics Part I*". Elsevier Ltd., Biosystems Engineering 104, 447-457.

Bosch, (2004). "*Bosch Production System Element Description*".

Bosch, Manual do BPS.

Carvalho, M. M.,Rabechini JR. R., (2006). "*Contruindo Competências para Gerenciar Projetos*", São Paulo: Editora Atlas.

Casquilho, M.A.S., (2012). "*Travelling Salesman Problem*". Technical University of Lisbon, Lisbon, Portugal.

Chatterjee, S., Carrera, C., Lynch, L. A. (1996)., "*Genetic Algorithms and Travelling Salesman Problems*". European Journal of Operations Research 93, 490-510.

Choi, W., Lee, Y., (2002). "*A Dynamic Part-Feeding System for an Automotive Assembly Line*". Computers & Industrial Engineering 43, Elsevier Science Ltd., Vol.43, no 1-2, pp. 123-134.

Christofides, N., (1976). "*The Vehicle Routing Problem*". Recherche Opérationnelle, 10(2), 55-70.

Christofides, N., Beasley, J., (1984). "*Multiperiod Routing Problems*", Networks, Vol. 14, pp. 237-256.

Christofides, N., Mingozzi, A., & Toth, P., (1981). "Exact Algorithms for the Vehicle Routing Problem based on Spanning Tree and Shortest Path Relaxation". *Mathematical Programming*. 20(1), 255-282.

Clarke, G., e Wright, J., (1964). "Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points". *Operations Research* 12, 568-581.

Clausen, J., (1999). "Branch and Bound Algorithms – Principles and Examples". Department of Computer Science, University of Copenhagen.

Coimbra, E. A., (2013). "Kaizen in Logistics and Supply Chains". New York: Mc Graw Hill Education.

Cordeau, J.F., Deel'Amico, M., Iori, M., (2010). "Branch-and-Cut for the Pickup and Delivery Traveling Salesman Problem with FIFO Loading". *Computers & Operations Research*, 37 (5), pp. 970-980.

Cordeau, J.F., Gendreau, M., Laporte, G., Potvin, J.-Y., & Semet, F., (2002). "A Guide to Vehicle Routing Heuristics". *The Journal of the Operational Research Society*, 53(5), 512-522.

Cordeau, J.F., Laporte, G. e Mercier, A., (2001). "A Unified Tabu Search Heuristic for Vehicle Routing Problems with Time Windows". *Journal of the Operational Research Society* 52, 928-936.

Dantzig, G. B., Fulkerson, D.R., e Johnson, S.M., (1954). "Solution of a Large-scale Travelling Salesman Problem". *Operations Research* 2, 393-410.

Dantzig, G. e Ramser, R., (1959). "The Truck Dispatching Problem". *Management Science* 6, pp 80-91.

Desrochers, M., Lenstra, J.K., and Savelsbergh, M.V.P., (1990). "A Classification scheme for the vehicle routing and scheduling problems". *European Journal of Operational Research* 46, 322-332.

Eksioglu, B., Vural, A. V., & Reisman A., (2009). "The Vehicle Routing Problem: A Taxonomic Review". *Computers & Industrial Engineering* 57 (4), 1472–1483.

Fávero, L.P.L., Belfiore, P.P., (2006). "Problema de Roteirização de Veículos com Entregas Fracionadas: Revisão da Literatura". XIII SIMPEP – Bauru, SP, Brasil.

Fathi M., Alvarez M.J., Mehraban F.H., and Rodriguez V., (2014). "A Multiobjective Optimization Algorithm to Solve the Part Feeding Problem in Mixed-Model Assembly Lines". Hindawi Publishing Corporation – *Math Probl in Eng: Academic Editor*. 1-12.

Fathi, M., Rodriguez, V., Fontes, D.B.M.M., Alvarez, M.J., (2016). "A Modified Particle Swarm Optimisation Algorithm to Solve the Part Feeding Problem at Assembly Lines". *International Journal of Production Research*, Vol.54 (3), 878-893

Figueiredo, F., (2007). "Planeamento de Rotas de Veículos com Entregas Fracionadas".

Dissertação de Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa, Instituto Superior Técnico.

Filipe, A., Guerreiro, M., Prof, V., Ferreira, P., Barbosa, D., Carlos, P., ... Figueiredo, M., (2009). "Construção de uma Metaheurística de Optimização de Rotas de Veículos". Diss. Tese de Mestrado. Instituto Superior Técnico. Universidade Técnica de Lisboa.

