



Ana Sofia Travassos de Oliveira

Gestão Ágil de Armazéns com Otimização de Operações

Coimbra, Julho de 2023



Ana Sofia Travassos de Oliveira

Gestão Ágil de Armazéns com Otimização de Operações

Dissertação submetida(o) ao Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Coimbra para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de **Mestre em Gestão Empresarial**, realizada(o) sob a orientação do(a) Professor(a) Ana Cristina Amaro.

Coimbra, Julho de 2023

TERMO DE RESPONSABILIDADE

Declaro ser o(a) autor(a) desta dissertação, que constitui um trabalho original e inédito, que nunca foi submetido a outra Instituição de ensino superior para obtenção de um grau acadêmico ou outra habilitação. Atesto ainda que todas as citações estão devidamente identificadas e que tenho consciência de que o plágio constitui uma grave falta de ética, que poderá resultar na anulação da(o) presente dissertação.

DEDICATÓRIA

Ao meu primo João Pedro,
cujas memórias nunca esquecerei.

AGRADECIMENTOS

Dedico este espaço a todos aqueles que deram a sua contribuição para que esta dissertação fosse realizada. Deixo a todos aqui o meu agradecimento.

À empresa Luís Simões pela oportunidade e ajuda para a realização desta dissertação.

À Professora Ana Cristina Amaro, orientadora deste trabalho pelo apoio constante e ajuda dispensada ao longo do desenvolvimento deste estudo.

Um agradecimento profundo à minha família, pelo apoio, compreensão, disponibilidade e por todo o esforço efetuado ao longo de toda a minha vida académica, sem este nada teria sido possível.

E a todos que diretamente ou indiretamente ajudaram para a elaboração desta dissertação, aqui deixo o meu muito obrigado.

RESUMO

O presente trabalho é motivado pelo interesse e atualidade da gestão logística e das vantagens competitivas que esta tem vindo a demonstrar em contexto empresarial. A investigação levada a cabo reúne um conjunto de objetivos no domínio da gestão de armazéns, e da otimização de operações, tendo em vista alcançar uma gestão ágil, com exigentes padrões de eficácia e de eficiência.

Para tanto, foi conduzida uma ampla revisão da literatura, baseada nas palavras-chave da temática em estudo. Os resultados apontam um conjunto de metodologia, técnicas e ferramentas adequadas à otimização/ melhoria de várias operações e de gestão do armazém.

Colocando o foco nas operações de proximidade ao cliente, a literatura destaca o *crossdocking* e, no conjunto das operações de distribuição, o planeamento e afetação das rotas de veículos, VRP, surgem como as mais impactantes.

Desta forma, foi selecionado um *solver* adequado e tratado um caso empresarial real, o Centro Operações Logísticas (COL), da empresa Luís Simões, em Coimbra.

Foram executados vários cenários de distribuição, todos eles com saída e regresso ao COL, com dados relativos aos meses de março, junho e agosto de 2022, tendo sido privilegiadas duas sextas-feiras, em cada mês, por serem os dias de maior movimentação de paletes (em número) e maior dispersão (mais clientes).

A análise dos vários cenários permite concluir que, independentemente de se tratar de um mês padrão (março) ou de meses associados com épocas festivas (junho) ou épocas balneares (agosto), os menores custos e duração de trajetos das rotas correspondem aos casos em que ocorrem vários retornos ao COL de Coimbra.

Palavras-chave: Armazém, gestão de operações, logística, *crossdocking*, Otimização de distribuição, rotas de veículos.

ABSTRACT

The present work is motivated by the interest and timeliness of logistics management and by the competitive advantages that it is being demonstrated in a business context. The research study carried out, brings together a set of objectives in the field of warehouse management and in the optimization of operations, in order to achieve agile management, with demanding standards of effectiveness and efficiency.

To reach this end, a broad literature review was conducted, based on the keywords of the subject under study. The results point out a set of methodologies, techniques and tools suitable for optimizing/improving various operations and warehouse management.

By placing the focus on customer proximity operations, the literature highlights crossdocking and, in the set of distribution operations, the planning and vehicle routing problems, VRP, emerge as the most impactful.

Accordingly, an adequate solver was selected and a real business case was treated, the Logistics Operations Center (LOC), of the company Luís Simões, in Coimbra.

Several distribution scenarios were carried out, all of them leaving and returning to the LOC, with data for the months of March, June and August 2022, with two Fridays being privileged, in each month, as they are the days with the greatest movement of pallets (in number) and greater dispersion (more customers).

The various scenarios analyzed allows us to conclude that, regardless of whether it is a standard month (March) or months associated with festive seasons (june) or bathing seasons (august), the lowest costs and duration of routes correspond to cases in which there are several returns to the LOC of Coimbra.

Keywords: Warehouse, operations management, logistics, crossdocking, optimization of distribution, vehicle routing.

ÍNDICE GERAL

INTRODUÇÃO.....	1
1 Revisão de literatura	4
1.1 Análise Bibliométrica	4
1.2 Armazém e operações logísticas	6
1.3 O Armazém na gestão da cadeia de abastecimento	9
1.4 A Logística e o processo de distribuição	11
1.5 <i>Crossdocking</i>	15
1.5.1 Estudos e literatura sobre <i>crossdocking</i>	16
1.5.2 Características do <i>crossdocking</i>	17
1.5.3 Aplicação do armazém de <i>crossdocking</i> e principais benefícios	21
1.5.4 Indicadores de desempenho em <i>crossdocking</i>	26
1.6 Impacto das rotas na gestão das operações de armazém	29
1.7 Enquadramento da otimização na gestão de armazém	32
1.8 Métodos para resolução	35
1.8.1 Métodos Heurísticos	36
1.8.2 Métodos Exatos para Otimização	37
1.9 Sumário.....	39
2 Metodologia e Propostas de Modelação.....	40
2.1 Descrição das Etapas de Investigação.....	40
2.2 Proposta de Modelação	44
2.3 Sumário.....	50
3 O Caso Empresarial: <i>Ilustração de práticas e modelos</i>	51

3.1	O Grupo Luís Simões, Logística Integrada, SA	51
3.1.1	Centro de Operações Logísticas de Coimbra	52
3.1.2	Layout do armazém de <i>crossdocking</i> no COL de Coimbra	55
3.2	Caraterização do caso empresarial.....	56
3.3	Dados Logísticos do COL Coimbra.....	58
3.4	Apresentação e Discussão de Resultados	60
3.4.1	Estudo mês março 2022 (sextas-feiras).....	60
3.4.2	Estudo mês junho 2022 (sexta-feira).....	64
3.4.3	Estudo mês agosto 2022 (sexta-feira).....	68
3.5	Sumário.....	72
	CONCLUSÃO.....	75
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
	APÊNDICES	88
	APÊNDICE 1. ENTREVISTAS	89
	APÊNDICE 2. DADOS DOS CLIENTES E DAS ENCOMENDAS UTILIZADAS NO ESTUDO	92
	APÊNDICE 3. RESULTADOS DA ANÁLISE MENSAL	93

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-Resultados da análise bibliométrica em Vosviewer e com escala de tempo	4
Figura 2-Destaque dos resultados de bibliometria para o cluster de otimização.....	5
Figura 3-Operações básicas de armazenagem	7
Figura 4-a) Verificação da mercadoria após receção e b) Mercadorias agrupadas para as rotas de distribuição	53
Figura 5-a) Verificação da mercadoria antes da carga e b) carregamento de palete inteira no cais de expedição	54
Figura 6-(a) Zona de preparação; (b) Layout do armazém do.....	55
Figura 7- Rotas resultantes do cenário C3 para sexta-feira dia 11/03/2022	62
Figura 8-Rotas resultantes do cenário C3 para sexta-feira dia 25/03/2022.	64
Figura 9-Rotas resultantes do cenário C4 para sexta-feira dia 09/06/2022.....	66
Figura 10-Rotas resultantes do cenário C3 para sexta-feira dia 17/06/2022.....	68
Figura 11-Rotas resultantes da versão V4 para sexta-feira dia 05/08/2022.	70
Figura 12-Rotas resultantes da versão V4 para Sexta - Feira dia 26/08/2022.....	72

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1-Modelo matemático de suporte ao solver VRP.....	47
Tabela 2-Características dos veículos utilizados no estudo.....	56
Tabela 3-Janelas temporais por tipologia de cliente.....	58
Tabela 4-Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 11/03 com 1 retorno à origem.....	60
Tabela 5-Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 11/03 com múltiplos retornos à origem.....	61
Tabela 6-Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 11/03.....	61
Tabela 7-Resultados dos cenários realizados para o dia 11/03.	62
Tabela 8-Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 25/03 com 1 retorno à origem.....	63
Tabela 9-Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 25/03 com múltiplos retornos à origem.....	63
Tabela 10-Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 25/03.....	64
Tabela 11-Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 09/06 com 1 retorno à origem.....	65
Tabela 12-Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 09/06 com múltiplos retornos à origem.	65
Tabela 13-Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 09/06.....	66
Tabela 14-Resultado dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 17/06 com 1 retorno à origem.....	67
Tabela 15-Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 17/06 com múltiplos retornos à origem.....	67
Tabela 16-Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 17/06.....	68

Tabela 17-Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 05/08 com 1 retorno à origem.....	69
Tabela 18-Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 05/08 com múltiplos retornos à origem	69
Tabela 19-Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 05/08.....	69
Tabela 20-Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 05/08 com 1 retorno à origem.....	70
Tabela 21-Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 05/08 com múltiplos retornos à origem	71
Tabela 22-Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 26/08.....	71

Lista de abreviaturas, acrónimos e siglas

COL - Centro de Operações Logísticas

CSCMP - *Council of Supply Chain Management Professionals*

FTL - *Full Truck Loads*

FCFS - *First Come First Served*

INE - Instituto Nacional de Estatística

LTL - *Less than Truck Load*

LS - Luís Simões, Logística Integrada, SA

VRP - *Vehicle Routing Problem*

INTRODUÇÃO

O presente trabalho surge no âmbito da dissertação de Mestrado em Gestão Empresarial, da Coimbra Business School | ISCAC, intitulada “*Gestão Ágil de Armazéns com Otimização de Operações*”. Neste capítulo descreve-se de forma sumária o enquadramento do trabalho, a sua justificação, as motivações associadas, e apresentam-se ainda as questões de investigação, os objetivos da dissertação e a estrutura do documento escrito.

O trabalho de investigação proposto tem como foco a área da gestão de processos, mais concretamente a gestão armazéns assente nos pilares da otimização de operações, que visam melhorar processos, transformar procedimentos, reduzir recursos e aumentar a produtividade, de forma a alcançar uma gestão cada vez mais eficaz. O ambiente de forte concorrência e competição, nos diversos setores de atividade, aliado à evolução constante da tecnologia, e ao contexto económico global, obrigam as empresas a repensar as suas práticas de gestão e a adotar novas estratégias para serem bem-sucedidas.

Assim, verifica-se cada vez mais que as atividades logísticas assumem um papel relevante pela sua ampla atuação e estreita ligação ao cliente. Por essa razão, há uma crescente competitividade entre os operadores logísticos, que procuram um nível de excelência em todos os serviços que prestam ao cliente.

As operações logísticas do armazém e as operações de transporte ao cliente desempenham um papel crítico na gestão ágil do armazém e no seu impacto sobre a distribuição. Em comum existe a preocupação de mitigar as movimentações em armazém e as distâncias percorridas na distribuição ao cliente, de forma a reduzir custos e a baixar o impacto das emissões que resultam dessas operações.

Desta forma, o presente estudo centra-se na revisão da literatura científica e na aplicação de uma proposta para otimizar as operações de armazém num Centro de Operações Logísticas.

Neste caso, a aplicação desenvolveu-se na empresa Luís Simões, em Coimbra, na qual é utilizado o sistema *crossdocking*, com o intuito de agilizar as tarefas e melhorar as operações nomeadamente as suas rotas de distribuição.

Será apresentado o teste de vários cenários de operação, sendo os resultados analisados em detalhe de forma a identificar oportunidades de melhoria. A avaliação de fatores positivos e negativos resultantes da implementação ajudarão a validar a solução proposta e o seu potencial para promover a redução de custos.

Os vários cenários analisados para a operação das rotas de distribuição vão permitir analisar várias hipóteses para entrega das mercadorias de forma a encontrar a melhor solução para o problema.

- **Objetivos de investigação**

Tal como se referiu, a incerteza e a volatilidade da procura induzem uma grande variabilidade nos processos. O ambiente encontrado no armazém de um COL, a criação de uma ferramenta que permite simular cenários diferentes do comportamento dos fluxos e avaliar quantitativamente os benefícios e os custos derivados das alterações efetuadas às variáveis que influenciam a execução das diversas atividades, pode revelar-se um importante instrumento de apoio à tomada de decisão.

Relativamente aos objetivos específicos destacam-se os seguintes:

- O.1:** perceber as características gerais dos processos no armazém através do mapeamento de operações e da caracterização dos seus impactos na gestão do armazém;
- O.2:** Identificar as operações de armazém críticas para o processo de distribuição e a sua dependência do portfolio de clientes;
- O.3:** Analisar os contributos da literatura e de outras propostas inovadoras, avaliando a sua aplicabilidade e contributo para a gestão ágil do armazém;
- O.4:** Avaliar o papel das rotas de distribuição, e simular várias alternativas com a intenção de elaborar propostas que permitam reduzir as distâncias percorridas e, como tal, baixar custos e favorecer o fluxo logístico de abastecimento de clientes.
- O.5:** Analisar a capacidade de resposta das propostas perante a imposição de requisitos específicos dos materiais como a sazonalidade, a perecibilidade ou outras particularidades afetas à tipologia dos produtos tecnológicos entre outros.

Com base nestes objetivos foi criado um conjunto de questões de investigação a que se pretende dar resposta no decurso da realização deste trabalho.

QI.1: Que contributos têm sido propostos na literatura para otimizar as operações em Centros de Operações Logísticas (COL)?

QI.2: Qual o entendimento da literatura relativo à gestão ágil de armazém? Que papel tem a otimização de operações nesse contexto de gestão?

QI.3: Quais as operações críticas no processo que decorre entre a receção e a expedição de mercadorias?

QI.4: Que suportes de informação asseguram a gestão desses processos? A tecnologia é uma ferramenta promotora da gestão ágil?

QI.5: E do lado das empresas que operam os COLs? Que leitura têm estes *players* da otimização de operações?

- **Estrutura do trabalho**

Após esta breve introdução, a presente dissertação encontra-se estruturada em três capítulos, consistentes com os objetivos definidos, e terminando com as principais conclusões e algumas sugestões para trabalhos futuros.

Assim, ao primeiro capítulo cabe a revisão detalhada da literatura tendo sido identificadas as principais propostas e os seus contributos para a gestão ágil do armazém e a otimização de operações.

No segundo capítulo é efetuada a apresentação da metodologia e das diversas etapas de investigação integrantes desenvolvidas para alcançar os objetivos proposto e dar resposta à questões de investigação colocadas.

No terceiro capítulo, é realizada uma breve apresentação da empresa em estudo, o caso empresarial, sendo também explicados e documentados os dados logísticos em uso e apresentados os resultados obtidos, para os vários cenários de operação estudados. O capítulo termina com um pequeno sumário de conclusões relativas à implementação realizada.

armazém na gestão da cadeia de abastecimento; A logística e o processo da distribuição; Armazém e operações logísticas; *Crossdocking* e os Métodos de resolução destas classes de problemas.

1.2 Armazém e operações logísticas

A principal função do armazém é conservar os artigos produzidos ou adquiridos, os quais são rececionados, arrumados, organizados, preservados e depois enviados e distribuídos pelo cliente final (Baker *et al.*, 2009). Assim, Gomes (2014) escreve que o armazém corresponde a todo o espaço que é destinado à espera de produtos até que estes sejam utilizados, isto é, corresponde ao espaço físico que serve para armazenar artigos desde a receção até à expedição.

Deste modo, o armazém representa um importante elemento para qualquer cadeia, na medida em que este possibilita que os artigos se mantenham disponíveis para o cliente nas condições e prazos de tempo anteriormente acordados.

Contribui para que o sistema logístico consiga responder de forma eficiente e eficaz às exigências do cliente (Gu *et al.*, 2007). Pelo que, poderemos considerar o armazém como um elo essencial numa rede logística, pois permite rentabilizar os processos executados e as operações, diminuir os custos inerentes à armazenagem, o que permite eliminar desperdícios e tornar a empresa mais competitiva no mercado (Carvalho, 2014).

A realização dos objetivos das operações que decorrem no armazém, tal como a eficácia e a eficiência das mesmas é determinada pelos recursos disponíveis. Assim, como a escolha dos sistemas de armazenamento e equipamentos da configuração do armazém e das áreas funcionais estabelecidas em termos de layout, procedimentos e superfície.

Olsson (2010) efetuou um estudo sobre um modelo unidirecional de transferências de artigos e, verificou que a realização de transferências numa rede com diversas localizações, devido ao elevado grau de complexidade não é executável, assim é preferível a limitação a algumas localizações-chave para as quais são necessários apenas alguns movimentos unidirecionais.

O armazenamento de produtos possibilita associar a procura do cliente, à capacidade de abastecimento. O que abrange vários problemas relacionados com as

operações efetuadas e o *layout* do armazém. No entanto, esta problemática poderá ser reduzida, tanto ao nível de custos logísticos como do serviço ao cliente, através da adequada utilização do armazém (Accorsi *et al.*, 2014).

O tamanho mais apropriado do armazém depende dos objetivos da sua aplicação, assim como do movimento de entradas e de saídas de materiais, tanto durante como após os seus picos de procura. A determinação, o posicionamento e o tamanho total do armazém são “zonas chave”, pois apresentam muita importância tanto para os processos decorridos naquele espaço como para o fluxo de produtos (Accorsi *et al.*, 2014).

O processo de armazenamento é uma das áreas mais importantes da logística, no qual têm ocorrido constantes alterações ao longo do tempo e que, abrange diversas atividades, desde a chegada dos produtos no armazém até à sua saída para o consumidor final.

As operações importantes que se efetuam no armazém são a receção de produtos e sequente arrumação, recolha de produtos, preparo de pedidos e, expedição (Teixeira, 2018). Todas estas ações estão relacionadas entre si, por entre as quais, ocorre o fluxo de produtos, a Figura 3 mostra a ordem pela qual as operações ocorrem:



Figura 3-Operações básicas de armazenagem
Fonte: adaptado de Carvalho (2014)

receção: esta ação deve ser executada numa área própria e tem como objetivos primários confirmar se a quantidade de produtos rececionada está em consonância com a quantidade pedida, estimar a qualidade do produto, dar entrada do produto em *stock*, e por fim, transferir o produto para a área selecionada de armazenagem (Tompkins *et al.*, 2010).

arrumação: abrange na transferência dos artigos recebidos até aos locais de armazenamento os quais são designados e estão livres para colocação destes produtos (Carvalho, 2014).

picking: caracteriza-se por ser a atividade na qual se efetua a divisão e organização de encomendas. Consiste num número pequeno de artigos, extraído de um sistema de

armazenagem, satisfazendo um determinado número de encomendas de clientes (Carvalho, 2014).

expedição: corresponde à última operação do processo de armazenagem. Resume-se à organização e ao controlo do fluxo de artigos e documentos, de forma a garantir que as encomendas sejam carregadas em conformidade com o pedido do cliente. O acordo é abonar a entrega do artigo no prazo anteriormente combinado em condições próprias (Teixeira, 2018).

A armazenagem, está presente em quase todas as empresas, como área da logística logo contribui para a entrega ágil dos artigos ao cliente final, mas ao mesmo tempo origina maiores custos (Kohler *et al.*, 2013), no entanto também corresponde a um meio para reduzir o stock (Paoleschi, 2014).

As políticas de armazenamento agrupam cada artigo à localização no armazém, logo, os SKU's (*Stock Keeping Units*) com maior procura estão dispostos em locais mais próximos do ponto de saída (Teixeira, 2018). O método empregue para o armazenamento de cada artigo pode ter um impacto importante para a movimentação e manuseamento dos produtos no interior do armazém. Assim, como políticas de armazenamento poderemos descrever:

armazenamento fixo: existe um lugar garantido para cada artigo, mesmo que este esteja esgotado. Para determinar o método de posicionamento fixo são utilizados diversos critérios, tais como armazenamento familiar e a análise ABC. Pelo que, de acordo com esta análise, os artigos estão organizados por ordem de importância para a organização (Carvalho, 2012). A vantagem deste método, decorre do facto de o operador se familiarizar com o espaço. No entanto, pode ser ineficiente devido à utilização do espaço, o que se torna numa desvantagem (Teixeira, 2018).

armazenamento aleatório: cada artigo é aleatoriamente disposto, no primeiro lugar vago, o que possibilita uma maior eficácia na utilização da área, no entanto pode originar a que a mesma eficácia esteja localizada em diversos locais (Peterson, 1997). Poderão existir, como boas práticas de armazenagem, outros tipos de armazenamento de produtos com algumas limitações, como exemplo, a localização dos mais próxima do cais de expedição dos produtos mais frágeis e/ou pesados, para que ocorra o menor número de movimentações e/ou manuseamento possível de artigos (Carvalho, 2012).