Galvão, R. D., Barros Neto, J.F., Ferreira Filho, V.J.M., e Henriques, H.B.S., (1997). "Roteamento de Veículos com Base em Sistemas de Informação Geográfica". *Gestão e Produção* 4, 159-173.

Garey, M.R., Johnson, D.S. and Graham, R.I., (1976). "Some NP-Complete Geometric Problems", *Proc.8th. ACM Symp. Theory Comput.* 10-29.

Gendreau, M., Laporte, G., & Seguin, R., (1996). "Stochastic Vehicle Routing". *European Journal of Operational Research*, 88, 3–12.

Geoffrion, A.M., (1974), "Lagrangian Relaxation for Integer Programming, Approaches to Integer Programming". (pp. 82-114)- Springer

Gillet, B., and Johnson, J. (1976). "Multiterminal Vehicle Dispatch Algorithm", *Omega*, Vol. 4, pp. 711-718.

Golz, J., Gujjula, R., Gunther, H.O., Rinderer, S., Ziegler, M., (2011). "Part Feeding at High-Variant Mixed-Model Assembly Lines". *Flex Serv Manuf J*, 24(2), 119-141.

Greco, F. (2008)., "Travelling Salesman Problem". Published by In-Teh, DOI: 10.5772/56696

Gross, J. M., & McInnis, K. R. (2003). "Kanban Made Simple: Demystifying and Applying Toyota's Legendary Manufacturing Process". New York: AMACOM.

Guerreiro, A.F.M., (2009). "Construção de uma Metaheurística de Optimização de Rotas de Veículos – Aplicação na Indústria de Distribuição". Dissertação em Engenharia e Gestão Industrial, ISP- Universidade Técnica de Lisboa.

Held, M. e Karp, R. M., (1971). "The Travelling-Salesman Problem and the Minimum Spanning Trees: Part II", *Mathematical Programming* 6, 6-25.

Hjorring, C., (1995). "The Vehicle Routing Problem and Local Search Metaheuristics". Ph D Thesis, Department of Engineering Science, University of Auckland.

Johnson, H.G., Savelsbergh, W., (2000). "Progress in Linear Programming-based Algorithms for Integer Programming: Na Exposition". *Inform Journal on Computing*, Vol.12, pp. 2-23.

Kumar, S. N., Panneerselvam, R., (2012). "A Survey on the Vehicle Routing Problem and Its Variants". *Intelligent Information Management*, 4 (03): 66-74.

Kumnuch, N., Prombanpong, S., (2015). "Investigation of Part Feeding Problems in Manual Assembly Line". *Matec Web of Conferences*, 26.

Laporte, G., (1992) "The Vehicle Routing Problem: An Overview of Exact and Approximate Algorithms". *European Journal of Operational*, 59(3): 343-358.

Laporte, G., Gendreau, M., Potvin, J.-Y., & Semet, F., (1999)." *Classical and Modern Heuristics for the Vehicle Routing Problem*". *International Transactions in Operational Research*, 7 (4-5), 285-300.

Laporte, G., & Nobert, Y. (1983). "A Branch and Bound Algorithm for the Capacitated Vehicle Routing Problem". *OR Spectrum*, 5(2), 77-85.

Laporte, G., & Nobert, Y., (1987). "Exact Algorithms for the Vehicle Routing Problem." *North-Holland Mathematics Studies*, 132, 174-184.

Lawler, E.L., & Wood. D.E., (1966). "Branch-and-Bound Methods: A Survey". *Operations Research*, 14 (4), 699-719.

Marinakis, Y., & Migdalas, A., (2007)."Annotated Bibliography in Vehicle Routing". *Operational Research*, 7(1), 27-46.

Mendes, F., (2010)." *Melhoria da logística interna na produção de pneus na Continental Mabor*".

Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, FEUP - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal.

Mester, D. & Bräysy, O., (2007). "Active Guided Evolution Strategies for Large Scale Capacitated Vehicle Routing Problems". *Computers & Operations Research*, 34 (10), pp. 29 64-2975.

Nemhauser, G.L., Rinnoy Kan, A.H.G. & Todd, M.J., (1989). "Handbooks in Operations Research and Management Science". North- Holland, Vol 1, 498-506.

Nicholson, T., (1971). "Optimization in Industry, Optimization Techniques". Longman Group Limited, Vol.1.

Orman, A. Williams, H., (2007). "A Survey of Different Integer Programming Formulations of the Travelling Salesman Problem". *Optimisation, Econometric and Financial Analysis*, pp. 91-104.

Pataki, G., (2003). *“Teaching Integer Programming Formulations using Travelling Salesman Problem”*. SIAM Review. Vol. 45, pp. 116-123.

Pillac, V., Gueret, C., Medaglia, A., (July 2011). *“Dynamic Routing Problems: State Of The Art and Prospects”*. Technical Report 10/4/AUTO.

Potvin, J.Y., (1996). *“Genetic Algorithms for the Travelling Salesman Problem”*. Annals of Operations Research, 63, 339-370.

Potvin, J.Y., and Bengoi, S., (1996), *“The Vehicle Routing Problem with Time Windows - Part II: Genetic Search”*, Informs Journal on Computing, Vol. 8, pp. 165-172.

Psarafitis, H., (1988). *“Dynamic Vehicle Routing Problems”*. In Golden, B. and Assas, A., editors, *Vehicle Routing: Methods and Studies*, pp. 223–248. Elsevier Science Publishers B.V.

Reeves, C.R., (1993). *“Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems”*. John Wiley & Sons. Inc. New York, NY.

Refa, Instituto, (1991). *“Organização de Empresas- Metodologia REFA do estudo do trabalho”*, Vol.2.

Solomon, M., (1987). *“Algorithms for the Vehicle Routing and Scheduling Problems with Time Window Constraints”*. Operations Research, 35(2): 254– 265.

Toscani, L. V., Veloso, P. A. S., (2001). *“Complexidade de Algoritmos”*. Porto Alegre: Instituto de Informática da UFRGS: Editora Sagra Luzzatto. 202.

Toth, P., & Vigo, D., (2002). *“The Vehicle Routing Problem”*, SIAM - Society for Industrial and Applied Mathematics. Philadelphia, Vol. 9, pp. 1-4

Toth, P., & Vigo, D., (1998). *“Exact Algorithms for the Vehicle Routing”*. Edited by Crainic T. & Laporte G. (Eds.), *Fleet Management and Logistics*, pp: 1–31. Boston, MA: Kluwer Academic Publishers.

Vanderbei, R. J., (2014). *“The Simplex Method in Matrix Notation: Linear Programming”*. International Series in Operations Research & Management Science, 4th ed., Vol. 196, pp. 89-109: Springer, Boston, MA

Wahyuningsih, S., Satyananda, D., Hasanah, and Hasanah, D., (2016). *“Implementations of TSP-VRP Variants for Distribution Problem”*. Global Journal of Pure and Applied Mathematics, ISSN 0973-1768, Vol. 12, no 1, pp. 723-732.

Yeun, L.C., Ismail, W.R., Omar, K., & Zirour, M., (2008). *“Vehicle Routing Problem: models and Solutions”*. Journal of Quality Measurement and Analysis, 4(1), 205-218.



# ANEXOS

- 6.1 LAYOUT DO EDIFÍCIO 101 – PISO 2
- 6.2 LAYOUT DO EDIFÍCIO 101 – PISO 0
- 6.3 LAYOUT DO EDIFÍCIO 104
- 6.4 MODELO ANTIGO USADO NOS COMBOIOS LOGÍSTICOS
- 6.5 MODELO ATUAL DE ENGATE, USADO NOS COMBOIOS LOGÍSTICOS
- 6.6 ILUSTRAÇÃO ORIGINAL DO COMBOIO LOGÍSTICO DA EMPRESA
- 6.7 BASE DE DADOS DE TEMPOS
- 6.8 BASE DE DADOS DE PRODUÇÃO
- 6.9 PLANTA DA EMPRESA BOSCH CAR MULTIMÉDIA, S.A