A identificação do posicionamento dos produtos deve ser executada de forma a facilitar a recolha dos artigos por parte dos trabalhadores (Teixeira, 2018).

Na gestão de operações de armazém a teoria aplicada é a de *crossdocking*. Este processo decorre quando os materiais “passam diretamente da receção à expedição sem serem armazenados” (Martins, 2019, p. 24). No entanto, pode não ser praticado na forma como é definido pela teoria logística, pois “fala-se de *crossdocking* quando o fornecedor entrega o produto, tem-se uma operação de chão ou praia, e distribui-se pelas lojas.” (Pinto, 2019, p. 29).

1.3 O Armazém na gestão da cadeia de abastecimento

A gestão da cadeia de abastecimento é uma área com gradual atenção por parte das empresas, uma vez que estas vivem num ambiente de globalização do mercado e competitividade entre si, têm necessidade de desenvolver cadeias de abastecimento que devem agilmente responder às necessidades dos clientes (Askarany *et al.*, 2010).

O Conselho de Profissionais de Gestão de Cadeias de Abastecimento (CSCMP – *Council of Supply Chain Management Professionals*) determina que Gestão de Cadeia de Abastecimento “abrange o planeamento e a gestão de todas as atividades de *sourcing* e *procurement*, conversão e todas as atividades de gestão logística”, inclui também “a coordenação e colaboração entre parceiros da cadeia, que podem ser fornecedores, intermediários, prestadores de serviços externos ou clientes”. Ou seja, de forma a promover uma rede eficaz e coesa, a Gestão da Cadeia de Abastecimentos, engloba a gestão da oferta, a gestão da procura intra e interorganizações e une as funções e processos principais do negócio em causa (CSCMP, 2013).

A satisfação do cliente é o objetivo de toda a cadeia de abastecimentos. Pois, “a chave para o alinhamento estratégico está na garantia de que a cadeia consegue responder às necessidades dos clientes e à volatilidade da procura” (Lopes, 2021, p. 4). Portanto, de forma a atingir este propósito de forma eficiente, a cadeia de abastecimento deve ser considerada como um todo por cada elo porque a constitui.

Assim, a gestão da cadeia de abastecimento é analisada como uma estratégia competitiva que abrange produtores, fornecedores, retalhistas, distribuidores e, clientes/consumidores, através dos quais os artigos, matérias-primas e informação se

organizam, de forma que os artigos sejam executados e distribuídos nas quantias pedidas, no tempo certo e entregues no lugar certo (Gunasekaran *et al.*, 2004).

A gestão apropriada e eficaz da cadeia de abastecimentos deve reconhecer todos os métodos que somam valor aos processos, de forma a contribuir para a minimização dos custos e para o aumento da velocidade de resposta, desde a aquisição de matéria-prima até à obtenção do artigo pelo cliente final (Mentzer *et al.*, 2001).

A ocorrência de alterações do mercado causa a necessidade de um novo desenho da cadeia de abastecimento, uma vez que não interessa apenas que estas sejam eficientes e voltadas para a procura (Carvalho, 2010). Assim, é importante possuir uma visão geral da cadeia de abastecimento, de forma que a informação flua de forma eficaz entre os diversos participantes e, possuir conhecimento, aptidão e habilidade para trabalhar com complexos sistemas, particularmente ao nível de avaria de veículos e/ou máquinas, do tempo de entrega, das condições climáticas, da variabilidade de stocks e, da dubiedade das previsões da procura (Carvalho, 2012).

A gestão da cadeia de abastecimento necessita de um planeamento que coordene e otimize as atividades a longo, médio e curto prazo (Lopes, 2021). Assim e, baseada em três níveis de decisão, Allaoui *et al.* (2019) considera os seguintes níveis de planeamento:

1) Planeamento Operacional (*Supply Chain Operation*) - aborda as decisões a curto prazo. Mas, é necessário um alinhamento entre as deliberações que a empresa pretende estrategicamente a longo prazo e as decisões operacionais. Alguns exemplos envolvem a sequência de atividades de produção, a designação das rotas dos camiões e a atribuição de camiões nos cais do armazém.

2) Planeamento Tático (*Supply Chain Planning*) - trata as decisões de médio prazo, como o planeamento de compras, de produção ou transportes. Pretende maximizar o restante da Cadeia de Abastecimento, o qual pode ser originado no horizonte de planeamento, considerando as restrições definidas durante a fase de projeto ou estratégica.

3) Planeamento Estratégico (*Supply Chain Design*) - dedica-se às decisões que têm impacto a longo prazo na empresa. Externamente, apresenta como principal objetivo a edificação da vantagem competitiva e a satisfação do mercado.

Assim, a título de síntese, a gestão da cadeia de abastecimento considera um vasto conjunto de processos e entidades, fornecedores, produtores, retalhistas, distribuidores, que colaboram para disponibilizar um artigo pedido pelo cliente (Lopes, 2021).

A gestão de armazém é uma importante componente de qualquer cadeia de abastecimento, sendo a sua função principal a gestão da armazenagem dos produtos por tempo indeterminado.

1.4 A Logística e o processo de distribuição

A logística tem influência em toda a cadeia de abastecimento, apresentando um importante papel dentro da própria empresa, a sua intervenção reflete-se nos diversos membros da cadeia de valor desde os fornecedores até à entrega do produto final ao cliente (Carvalho *et al.*, 2010).

Existem diversas definições para o termo logística, resumindo-se uma delas aos “Sete Rs da Logística”, os quais definem logística como o planeamento estratégico que assegura o produto certo (*Right Condition*), no lugar certo (*Right Place*), no tempo certo (*Right Time*), ao preço certo (*Right Price*) e para o cliente certo (*Right Costumer*) (Shapiro *et al.*, 1985).

A logística também pode ser definida como gestão de inventário, tanto em relação à movimentação como ao armazenamento de produtos, tendo como objetivo o mínimo de investimento necessário em inventário que garanta o serviço ao cliente e uma produção eficiente, assentando o sucesso do planeamento logístico numa análise objetiva e apropriada para a identificação e localização de problemas e correspondentes soluções (Delaney, 1996).

O *Council of Supply Chain Management Professionals* (2013), determina logística como “a parte da Gestão da Cadeia de Abastecimento que planeia, implementa e controla eficiente e eficazmente o fluxo de materiais, a armazenagem de produtos, serviços e toda a informação relacionada, desde o ponto de origem até ao ponto de consumo com o objetivo de satisfazer todos os requisitos dos clientes”.

Bhandari (2013) escreve que a logística não inclui somente as atividades referentes aos movimentos físicos de produtos, mas também toda a gestão de relacionamento com os parceiros de negócio sejam estes clientes ou fornecedores.

Gestão Ágil de Armazéns com Otimização de Operações

Carvalho *et al.* (2016) afirmam que logística corresponde a “toda a gestão de fluxos físicos e de informação, ou seja, o planeamento, a implementação e o controlo dos fluxos de matérias-primas, produtos em vias de fabrico, produtos finais, serviços e soluções. Paralelamente, consideram ainda como gestão logística o planeamento, a implementação e o controlo dos fluxos de informação associados aos fluxos de matérias-primas, produtos em vias de fabrico, produtos finais, serviços e soluções”.

Silva (2019) escreve que o conceito de logística tem evoluído de forma considerável, deixando de ser uma atividade na qual decorrem ações isoladas para ações sinérgicas, transformando-se assim numa logística integrada e capaz de se adaptar ao sector industrial.

Assim, poderemos descrever logística como uma ciência complexa e cada vez mais utilizada pelas empresas, uma vez que possibilita melhorar a qualidade dos seus processos, para que as organizações possam reagir às exigências de mercado demonstrando um elevado nível de serviços prestados (Pečený *et al.*, 2020).

Desta forma, a “Logística passa a ser vista além da tarefa de armazenagem de produtos e não só como um centro de custo, agora é vista como uma arma estratégica para adicionar valor e reduzir custos, porque além de armazenar da forma mais eficiente, também os leva até ao cliente final, desde a unidade fabril, da forma mais eficiente e eficaz, mantendo a qualidade a um preço mais baixo” (Carujo, 2021, p. 8).

A área dos transportes é a mais relacionada ao conceito de logística, dado que os montantes dos transportes formam um dos mais importantes elementos para a composição dos custos logísticos numa organização (Soares, 2012). Logo, o transporte cumpre um importante papel para obter o objetivo logístico: entregar o artigo na hora certa, para o local certo, na quantidade pedida ao mínimo custo (Dias *et al.*, 2004).

Assim, o transporte de mercadorias executa um importante papel na cadeia de abastecimentos, uma vez que afeta diretamente a sua capacidade de resposta e eficácia. É da sua responsabilidade interligar os vários pontos de uma Cadeia de Abastecimento, desde o aprovisionamento de matérias-primas até a distribuição do artigo final ao cliente (Lopes, 2021).

Para Gomes (2014) os principais objetivos dos canais de distribuição, incidem na relação entre os consumidores e os produtores, de forma que seja garantida a satisfação

da procura sendo os custos da mesma muito elevados quando comparados a outras operações logísticas.

Hara (2005) escreve que poderemos dividir a logística em três áreas: logística de entrada, estrutura e armazenagem e logística de saída. Esta é relativa à distribuição física dos artigos desde o transporte até à sua receção pelo consumidor final.

De forma a impedir constrangimentos nos cais de descarga, a entrega de mercadoria deve ser indicada antecipadamente e alocado um veículo ao cais de descarga (Valença, 2019). No entanto, natureza dos produtos é uma dificuldade encontrada por parte de quem gere a logística do armazém, como exemplo “uma empresa pretende ser especialista em frescos, este tipo de mercadoria não compadece com grande gestão de transporte, pois, para além de não poder aguardar demasiado tempo em armazém, (...) varia consoante variáveis não controladas pela empresa, como por exemplo a meteorologia” (Pinto, 2019, p. 32).

Estas situações determinam a que empresa resolva um problema operacional diário com o intuito de otimizar toda a sua rede de distribuição. Logo, é necessário “trabalhar-se no sentido de dar maior robustez ao algoritmo pedido dos produtos para tentar uma melhor conjugação entre pedidos e necessidades temporais “ (Pinto, 2019, p. 33).

As dimensões das paletes, é outra das dificuldades sentidas por quem gere o armazém e os transportes, uma vez que são pretendidas medidas determinadas de forma a garantir a ocupação quase perfeita no armazém ou no meio de transporte. Assim, vai facilitar os trabalhos de descarga e arrumação dos produtos.

A redução do número de transportes contribui para uma melhoria na qualidade do serviço efetuado ao cliente final pois ao diminuir a quantidade de reposições de stock na prateleira vai aumentar a comodidade do cliente final uma vez que, este não é incomodado com reposições desnecessárias (Pinto, 2019).

Quando se trata de vários artigos, o objetivo de melhoria consiste na execução de um sofisticado algoritmo, desenvolvido para evitar ruturas de *stock* especialmente de produtos com maior *lead time* (Pinto, 2019). O algoritmo permite ainda executar a concentração de produtos, isto é, possibilita adaptar o armazém ao tipo de produto que

Gestão Ágil de Armazéns com Otimização de Operações

receciona. “Simplificando e melhorando do ponto de vista da eficiência tanto a montante para o operador logístico como a jusante as equipas de trabalho” (Pinto, 2019, p. 33).

Pinto (2019) apresenta como exemplo de gestão logística no armazém, o caso do produto especiarias nos hipermercados Pingo Doce. Como medida inicial, o armazém pediu aos fornecedores para que se comesçassem a entregar as caixas separadas por encomendas pelas lojas, ao invés do que acontecia até então que, para além de receberem caixas em quantidades elevadas, a separação das mesmas era efetuada pelo armazém aquando da receção deste material, esperando as lojas por esperar até acabar os produtos originando assim rutura de stock. Com a implementação deste novo método, as lojas passaram a apostar mais nestes artigos, tendo sempre disponibilidade dos mesmos, resultando assim incremento do custo logístico no acréscimo das vendas.

Para que pareçam competitivas, as empresas necessitam que os seus custos sejam reduzidos, tanto quanto possível, desperdiçar o tempo de espera e de movimentos, de forma a coordenar o planeamento das diferentes etapas da cadeia (Thomas *et al.*, 1996).

Tseng *et al.* (2005) escreve que os custos de transporte constituem entre um a dois terços dos custos logísticos, logo a rede de transportes abarca uma parcela importante das despesas logísticas totais. A cadeia de abastecimento surge como um meio e auxílio aos gestores com o intuito a flexibilidade e o desempenho das suas organizações (Askarany *et al.*, 2010).

Dos diversos meios de transporte, destaca-se o transporte rodoviário de mercadorias como aquele que mais se tem expandido nas últimas décadas, sendo o mais utilizado em Portugal (INE, 2022). Este transporte é o mais resiliente e o que apresenta custos fixos reduzidos quando comparado com o serviço ferroviário, aéreo e marítimo (Lopes, 2021).

O transporte rodoviário é o que permite um serviço ponto a ponto, apresentando uma elevada flexibilidade operacional, o que lhe possibilita acesso a pontos isolados. Assim, verifica-se que este modo de transporte apresenta maior competitividade para distribuição de cargas distanciadas, para as quais são necessários movimentos rápidos da frota em lotes pequenos (Costa *et al.*, 2010). Detêm também maior disponibilidade e celeridade dos serviços o que consequentemente permite maior flexibilidade para a determinação de rotas (Lopes, 2021).

1.5 *Crossdocking*

O *crossdocking* corresponde ao processo logístico de transbordo de stock num centro cujo fluxo de mercadorias se centra na sua descarga direta dos camiões de entrada para os camiões de saída. Com intuito de redução do tempo e custos de carregamento de produtos, eliminação das atividades de armazenamento e separação de pedidos, agilizando assim o fluxo do ciclo e expedição (Kiani Mavi *et al.*, 2020).

Para Li (2020), *crossdocking* é uma prática logística na qual a mercadoria entregue no armazém é rececionada, preparada e expedida em breve, isto é, sem que ocorra o armazenamento destes produtos, ou seja este processo corresponde a uma estratégia operacional na qual não existe a operação *put-away*.

Segundo Ferreira (2016) entende-se chegou uma operação de *crossdocking* que é mercadoria não permanece em *stock*. O operador logístico, nesta atividade, tem como responsabilidade principal o agendamento da receção de produtos, para que a mesma possa ser encaminhada por um canal de distribuição. Assim, “*crossdocking* finaliza com o carregamento da carga num veículo de distribuição” (Ferreira, 2016, p.12)

A *Material Handling Industry of America* descreve *crossdocking* como o processo de movimentação de mercadorias do cais de receção para o de expedição, sem que estas sejam colocadas no armazém. As organizações implementam uma estratégia de *crossdocking* para melhorar as entregas “*just in time*” no interior da sua cadeia de abastecimentos, para minimizar o número de saídas de produtos e aumentar a sustentabilidade (Kiani Mavi *et al.*, 2020).

Uma estação de *crossdocking* é o lugar, no qual *stock* de produtos é descarregado, consolidado e, de seguida novamente recarregado em camiões para saída (Kiani Mavi *et al.*, 2020).

Esta estratégia de distribuição tem como plano armazenar os produtos apenas por um curto período de tempo, assim estes não poderão permanecer além das 24 horas dentro do armazém (Kiani Mavi *et al.*, 2020). Logo este é um método de consolidação de carga oriunda de origens distintas, mas que têm o mesmo destino, para que envolva pouca ou

nenhuma manipulação da mercadoria e nenhum armazenamento entre a descarga e carga das mercadorias (Suh, 2015).

O exercício de *crossdocking* requer sincronização entre os processos de receção e expedição dos artigos no armazém, esta técnica permite ainda eliminar operações de armazenamento e de *put-away*, pois permite diminuir significativamente os custos de distribuição (Arlbjørn, n.d).

Assim, verificamos que a diminuição dos custos de transporte de produtos entregues por cada fornecedor, é o principal objetivo do *crossdocking*, apenas é efetuado transporte para um único centro de distribuição (Ferreira, 2016).

1.5.1 Estudos e literatura sobre *crossdocking*

Os estudos efetuados nesta área aplicaram modelos distintos em *crossdocking* com o intuito de solucionar diversos problemas e melhorar as operações decorrentes neste sistema. Estes estudos incluem agendamento, atribuição de porta de cais, transbordo, alocação de artigos, design de *layout* e rede e roteamento de veículos.

Os problemas relativos ao agendamento em *crossdocking* têm sido muito investigados em vários trabalhos. Têm sido considerados vários fatores nas suas análises, nomeadamente proposição de modelos para resolução de problemas de agendamento de veículos num sistema de *crossdocking* multi-portas, agendamento *Just-In-Time* (JIT) com penalidades de janelas de tempo para minimizar o tempo de armazenamento, desenvolver um modelo para a programação eficaz dos veículos de receção e expedição em horários definidos e, desenvolver um modelo de agendamento para veículos de receção e expedição de forma que seja minimizada a distância da viagem.

Têm sido analisados problemas de agendamento de veículos nos centros de *crossdocking* para identificar uma potencial melhoria das operações de *crossdox*.

Urzúa-Morales *et al.* (2020) desenvolveram um modelo de otimização para escolher a localização física dos centros de *crossdocking* de forma a melhorar o desenho do sistema logístico urbano, diminuir os impactos negativos do processo de distribuição aumentar a sua eficácia.

Relativamente à sustentabilidade das cadeias produtivas, Chargui *et al.* (2019) otimizaram as operações do terminal *crossdocking* através do agendamento dos veículos

de saída nos cais. Para além disto, existem estudos nesta área que analisaram problemas relativos à programação das operações de transbordo numa configuração de diversos cais de entrada e saída de forma a minimizar o custo total de reposição de veículos e manutenção de *stocks*. O problema da programação de encomendas para minimizar o tempo das operações transferência e analisou a sequência de veículos de entrada e de saída com o intuito de minimizar o tempo total de retorno.

Surgiram, entretanto, outros estudos relacionados com o *crossdocking*, para otimizar e solucionar problemas no armazém, os quais recorreram a modelos matemáticos para concretizar os seguintes objetivos:

1. Desenvolver uma resolução que programe os veículos de receção, sem prejudicar o cronograma dos veículos expedição e, para solucionar problemas relativos aos veículos que chegam casualmente e ultrapassam o número de veículos de saída.
2. Agrupar e distribuir os destinos das mercadorias pelas portas da expedição com o intuito de aumentar a eficiência do centro de triagem e para auxiliar a tomada de decisões referentes ao problema de seleção e de localização do *crossdocking*.
3. Definir um modelo de *layout* de *crossdocking* com o objetivo de delimitar o lugar de armazenamento temporário para receção das cargas unitárias, com o intuito de minimizar a distância para transporte de paletes com estas cargas.

Para além disso, existem trabalhos que estudaram modelos para atribuição de veículos de receção completamente carregados com o intuito de diminuir os custos totais para manuseio de mercadorias. Assim, foi desenvolvido um método que possibilite diminuir o número de trabalhadores atribuídos às operações de carga e adjudicar os produtos, às portas dos cais de expedição, de acordo com o seu destino. Desta forma, para desenvolver a eficácia de distribuição de produtos numa rede logística distribuição, os autores recorreram a algoritmos genéticos, tendo sido comparados três projetos para o cais de expedição.

1.5.2 Características do *crossdocking*

Um sistema de *crossdocking* é semelhante ao de um armazém tradicional misto, no entanto os artigos circulam rapidamente pelo armazém e não permanecem armazenados, de forma a evitar a criação de stock (Alves, 2021).

Gestão Ágil de Armazéns com Otimização de Operações

Relativamente às remessas, a estratégia de *crossdocking*, devido a questões económicas, prioriza carregamentos *Full Truck Loads* (FTL). Ou seja, se a remessa for recebida através de FTL, como é maior a carga que transporta, a dimensão do lote será consequentemente maior. O que permite uma diminuição dos custos de configuração do sistema (Alves, 2021).

Destacam-se os três principais tipos de características do sistema de *crossdocking*: táticas, fluxo de bens/produtos (ótica operacional) e físicas.

As características físicas consideram os parâmetros que se pressupõem fixos durante um longo período de tempo, tais como número de docas, tipo de transporte interno e a forma de *crossdocking* (Alves, 2021).

- a. Número de cais: de forma a que seja possível rececionar os artigos com proveniência de várias origens e enviá-los para os destinos respetivos, um sistema de *crossdocking* deve considerar o número existente de docas ou portas a partir das quais as mercadorias são rececionadas e expedidas do sistema.

A quantidade de docas/cais é frequentemente definida considerando o número de destinos que o sistema vai atender. Cada destino pode ser representado por apenas uma doca, logo o sistema poderá escolher um número de docas igual ao de destinos. Poderá, no entanto, ser necessário mais do que uma doca se para um destino determinado existir um fluxo elevado de produtos.

- b. Forma de *crossdocking* - são consideradas neste sistema as formas em I, L, U, T, H e E. Esta corresponde a uma das características com maior influência devido ao efeito que causa para o funcionamento deste sistema.

Efetua a influência direta no processo de carga, movimentação de produtos e descarga. A forma representada pela letra I é a mais comum e a que apresenta desempenho melhor. Pois esta forma, comparativamente com as restantes, é demonstrada benefícios maiores, relacionados com o tempo curto de trajeto entre os cais de receção e de expedição. Quanto menor for o tempo do trajeto menor será o custo variável da viagem dos artigos entre os cais.