## 6 ANEXOS

## 6.1 LAYOUT DO EDIFÍCIO 101 – PISO 2

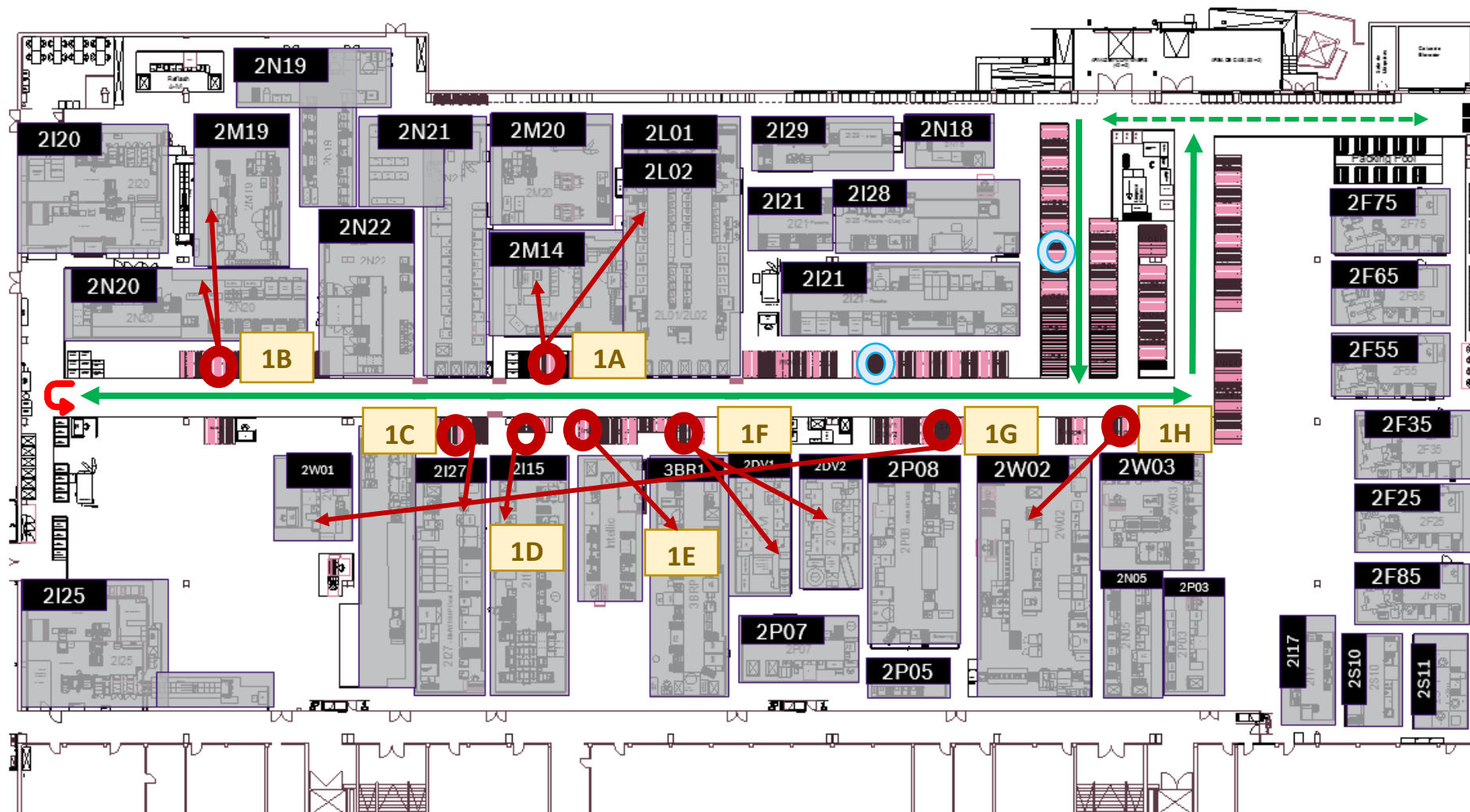


Figura 19 - Layout com data 21/05/2018, demonstrando os supermercados a abastecer, edifício 101 - Piso 2

## 6.2 LAYOUT DO EDIFÍCIO 101 – PISO 0



Figura 20 - Layout com data 21/05/2018, demonstrando os supermercados a abastecer, edifício 101 - Piso 0

## 6.3 LAYOUT DO EDIFÍCIO 104

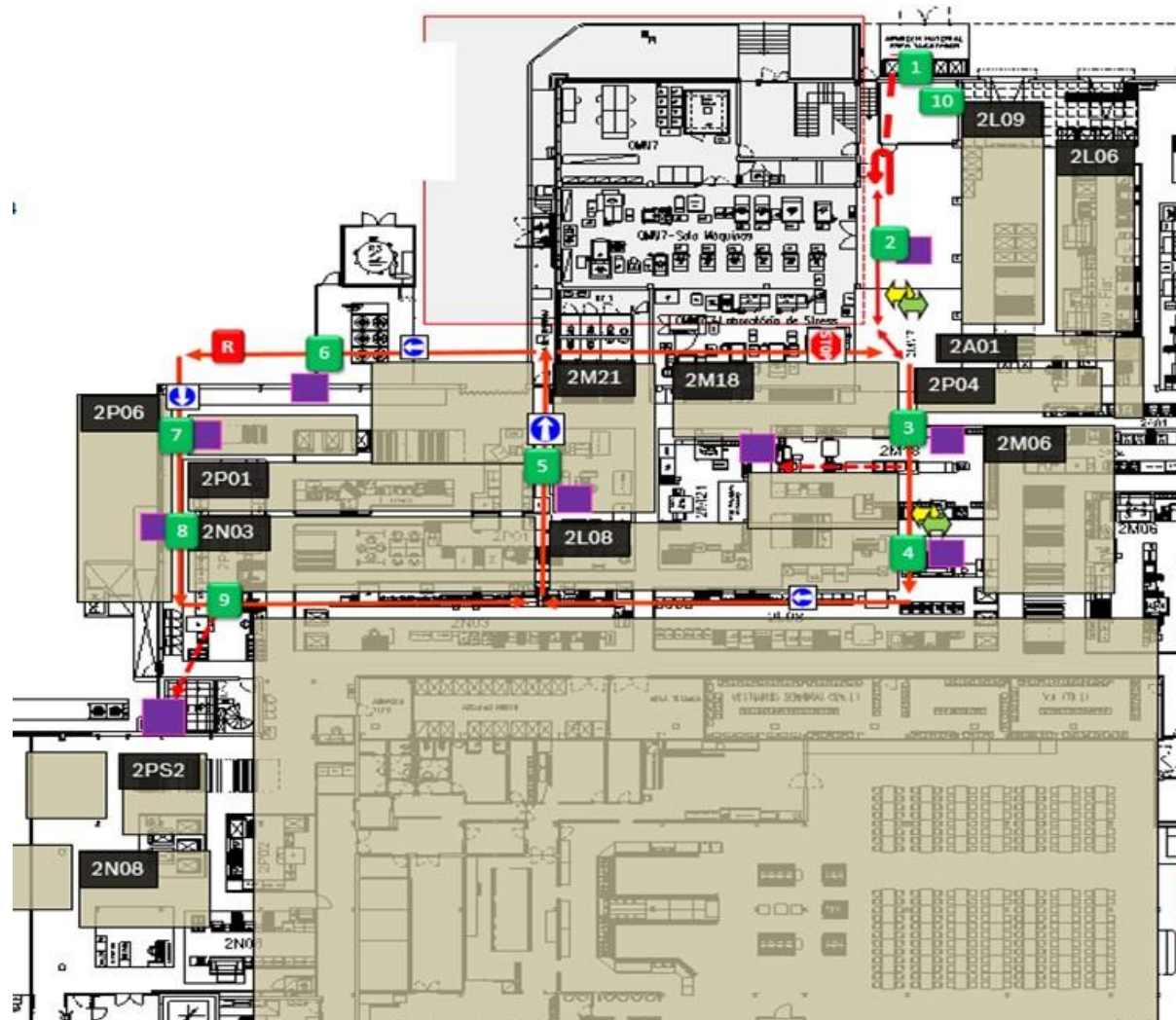


Figura 21 - Layout com data 21/05/2018, com detalhe dos locais a abastecer, Edifício 104