No entanto, a forma I apresenta uma desvantagem que passa pela variação do número de cais. Pois, esta forma, ao aumentar o número de cais, tende a diminuir a sua eficácia, uma vez que aumenta o diâmetro do *crossdocking*, o que origina que as

mercadorias possam ter viajar mais do que o previsto entre o cais de receção e o cais de expedição.

c. Transporte interno das mercadorias: podem ser considerados dois tipos de movimentação de produtos, automática e manual. Relativamente à movimentação manual, pode ser executado com recurso a empilhadores ou individualmente pelo operador, no entanto a movimentação automática é executada através de tapetes rolantes. Assim, “a definição de layout é um fator influenciado pela estrutura do próprio edifício” (Alves, 2021, p. 16).

Relativamente às características táticas, a sua execução é obrigatória na fase de implementação do *crossdocking* uma vez que as decisões efetuadas vão afetar a implementação e funcionamento do mesmo. Existem quatro tipos de características que se destacam: capacidade de armazenamento temporário e a capacidade de recursos internos, modo de serviços e o direito de preferência.

De acordo com Alves (2021), em relação à capacidade de armazenamento temporário e à capacidade de recursos internos, existem vários aspetos a considerar. Geralmente, quando um carro não está disponível para recolher mercadorias que estejam prontas para expedição, as mesmas são armazenadas num local próprio (no chão do armazém) durante um período de tempo curto. Este lugar apresenta um limite de capacidade dependendo do espaço destinado ao mesmo, se assim não for o caso considera-se que a sua capacidade é infinita. No caso de mercadorias especiais, como por exemplo os produtos alimentares congelados, não é possível que estes permaneçam armazenados temporariamente no *crossdocking*, o que origina que para este tipo de artigos a capacidade de armazenamento seja nula.

O modo de serviço tem como intuito obter os graus de liberdade na atribuição de empilhadores na receção e recolha de mercadorias aos cais correspondentes, isto é, está relacionado diretamente com o tipo de cais a utilizar e é dividido em três tipos: modo misto, modo exclusivo modo de combinação.

Modo misto: não existem restrições de cais. Em qualquer um se pode efetuar receção e expedição de mercadorias.

Modo exclusivo: apresenta cais exclusivos para entrada e cais exclusivos para saída de mercadorias. Isto é, os carros que chegam ao armazém com o objetivo de

descarregar as mercadorias apenas o poderão efetuar em determinados cais, o mesmo ocorre para carros com a intenção de carregar mercadorias para as entregar no seu destino, apenas o poderão efetuar em determinados cais exclusivos a este objetivo.

Neste modo, também se poderá alocar uma origem ou destino fixo a um ou mais cais, sendo estes caracterizados por cais de origem exclusiva ou cais de destino exclusivo.

Modo de combinação: atua como uma agregação do modo mista e do exclusivo. Ou seja, este modo consente que determinados cais trabalhem com um serviço exclusivo enquanto que os demais trabalham como um serviço misto.

Direito de preferência: apoia-se na pausa de um processo que esteja a decorrer para realização de outro com preferência. Ou seja, é necessário parar o processo a decorrer para que o carro com direito de preferência que chegou por último ao *crossdocking* possa efetuar as suas funções. Quando as mesmas estiverem concluídas, o carro sobre o qual foram interrompidas as ações anteriormente vai retomar e finalizar as suas atividades. Só é realizável se for possível a sua execução no sistema implementado.

As características de fluxo de bens ou operacionais, nem sempre poderão ser controladas pelo gestor do *crossdocking* uma vez que estas poderão ser postas por intervenientes externos ao processo, como o exemplo de fornecedores, clientes ou empresas de transporte. Sendo o fluxo ou movimentação de mercadorias definido consoante os seguintes parâmetros: tempo de chegada, intercambialidade dos artigos ou tempo de partida.

Tempo de chegada – os carros podem chegar de forma desfasada ou concentrada.

Os carros podem chegar de forma descompassada ou concentrada. Caso os veículos cheguem de forma concentrada e cada um possa ser descarregado a qualquer momento, não se verificam restrições assumindo-se que todos estão disponíveis desde o princípio do horizonte de planeamento para serem processados. O comportamento de *crossdocking* é muito influenciado pelo tipo de padrão de chegada a executar. Se a chegada dos veículos for submetida a restrições, como exemplo as operações a desenvolver em outros locais, então o padrão de chegada é determinado pelo veículo e pelas referentes operações a decorrer.

Permutabilidade do produto – esta medida remete para a presença ou não de artigos permutáveis. Um artigo é considerado permutável quando pode permutar outro numa carga.

Como a informação referente ao destino ou veículo de transporte dos artigos é conhecida antes dos mesmos entrarem no *crossdocking*, os produtos são pré-distribuídos, isto é, concedidos a um veículo ou destino específico de recolha, o que normalmente não permite que a carga manipulada possa ser trocada num cais.

Mas, existem várias situações nas quais as mercadorias podem ser classificadas como permutáveis. Neste caso, a carga não poderá ser definida por artigo, mas sim pelo tipo do mesmo. O que possibilita que a sua expedição seja efetuada não por artigos específicos, mas por tipo de produto. Por consequência, quando se constata a presença de permutabilidade, efetuam-se novas ações de valor acrescentado, como exemplo a rotulação dos artigos.

Tempo de partida – Neste parâmetro, assim como no tempo de chegada, podem ou não existir restrições. Ou seja, podem ser expedidos logo que esteja completo o serviço. No caso de existirem restrições, o veículo terá um *deadline* a efetuar, quer seja de recolha ou entrega de mercadorias.

Se este *deadline*, não for cumprido, existe a oportunidade de que um artigo ou conjunto de artigos não possa ser expedido nessa carga e esperar pela próxima carga para o mesmo destino.

1.5.3 Aplicação do armazém de *crossdocking* e principais benefícios

Como o processo de distribuição das mercadorias simboliza 30% do seu custo de venda, logo este procedimento origina o aumento das despesas gerais do processo da cadeia de abastecimento assim como os impactos negativos no processo de fabrico decorrente da facilidade de acesso a vários mercados e a elevada concorrência (Kiani Mavi *et al.*, 2020).

- **armazém de *crossdocking* e principais benefícios**

A estratégia de *crossdocking* permite superar os custos de manuseamento e armazenamento através da consolidação de remessas de distintas origens e, em seguida,

enviar as mercadorias para uma área de *crossdocking* na qual as remessas de distintas origens são descarregadas e de imediato recombinadas com cargas que partilham o mesmo destino, Kiani Mavi *et al.* (2020)

O *crossdocking* permite aumentar a eficácia na utilização da capacidade do veículo, pois permite o envio de cargas completas, consolidando remessas de diferentes tamanhos com o mesmo destino.

Outra vantagem da estratégia de *crossdocking*, é a redução dos custos de armazenamento, manutenção de stock, manuseamento, mão de obra e transporte, assim como a diminuição do *lead time* de entrega dos fornecedores aos clientes, redução do espaço de armazenamento, diminuição dos riscos de danos e redução de vida útil do artigo, consolidação de embarque, melhoria da utilização de recursos, diminuição de excesso de *stock*, maior controlo sobre os cronogramas de envio, melhoria do nível de serviço e subida da taxa de fluxo de stock e rotatividade de vendas. Khorasani *et al.* (2018) escreveram que o *crossdocking* é eficaz para mover diversos artigos em curtos espaços de tempo.

Cormier (2005) e Van Belle *et al.* (2012) mostram extinção de ações associadas ao armazenamento de artigos, como *put-away*, a melhoria dos serviços efetuados ao cliente conseguido pela rapidez maior, a diminuição do manuseamento dos artigos, o que significa redução de custos de utilização de material e mão de obra dos operadores, menor probabilidade de causar danos nas mercadorias, diminuição/eliminação dos custos relativos à ocupação do espaço no armazém associados ao *stock* de produtos e maior rapidez do fluxo de mercadorias, pois a eliminação do armazenamento, torna mais rápida a entrada e saída de mercadorias.

No entanto, Cormier (2005) admite que a grande desvantagem desta prática de *crossdocking* incide na necessidade de coordenação e planeamento complexos para um eficiente trabalho.

- **Casos de aplicação**

Existem várias aplicações relatadas de *crossdocking* na literatura. Como exemplo, na indústria de alimentos, este sector opera com prazos de entrega muito apertados, pois

transporta bens com data de validade, esta estratégia logística disponibiliza melhores eficácias, assim como economias de custos significativas.

Existem outras indústrias cuja implementação de *crossdocking* são bem-sucedidas, como a *Walmart* e *Office Depot* além da *Toyota*, *Goodyear*, *Eastman Kodak*, *Dotts* e *LLC*. A *Walmart* foi a primeira organização a propor esta estratégia tendo verificado o aumento do seu lucro assim como o acréscimo da sua participação no mercado.

A estratégia de *crossdocking* também é efetuada na cadeia de abastecimentos farmacêutica para gestão da velocidade de comercialização dos medicamentos e resíduos farmacêuticos de forma a melhor programar o tempo de resposta da sala de medicação e eliminação de atividades dispensáveis. Pois, o setor farmacêutico é um dos que mais efetuaram o *crossdocking* nos seus armazéns, nomeadamente por duas razões: a necessidade de um fornecimento de stock controlado e rápido e a existência de medicamentos em controlada temperatura.

Outra aplicação de um sistema de *crossdocking* ocorre nos centros de atendimento para compra online (*e-commerce*), nos quais as operações logísticas estão sujeitas a promoções, descontos ou ofertas, para diminuir os prazos de entrega, assim como os custos de envio e, as despesas de manuseamento e colocação em prateleiras (Ferreira *et al.*, 2015).

- **Classificação e aplicabilidade do armazém de *crossdocking***

Os vários tipos de *crossdocking* podem ser distinguidos por diversas abordagens. Através da utilização das diferentes características de *crossdocking*, é permitido distinguir sistemas mediante a sua forma, fluxo de mercadorias, número de cais, etc. (Alves, 2021).

Apesar de ser possível a implementação da prática do *crossdocking* na maioria dos armazéns. Existem vários requisitos que tornam admissível o que acrescentam ao potencial de um armazém para implementação da prática do *crossdocking* (Cormier, 2005).

Van belle *et al.* (2012) refere o facto de se poder utilizar distintas características para distinguir os tipos de *crossdocking*. Pelo que, considerando vários fatores é possível encontrar na literatura distintas classificações de *crossdocking*.

Kulwiec (2004) mostra o denominado *case-load order makeup*. Neste tipo de *crossdocking*, os artigos chegam ao local de entrega classificado ou marcado por SKU's e são preparados e separados consoante os distintos pedidos dos clientes o que, em alguns casos, implica que os artigos que chegam em paletes sejam separados e re-paletizados antes de serem enviados nos veículos para a expedição (sem armazenagem). Mas, esta versão de *crossdocking* envolve horas de trabalho dos *pickers* e o manuseamento das mercadorias.

VanderVlist (2005) relata o *crossdocking* com estrutura *pick-to-zero*. Este autor menciona que este tipo de *crossdocking* é efetuado ao nível das caixas. Ou seja, são construídas paletes com as mercadorias pedidas por cada cliente, a partir das caixas que chegam. Nas quais são entregues, pelo fornecedor, as mercadorias nas quantidades necessárias para completar as necessidades do consumidor. Esta estrutura de *crossdocking* é a ideal quando os clientes têm a liberdade de efetuar pedidos todos os dias. No entanto, é possível efetuar a diferenciação através pelo número de toques ou pelas fases presentes entre a mercadoria e o *crossdocking*. Van Belle *et al.* (2012) diferencia os tipos de *crossdocking* com base nos seguintes critérios:

1. Altura em que as mercadorias são atribuídas a cada cliente
 - a) *pre-distribution crossdocking* - as paletes são entregues no *crossdock* preparadas para o cliente;
 - b) *pos-distribution crossdocking* - as paletes são preparadas para o cliente no *crossdock*.
2. Quantidade de toques efetuados ou estados circulados pelos artigos
 - a) *crossdocking* a um toque (*one-touch crossdocking*) - entrega e envio direto dos produtos. Segundo Alves (2021) este tipo de sistema é apontado como *crossdocking* “puro”. Pois, a metodologia padrão deste tipo de sistema passa por rececionar a mercadoria e movimentá-la diretamente para o veículo de expedição estabelecido. Neste sistema, não existe qualquer tipo de armazenamento intermédio. Durante o processo de movimentação, a mercadoria apenas é “tocada” uma vez.
 - b) *crossdocking* a dois toques ou de uma fase (*two-touch crossdocking*) - entrega, armazenamento breve e envio dos produtos. A mercadoria é rececionada e disposta num lugar exclusivo, designado como “área de *picking*”. Durante este processo já é

considerado o primeiro toque. Em seguida, são efetuados os movimentos e carregadas as mercadorias para o veículo de recolha, no qual é executado o segundo toque (Alves, 2021).

c) *crossdocking* a múltiplos toques ou de duas fases (*multiple-touch crossdocking*) - entrega, armazenamento breve, escalonamento e envio dos produtos. De acordo com Alves (2021), neste sistema é efetuado o primeiro toque na receção e disposição das mercadorias num lugar destinado onde seguidamente serão acondicionadas (considera-se o segundo toque). Quando este processo for concluído, são efetuados os movimentos e carregadas as mercadorias para o veículo de recolha, ocorrendo assim o terceiro toque, as quais são expedidas para o seu destino.

Pos-distribution crossdocking neste sistema as mercadorias são organizadas e alocadas nas paletes correspondentes aos respetivos clientes de destino no *crossdock*. Portanto, os artigos que são enviados pelos fornecedores e rececionados em paletes, são distribuídos pelas paletes de diferentes clientes consoante os pedidos dos mesmos.

A utilização destes tipos de *crossdocking* depende muito do objetivo do negócio ou da disponibilidade do espaço que existe em armazém.

Ambos se podem caracterizar pela necessidade de redistribuir e alocar as mercadorias aos respetivos clientes. As mercadorias são rececionadas e, antes de serem expedidas, são reorganizadas pelas paletes, consoante as suas encomendas dos distintos clientes.

Relativamente às condições do armazém, as mesmas passam pela capacidade de capital para manter os custos desta estratégia, pela presença de operadores que reconheçam a importância da não armazenagem (mas sim movimentação de mercadorias), a capacidade ao nível de material e espaço apropriados e a presença de fornecedores com competências para fornecer a quantidade adequada dos artigos certos no momento em que estes são necessários (Cormier, 2005). Este autor, também menciona as características relativas com os artigos movimentados nos armazéns que promovem o *crossdocking* com êxito:

- a. Receção das mercadorias em paletes que contêm grupos de produtos a enviar para o mesmo cliente;
- b. Receção de um elevado número de artigos individuais;
- c. Movimentação de artigos com sentido de urgência;

- d. Movimentação de mercadorias com curto prazo de validade ou sazonais;
- e. Movimentação de artigos com rápida venda ou promoção;
- f. Movimentação de mercadorias com encomendas constantes e de volume considerável;
- g. Movimentação de artigos encomendados cujo cliente (destino) é conhecido quando estes chegam ao armazém e cujo destino são clientes que estão preparados para os receber de imediato.

No entanto, existem classes de produtos que não são favoráveis à prática de estratégia de *crossdocking*. Como os produtos que são entregues antes da época das promoções, os produtos irregulares e volumosos, uma vez que estes devem ser movidos de forma mais morosa e são de difícil manuseio, os produtos que apresentam considerável tempo de espera e os que são comprados em quantidades grandes a granel (Kulwiec, 2004).

Por outro lado, o armazenamento em *crossdocking* admite vários tipos de sistemas. Para diferenciar os tipos de armazenamento, estes poderão ser classificados consoante o tipo de movimentação das cargas (Alves, 2021).

- Movimentação híbrida - a carga rececionada no *crossdocking* é dividida. Assim, uma parte é armazenada de forma a efetuar pedidos completos enquanto a outra parte é expedida para clientes, originando inventário quando é rigorosamente necessário.
- Movimentação contínua - emprega-se ao *crossdocking* tradicional, no qual a carga é enviada pelo fornecedor e rececionada pelo cliente sem passar pelo processo de armazenamento.
- Movimentação de distribuição - as cargas rececionadas são fragmentadas sendo criado um compasso de espera até existir volume suficiente para perfazer um veículo.

1.5.4 Indicadores de desempenho em *crossdocking*

Assim como em todos os sistemas, é preciso determinar indicadores que permitam qualificar o sucesso e o desempenho das operações efetuadas. O funcionamento de um sistema de *crossdocking* pode ser classificado por diversas maneiras através de diferentes

indicadores, relativos a operações próprias, fluxo de veículos e com operadores (Alves, 2021).

De forma a efetuar a ocorrência de melhoria contínua e uma adequada avaliação é importante assegurar indicadores de desempenho apropriados às ações que se desenvolvem no *crossdock*. O conhecimento destes indicadores é importante, assim como os mesmos devem ser mensuráveis, compreensíveis devendo-se estabelecer objetivos alcançáveis.

Para além de indicadores indutores (relativos a fatores que antecipam e subordinam futuros resultados, como por exemplo oras de formação) e indicadores de resultados (refletem os resultados conseguidos, como exemplo volume faturado) existem também indicadores de eficácia (traduzem a satisfação do cliente) e indicadora eficiência (relativos aos custos e qualidade dos processos decorridos) (Ladier *et al.*, 2016).

Assim, segundo Alves (2021) são apontados indicadores tais como:

Horas de trabalho - a quantidade total de horas de trabalho é considerado como um importante indicador dado que, representa elevados custos, para um sistema manual de *crossdocking*.

Carga de trabalho - em sistemas manuais, a quantidade de horas de trabalho, deve ser repartida de forma adequada pelos operadores, embora seja um difícil fator para qualificar quantitativamente.

Nível de inventário - dado que minimizar a existência de inventário é o objetivo deste tipo de sistema, o indicador mais coerente de avaliação consiste na supervisão da quantidade total de mercadorias armazenadas no horizonte de planeamento num definido intervalo de tempo.

Distância de viagem do produto - o trajeto total percorrido pelas mercadorias dentro do sistema de *crossdocking* é um aspeto muito importante para avaliar. Uma vez que, quanto maior a distância a percorrer maior será o tempo e o custo de trabalho.

Tempo total de permanência das mercadorias - Aumentar a rotatividade das mercadorias é um dos principais objetivos do sistema de *crossdocking*, assim o tempo de permanência total das mercadorias no *crossdocking* é um importante aspeto a considerar.

Número de toques - a quantidade de toques define o tipo de sistema a que se refere. Cada toque simboliza um custo, o qual está imediatamente associado ao desempenho.

Gestão Ágil de Armazéns com Otimização de Operações

Mercadorias não expedidas – Este indicador pode ser avaliado a partir do número de pedidos extraviados, isto é, a quantidade de artigos para os quais não houve possibilidade de expedição, o que simboliza um lucro não obtido.

Tempo total de descarga e de carga - de forma a agilizar o fluxo de artigos é necessário libertar os veículos o mais breve possível de maneira a que o próximo veículo possa ser descarregue. Este indicador avalia a taxa de utilização de cada caixa de forma a que seja possível, de seguida, ir ao encontro de soluções para minimizar o tempo de recolha/entrega.

Congestionamento de veículos - através da diminuição do tempo de viagem dos artigos, ocorre a possibilidade das tarefas de descarga/ carga da mesma zona se agruparem e originar um congestionamento de veículos. O que vai originar o desacelerar do processo geral que está a ocorrer, apresentando este congestionamento um impacto forte no desempenho do sistema.

Desvio do tempo de processamento dos veículos - normalmente, o Tempo de chegada, expedição e deadlines imprevistos estão determinados. Para garantir que o horário definido seja respeitado, são avaliados as antecipações e os atrasos dos veículos de recolha ou entrega. Este indicador é influenciado por fatores externos que obrigam os veículos ao incumprimento do planeamento, logo não é diretamente influenciado pela gestão do sistema de *crossdocking*.

Taxa de utilização dos cais - este indicador está relacionado com a duração total de descarregamento e carregamento dos veículos de recolha e de entrega.

makespan - se for importante acabar as operações o mais breve possível, é uma opção acompanhar o *makespan*, uma vez que este corresponde ao tempo decorrente entre início da primeira operação e o fim da última.

De forma a avaliar o desempenho do sistema de *crossdocking*, podem ser aplicados todos estes indicadores mencionados, consoante as necessidades existentes e os aspetos a melhorar assim como o tipo de processos que tencionam aperfeiçoar. Indicadores de desempenho logístico.

A procura pela eficácia contém como pré-requisito a elevada qualidade dos serviços efetuados ao cliente. Logo, deve ser criteriosamente definido um conjunto de indicadores de desempenho logístico para conferir o desenvolvimento do sistema em análise e

averiguar a execução ou desvios relativos aos objetivos inicialmente delineados pela organização.