## 6.4 MODELO ANTIGO USADO NOS COMBOIOS LOGÍSTICOS

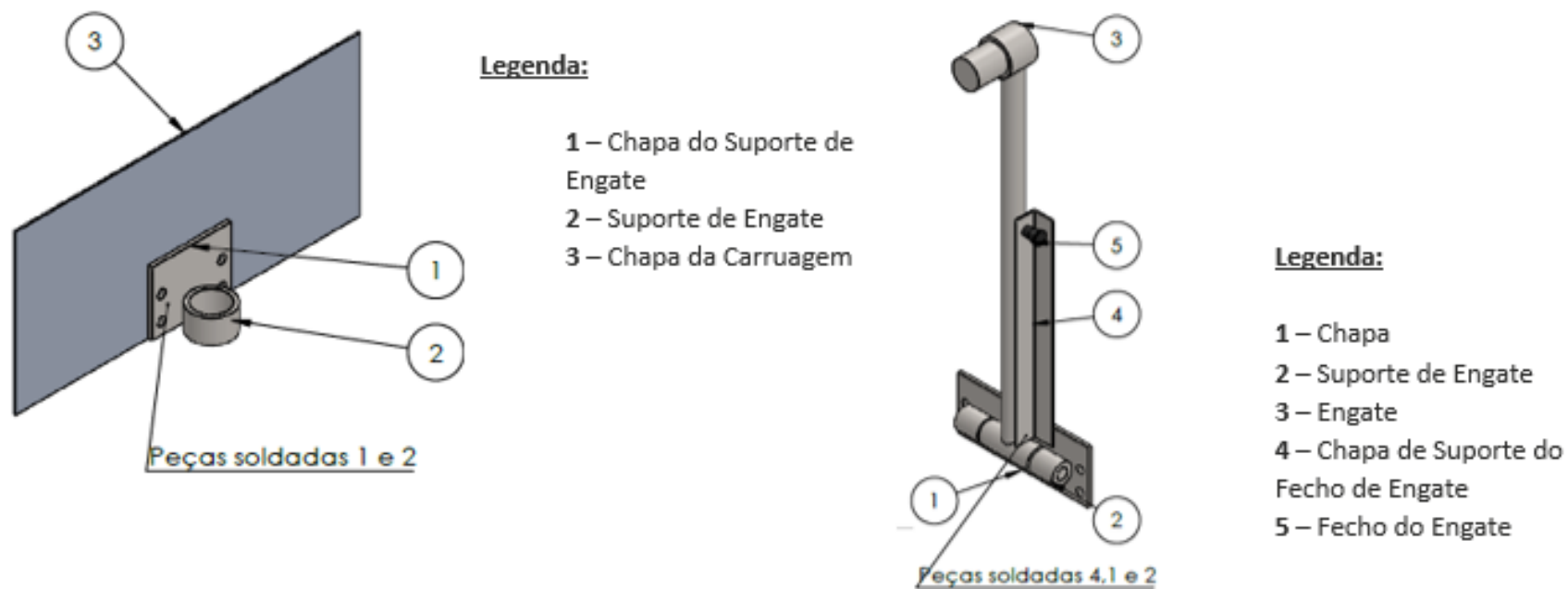


Figura 22 - Sistema antigo de engate, usado nos comboios logísticos, para atrelar as carruagens

## 6.5 MODELO ATUAL DE ENGATE, USADO NOS COMBOIOS LOGÍSTICOS



Figura 23 - Contrabalanço usado para o engate no comboio logístico, sendo manuseado com o pé e engate fixo nas carruagens

## 6.6 ILUSTRAÇÃO ORIGINAL DO COMBOIO LOGÍSTICO DA EMPRESA



Figura 24 - Comboio Logístico real, com duas carruagens atreladas.

## 6.7 BASE DE DADOS DE TEMPOS

Tabela 13 - Base de dados, em unidades de tempo, que o milk-run demora a percorrer, entre supermercados a abastecer.