Um adequado conjunto de indicadores de desempenho logístico, proporciona uma melhor estratégia logística, otimizando assim os fluxos de materiais e informação entre fornecedores e clientes (Carvalho, 2014). Assim, para seleção dos indicadores de desempenho são considerados os objetivos e as atividades da organização, pois são importantes ferramentas para confirmar a eficiência e execução das metas estabelecidas (Valença, 2019).

Pettersen (2009), escreve que de forma a obter uma cadeia de abastecimento mais eficaz e eficiente, é necessário avaliar os indicadores de desempenho em quatro níveis: tempo, lucro, rapidez de entrega e desperdício.

Para Carvalho (2014), estes indicadores devem ser avaliados com base nos componentes que colaboram para um desempenho melhor ao nível competitivo da organização. Geralmente, as empresas concorrem com base em quatro distintos grupos de fatores:

1. Produtividade, ou habilidade de produzir os melhores resultados possíveis com a quantidade menor de recursos;
2. Custo, ou capacidade de facultar serviços/bens ao menor custo possível;
3. Qualidade/serviço, ou a capacidade de criar serviços e/ou produtos que satisfaçam ou superem as expetativas dos clientes;
4. Tempo ou competência de resposta da empresa, no menor período possível, às alterações a executar durante o processo.

Devido à sua complementaridade, todos estes indicadores devem ser simultaneamente calculados e de forma complementar. Assim, a organização deve avaliar uma quantidade reduzida de indicadores logísticos, ordenados segundo os objetivos estratégicos de gestão das suas cadeias logísticas (Carvalho, 2014).

1.6 Impacto das rotas na gestão das operações de armazém

Para se manterem competitivas, as empresas necessitam reduzir custos, tanto quanto possível, evitar o desperdício de tempo de espera e de movimentos, de forma a coordenar o planeamento das diferentes etapas da cadeia (Thomas *et al.*, 1996).

Tseng *et al.* (2005) escreve que os custos de transporte constituem entre um a dois terços dos custos logísticos, logo a rede de transportes abarca uma parcela importante das despesas logísticas totais. A cadeia de abastecimento surge como um meio e auxílio aos gestores com o intuito a flexibilidade e o desempenho das suas organizações (Askarany *et al.*, 2010).

De entre os diversos meios de transporte, destaca-se o transporte rodoviário de mercadorias como aquele que mais se tem expandido nas últimas décadas, sendo o mais utilizado em Portugal (INE, 2022). Este transporte é o mais resiliente e o que apresenta custos fixos reduzidos quando comparado com o serviço ferroviário, aéreo e marítimo (Lopes, 2021).

O transporte rodoviário é o que permite um serviço ponto a ponto, apresentando uma elevada flexibilidade operacional, o que lhe possibilita acesso a pontos isolados. Assim, verifica-se que este modo de transporte apresenta maior competitividade para distribuição de cargas distanciadas, para as quais são necessários movimentos rápidos da frota em lotes pequenos (Costa *et al.*, 2010). Detêm também maior disponibilidade e celeridade dos serviços o que consequentemente permite maior flexibilidade para a determinação de rotas (Lopes, 2021).

Por outro lado, as empresas procuram índices elevados de eficiência na gestão das operações, que estimulem a redução de custos nas atividades das três grandes áreas da logística: transporte, armazenagem e gestão de produtos (Duarte *et al.*, 2019).

O problema de gestão das rotas adquire um importante destaque na gestão das operações em armazém. Duarte *et al.* (2019) apresentam uma proposta com o objetivo de criação de uma plataforma que permita a inserção de encomendas de clientes e posterior otimização das rotas para as entregas associadas a cada veículo. Após as encomendas estarem inseridas, são agrupadas por data e distribuídas pelas viaturas que as entregaram aos clientes de áreas próximas. Através das moradas dos clientes o sistema calculou, com o auxílio do cálculo de algoritmos, a melhor rota que a logística da empresa pode utilizar, tendo em conta fatores como portagens e caminho mais rápido.

Como conclusão, os autores verificaram que existem diversas ferramentas e algoritmos associados à resolução dos problemas da definição de rotas. Concluíram também que devido à complexidade e dificuldade associadas à definição de rotas

otimizadas de forma eficiente e eficaz, existe uma grande variedade de algoritmos disponíveis para auxiliar a resolução destes problemas e que estão divididos por quatro grandes grupos: Métodos exatos; Heurísticos; Meta-heurísticos e Genéticos baseados em procedimentos de seleção natural e de genética.

A solução implementada considera a prévia identificação das zonas onde as organizações têm clientes com encomendas para entregar e o agrupamento desses mesmos clientes num determinado veículo, como forma de facilitar a determinação de uma rota ideal. Este processo permite que esse veículo efetue as entregas todas a clientes da mesma zona, evitando assim que efetue rotas por zonas muito dispersas e por onde poderá passar outro veículo no mesmo dia ou num dia muito próximo, permitindo assim que se efetue uma rota mais curta e eficaz.

Já no caso da calendarização de veículos em sistema *crossdocking*, a mercadoria com destino ao sistema, depois de efetuada a sua consolidação, deve ser recolhida e entregue em vários locais. A recolha e entrega destes artigos pode ser considerada como um processo de direcionamento de veículos, o que por vezes, pode ser classificado como parte complementar dos processos de *crossdocking* (Alves, 2021).

Os problemas de roteirização de veículos são destacados como forma de aumentar a eficácia da tomada de decisões ao nível operacional assim como melhorar o plano tático de transportes. Estes estudos apresentam abordagens diferentes, como o desenvolvimento de modelos para problemas de rotas de veículos (Kiani Mavi *et al.*, 2020).

O objetivo principal, passa por conseguir a rota dos veículos que, possibilite minimizar a soma dos custos de transporte e fixos, aquando o a recolha e entrega das mercadorias.

Num sistema ideal, os veículos deveriam chegar ao *crossdocking* paralelamente para que não ocorram tempos de espera entre a recolha e entrega dos artigos. Para evitar as restrições relacionadas a estes processos, apareceram várias metodologias referentes à atribuição de cais a veículos cuja chegada ao sistema está próxima, o que origina problemas de expedição (Alves, 2021).

Todas as abordagens e métodos empregues para contornar este problema, apresentam como objetivo transversal, o aumento da produtividade e a maximização do

desempenho de processos e recolha e entrega de mercadoria pelos veículos, de forma a diminuir o intervalo de tempo decorrente desde o início da descarga (entrega) de mercadoria do primeiro veículo até ao final da carga (recolha) de mercadoria a efetuar pelo último veículo (Alves, 2021).

Se a quantidade de cais existentes no *crossdocking* for superior à quantidade de veículos que existem no processo, a distribuição dos mesmos deve-se simplificar de forma a que seja atribuído a cada veículo um cais (Alves, 2021).

No entanto, normalmente esta situação já se verifica, ocorrendo até o contrário. Assim, para que o fluxo de veículos ocorra de forma ordenada, usam-se métodos de calendarização, de entre os quais se destacam:

Tempo real – a plataforma de *crossdocking* ou o seu gestor atribui os cais aos veículos conforme estes vão regressando. Neste tipo de calendarização, é usado o método *First Come First Served* (FCFS), no qual o primeiro veículo a chegar será o primeiro a ser descarregue, originando desta forma uma fila de espera em sequência.

Calendarização a médio prazo – a denominação dos cais é efetuada considerando os destinos próprios. Como exemplo, pode-se considerar que todas as entregas enviadas pelo fornecedor X são efetivamente entregues no cais 1 e as entregas com destino ao local Y são expedidas no cais 10. Este processo é eficiente quando estão envolvidos no negócio contratos temporais.

Calendarização a curto prazo – denominam-se cais consoante o fluxo presente, uma vez que a plataforma logística ou o gestor da mesma detêm informações de antemão sobre o veículo de recolha (carga). Esta pode ser efetuada todos os dias considerando que as informações relativas ao dia são conhecidas.

Calendarização a curto e médio prazo (combinada) - é adequada em serviços mistos. Isto é, alguns cais são considerados exclusivos a veículos oriundos do fornecedor X enquanto que as os demais são denominados a curto prazo.

1.7 Enquadramento da otimização na gestão de armazém

No Reino Unido, por volta da década de 70, sentiu-se a necessidade de garantir um elevado nível de serviço de logística. Assim, os grandes retalhistas e as grandes áreas comerciais criaram e desenvolveram as suas próprias rotas de distribuição, o que lhes

possibilitou que, autonomamente, pudessem controlar o abastecimento das suas lojas (Ferreira, 2012).

Em Portugal, a abertura das grandes superfícies comerciais e cadeias de hipermercados impulsionaram o surgimento e desenvolvimento das funções logísticas que atualmente, são vistas como um importante fator estratégico de competitividade, trabalhando de modo a assegurar que o produto certo seja colocado no seu posto de venda, dentro do prazo solicitado. A logística desempenha assim um importante papel para a fidelização de clientes cuja exigência é cada vez maior.

Avdekens *et al.* (2019) aplicaram algoritmos genéticos utilizando operadores *crossover* (OX) para otimização da localização dos produtos e distribuição de rotas dos pedidos no armazém. No entanto, apenas Kordos *et al.* (2020) encontraram uma solução completa para aplicação de algoritmos genéticos num sistema automático em armazém.

Ainda com o foco principal no armazém, Staudt *et al.* (2015) incidem na medição do desempenho do armazém e, propõem uma análise de literatura sobre a avaliação do desempenho operacional em armazéns. Os autores destacam várias direções para pesquisa em gestão de armazéns, das quais destacam os processos de receção de mercadoria. Como conclusão, verificou-se que nem sempre existe consenso sobre as definições de alguns indicadores e dos seus limites (metas ou *targets*) no armazém.

Magalhães (2020) desenvolveu uma ferramenta com base em metodologias de otimização exata, mais especificamente de programação inteira mista, com o intuito de aumentar a eficácia da operação logística, especialmente no processo de gestão de *stocks* e transferências, procurando diminuir os custos logísticos na organização.

Este modelo de programação inteira mista desenvolvido, utiliza uma função objetivo definida por uma equação, limitada por restrições impostas e expressas por duas equações. Foi escolhido, pelo fato de utilizar metodologias de implementação pouco complexas (quando comparadas com métodos heurísticos) e por ser um modelo simples, o que possibilitou a obtenção de soluções ótimas em tempo útil. A ferramenta desenvolvida possibilitou a uniformização do planeamento das transferências de produtos e permitiu o estudo de políticas diferentes para gestão do *stock*, a partir da construção de cenários alternativos, os quais originaram consideráveis poupanças nos custos totais da

operação, a partir da diminuição do *stock* e otimização das transferências realizadas entre armazéns.

Bo *et al.* (2020) analisaram um problema de otimização que envolve a produção, a distribuição e a logística de um armazém. Este problema incide na criação de um projeto realizado na rede logística e na gestão do fluxo de materiais como forma de resposta ao cliente. Os autores concluíram que, o modelo é computacionalmente difícil pelo que foi introduzido um algoritmo meta-heurístico para calcular soluções aproximadas. Os resultados mostraram que, em todos os casos, o algoritmo é rápido e capaz de criar soluções de elevada qualidade. Adicionalmente, os autores referem também que, os algoritmos de resolução e os modelos utilizados auxiliam a gestão tática de médio prazo das redes logísticas nas organizações, tornando-se assim, num método eficaz de avaliação de políticas a utilizar em diferentes cenários.

Numa outra perspetiva, Grznár *et al.* (2021) efetuaram um estudo, cujo objetivo principal incide na determinação do número de trabalhadores necessários para agilizar a saída dos produtos e assim otimizar a carga de trabalho dos mesmos. Os autores descreveram a utilização de vários modelos de simulação e, efetuaram também a simulação de processos de triagem e expedição. Os quais foram otimizados através da utilização de um algoritmo genético, com o intuito de reduzir o número de trabalhadores necessário e a duração do tempo de organização das expedições.

Neste artigo, é explicado o algoritmo utilizado e são demonstrados os resultados da sua aplicação para determinar o número ótimo de trabalhadores na triagem dos armazéns. De forma a destacar os benefícios resultantes das alterações propostas, foi incluída uma avaliação desta proposta comparando-a com os métodos originais.

Já numa ótica mais tecnológica, Jamkhaneh *et al.* (2022) sugeriram critérios de qualidade do serviço de logística 4.0 (L4.OSQ) de forma a averiguar a eficiência das tecnologias emergentes como facilitadoras de criação de valor e de sustentabilidade para o aperfeiçoamento dos serviços logísticos. Estes critérios para determinação da qualidade dos serviços logísticos foram ordenados em dois grupos: os criadores de valor social e os impulsionadores competitivos.

Os resultados mostram que entre os facilitadores de sustentabilidade analisados que correspondem aos mais importantes facilitadores para a qualidade de serviço da logística

4.0. são: a robótica avançada (S4); a inteligência artificial (S); a manufatura aditiva (S3) e *blockchain* (S7). Estes resultados contribuem como um bom guia para que os gestores e empresas possam verificar e aperfeiçoar a qualidade dos serviços logísticos 4.0. E, também possibilita que as empresas obtenham maior agilidade e destreza nos seus processos o que lhes permite responder de forma mais rápida às necessidades do mercado.

Um outro aspeto muito impactante na logística do armazém é o *layout* das instalações. Martins (2019) desenvolveu um estudo cujo principal objetivo incide na melhoria logística de receção e de expedição nos armazéns de uma empresa de rolhas de cortiça. Recorreu à análise de dados, cronometragem direta e ao mapeamento de processos para identificar os tempos de valor acrescentado, tal como os seus impactos e causas, e a identificação de um dimensionamento não adequado no *layout* dos armazéns, com significativos impactos na eficácia da gestão.

Foi proposta a reorganização do *layout*, para diminuição das movimentações, com base na rotação dos produtos no armazém da receção. Enquanto que no armazém de expedição, foi executado o estudo de diversas possibilidades para rentabilizar o espaço de armazém e das áreas de manuseio de produto acabado, para satisfazer as necessidades de produção. Da análise dos resultados, estimou-se que estas propostas de melhoria poderão permitir que a empresa possa reduzir em 58% os tempos gastos para movimentação das cargas no armazém enquanto, no armazém de produto acabado, a partir das propostas apresentadas, é considerado que se possa rentabilizar em 90% o espaço de armazenamento e ampliar em 30% a área de elaboração das cargas.

1.8 Métodos para resolução

Em sequência do exposta na primeira secção (1.1), apresenta-se em seguida as abordagens que mais se destacaram, de entre os vários métodos de resolução propostos, no âmbito dos vários contextos de operação e gestão do armazém.

1.8.1 Métodos Heurísticos

O método heurístico é um procedimento de resolução que, apesar de não confirmar a descoberta de uma solução ótima, tem usualmente uma performance boa em termos da convergência e qualidade para encontrar a solução ótima (Lourenço, 2005).

Estes métodos são apropriados para situações em que a dimensão e a complexidade dos modelos é alta e, em que o custo e o tempo necessários para a descoberta de uma solução ótima poderão ser inexecutáveis.

Atualmente, têm vindo a ser efetuados enormes progressos para o desenvolvimento de heurísticas efetivas e eficazes, compreendendo o caso das meta-heurísticas, e por isso a sua utilização tem vindo a aumentar.

As meta-heurísticas que se têm vindo a destacar e a adquirir protagonismo, são baseadas em conceções inovadoras com o intuito de conduzir a pesquisa em direção à solução ótima, usando os algoritmos genéticos que assentam na ideia de permanência do mais capaz através da seleção natural. Estas meta-heurísticas podem também ser aplicadas para resolução de problemas de programação inteira não-linear (Hillier *et al.*, 2001).

Existem vários exemplos na literatura que relatam a utilização de métodos heurísticos para gestão de armazéns. Izdebski *et al.* (2016) efetuaram um estudo para solucionar um problema de localização de armazéns baseada na aplicação de um algoritmo genético. O principal objetivo foi mostrar a localização dos armazéns, de entre os já existentes, que detenham uma maior probabilidade de confirmar o melhor valor da função critério escolhida, considerando as necessidades dos destinatários. O problema consistiu em determinar a localização dos armazéns tendo em consideração a minimização dos custos de transporte e o armazenamento da carga entre as instalações definidas dentro da rede.

Bertolini *et al.* (2019) propôs no seu trabalho um algoritmo meta-heurístico com base no procedimento *Simulated Annealing* (SA), para otimizar o desempenho de um armazém automatizado de fardos de metal. O algoritmo traduz os pedidos dos clientes, expressos em código do produto, qualidade e peso dos fardos de metal. Os resultados dos testes demonstraram que o algoritmo pode ser utilizado para encontrar a rota ideal e

ordenar os trabalhos efetuados assim como otimizar ainda mais o desempenho dos mesmos.

1.8.2 Métodos Exatos para Otimização

A otimização pode ser explicada como o conjunto de procedimentos através dos quais se procura maximizar ou minimizar uma função, designada função objetivo, sujeita ou não a restrições de desigualdade, igualdade e restrições laterais. Obtendo deste modo um aproveitamento melhor dos recursos.

O modelo exato de otimização de um problema de negócio corresponde ao sistema de expressões e equações matemáticas relatadas que traçam a essência do problema em análise. Subsistem quatro elementos que determinam todos estes métodos:

- 1) função objetivo, corresponde à análise da performance dos sistemas, revelada sob a forma de uma expressão matemática composta por variáveis de decisão;
- 2) variáveis de decisão, expõem as decisões quantificáveis cujos respetivos valores são definidos na resolução de método;
- 3) restrições, apresentam-se sob a forma de expressões matemáticas e, demonstram todos os limites que, restringem os valores das variáveis de decisão;
- 4) parâmetros, correspondem às constantes presentes nas expressões da função objetivo e respetivas restrições (Hillier *et al.*, 2001).

Posteriormente, o modelo poderá ser solucionado com o intuito de maximizar ou minimizar a função objetivo, condicionada pelas restrições estabelecidas.

Os problemas existentes nas cadeias de abastecimento apresentam-se cada vez mais vastos e complexos. Daqui resulta a desvantagem primordial relacionada com os métodos de otimização, pois os difíceis modelos com elevadas quantidades de dados, necessitam da utilização de diversos recursos informáticos, podendo até ser incapazes de, em tempo real, solucionar o modelo (Lourenço, 2005).

Existem vários exemplos na literatura que relatam a utilização de métodos de otimização na gestão de stocks.

Bilgen *et al.* (2010) desenvolveram um modelo que, incorporou o planeamento de produção e distribuição de artigos, aplicado à indústria alimentar. Deste modo, consideraram distintos modos de transporte, FTL (*Full Truck Load*) e LTL (*Less than*

Truck Load) e, descreveram o sistema de produção sob uma abordagem de *block planning* a qual define padrões cíclicos relativos às famílias de produtos analisados.

Vicente *et al.* (2015) efetuaram um modelo para a gestão de *stocks*, no qual aplicaram a programação inteira mista com o intuito de otimizar o fluxo de artigos numa cadeia de abastecimento multiproduto, multinível e com uma perspetiva temporal multiperíodo.

Magalhães (2020) desenvolveu uma ferramenta com base em metodologias de otimização exata, mais especificamente de programação, com o intuito de aumentar a eficácia da operação logística, especialmente no processo de gestão de *stocks* e transferências e diminuir os custos logísticos na organização.

Efetuoou um modelo para otimizar o processo de planeamento da gestão de *stocks* e transferências. Com objetivo de minimizar os custos relativos ao *stock* e às transferências entre armazéns, ao mesmo tempo que se preserva o nível de serviço estabelecido para com o consumidor final. Assim, o modelo delimitou para cada período, o número de paletes de artigo que devem ser transferidas entre armazéns, para executar as encomendas dos clientes e evitar roturas de *stock*.

Por outro lado, considerando o destaque atribuído pela literatura às questões do caso particular do *crossdocking*, importa referir que a otimização matemática é utilizada para auxiliar a complexa tomada de decisões e encontrar soluções ideais, como minimizar o tráfego durante o agendamento do cais de carga/descarga, melhorar a atribuição e selecionar os produtos para *crossdocking*.

A simulação é utilizada para reproduzir as operações do mundo real com a progressão de um simulador de operações de forma a avaliar fluxos de tempos de classificação nas diversas atribuições para cais de saída de *crossdocking* e simular diversas configurações de área de piso de armazém relacionadas com a eficácia de movimento de mercadorias e capacidade ideal de *crossdock*.

Os modelos de simulação que têm sido aplicados incluem abordagens mais tradicionais de meta heurísticas híbridas, algoritmo genético, pesquisa Tabu, otimização de grupos de partículas, reconhecimento simulado e procura variável de vizinhança.

A meta heurística híbrida é também a segunda abordagem importante aplicada à gestão de rotas/inventários de veículos. Modelos heurísticos são utilizados para oferecer boas soluções, tais como encontrar a melhor rota de veículos em curto espaço de tempo.

O reconhecimento simulado é a segunda técnica mais utilizada no estacionamento, pois é eficaz para soluções de problemas combinatórios, como agendamento de carros em sistema de *crossdocking* de diversas portas e agendamento de carros para horários fixos de saída.

Em logística, a segunda técnica mais utilizada é a teoria dos grafos, que ajuda a visualizar os sistemas como grafos para facilitar a tomada de decisões. No armazenamento e distribuição, as heurísticas são a segunda técnica mais aplicada em problemas, como agendamento de operações em *crossdocking*.

1.9 Sumário

No final da presente revisão de literatura importa sumariar as principais conclusões e mais valia adquiridas. Em jeito de destaque impera referir que:

- A literatura enfatiza os problemas de otimização das operações de armazém, dando nota da complexidade de muitos dos contextos operados na prática das organizações;
- As propostas de gestão do armazém destacam vários aspetos e operações, apontando a gestão ágil como um atributo dos métodos e técnicas aplicados;
- O *crossdocking* é destacado por agilizar as operações em armazéns que operam como centros de operações logísticas, numa ótica de proximidade do cliente.
- Os indicadores de desempenho e outras métricas apontam como prioritária a satisfação do cliente, e o nível de serviço proporcionado, estando este intimamente relacionado com a capacidade de fazer chegar o produto ao cliente;
- A otimização de rotas é destacada como determinante para uma gestão ágil do armazém.

Assim, por este conjunto de razões, o estudo a desenvolver no âmbito do trabalho de dissertação procura atender às contribuições aqui tratadas.

2 Metodologia e Propostas de Modelação

No âmbito deste capítulo apresenta-se a metodologia adotada no desenvolvimento do presente trabalho de investigação, e caracterizam-se as principais etapas de desenvolvimento utilizadas para cumprir cada um dos objetivos delineados e dar resposta às questões de investigação colocadas.

O faseado de etapas que caracteriza o presente estudo não é possível de enquadrar na definição de uma só metodologia. Assim, apresenta-se a abordagem adotada em cada etapa e dá-se nota dos métodos e ferramentas utilizadas em cada uma delas.

2.1 Descrição das Etapas de Investigação

Foi delineado um conjunto de etapas consistente com os objetivos e com o propósito de obter várias perspetivas de resposta às questões de investigação propostas. Ou seja, perante as questões de investigação que focam aspetos como: otimizar as operações (**QI.1**); gestão ágil de armazém (**QI.2**); operações críticas (**QI.3**); suportes de informação (**QI.4**); serviço ao cliente e leitura dos *players* empresariais (**QI.5**), obter respostas que combinem a perspetivas técnico-científica com aquela que é a prática empresarial.

Para tanto, planeou-se a realização de uma dupla abordagem: **1.)** a visão da literatura e **2.)** a ótica das empresas.

A primeira assenta numa revisão da literatura, enquanto a segunda se suporta na realização de entrevistas e na avaliação de um caso empresarial ilustrativo e baseado em dados reais.

Etapa 1. Revisão da literatura

A revisão da literatura implementada segue de perto as etapas metodológicas de uma revisão sistemática de literatura (RSL). Trata-se de um método baseado num processo de pesquisa que segue um conjunto de passos metodologicamente definidos de acordo com um protocolo prévio; a sua posterior execução e a criação de um relatório das evidências apuradas.

Em geral, o protocolo de pesquisa compreende: 1) Definição do objetivo da revisão; 2) Aferir as palavras-chave para a pesquisa bibliográfica; 3) Definição dos procedimentos adotados como estratégia de pesquisa; 4) Definição das bases de publicações científicas; 5) Definição das Questões de Pesquisa (Silva *et al.*, 2011).

No caso do presente trabalho, a condução da revisão de literatura, seguiu um conjunto de regras (i.e., em analogia com o protocolo), tendo como objetivo apurar a visão da literatura quanto à gestão ágil dos armazéns, à otimização de operações e às decisões operacionais com impacto direto no serviço ao cliente, em coerência com os objetivos definidos no âmbito do presente trabalho (Introdução, O.1 a O.5).

Quanto às palavras-chave, foram aferidas várias estruturas booleanas para testar diversas combinações e avaliar os resultados da pesquisa bibliográfica.

Os resultados da pesquisa bibliográfica de revisão de literatura foram submetidos a uma *análise bibliométrica* para avaliar as palavras-chave de maior destaque e quais as ligações entre agregados de palavras.

Relativamente à etapa de definição dos procedimentos adotados como estratégia de pesquisa (passo 3) considerou-se a realização de uma pesquisa ampla em torno da gestão de armazém e da ligação entre otimização e gestão ágil. Em seguida, o procedimento prever uma filtragem com base na citação dos trabalhos e na data de publicação. A pesquisa das contribuições de autor, em redes académicas será a etapa de detalhe da pesquisa.

Já no que se refere à definição das bases de publicações científicas à qual se aplica a pesquisa, no caso do presente trabalho optou-se pela *Web of Science* (WOS), e a posterior avaliação das contribuições dos autores mais citados no *Research Gate*. A avaliação do trabalho a nível académico passou ainda pela pesquisa no *Repositórios Científicos de Acesso Aberto de Portugal* (RCAAP).

Por último, foram estabelecidas algumas questões relativas à pesquisa e critérios para refinar os resultados.

Etapa 2. Caso Empresarial

Considerado o interesse de efetuar o estudo em contexto empresarial (O.5.) e de um modo articulado com a revisão de literatura realizada.

Para tanto, procurou-se um contexto empresarial em que houvesse uma realidade de armazém de *crossdocking* e um contexto de operação direcionado cliente. Surgiu a oportunidade junto do Grupo Luís Simões – Logística integrada, SA.

Foi realizado um primeiro contacto para avaliar a possibilidade de acolhimento do tema e posteriormente, após aprovação, o estudo foi encaminhado para o Centro de Operações Logísticas (COL) de Coimbra, mais concretamente para o armazém de *crossdocking*.

Houve uma primeira entrevista com a Direção do COL Coimbra, tendo em vista apurar o contexto empresarial e identificar a ou as operações de proximidade ao cliente final consideradas mais impactantes, conforme apêndice 1.

Da conciliação dos resultados da entrevista e dos dados logísticos entretanto facultados resultou a decisão de avaliar a atividade de roteamento de veículos, por ser considerada determinante para a qualidade do serviço ao cliente, e por representar uma atividade impactantes em termos de custo, impacto ambiental (emissões) e de disponibilidade de recurso (motoristas e viaturas).

Foi agendada uma visita ao COL de Coimbra para acompanhar um dia regular de operação e perceber, em contexto real, as principais dificuldades e constrangimento que ocorrem na operação.

Nessa altura, foi ainda realizada uma entrevista com a Direção de operações do armazém de *crossdocking*, por forma a esclarecer alguns procedimentos práticos e a entender a justificação da sua realização, conforme apêndice 1.

No decurso de desenvolvimento do trabalho houve ainda lugar à apresentação de alguns resultados e ao esclarecimento de questões que iam, entretanto, surgindo à medida que a implementação e os casos iam sendo tratados.

Etapa 3. Escolha da proposta a implementar no caso empresarial

A escolha da ferramenta foi relativamente rápida uma vez que o *solver* VRP era já conhecido, e a pesquisa permitiu concluir que mesmo a versão mais atual é compatível em Microsoft Excel, e não requer muitos requisitos do equipamento para a sua execução.

Por outro lado, era importante que a escolha recaísse numa proposta de otimização do problema.

A definição do modelo de otimização apresentado nesta secção tem como objetivo não só a minimização dos custos operacionais, mas também, a redução do tempo de permanência do produto no armazém.

Em termos de caracterização geral, o problema centra-se na gestão de operações num armazém (Centro de Operações Logísticas), no qual é utilizado o sistema *crossdocking* assim como nos procedimentos de “otimização” ou melhoria das operações em curso.

A proposta a implementar surge assim com a intenção de otimizar/ melhorar as operações ali desenvolvidas, nomeadamente as operações de atribuição dos produtos às rotas de distribuição, e de acordo com as notas de encomenda dos vários clientes.

A partir do *solver* VRP, foi possível executar vários cenários de rotas de distribuição, cuja partida e chegada se centra no Centro Operações Logísticas (COL) da empresa Luís Simões, em Coimbra.

Foi efetuada a seleção dos meses de março, junho e agosto de 2022, para avaliação e estudo devido às suas características de sazonalidade e ocorrência das épocas festiva e balnear. Sendo de seguida selecionados os dias de semana (sexta-feira) que apresentavam maior movimentação de paletes e veículos.

Foram originados diversos cenários de rotas de distribuição para cada um dos dias avaliados. Nos quais, foram consideradas rotas cuja incidência se baseava em 1 retorno ou vários retornos ao COL de Coimbra.

2.2 Proposta de Modelação

A análise do armazém em estudo envolve a caracterização da operação de *crossdocking* e o encaminhamento do fluxo logístico para planeamento diário das rotas em operação, e identificação dos clientes a visitar.

- ***crossdocking***

Por definição, o uso do sistema de *crossdocking* surge com o intuito de otimizar/agilizar o fluxo logístico, minimizando os custos operacionais, e o tempo de permanência do produto no armazém.

Globalmente, o *crossdocking* surge com objetivos como:

- Redução do tempo de permanência do produto no armazém
- Otimização da distância efetuada
- Minimização dos custos operativos relacionados com as atividades desenvolvidas

O problema pode ser tratado, considerando um conjunto de n viaturas de entrada e de m viaturas de saída, e um conjunto de atividades que devem ser efetuadas nas k docas, sendo o k o número de docas dedicadas a atividades de descarga das n viaturas de entrada e outras k docas exclusivas para as atividades de carregamento das m viaturas de saída. Cada viatura de entrada efetua a descarga de p produtos no centro *crossdocking* e cada viatura de saída solicita carga de p distintos tipos de produtos.

No caso empresarial, o processo de *crossdocking* está já robustecido na operação diária do COL, como se verá no capítulo 3.

- **Operações de Distribuição: *Vehicle Routing Problem*, VRP**

O problema para definição de rotas (*Vehicle Routing Problem* - VRP) é um dos problemas mais analisados, para o qual a solução procura o melhor conjunto de rotas que possibilite que uma frota de veículos responda a todos os pontos de procura, sem que nenhuma das restrições específicas seja desprezada (Golden *et al.*, 2008).

A resposta a este problema procura minimizar os custos operacionais que envolvem os processos decorrentes nas organizações, nomeadamente, a quantidade de veículos ou recursos utilizados e o tempo ou distância totais de cada trajeto (Lopes, 2021).

O VRP não é recente, tendo já sido incluído por Dantzig *et al.* (1959), com abordagem algorítmica para solucionar uma situação real de distribuição de gasolina por estações de serviço. Em 1964, Clarke *et al.* efetuaram uma heurística utilizável em cenários, nos quais não é fixo o número de veículos. Após este estudo, o interesse de profissionais e investigadores pelo VRP evoluiu progressivamente. Dada a importância destes problemas, têm sido desenvolvidos vários algoritmos e modelos de forma a dar resposta às distintas variáveis do VRP.

Assim, “devido ao rápido desenvolvimento de novos e mais eficientes métodos de otimização e computação, o interesse por problemas de definição de rota, com várias restrições do mundo real, tem aumentado” (Lopes, 2021, p.7).

Estes problemas são referidos com frequência como *Rich Vehicle Routing Problems*, e analisam as funções da otimização realistas, avaliando o dinamismo e a incerteza associados a uma vasta quantidade de restrições da vida real, relacionadas com distâncias, utilização de frotas heterogéneas, tempos, questões ambientais e problemas de stocks (Caceres-cruz *et al.*, 2014).

No entanto, no caso de problemas de dimensão elevada, a aquisição de soluções ótimas necessita de tempos computacionais muito elevados e, por isto, a maior parte destes trabalhos de investigação sobre VRP é centrado nas heurísticas e meta heurísticas, verificando-se pouca utilização de algoritmos exatos (Lopes, 2021).

Considerando uma frota de veículos com capacidade uniforme, um centro de distribuição comum e diferentes clientes que constituem pontos de procura, o VRP pretende encontrar o conjunto de rotas que, simultaneamente, minimiza o custo total e permita satisfazer toda a procura (Tavares *et al.*, 2002). O VRP simples pode ser definido por um grafo $G = (V, A)$, onde $V = \{v_0, v_1, \dots, v_n\}$ é o conjunto de vértices que correspondem aos pontos de procura e em que v_0 corresponde ao único centro de distribuição, com uma procura fictícia $d_0 = 0$. Os restantes pontos são os clientes, cuja procura q_i é conhecida. O conjunto $A = \{(v_i, v_j) : v_i, v_j \in V, i \neq j\}$ é o conjunto de arcos

que ligam esses vértices. A estes arcos está associada normalmente, uma matriz simétrica de custos C que representa a distância ou o tempo de viagem entre os vários vértices, na qual o custo de ir do vértice i para o vértice j é igual ao do sentido inverso, ou seja, $c_{ij} = c_{ji}$. No entanto, pode acontecer que a matriz seja assimétrica, nomeadamente por haver trajetos com sentido único.

O caso prático a tratar enquadra-se pois nesta classe de problemas. Importa ainda referir que, num VRP simples, considera-se uma frota constituída por k veículos de capacidade idêntica, havendo que garantir o cumprimento de restrições como:

- A quantidade transportada por cada veículo a ser entregue aos vários clientes que pertencem à sua rota não pode exceder a sua capacidade;
- Cada rota começa e acaba no centro de distribuição;
- Cada cliente é visitado uma única vez e pertence a uma só rota;
- Cada veículo é responsável por efetuar uma única rota.

O desenvolvimento do modelo VRP requer a definição de variáveis de decisão binárias $x_{i,j,k}$, que assumem o valor de 1 se o veículo k visitar o cliente i e depois o cliente j ou seja, se o arco (i, j) pertencer à solução ótima e 0, no caso contrário.

De acordo com o autor, Erdoğan (2015), através deste conjunto de equações é assegurado que cada cliente é visitado uma única vez. Por outro lado, deve ser garantida a continuidade do movimento dos veículos, isto é, quando um veículo chega a um cliente, tem que sair dele. As condições anteriormente descritas podem representar-se pelo conjunto de equações apresentado na Tabela 1.

Gestão Ágil de Armazéns com Otimização de Operações

Tabela 1 – Modelo matemático de suporte ao solver VRP.

Fonte: Erdoğan (2015)

$\min \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n \sum_{k=1}^m c_{ij} x_{ijk} \quad \text{- Função Objetivo}$	
<p>Restrições:</p>	
$\sum_{i=0}^n \sum_{k=1}^m x_{ijk} = 1 \quad \forall j > 1$	(1)
$\sum_{j=0}^n x_{jik} = \sum_{j=0}^m x_{ijk} \quad \forall i = 2, \dots, n; i \neq j, \forall k$	(2)
$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n q_i x_{ijk} \leq Q_k \quad k = 1, \dots, m$	(3)
$\sum_{j=1}^n x_{0jk} \leq 1 \quad \forall k = 1, \dots, m$	(4)
$\sum_{v_i \in S} \sum_{v_j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subseteq V \setminus \{0\}; S \neq \varnothing; k = 1, \dots, m$	(5)
$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (t_{ij} + t_i) x_{ijk} \leq D_k \quad k = 1, \dots, m$	(6)
$x_{ijk} = \{0,1\} \quad i, j = 1, \dots, n; k = 1, \dots, m$	(7)

Relativamente à capacidade, deve assegurar-se que a soma das quantidades a transportar por um veículo k , não excede a capacidade máxima desse veículo.

Nas inequações (3) q_i demonstra-se a quantidade pedida pelo cliente i e Q_k a capacidade máxima de transporte pelo veículo. As inequações (4) definem se os veículos k iniciam o percurso no centro de distribuição.

A eliminação de sub-rotas é encaminhada pelas inequações (5), nas quais S corresponde a um subconjunto de clientes.

Pode ser dada a duração máxima D_k da rota percorrida por cada veículo, em alguns problemas, devendo neste caso obedecer-se às seguintes condições:

As inequações (6) permitem garantir, que o *time-in-transit* entre os pontos i e j , determinado por t_{ij} e o tempo necessário para a descarga de cada veículo no local i dado por t_i , não excedem a duração máxima atribuída.

Por fim, é necessário verificar o tipo de variáveis de decisão, ou seja, neste caso de estudo, o centro de distribuição representa um dos armazéns da empresa, sendo a procura dos clientes diariamente delimitada consoante as notas de encomenda.

É neste âmbito que aparece o algoritmo desenvolvido por *por Güneş Erdoğan*, em 2015, que apresenta a proposta apropriada ao estudo presente neste trabalho.

Segundo Erdoğan (2015), os desenvolvimentos ocorridos nesta área do conhecimento demonstram que, um único algoritmo, dificilmente consegue solucionar com sucesso todas as variantes do VRP. Logo, este autor apresenta a implementação de uma variante do algoritmo LNS, baseada em procedimentos estruturados em código VBA e disponível, para utilização em contexto de folha de cálculo Microsoft Excel, como um solver (*Add-in*).

O procedimento desenvolvido tem como base a heurística de *Clarke e Wright*¹ e o algoritmo de pesquisa local conjugado com o algoritmo *Iterated Local Search*². Sintetizando, esta aplicação inclui procedimentos seguintes:

- **Passo 1 (Inicialização):** Inicializar a solução incumbente, a melhor solução conhecida e o contador de iteração, $k = 1$. Compreender a solução, na folha de cálculo designada à solução, e definir α_1 = taxa mínima de eliminação LNS, α_2 = taxa de eliminação máxima LNS e β = dimensão da lista de candidatos LNS.
- **Passo 2 (condição de Paragem):** Caso o limite de tempo for ultrapassado, interromper e efetuar o registo da melhor solução conhecida.
- **Passo 3 (Perturbação):** Selecionar aleatoriamente e remover $\alpha_1 + U [0, 1] * (\alpha_2 - \alpha_1)\%$ isto é, percentagem dos locais a partir da solução incumbente.

¹ Esta heurística tem como base a troca de conjuntos de rotas em cada ponto de chegada de forma a melhorar o desempenho global.

² Edifica iterativamente uma sucessão de soluções criadas por uma heurística incorporada.

- **Passo 4** (*Reparação*): Selecionar, aleatoriamente um local e inserir entre os β melhores locais candidatos a inserção, até que não existam mais vértices para serem inseridos.
- **Passo 5** (*Polimento*): Escolher e aplicar o melhor entre os operadores de realocação de vértices, troca vértice, e 2-opt, até que não seja possível nenhuma melhoria.
- **Passo 6** (atualização da melhor solução): Se a solução incumbente é melhor e viável do que a melhor solução conhecida, atualizar para a melhor solução conhecida. Desenvolver k e seguir para a Passo 2.

Segundo o manual de utilizador ³ trata-se de uma proposta de solução desenvolvida numa folha de cálculo Microsoft Excel, através da qual é executada a formulação do VRP, sendo posteriormente resolvida com base nas ferramentas existentes na folha de cálculo.

Depois de executada a descrição da formulação VRP base e explicadas as características principais do suporte computacional utilizado para a resolução deste caso de estudo, há que recolher os dados requisitos pela parametrização do solver, para que posteriormente se possa progredir para a aplicação prática do *solver* VRP apresentada no capítulo 3.

Etapa 4. Preparação dos Dados Empresarial

Os dados logísticos facultados pela empresa encontram-se anonimizados e com referência a um total de 707 clientes, e um período de operação de 10 meses em 2022.

A base de dados foi preparada considerando os requisitos de parametrização do solver VRP a implementar.

Desta forma, foi necessário criar uma identificação única para cada um dos clientes, baseada nas coordenadas de latitude e longitude que caracterizam a sua localização, conforme . Para tanto, houve que pesquisar os códigos postais de todos esses clientes e realizar a respetiva atribuição.

³ Manual de Utilizador - *VRP Spreadsheet Solver*.

Posteriormente foi realizada uma análise estatística, numa base diária, por forma a procurar padrões de comportamento semanais e, depois, mensais.

Desta análise descritiva dos dados foram extraídas importantes informações quanto aos dias com maior interesse de análise, por serem dias de maior fluxo, e quanto ao número médio de clientes trabalhados, por dia de operação.

Foi então efetuada a seleção dos meses de março, junho e agosto de 2022, para avaliação e estudo devido às suas características de sazonalidade e ocorrência das épocas festiva e balnear. Sendo de seguida selecionados os dias de semana (sexta-feira) que apresentavam maior movimentação de paletes e veículos.

Foram originados diversos cenários de rotas de distribuição para cada um dos dias avaliados. Nos quais, foram consideradas rotas cuja incidência se baseava em 1 retorno ou vários retornos ao COL de Coimbra.

Trata-se, pois, de um conhecimento importante para o estudo a desenvolver no caso empresarial.

2.3 Sumário

No presente capítulo é realizada uma descrição sumária das etapas de desenvolvimento do trabalho de investigação, sendo justificada a opção metodológica em cada caso.

Em síntese, foi realizada uma revisão de literatura que segue as linhas gerais de uma revisão sistemática, em sequência do que se desenvolveu em todo o faseamento de atividades necessárias ao estudo de um caso empresarial, consistente com os resultados da análise da literatura.

Foram realizadas entrevistas, e selecionado um *solver* adequado à resolução dos problemas de distribuição identificados no caso empresarial.

3 O Caso Empresarial: *Ilustração de práticas e modelos*

Este capítulo apresenta um caso empresarial que permite ilustrar as dimensões destacadas na revisão da literatura (capítulo 1) ou seja, a otimização, a gestão de armazém em *crossdocking* e as rotas como operação que permite agilizar as entregas de produto e, como tal, assegurar o nível de serviço ao cliente.