ORIGEM	DESTINO																					
	0	1A	1B	1C	1D	1E	1F	1G	1H	2I	2J	2K	2L	2M	2N	2O	2P	2Q	2R	2S	2T	2U
0	0	76,00	111,00	109,00	103,00	75,00	49,00	47,00	44,00	127,00	122,00	134,00	143,00	147,00	160,00	177,00	189,00	208,00	200,00	210,00	200,00	139,00
1A	76,00	0	55,00	103,00	109,00	105,00	28,00	49,00	61,00	228,00	157,00	169,00	178,00	182,00	195,00	212,00	224,00	243,00	235,00	311,00	300,00	240,00
1B	111,00	55,00	0	58,00	63,00	69,00	76,00	97,00	109,00	193,00	202,00	214,00	223,00	227,00	240,00	257,00	269,00	288,00	280,00	258,00	247,00	187,00
1C	109,00	30,00	45,00	0	26,00	31,00	38,00	59,00	71,00	155,00	167,00	179,00	188,00	192,00	205,00	222,00	234,00	253,00	245,00	237,00	227,00	166,00
1D	103,00	24,00	51,00	26,00	0	25,00	32,00	53,00	65,00	131,00	161,00	173,00	182,00	186,00	199,00	216,00	228,00	247,00	239,00	231,00	221,00	160,00
1E	98,00	22,00	57,00	31,00	25,00	0	27,00	48,00	60,00	149,00	156,00	168,00	177,00	181,00	194,00	211,00	223,00	242,00	234,00	226,00	216,00	155,00
1F	91,00	28,00	63,00	38,00	32,00	27,00	0	41,00	53,00	137,00	149,00	161,00	170,00	174,00	187,00	204,00	216,00	235,00	227,00	219,00	209,00	148,00
1G	70,00	49,00	85,00	59,00	53,00	48,00	41,00	0	32,00	116,00	128,00	140,00	149,00	153,00	166,00	183,00	195,00	214,00	206,00	198,00	188,00	127,00
2H	58,00	61,00	96,00	71,00	76,00	60,00	53,00	32,00	0	104,00	117,00	128,00	137,00	141,00	154,00	171,00	183,00	202,00	194,00	187,00	176,00	116,00
2I	88,00	144,00	180,00	218,00	224,00	229,00	236,00	257,00	268,00	0	33,00	45,00	54,00	58,00	71,00	88,00	100,00	118,00	148,00	155,00	20,00	32,00
2J	101,00	157,00	193,00	230,00	236,00	241,00	248,00	269,00	281,00	33,00	0	32,00	41,00	45,00	58,00	75,00	87,00	106,00	136,00	90,00	80,00	21,00
2K	113,00	169,00	204,00	242,00	248,00	253,00	260,00	281,00	293,00	45,00	32,00	0	29,00	33,00	46,00	63,00	75,00	94,00	124,00	78,00	68,00	33,00
2L	122,00	178,00	213,00	251,00	257,00	262,00	269,00	290,00	302,00	54,00	41,00	29,00	0	33,00	37,00	54,00	66,00	85,00	115,00	69,00	59,00	42,00
2M	126,00	182,00	217,00	255,00	261,00	266,00	273,00	294,00	306,00	58,00	45,00	33,00	24,00	0	33,00	50,00	62,00	81,00	111,00	65,00	55,00	46,00
2N	139,00	195,00	230,00	268,00	274,00	279,00	286,00	307,00	319,00	71,00	58,00	46,00	37,00	33,00	0	37,00	49,00	68,00	98,00	52,00	42,00	59,00
2O	156,00	212,00	247,00	285,00	291,00	296,00	303,00	324,00	336,00	88,00	75,00	63,00	54,00	50,00	37,00	0	32,00	51,00	81,00	82,00	99,00	76,00
2P	168,00	224,00	259,00	297,00	303,00	308,00	315,00	336,00	348,00	100,00	87,00	75,00	66,00	62,00	49,00	32,00	0	39,00	69,00	70,00	87,00	88,00
2Q	209,00	242,00	300,00	316,00	322,00	327,00	334,00	355,00	366,00	118,00	106,00	94,00	85,00	81,00	68,00	51,00	39,00	0	51,00	58,00	69,00	107,00
2R	179,00	235,00	247,00	308,00	314,00	319,00	326,00	347,00	359,00	111,00	98,00	86,00	77,00	73,00	60,00	43,00	31,00	28,00	0	27,00	38,00	99,00
2S	172,00	228,00	263,00	288,00	307,00	312,00	319,00	340,00	352,00	103,00	90,00	78,00	69,00	65,00	52,00	35,00	23,00	35,00	27,00	0	31,00	91,00
2T	161,00	217,00	252,00	277,00	296,00	301,00	308,00	329,00	341,00	93,00	80,00	68,00	59,00	55,00	42,00	25,00	27,00	46,00	38,00	31,00	0	81,00
2U	100,00	156,00	191,00	216,00	224,00	229,00	236,00	257,00	268,00	32,00	21,00	33,00	42,00	46,00	59,00	76,00	88,00	107,00	99,00	91,00	81,00	0

## 6.8 BASE DE DADOS DE PRODUÇÃO

Tabela 14 - Base de dados, em unidades, da procura total nos supermercados.

<b>SUPERMERCADO</b>	<b>PROCURA CAIXAS POLÍMERO</b>	<b>PROCURA CONTAINERS PEQUENOS</b>	<b>PROCURA CAIXAS VIDRO</b>
<b>1A</b>	0	2036	0
<b>1B</b>	0	0	780
<b>1C</b>	275	0	0
<b>1D</b>	83	0	0
<b>1E</b>	144	0	0
<b>1F</b>	906	0	0
<b>1G</b>	55	0	0
<b>1H</b>	150	0	0
<b>2I</b>	0	0	600
<b>2J</b>	599	0	0
<b>2K</b>	1153	0	0
<b>2L</b>	200	0	0
<b>2M</b>	460	0	0
<b>2N</b>	262	0	0
<b>2O</b>	705	0	0
<b>2P</b>	0	285	0
<b>2Q</b>	0	1176	0
<b>2R</b>	680	0	0
<b>2S</b>	0	301	0
<b>2T</b>	0	0	0
<b>2U</b>	849	0	0