Tendo em consideração que o objetivo do estudo é a gestão ágil do armazém e a otimização dos processos logísticos e respetivas operações, procurou encontrar-se um contexto empresarial consistente com a revisão de literatura realizada. Desta forma, foi efetuado o pedido junto do Grupo Luís Simões – Logística integrada que favoravelmente aceitou a solicitação e, mediante entrevista, viabilizou o estudo junto do Centro de Operações Logísticas (COL) de Coimbra. Posteriormente, foram disponibilizados dados de operação desse COL, com anonimização dos clientes e das cargas.

Em seguida, apresenta-se uma caracterização sumária do Grupo Luís Simões e, em particular, do COL de Coimbra e da respetiva área de *crossdocking*. Depois efetua-se uma caracterização sumária do caso empresarial (3.2) e apresentam-se os dados Logísticos do COL Coimbra (3.3). Nesta sequência procede-se à avaliação dos vários cenários de operação e termina-se com um pequeno sumário.

3.1 O Grupo Luís Simões, Logística Integrada, SA

O Grupo Luís Simões (LS), surgiu 1948, é uma rede de empresas de logística e transporte portuguesa. Possui a liderança ibérica nos fluxos de transporte entre Portugal e Espanha, cujo transporte e logística simbolizam 90% do volume de negócios do grupo.

Enquanto grupo operador logístico em Portugal, a Luís Simões disputa, com as empresas concorrentes, o preço competitivo e a diferenciação de serviços.

O Grupo Luís Simões está presente no Centro do país através do Centro de Operações Logísticas (COL) de Coimbra, o qual iniciou atividade em 1993, e é atualmente um importante eixo para a atividade da LS aos níveis nacional e internacional.

No COL de Coimbra o grupo presta serviços baseados num armazém em regime de *crossdocking*, e em que as mercadorias são rececionadas, reunidas e expedidas para vários clientes, no decorrer de um período inferior a 48 horas. É nesse COL que decorrem

as tarefas relacionadas com o controlo de mercadorias e de motoristas e onde é efetuado o acompanhamento de rotas de distribuição afeta à zona Centro.

A mercadoria proveniente dos vários fornecedores ou de outros Centros Logísticos do grupo noutras localizações (i.e., outros COLs) é rececionada no COL de Coimbra a partir das 05:00, a qual de seguida é separada e carregada de acordo com as rotas de distribuição. A separação e posterior carga de mercadoria ocorrem entre as 5:30 e as 06:40. Toda a mercadoria cujos movimentos são efetuados neste período faz parte do processo de *crossdocking*.

Na carteira de clientes do grupo Luís Simões, estão destinatários finais que vão desde os negócios locais até às grandes superfícies. Este vasto conjunto de clientes, a sua diversidade e a dimensão dos seus negócios, possibilita uma maior eficácia para as taxas de ocupação dos veículos de distribuição (Ferreira, 2016).

3.1.1 Centro de Operações Logísticas de Coimbra

No COL de Coimbra, à semelhança do que acontece nos outros centros do grupo, e na generalidade do setor de distribuição de bens de consumo, o pico de atividade ocorre durante o verão e nas semanas antecedentes ao Natal. Durante o verão a distribuição de mercadorias, como por exemplo bebidas, tem uma duração habitual de 4 meses: desde meados de maio até o final de setembro.

O COL de Coimbra executa, entre outros, serviços de Logística Integrada, Automotiva, Frio Positivo, Logística Inversa, Descarga de Contentores e Distribuição Urbana. Sendo os seus setores principais de atividade o da Pasta e Papel, o Alimentar e o de Bebidas.

Atualmente, este Centro de Operações Logísticas de Coimbra, ocupa na sua totalidade 14 000 m², constituídos por cinco armazéns e, está totalmente preparado para dar apoio ao desenvolvimento da área de Transportes e Logística na Região Centro.

Verificou-se uma importante aposta, em 2020, no crescimento do espaço de armazém neste Centro, como resultado do desenvolvimento que tem apresentado a nível logístico. Assim, o presente estudo recai no armazém de *crossdocking* deste COL, sendo as operações aí realizadas, constituídas por 3 grandes etapas:

- a) Receção:** durante a receção é analisado o estado da mercadoria, de forma a garantir que esta não está danificada e/ ou adulterada e que está consoante o descrito pelo fornecedor (Figura 4a);
- b)** no momento da separação das mercadorias, estas são agrupadas na pista de acordo com os conjuntos a expedir em cada rota e veículo (Figura 4b);



Figura 4- a) Verificação da mercadoria após receção e b) Mercadorias agrupadas para as rotas de distribuição
Fonte: elaboração própria

- c) conferência:** antes da carga, é executada a conferência total de todas as mercadorias, assim como a verificação de que as mesmas são carregadas no veículo destinado ao seu cliente final (Figura 5a e 5b).



Figura 5 - a) Verificação da mercadoria antes da carga e b) carregamento de palete inteira no cais de expedição
Fonte: elaboração própria.

O tratamento da mercadoria, poderá ser distinto, consoante os volumes e clientes, diferenciando-se em 3 tipos de tratamento.

1) Carregamento de palete inteira – este tipo de operação é a que ocorre com frequência, sendo a mais simples e a que apresenta custos mais baixos. Para a sua realização efetua-se a receção de paletes inteiras, as quais são colocadas no piso do armazém, não sendo necessário qualquer tipo de separação ou tratamento de mercadorias. Estas são carregadas no veículo de expedição da mesma forma que são rececionadas (Figura 6 a).

2) Montagem da Palete por *Stock Keeping Units* (SKU) - Durante esta operação, ocorre a formação da palete para os SKU encomendados por cada destinatário. Para a execução da mesma é necessário o desmantelamento da palete entregue pelo fornecedor, e a sua posterior montagem para expedição de acordo com os pedidos efetuados pelo cliente final.

3) **Tratamento Híbrido** - Esta operação inclui os dois tratamentos acima descritos podendo ser adicionada a mercadoria que se mantêm em stock. Este é um procedimento que permite garantir maior agilidade e uma melhor oferta de serviços para diversos clientes.

3.1.2 Layout do armazém de *crossdocking* no COL de Coimbra

Atualmente o COL em análise apresenta o seguinte layout (Figura 6b).



Figura 6-(a) Zona de preparação; (b) Layout do armazém do COL Coimbra.

Fonte: elaboração própria.

Este sistema inclui a receção de produtos, enviados por vários fornecedores, e o seu reagrupamento de acordo com o cliente final.

No COL de Coimbra o tratamento de paletes, durante o processo de *crossdocking*, é efetuado maioritariamente segundo o carregamento de paletes inteira (Figura 6 a.). Este procedimento diz respeito à receção de paletes inteiras que posteriormente são colocadas no piso do armazém na zona de *crossdock*, não sendo necessário qualquer tipo de separação ou tratamento de mercadorias, e seguindo de imediato para expedição e carga no veículo, tal como haviam sido rececionadas.

As receções para o *crossdocking* são direcionadas para clientes não *stock* (transporte primário). O transporte de mercadoria é executado da porta do fornecedor para o COL, e a sua hora de receção pode ocorrer maioritariamente das 05:00h às 07:00h.

A mercadoria rececionada é verificada e direcionada para a porta de cais de expedição selecionada, consoante a rota de distribuição a realizar.

3.2 Caraterização do caso empresarial

A crise económico-financeira que o país tem vindo a atravessar, tem afetado negativa e generalizadamente, o comércio e a indústria. Para fazer face a este cenário as empresas estão a investir em várias estratégias que permitam mitigar alguns dos seus custos, sem descuidar o nível de desempenho e o serviço ao cliente.

No caso da LS a capacidade de carga afeta a cada centro é determinada pelo portefólio de clientes podendo, sempre que tal se mostre necessário, haver a realocação de viaturas entre centros de operações.

- **Frota**

Neste estudo considerou-se a utilização de 15 veículos no COL de Coimbra. Existe uma capacidade fixa máxima, definida pelo número máximo de paletes (Euro paletes de 1200x800 mm) que cada camião pode transportar. No caso da frota do COL de Coimbra, o carro maior pode transportar 20 paletes no estrado, ou seja, sem sobreposições. No carro intermédio é possível transportar 18 paletes, e o carro menor pode transportar 10 paletes.

Na Tabela 2, são apresentadas as características da frota da empresa que foi utilizada neste caso de estudo, nomeadamente a designação utilizada para identificar os veículos, assim como as respetivas capacidades.

*Tabela 2 - Características dos veículos utilizados no estudo.
Fonte: elaboração própria.*

Tipologia do Veículo	Capacidade	Número de Veículos
	Número de Paletes	
T1	10	3
T2	18	6
T3	20	6

As rotas iniciam-se e terminam no COL de Coimbra. Logo, o veículo sai das instalações do COL, já com a carga no seu interior, sendo esta carga constituída por um conjunto de produtos a entregar nos locais a visitar. As mercadorias dispostas no veículo ou seja, a composição da carga é realizada por um operador do armazém.

Chegado às instalações dos clientes, o veículo terá que permanecer por um período de tempo necessário para que a descarga seja realizada.

- **Clientes**

De entre os clientes do COL de Coimbra foram analisados 707. Todos eles identificados e englobados no estudo.

O que distingue os clientes são os dados que os caracterizam, nomeadamente:

- localização geográfica, janelas de tempo admissíveis para entrega; tempo de serviço, número total de paletes a entregar e a recolher.

Faz-se notar que relativamente à localização geográfica, todos os 707 clientes foram caracterizados mediante a identificação do código postal relativo à sua morada, conforme apêndice 2.

Foram estudados 3 trimestres (janeiro a setembro 2022), e dentro deste período de tempo, foram selecionados para análise os meses que permitissem analisar vários cenários operacionais da empresa desde os meses de menor constrangimento como é o caso de março, até aos meses de maior fluxo logístico como junho e agosto.

Para uma análise mais apurada, foram selecionadas todas as sextas feiras, que segundo verificado correspondem aos dias da semana como maior movimentação de paletes, conforme apêndice 3. Os períodos de tempo definidos para realizar as cargas e descargas diferem por tipologia de cliente (Tabela 3).

*Tabela 3 - Janelas temporais por tipologia de cliente
Fonte: elaboração própria.*

Tipologia de Cliente	Janelas Temporais
Centro Comercial - Coimbra	07:00-09:00
Hipermercados - Coimbra	07:00-09:00
Outro cliente - Coimbra	09:00-16:00
Outros Hipermercados	07:00-09:00
Outros Supermercados	07:00-13:00
Outros clientes	09:00-16:00

- **Restrições de Operação**

A definição das rotas para veículos está subordinada a um conjunto de restrições. Estas regulam o processo de preparação em armazém, tendo impacto direto nas localizações de visita a integrar em cada rota, assim como na ordem pela qual os clientes são visitados. As restrições consideradas no caso do COL de Coimbra, resultam da consideração de requisitos impostos pelos clientes, veículos e cumprimento do horário laboral do condutor.

O condutor que visitará os diferentes clientes é um funcionário do COL de Coimbra e o seu horário laboral, inicia-se às 6:00h e termina às 16:00h. As rotas deverão ser efetuadas dentro deste intervalo de tempo. Durante este período de tempo o condutor tem **60** minutos reservados para o almoço e descanso, podendo gerir esse tempo consoante com as rotas a realizar e os requisitos de duração das mesmas, em distância e tempo.

3.3 Dados Logísticos do COL Coimbra

No tratamento dos dados relativos ao COL Coimbra, foram assumidos alguns pressupostos e, com base neles, foi efetuada a parametrizado o solver VRP utilizado na respetiva avaliação, nomeadamente:

- A empresa possui quinze veículos afetos ao COL de Coimbra, com capacidades diferentes e, como tal, deverá ser implementada uma parametrização para a resolução de problemas com frota heterógena (viaturas com diferentes capacidades);

- Foi considerado que não é possível efetuar sobreposição de cargas nas viaturas pois, a mercadoria que fica nas paletes em baixo pode ficar danificada, não sendo entregue ao cliente com a desejada qualidade.
- Para efetuar o cálculo do tempo estimado por rota, incluindo descargas, estipularam-se os seguintes tempos de descargas para a entrega de determinado número de paletes em cada cliente:
 - de 1 a 4 paletes → 10 minutos;
 - de 5 a 7 paletes → 18 minutos;
 - de 8 a 10 paletes → 23 minutos;
 - de 11 a 13 paletes → 28 minutos;
 - de 14 a 16 paletes → 32 minutos.

A cada cliente inserido num dia em análise, é atribuído um número de identificação ID do cliente (no *solver* VRP, de 1 a 116 cliente por dia), para o qual se obtêm as coordenadas e se indica a respetiva encomenda (em paletes e tempos).

Tal como já se referiu, optou-se pela utilização de um *solver* de *Vehicle Routing Problem* (VRP), disponibilizado pela comunidade VEROLOG e que pode ser executado em Microsoft Excel. O *solver* utiliza uma heurística para resolução do problema de otimização de rotas. A avaliação de requisitos permitiu concluir a respeito da adequação do *solver* para obter avaliações para o problema real da Luís Simões, pelo que de seguida se efetua a descrição dos principais passos:

1. Submissão dos dados na consola VRP de acordo com os clientes e o cenário da operação a analisar para o dia em estudo
2. Introduzir os dados dos clientes relativos à localização, às cargas a efetuar e aos requisitos horários a cumprir.
3. O VRP calcula as coordenadas de latitude e longitude baseadas na morada do cliente inserida pelo respetivo código postal, e através de uma ligação ao *Bing*
4. O *solver* com base nas coordenadas apuradas determina o valor das distâncias em conformidade com as opções definidas na consola (i.e., velocidade média do veículo e tipologia de percurso ou método de cálculo a utilizar)
5. Executar o *solver* de forma a obter as rotas para o dia em estudo (sexta-feira)

6. Repetir todo o processo para a obtenção das rotas para os restantes dias de operação em análise

3.4 Apresentação e Discussão de Resultados

Foi efetuada uma análise detalhada sobre todas as notas de encomenda dos clientes, por forma a verificar a sua viabilidade consoante a capacidade de carga do veículo. Sempre que uma nota de encomenda ultrapasse a capacidade de carga do maior dos veículos disponíveis há a necessidade de desdobrar a nota de encomenda gerando dois pedidos para o mesmo cliente.

3.4.1 Estudo mês março 2022 (sextas-feiras)

Relativamente ao mês de março, considerado como um mês de funcionamento regular ou mês padrão, os dias de maior fluxo são a segunda e última sexta-feira do mês. É nesses dias que ocorre o atendimento de um maior número de clientes (74 e 67 respetivamente) e se movimentam maior número de paletes (195 e 188 respetivamente).

Poderemos considerar que este comportamento se deve ao facto de a grande maioria dos clientes da LS serem unidades de retalho alimentar cujas notas de encomenda são reflexo dos hábitos do consumidor final.

Deste modo, uma vez que a remuneração mensal é disponibilizada, no caso do sector privado, na segunda sexta-feira do mês e, no caso do sector público, na última sexta-feira, os picos de encomenda na LS parecem de facto coincidir com a disponibilidade económica do consumidor final.

Para o dia 11/03/2022 (sexta-feira), foram carregados os dados no VRP, e foram obtidas as rotas, para um cenário de operação de apenas 1 retorno ao COL (Tabela 4).

Tabela 4 - Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 11/03 com 1 retorno à origem

Fonte: elaboração própria.

Rota cenário (C1) 10 → 10 → 18 → 18 → 16 → 18 → 18 → 17 → 19 → 14 → 17 → 20	
Capacidade utilizada: 195 paletes	Duração: 56 horas e 2 minutos
Rota cenário (C2) 9 → 9 → 18 → 18 → 16 → 18 → 18 → 17 → 19 → 17 → 20 → 16	
Capacidade utilizada: 195 paletes	Duração: 55 horas e 1 minuto

Gestão Ágil de Armazéns com Otimização de Operações

Verifica-se da análise da Tabela 4 que, como resultado da quantidade de paletes transportada em cada cenário, é necessária a utilização de 12 veículos, dos 15 carros disponíveis. Sendo, desta forma possível para a empresa, conseguir uma economia global de 3 veículos, dos quais: 1 carro de tipologia T1 (capacidade para 10 paletes) e 2 de tipologia T3 (capacidade para 20).

Seguidamente foram executados 2 cenários para este mesmo dia, nos quais se considerou a possibilidade de existir vários retornos ao COL de Coimbra (Tabela 5).

*Tabela 5- Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 11/03 com múltiplos retornos à origem
Fonte: elaboração própria.*

Rota cenário (C3) 10 → 7 → 10 → 17 → 18 → 17 → 17 → 17 → 18 → 9 → 18 → 18 → 19	
Capacidade utilizada: 169 paletes	Duração: 50 horas e 29 minutos
Rota cenário (C4) 10 → 10 → 7 → 10 → 17 → 18 → 14 → 17 → 18 → 18 → 18 → 19 → 19	
Capacidade utilizada: 169 paletes	Duração: 49 horas 56 minutos

Da análise das rotas resultantes e da capacidade utilizada e do custo em cada uma delas, verifica-se que o cenário C3, para o qual também se assumiu a rota na qual foram considerados vários retornos ao COL de Coimbra, foi a que mostrou o menor custo, sendo este no valor de 999, 26€ para o transporte de 195 paletes, distribuídas para 74 clientes (Tabela 6) .

*Tabela 6 - Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 11/03
Fonte: elaboração própria.*

Versão	Dia	Nº Depots	Nº Clientes	Retorno à O	Horas de Saída Depot			Veículos Usados			Custo
					T1	T2	T3	T1	T2	T3	
V1	11/03/2022	1	74	1	07:00:00	06:30:00	06:00:00	3	6	6	1 099,35 €
V2	11/03/2022	1	74	1	07:00:00	06:30:00	06:00:00	3	6	6	1 100,50 €
V3	11/03/2022	1	74	Vários	07:00:00	06:30:00	06:00:00	3	6	6	999,26 €
V4	11/03/2022	1	74	Vários	07:00:00	06:30:00	06:00:00	3	6	6	1 003,12 €

Comparativamente com os cenários em que não são viabilizados múltiplos retornos à origem a empresa consegue uma economia global como resultado da execução do trajeto das rotas num período de tempo menor.

Como exemplo, foram utilizadas 56 h e 2 min no cenário C1, com um retorno à origem enquanto que no cenário C3 com múltiplos retornos ao COL de Coimbra seriam

Gestão Ágil de Armazéns com Otimização de Operações

necessárias 50 h e 49 min, tendo-se assim economizado aproximadamente 6 horas para o transporte de 169 paletes (Tabela 7).

Apesar do cenário C4 apresentar duração de 49h e 56 minutos, menor que o cenário C3, os seus custos são mais elevados comparativamente com a versão anterior, resultado da necessidade de utilização de 3 carros do tipo T1 enquanto o cenário C3 apenas seriam necessários 2 carros (Tabela 7).

Tabela 7- Resultados dos cenários realizados para o dia 11/03.
Fonte: elaboração própria

Versão	Dia	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	Total
V1	11/03/2022	10	10	...	18	18	16	18	18	17	19	14	17	20	...	...	195
	11/03/2022	02:57:20	02:44:00	...	03:05:00	05:38:20	03:10:40	03:39:40	05:49:00	05:15:00	05:13:00	06:31:20	08:31:40	03:27:00	...	...	56:02:00
V2	11/03/2022	9	9	...	18	18	16	18	18	17	19	17	20	16	...	...	195
	11/03/2022	02:39:00	01:18:40	...	03:05:00	03:08:00	03:10:40	05:38:20	05:15:00	05:39:00	05:13:00	08:31:40	07:27:40	03:55:40	...	...	55:01:40
V3	11/03/2022	10/7	10	...	17/18	17	17/17	18/9	18	...	18	19	...	...	...	...	195
	11/03/2022	02:38:00	03:25:00	...	06:57:00	02:50:00	05:45:00	07:34:40	06:21:20	...	07:34:40	07:24:00	...	...	...	...	50:29:40
V4	11/03/2022	10	10/7	10	17	18	14/17/18	18/18	...	...	19	19	...	...	...	...	195
	11/03/2022	04:34:00	02:11:00	02:48:00	04:44:00	05:52:00	07:17:00	07:49:00	...	...	06:41:00	08:00:00	...	...	...	...	49:56:00

Apresenta-se a rota referente ao cenário proposto para o cenário C3 na Figura 7.

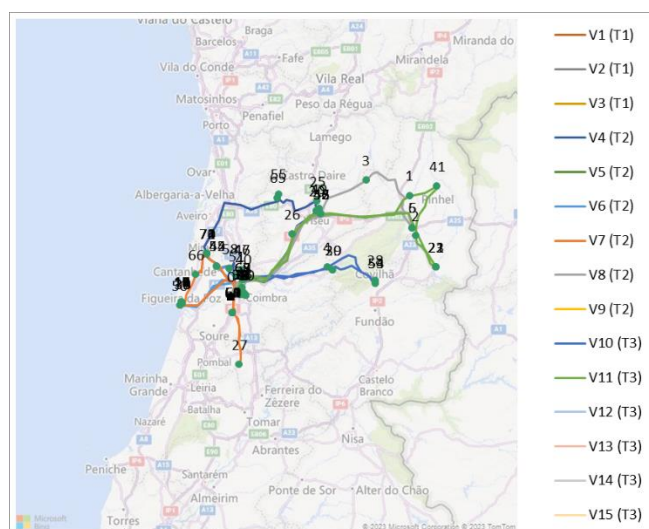


Figura 7- Rotas resultantes do cenário C3 para sexta-feira dia 11/03/2022
Fonte: elaboração própria.

No dia 25/03/2022 (sexta-feira), foram consideradas as seguintes rotas nas quais se considerou 1 retorno ao COL de Coimbra (Tabela 8).

Gestão Ágil de Armazéns com Otimização de Operações

*Tabela 8 - Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 25/03 com 1 retorno à origem
Fonte: elaboração própria.*

Rota cenário (C1) 10 → 10 → 9 → 13 → 18 → 18 → 18 → 17 → 18 → 17 → 20 → 20	
Capacidade utilizada: 188 paletes	Duração: 55 horas e 26 minutos
Rota cenário (C2) 8 → 10 → 9 → 13 → 18 → 18 → 18 → 17 → 18 → 19 → 20 → 20	
Capacidade utilizada: 188 paletes	Duração: 55 horas e 49 minutos

Relativamente à taxa de ocupação dos 12 veículos utilizados, verifica-se em cada um dos cenários acima apresentados que, a mesma corresponde a 90% da capacidade de carga dos mesmos.

Foram também efetuados 2 cenários para este mesmo dia, nos quais se assumiu que existem vários retornos ao COL de Coimbra (Tabela 9).

*Tabela 9 - Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 25/03 com múltiplos retornos à origem
Fonte: elaboração própria.*

Rota cenário (C3) 9 → 10 → 10 → 10 → 18 → 17 → 9 → 18 → 18 → 17 → 18 → 17 → 17	
Capacidade utilizada: 188 paletes	Duração: 49 horas e 48 minutos
Rota cenário (C4) 9 → 9 → 10 → 10 → 18 → 17 → 11 → 18 → 18 → 17 → 17 → 17 → 17	
Capacidade utilizada: 188 paletes	Duração: 49 horas 7 minutos

Observa-se da análise das rotas, da capacidade dos veículos utilizada e do custo apresentado em cada uma delas que, o cenário C3, para o qual também se assumiu a rota cujo trajeto ocorre em menor tempo de serviço e foram considerados vários retornos ao COL de Coimbra, foi a que apresentou o menor custo (975,46 €) para o transporte de 188 paletes, distribuídas para 67 clientes (Tabela 10).

Este cenário, permite economizar à empresa comparativamente ao cenário C2 em que se efetua apenas um retorno à origem.

Como exemplo, foram utilizados 12 veículos no cenário C1 de um retorno à origem enquanto que no cenário C3 com múltiplos retornos ao COL de Coimbra foram utilizados 9, tendo-se assim economizado 3 veículos. Logo, os custos associados à solução referente ao cenário C1 de 1101,32€ são superiores à solução apresentada pelo cenário C3 com múltiplos retornos de 975,46€.

Gestão Ágil de Armazéns com Otimização de Operações

Tabela 10 - Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 25/03.

Fonte: elaboração própria.

Versão	Dia	Nº Depots	Nº Clientes	torno à Orig	Horas de Saída Depot			Veículos Usados			Custo
					T1	T2	T3	T1	T2	T3	
V1	25/03/2023	1	67	1	07:00:00	06:30:00	06:00:00	3	6	6	1 101,32 €
V2	25/03/2023	1	67	1	07:00:00	06:30:00	06:00:00	3	6	6	1 096,37 €
V3	25/03/2023	1	67	Vários	07:00:00	06:30:00	06:00:00	3	6	6	975,46 €
V4	25/03/2023	1	67	Vários	07:00:00	06:30:00	06:00:00	3	6	6	976,07 €

Apresenta-se a rota referente ao cenário proposto para o cenário C3 na Figura 8.

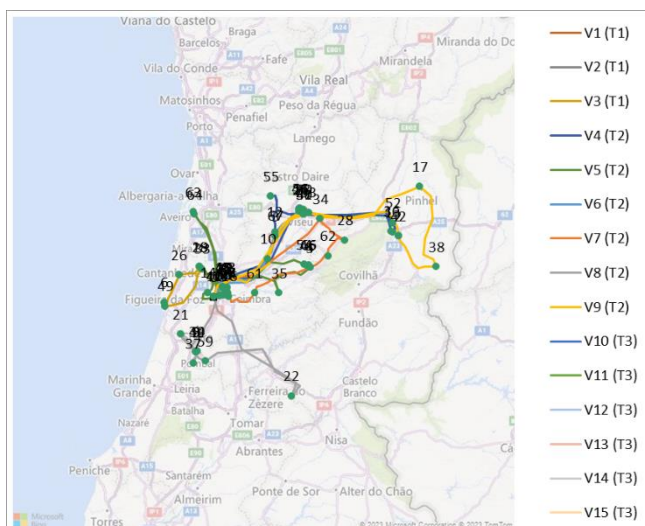


Figura 8 - Rotas resultantes do cenário C3 para sexta-feira dia 25/03/2022.

Fonte: elaboração própria.

3.4.2 Estudo mês junho 2022 (sexta-feira)

Verificamos que relativamente ao mês de Junho, é o mês em que, devido aos feriados e à realização das festividades dos santos populares, ocorre maior número de transportes e movimentação de paletes, foram assim considerados como dias de análise, a 2.ª e 3.ª sexta- feira do mês pois são os dias nos quais se movimentam maior número de paletes (272 e 243 respetivamente).

No dia 09/06/2022 (sexta-feira), foram consideradas as seguintes rotas nas quais se considerou 1 retorno ao COL de Coimbra (Tabela 11).

Gestão Ágil de Armazéns com Otimização de Operações

*Tabela 11 - Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 09/06 com 1 retorno à origem
Fonte: elaboração própria.*

Rota cenário (C1) 10 → 8 → 10 → 18 → 18 → 15 → 18 → 18 → 18 → 20 → 20 → 20 → 20 → 19 → 20 → 20	
Capacidade utilizada: 272 paletes	Duração: 80 horas e 50 minutos
Rota cenário (C2) 10 → 10 → 10 → 17 → 18 → 17 → 18 → 16 → 17 → 19 → 20 → 20 → 20 → 20 → 20 → 20	
Capacidade utilizada: 272 paletes	Duração: 77 horas e 14 minutos

No dia em consideração a análise das notas de encomenda ultrapassava a capacidade de carga da frota disponível. Assim, a empresa teria que afetar um número de veículos correspondente à diferença entre a encomenda e a capacidade de carga, ou alternativamente negociar a distribuição do diferencial de capacidade para um outro dia. No caso, considerou-se a afetação de novos veículos uma vez que a política da LS a satisfação do cliente em conformidade com as suas datas de encomenda.

Assim, foram utilizados 16 veículos para o transporte de 272 paletes, nos cenários C1 e C2, em relação à tipologia destacam-se: 3 carros com capacidade 10 paletes (T1), 6 carros com capacidade para 18 paletes (T2) e 7 carros com capacidade 20 paletes (T3).

Foram também efetuados 2 cenários para este mesmo dia, nos quais se considerou que existam vários retornos ao COL de Coimbra (Tabela 12).

*Tabela 12-Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 09/06 com múltiplos retornos à origem.
Fonte: elaboração própria.*

Rota cenário (C3) 9 → 9 → 10 → 10 → 10 → 8 → 6 → 18 → 14 → 18 → 18 → 18 → 18 → 18 → 16 → 18 → 18 → 17 → 18 → 19	
Capacidade utilizada: 272 paletes	Duração: 69 horas e 03 minutos
Rota cenário (C4) 10 → 9 → 9 → 10 → 10 → 10 → 10 → 10 → 13 → 18 → 18 → 18 → 18 → 18 → 17 → 18 → 18 → 18 → 20	
Capacidade utilizada: 272 paletes	Duração: 71 horas 14 minutos

Observa-se da análise das rotas, de acordo com a capacidade dos veículos utilizada e do custo apresentado em cada uma delas que, o cenário C3, para a qual o trajeto decorre em menor tempo e, se consideraram vários retornos ao COL de Coimbra, foi a que apresentou custo inferior (1 072,93 €) para o transporte de 272 paletes, distribuídas para 116 clientes (Tabela 13) .

Gestão Ágil de Armazéns com Otimização de Operações

Tabela 13 - Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 09/06.
Fonte: elaboração própria.

Versão	Dia	Nº Depots	Nº Clientes	Retorno à Origem	Horas de Saída Depot			Veículos Usados			Custo
					T1	T2	T3	T1	T2	T3	
V1	09/06/2023	1	116	1	07:00	06:30	06:00	3	6	7	1 865,79 €
V2	09/06/2023	1	116	1	07:00	06:30	06:00	3	6	7	1 754,17 €
V3	09/06/2023	1	116	Vários	07:00	06:30	06:00	3	6	6	1 072,93 €
V4	09/06/2023	1	116	Vários	07:00	06:30	06:00	3	6	6	1 165,62 €

Este cenário de múltiplos retornos à origem, possibilita uma economia global à empresa, quando comparado aos cenários em que se efetua apenas um retorno à origem, resultado da utilização de um número menor de veículos para realização das rotas.

Assim, como exemplo o cenário C1 de um retorno à origem, para o qual são utilizados 16 veículos, enquanto que no cenário C3 com múltiplos retornos ao COL de Coimbra foram utilizados 19 veículos, tendo-se assim economizado 1 veículo. Logo, os custos associados à cenário C1 de 1 865,79€ são superiores à cenário C3 com múltiplos retornos na qual se consideram custos no valor de 1 072,93 €.

Apresenta-se a rota referente ao cenário proposto para cenário C4 na Figura 9.

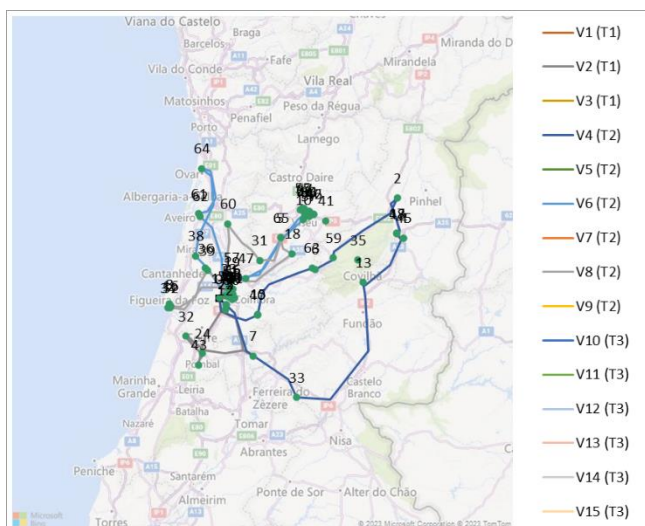


Figura 9 - Rotas resultantes do cenário C4 para sexta-feira dia 09/06/2022.
Fonte: elaboração própria.

No dia 17/06/2022 (sexta-feira), foram efetuados os seguintes cenários de rotas para as quais se considerou 1 retorno ao COL de Coimbra (Tabela 14).

Gestão Ágil de Armazéns com Otimização de Operações

*Tabela 14 - Resultado dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 17/06 com 1 retorno à origem
Fonte : elaboração própria.*

Rota cenário (C1) 10 → 8 → 18 → 18 → 18 → 18 → 18 → 18 → 20 → 20 → 18 → 19 → 20 → 20	
Capacidade utilizada: 243 paletes	Duração: 70 horas e 36 minutos
Rota cenário (C2) 8 → 9 → 17 → 18 → 18 → 18 → 18 → 18 → 20 → 20 → 20 → 20 → 19 → 20	
Capacidade utilizada: 243 paletes	Duração: 70 horas e 51 minutos

Da análise da Tabela 14, verifica-se que como resultado da quantidade de paletes transportada em ambos os cenários, dos 15 carros disponíveis pela empresa, são necessários 14 para execução do trajeto. Assim, é possível para a empresa efetue uma economia global de 1 veículo de tipologia T1 (capacidade para 10 paletes) .

Foram também efetuados 2 cenários para este mesmo dia, nos quais foram considerados vários retornos ao COL de Coimbra (Tabela 15).

*Tabela 15 - Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 17/06 com múltiplos retornos à origem
Fonte: elaboração própria.*

Rota cenário (C3) 9 → 9 → 10 → 10 → 10 → 8 → 6 → 18 → 14 → 18 → 18 → 18 → 18 → 18 → 16 → 18 → 18 → 17 → 18 → 19	
Capacidade utilizada: 243 paletes	Duração: 57 horas e 49 minutos
Rota cenário (C4) 10 → 10 → 10 → 10 → 10 → 18 → 18 → 18 → 18 → 18 → 18 → 18 → 16 → 18 → 18 → 15	
Capacidade utilizada: 243 paletes	Duração: 60 horas 16 minutos

Observa-se da análise das rotas, da capacidade dos veículos utilizada e do custo apresentado em cada uma delas que, o cenário C3, para a qual também se considerou a rota cujo trajeto decorre num período de tempo menor e vários retornos ao COL de Coimbra, foi a que apresentou custo inferior (803, 19 €) para o transporte de 243 paletes distribuídas para 100 clientes (Tabela 16).

Em comparação ao cenário no qual não são viabilizados múltiplos retornos à origem a empresa consegue uma economia global como resultado da utilização de um menor número de veículos.

Gestão Ágil de Armazéns com Otimização de Operações

Tabela 16 - Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 17/06
Fonte: elaboração própria.

Versão	Dia	Nº Depots	Nº Clientes	Retorno à CT1	T2	T3	T1	T2	T3	Custo	
V1	17/06/2023	1	100	1	07:00	06:30	06:00	3	6	6	1 118,63 €
V2	17/06/2023	1	100	1	07:00	06:30	06:00	3	6	6	1 118,24 €
V3	17/06/2023	1	100	Vários	06:00	06:00	06:00	3	6	6	803,19 €
V4	17/06/2023	1	100	Vários	06:00	06:00	06:00	3	6	6	855,71 €

Apresenta-se a rota referente ao cenário proposto para o cenário C3 na Figura 10.

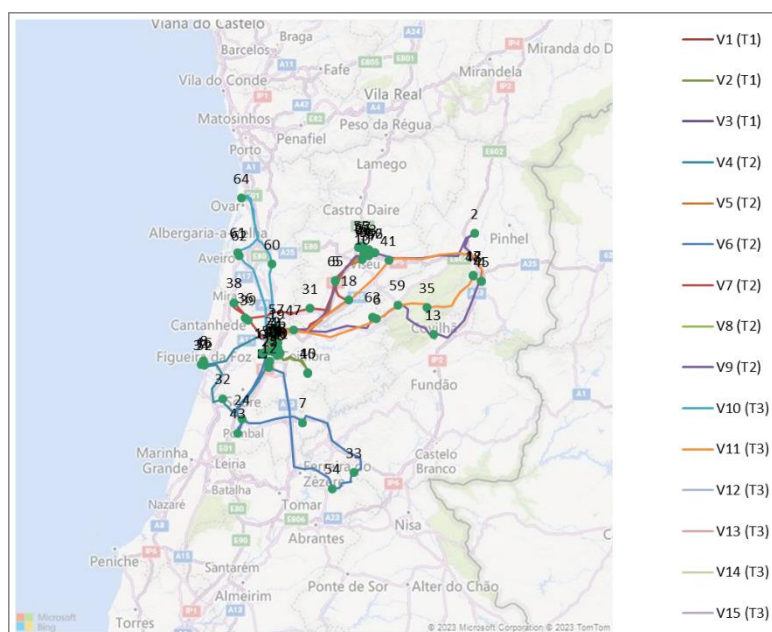


Figura 10 - Rotas resultantes do cenário C3 para sexta-feira dia 17/06/2022.
Fonte: elaboração própria.

3.4.3 Estudo mês agosto 2022 (sexta-feira)

Relativamente ao mês de agosto, é o mês em que, devido aos feriados, período de férias laborais, regresso dos imigrantes e também aos preparativos para o regresso escolar, nomeadamente na última semana deste mês, ocorre maior número de movimentação de paletes. Assim, foram assim considerados como dias de análise, a 1.ª e 4.ª sexta-feira do mês pois são os dias em que se movimento um número de paletes de forma a satisfazer todos os clientes de acordo com as suas datas de encomenda.

No dia 05/08/2022 (sexta-feira), efetuaram-se os seguintes cenários de rotas considerando 1 retorno ao COL de Coimbra (Tabela 17).

Gestão Ágil de Armazéns com Otimização de Operações

Tabela 17 - Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 05/08 com 1 retorno à origem
Fonte: elaboração própria.

Rota cenário (C1) 9 → 10 → 8 → 17 → 16 → 18 → 18 → 18 → 20 → 20 → 20 → 20	
Capacidade utilizada: 204 paletes	Duração: 62 horas e 8 minutos
Rota cenário (C2) 10 → 10 → 18 → 18 → 18 → 18 → 17 → 16 → 20 → 19 → 20 → 20	
Capacidade utilizada: 204 paletes	Duração: 60 horas e 36 minutos

Em relação à taxa de ocupação dos 12 veículos utilizados, verifica-se em cada um dos cenários C1 e C2 que, esta corresponde de 90% da capacidade da sua carga.

No seguimento deste estudo, foram também efetuados 2 cenários para este mesmo dia, nos quais foram considerados vários retornos ao COL de Coimbra (Tabela 18).

Tabela 18-Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 05/08 com múltiplos retornos à origem
Fonte: elaboração própria.

Rota cenário (C3) 10 → 9 → 9 → 18 → 18 → 18 → 13 → 18 → 18 → 18 → 16 → 20 → 19	
Capacidade utilizada: 204 paletes	Duração: 55 horas e 33 minutos
Rota cenário (C4) 10 → 10 → 18 → 16 → 17 → 13 → 18 → 18 → 18 → 18 → 12 → 17 → 19	
Capacidade utilizada: 204 paletes	Duração: 54 horas 53 minutos

Observa-se da análise das rotas, da capacidade dos veículos utilizada e do custo apresentado em cada uma delas que, o cenário C4, para o qual também se assumiu a rota cujo trajeto ocorre num período de tempo menor e foram considerados vários retornos ao COL de Coimbra, foi a que apresentou custo inferior = 1067,52 € para o transporte de 204 paletes, distribuídas para 73 clientes (Tabela 19) .

Tabela 19 - Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 05/08
Fonte: elaboração própria.

Versão	Dia	Nº Depots	Nº Clientes	Retorno à Origem	Horas de Saída Depot			Veículos Usados			Custo
					T1	T2	T3	T1	T2	T3	
V1	05/08/2023	1	73	1	7:00:00	6:30:00	6:00:00	3	6	6	1 209,91 €
V2	05/08/2023	1	73	1	7:00:00	6:30:00	6:00:00	3	6	6	1 188,87 €
V3	05/08/2023	1	73	Vários	7:00:00	6:30:00	6:00:00	3	6	6	1 071,02 €
V4	05/08/2023	1	73	Vários	7:00:00	6:30:00	6:00:00	3	6	6	1 067,52 €

Em comparação ao cenário no qual não são viabilizados múltiplos retornos à origem, a empresa consegue uma economia global resultante da execução de vários retornos ao COL de Coimbra.

A execução de vários retornos à origem, também permite que empresa execute os mesmos trajetos em menor tempo. Como exemplo, o cenário C1 o qual considera 1

Gestão Ágil de Armazéns com Otimização de Operações

retorno à origem é também a que apresenta maiores custos (1 209,91€) para o transporte de 204 paletes durante 62 h e 8 minutos enquanto que no cenário C4, para transporte do mesmo número de paletes para os mesmos clientes apresenta um custo de 1 067, 52€.

Apresenta-se a rota referente ao cenário proposto para o cenário C4 na Figura 11.

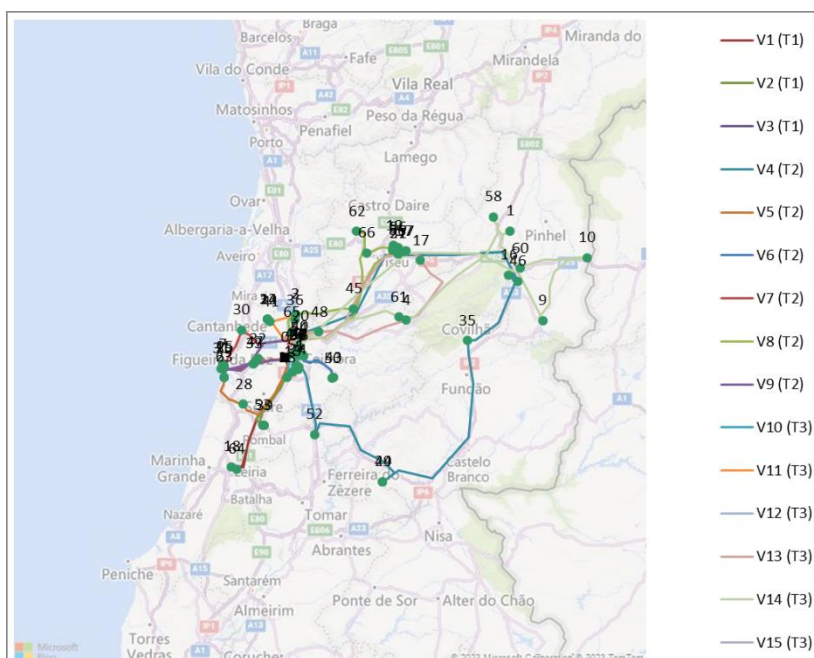


Figura 11-Rotas resultantes da versão V4 para sexta-feira dia 05/08/2022.
Fonte: elaboração própria.