## 6.9 PLANTA DA EMPRESA BOSCH CAR MULTIMÉDIA, S.A

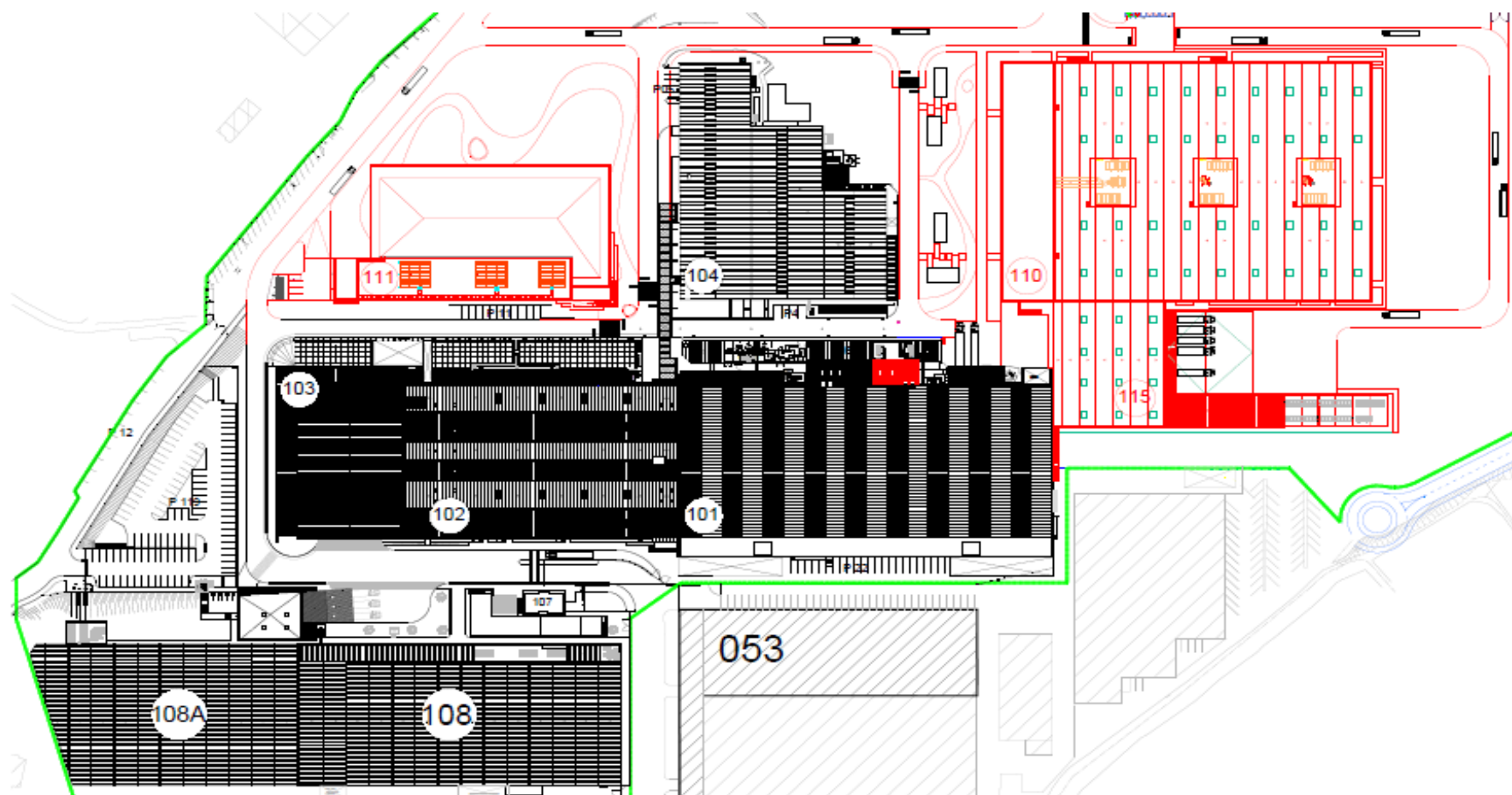


Figura 25 - Planta da empresa Bosch Car Multimédia, S.A.