No dia 26/08/2022 (sexta-feira), foram obtidas as seguintes rotas, considerando 1 retorno ao COL de Coimbra (Tabela 20).

Tabela 20-Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 05/08 com 1 retorno à origem
Fonte: elaboração própria

Rota cenário (C1) 6 → 10 → 18 → 17 → 18 → 17 → 18 → 17 → 20 → 20 → 19 → 20 → 18	
Capacidade utilizada: 218 paletes	Duração: 61 horas e 6 minutos
Rota cenário (C2) 10 → 10 → 17 → 18 → 18 → 18 → 16 → 17 → 16 → 20 → 20 → 18 → 20	
Capacidade utilizada: 218 paletes	Duração: 62 horas e 22 minutos

Verifica-se que a maioria dos veículos apresentados nos cenários C1 e C2 (Tabela 20) efetuam as suas rotas com carga completa, ou seja apresentam uma taxa de ocupação igual ou superior a 90%, não tendo sido utilizados 2 carros, dos 15 veículos disponíveis.

Gestão Ágil de Armazéns com Otimização de Operações

Foram também efetuados 2 cenários para este mesmo dia, nos quais foi considerado que existem vários retornos ao COL de Coimbra (Tabela 21).

Tabela 21-Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 05/08 com múltiplos retornos à origem

Fonte: elaboração própria

Rota cenário (C3) 9 → 10 → 10 → 12 → 17 → 16 → 18 → 17 → 17 → 18 → 17 → 18 → 20 → 19	
Capacidade utilizada: 218 paletes	Duração: 50 horas e 23 minutos
Rota cenário (C4) 10 → 17 → 13 → 16 → 18 → 18 → 18 → 17 → 18 → 18 → 7 → 20 → 20	
Capacidade utilizada: 218 paletes	Duração: 49 horas 19 minutos

Consoante a capacidade dos veículos utilizada e o custo apresentado em cada uma das rotas verifica-se que, o cenário C4, para a qual foram vários retornos ao COL de Coimbra, foi a rota cujo trajeto decorre num menor período de tempo e a que apresentou menor custo (980, 85€) para o transporte de 218 paletes, distribuídas para 67 clientes (Tabela 22) .

Tabela 22-Resultados dos cenários de rotas relativas a sexta-feira 26/08

Fonte: elaboração própria

Versão	Dia	Nº Depots	Nº Clientes	Retorno à Origem	Horas de Saída Depot			Veículos Usados			Custo
					T1	T2	T3	T1	T2	T3	
V1	26/08/2022	1	67	1	7:00:00	6:30:00	6:00:00	3	6	6	1 225,53 €
V2	26/08/2022	1	67	1	7:00:00	6:30:00	6:00:00	3	6	6	1 209,04 €
V3	26/08/2022	1	67	Vários	7:00:00	6:30:00	6:00:00	3	6	6	1 011,45 €
V4	26/08/2022	1	67	Vários	7:30:00	6:30:00	6:00:00	3	6	6	980,85 €

Comparativamente ao cenário no qual não são viabilizados múltiplos retornos à origem a empresa consegue uma economia global como resultado da execução de vários retornos à origem o que lhes permite a utilização de número menor de veículos para a satisfação de todos os clientes em conformidade com as suas datas de encomenda tal como política da Luís Simões.

Apresenta-se a rota referente ao cenário proposto para o cenário C4 na Figura 12.

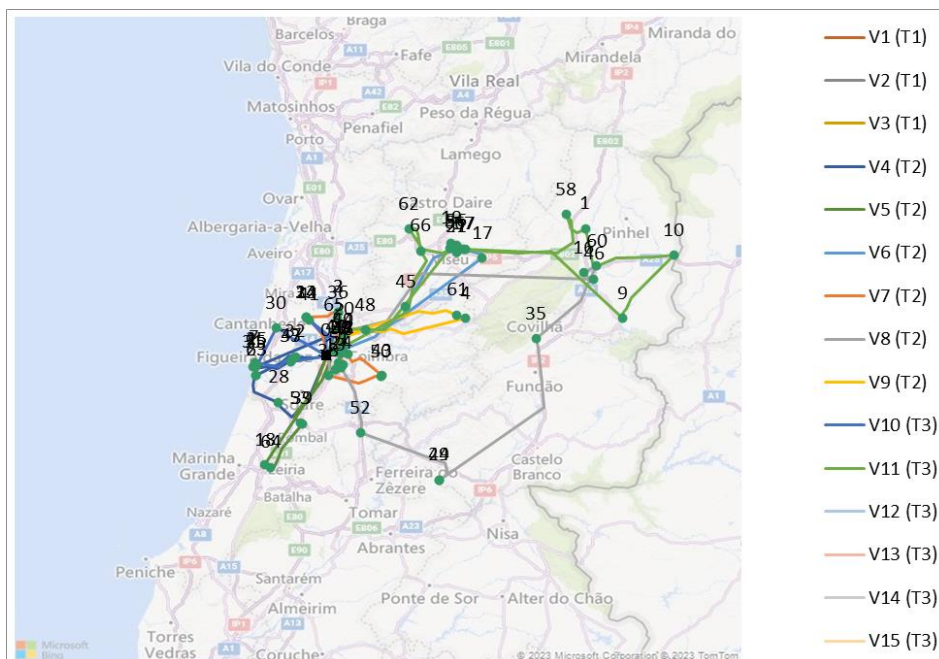


Figura 12 - Rotas resultantes da versão V4 para Sexta - Feira dia 26/08/2022.
Fonte: elaboração própria.

3.5 Sumário

Pelo facto de o tipo de serviço ser maioritariamente de transporte de cargas completas, pode-se afirmar que uma das dificuldades notada na simulação da operação do armazém de *crossdocking* da Luís Simões é o desequilíbrio de fluxos entre clientes (Vasconcelos, 2010).

Adicionalmente, constata-se que aliado a essa variabilidade de fluxo, há três restrições mais significativas para o regular desenvolvimento das suas atividades: horários de condução, localizações/ dispersão geográfica, e tempos de carga/descarga.

No que respeita à questão dos horários de condução, pondera-se a capacidade do motorista para a execução de certas rotas de serviço, tendo em conta a necessidade de conciliar tempo de operação com os requisitos de pausa. Estes fatores são muito importantes, para minimizar o número global de quilómetros em vazio.

Quanto à da localização/ dispersão geográfica uma vez que é necessário considerar todos os locais de carga e descarga das paletes tanto do serviço em causa, como a carga e o retorno do veículo (i.e., um ou vários retornos à origem).

Por último, os tempos de carga e de descarga têm grande importância para o desenvolvimento do processo, a razão deve-se ao fato de serem contabilizados para o

tempo de trabalho do motorista, e ainda pela importância que têm num dia normal de trabalho.

Da informação analisada verifica-se que:

- **no mês de março**, considerado como um mês de funcionamento padrão e regular, foram tratadas duas sexta-feira do mês (segunda e última), por serem os dias em que se verificou maior número de paletes distribuídas, para um maior número de clientes. Consideramos que este facto resulta da grande maioria dos clientes da LS serem unidades de retalho alimentar em cujas notas de encomenda se reflete de imediato a preferência e disponibilidade económica do consumidor final. Assim, consideramos que, a maior disponibilidade económica ocorre, no sector privado, na 2.^a sexta-feira do mês e, no sector público na última sexta-feira, por coincidir com a disponibilização da sua remuneração mensal.
- **em relação ao mês de junho**, é o mês em que se verifica a influência de fatores de sazonalidade, devido aos feriados e à realização das festividades dos santos populares. Essa sazonalidade traduz-se num maior número de movimentações de paletes, sendo assim considerados como dias de análise, a 2.^a e 3.^a sexta-feira do mês. No dia 09/06 (véspera de feriado) a análise das notas de encomenda ultrapassou a capacidade de carga da frota disponível. Assim, neste trabalho foi considerada a afetação de um novo veículo dado que de acordo com a política da Luís Simões “os transportes eventuais socorrem os serviços regulares, sempre que tal é necessário, e de forma a compensar eventuais desequilíbrios” (Vasconcelos, 2010).
- **Relativamente ao mês de agosto**, é o mês em que, devido aos feriados, período de férias laborais, regresso dos imigrantes e também aos preparativos para o regresso escolar, nomeadamente na última semana deste mês, ocorre maior número de movimentação de paletes e veículos.

Este mês tem embebido o fator sazonalidade afeto aos diferentes produtos transportados. De notar que, nesta altura do ano (verão), os produtos maioritariamente transportados (em especial nas primeiras semanas de Agosto) são bebidas e produtos associados à época balnear, enquanto que no final do mês os produtos transportados poderão estar ainda relacionados com a época balnear mas também com o regresso às atividades escolares que se aproxima.

Gestão Ágil de Armazéns com Otimização de Operações

Assim, foram considerados como dias de análise, a 1.^a e última (4.^a) sexta-feira do mês pois correspondem aos dias em que se movimentou um maior número de paletes e consequentemente maior quantidade de produtos.

A análise de todos os dias e cenários avaliados permite concluir que os menores custos e duração dos trajetos correspondem àqueles em que se admite a possibilidade de vários retornos ao COL de Coimbra. Este resultado atende quer à capacidade considerada para os veículos, quer ao custo de operação obtido em cada um dos cenários avaliados.

Quanto à duração das rotas, em particular ao tempo do percurso de maior duração, importa alertar para o facto de ser importante analisar os produtos transportados, e assegurar que são mantidos todos os requisitos. Em especial quando se tratar de produtos frescos e/ou artigos perecíveis, com elevados requisitos de transporte em períodos de maior consumo (i.e., períodos sazonais ou característicos de determinadas épocas do ano, nomeadamente em períodos festivos específicos).

CONCLUSÃO

Ao terminar este estudo, podemos concluir que foram cumpridos os objetivos inicialmente definidos, assim como foi possível responder às questões colocadas na investigação.

Neste trabalho efetua-se uma análise da literatura científica e estabelece-se um paralelo de avaliação empresarial, tendo em conta a gestão ágil do armazém. Para tanto, propõe-se reduzir o tempo de permanência das mercadorias em armazém e minimizar os custos operacionais que envolvem os processos, nomeadamente, através da análise logística e uso dos recursos (i.e., quantidade de veículos, motoristas, etc.) e da avaliação de parâmetros de resultado (p.ex., tempo ou distância totais de cada rota, custo da solução e dos trajetos parciais) que garantem a satisfação das encomendas de todos os clientes nas datas planeadas. Foi assim possível identificar as operações críticas de armazém durante o processo de distribuição, bem como o seu impacto no portfolio de clientes.

Através do *solver* VRP, foram avaliados vários cenários de rotas de distribuição, relativas ao Centro Operacional Logístico (COL) de Coimbra da empresa Luís Simões, a operar num registo de *crossdocking*. De todos os dados avaliados, foram selecionados para análise os meses de março, junho e agosto de 2022, sendo de seguida eleitos os dias de semana que apresentavam maior movimentação de paletes e de veículos, neste caso as sextas-feiras.

Foram criados vários cenários de rota de distribuição para cada um dos dias analisados de cada um dos meses em estudo. Nestes cenários foram consideradas rotas que incidiam em 1 retorno ou vários retornos ao COL de Coimbra.

A execução de cada cenário permitiu identificar quais as “melhores” rotas, o número de veículos necessário para garantir a satisfação de todas as encomendas de clientes, a distância total a percorrer e o tempo total associado a cada trajeto.

Observa-se da análise dos cenários de rotas efetuados em todas as sextas feiras que, de acordo com a capacidade dos veículos, os cenários cujo custos e duração de trajetos de rotas são menores correspondem aqueles onde são considerados vários retornos ao COL de Coimbra, independentemente se se trata de um mês padrão ou meses relativos a períodos específicos do ano, como é o caso de épocas festivas e balneares.

Gestão Ágil de Armazéns com Otimização de Operações

Em termos de trabalhos futuros, sugere-se que possa ser efetuado um estudo no qual se desenvolva uma análise de otimização da logística interna integrada com o planeamento de rotas e com o mapeamento do serviço ao cliente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Accorsi, R.; Manzini, R.; Maranesi, F. (2014). A decision-support system for the design and management of warehousing systems. *Computers in Industry*, pp.175–186.

Arlbjørn, J. (n.d). *Supply Chain Management, Terms and Glossary*. SCVisions. p.395

Allaoui, H.; Guo, Y.; Sarkis, J. (2019). Decision support for collaboration planning in sustainable supply chains. *Journal of Cleaner Production*, pp. 761–774. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.367>

Appelqvist, P., Babongo, F., Chavez-Demoulin, V., Hameri, A. P., & Niemi, T. (2016). Warehouse and Distribution Science. *International Journal of Retail & Distribution Management*, 44(2), 178–202. <https://doi.org/10.1108/IJRDM-08-2015-0113>

Alves, J. (2021). *Modelação e Simulação de um sistema crossdocking com AS/RS integrado*. Instituto Superior de Engenharia do Porto. Politécnico do Porto. Dissertação de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores. Porto.

Avdekins, A., & Savrasovs, M. (2019). Making Warehouse Logistics Smart by Effective Placement Strategy Based on Genetic Algorithms. *Transport and Telecommunication Journal*, 20(4), 318–324. <https://doi.org/10.2478/ttj-2019-0026>

Askarany, D.; Yazdifar, H.; Askary, S. (2010). Supply chain management, activity-based costing and organisational factors. *International Journal of Production Economics*. Elsevier.127 (2). pp.238-248. doi:10.1016/j.ijpe.2009.08.004

Baker, P.; Canessa, M.(2009). Warehouse design:A structured approach. *European Journal of Operational Research*, 193 (2), pp. 425-436. doi:10.1016/j.ejor.2007.11.045

Bhandari, R. (2013). Impact of Technology on Logistics and Supply Chain Management. *IOSR Journal of Business and Management*, pp.19–24. Retrieved from www.iosrjournals.org

Bertolini, M.; Esposito, G.; Mezzogori, D.; Neroni, M. (2019). *Procedia Manufacturing*. 39. pp.1681–1690

Bilgen, B.; Günther, H. (2010). Integrated production and distribution planning in the fast moving consumer goods industry: a block planning application. *Or Spectrum* 32. pp. 927-955.

Bolaños Zuñiga, J., Saucedo Martínez, J. A., Eloy, T., Fierro, S., Antonio, J., & Saucedo, M. (n.d.). Optimization of the Storage Location Assignment and the Picker-Routing Problem by Using Mathematical Programming. <https://doi.org/10.3390/app10020534>

Bo, V.; Bortolini, M.; Malaguti, E.; Monaci, M.; Mora, C.; Paronuzzi (2021). Models and algorithms for integrated production and distribution problems. *Computers & Industrial Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.107003>.

Burganova, N.; Mozol, S.; Grznár, P.; Gregor, M. (2020). Design of Logistics System in Production. Editora Científica da Universidade Técnica e de Humanidades. Bielsko. Biala. Polónia.

Camarinha, C. (2016). Desenvolvimento de um sistema de gestão dos aprovisionamentos e fluxos num armazém - um caso de estudo. Instituto Politécnico do Porto. Dissertação de mestrado em Logística. Porto.

Caceres-cruz, J.; Riera, D.; Juan, A.; Arias, P.; Guimarans, D.; (2014). Rich Vehicle Routing Problem. *Survey. ACM Comput. Surv.* V, N, Article A, 29. <https://doi.org/10.1145/0000000.0000000>

Caridade, R.; Pereira, T.; Ferreira, L.; Silva, F. (2017). Analysis and optimisation of a logistic warehouse in the automotive industry. *Procedia Manufacturing*. pp. 1096-1103. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.09.170>

Carvalho, J., Guedes, A., Arantes, A., Martins, A., Póvoa, A., Ramos, T. (2010). *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento* (2nd ed.). Lisboa: Edições Sílabo, Lda.

Carvalho, J. (2012). *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento*. Edited by M. Robalo

Carvalho, A. (2014). *Gestão de stocks como fator determinante para a melhoria do serviço ao cliente*. Universidade do Minho. Escola de Engenharia. Dissertação de Mestrado. Braga.

Carvalho, J., Ramos, T. (2016). *Logística na Saúde* (3rd ed.). Edições Sílabo, Lda . Lisboa.

Carvalho, J. (2017). *Logística e Gestão da Cadeia de abastecimento* Edições Sílabo, Lda. Lisboa.

Chargui, T.; Bekrar, A.; Reghioui, M.; Trentesaux, D. (2019). Multi-objective sustainable truck scheduling in a rail–road physical internet cross-docking hub considering energy consumption. *Sustainability* 11.11: 3127.

Clarke, G.; Wright, J. (1964). Scheduling of Vehicles from a Central Depot to a Number of Delivery Points. *Operations Research*. pp. 568–581. <https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568>

Cormier, G. (2005). *Operational research methods for efficient warehousing*. Gerard and Écolde Polytechnique de Montréal. Montréal. Canada. pp. 93 – 122

Costa, J.; Dias, J.; Godinho, P. (2010). *Logística*. Imprensa da Universidade de Coimbra

Council of Supply Chain Management Professionals. (2013). *Terms and Glossary*. Retrieved 22nd February, 2023, from <https://cscmp.org/>

Dias, E.; Carvalho, J. (2004). *Estratégias logísticas: como servir o cliente a baixo custo*. Edições Sílabo.

Delaney, R. V. (1996). *Seventh Annual State of Logistics Report*, St. Louis, MO: Cass Information Systems, pp. 9 – 10.

Dharmapriya, U. S. S., & Kulatunga, A. K. (2011). New Strategy for Warehouse Optimization – Lean warehousing. *International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, pp. 513–519.

Dijkstra, A. S., Roodbergen, K. J. (2017). Exact route-length formulas and a storage location assignment heuristic for picker-to-parts warehouses. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 102(April), pp.38–59. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2017.04.003>

Duarte, T., Carvalho, D., & Martinho, D. (2019). Algoritmos para otimização de rotas de distribuição. *ISLA Multidisciplinary E-Journal*, 2(1), 75–100.

Dantzig, G.; Ramser, J. (1959). The Truck Dispatching Problem. Management Science. Vol. 6.

Erdoğan, G. (2015). User's manual for VRP spreadsheet solver. University of Bath.

Ferreira, S. (2017). Auditoria Interna ao Processo de Compras numa Empresa de Engenharia Industrial - O Caso RobotSol. Instituto Superior de Contabilidade e Administração do Porto. Porto.

Ferreira, F. (2012). Desenvolvimento de uma ferramenta de determinação de custos das operações em armazém na SONAE MC. <http://hdl.handle.net/10216/68307>

Ferreira, C.; Jesus, A. (2015). "A importância do cross docking para o e-commerce." Brasil Para Todos-Revista Internacional 2.1. pp. 189-197.

Ferreira, J. (2016). Normalização e Otimização de processos de Cross-Docking. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. Dissertação de Mestrado em Ambiente Empresarial. Porto.

Lourenço, R. (2005). Integrated Logistics Management: An opportunity for Metaheuristics. Em Metaheuristic Optimization via Memory and Evolution, pp. 329-356. 1ª ed. Dordrecht:Kluwer Academic Publishers.

Golden, B.; Raghavan, S.; Wasil, E. (2008). The vehicle routing problem: Latest advances and new challenges. In Operations Research/ Computer Science Interfaces Series Vol. 43. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-77778-8>

Grznár, P.; Krajcovic, M.; Gola, A.; Dulina, L.; Furmannová, B.; Mozol, S.; Plinta, D.; Burganová, N.; Danilczuk, W.; Svitek, R. (2021); The Use of a Genetic Algorithm for Sorting Warehouse Optimisation. Processes 2021. <https://doi.org/10.3390/pr9071197>.

Gomes, P. (2014). Gestão de Operações de um armazém. Instituto Superior de Contabilidade e Administração do Porto. Porto. Dissertação de Mestrado

Green, K. W., Whitten, D., & Inman, R. A. (2008). The impact of logistics performance on organizational performance in a supply chain context. Supply Chain Management, 13(4), 317–327. <https://doi.org/10.1108/13598540810882206>

Gu, G.; McGinnis, L. (2007). Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, pp. 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2006.02.025>

Gunasekaran, A.; Patel, C.; McGaughey, R. (2004). A framework for supply chain performance measurement. *International Journal of Production Economics*. pp.333-347. doi:10.1016/j.ijpe.2003.08.003

Gupta, S.; Sharma, M.; Sunder M, V. (2016). Lean services: a systematic review. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 65(8), pp 1025–1056. <https://doi.org/10.1108/IJPPM-02-2015-0032>

Hara, C. (2005). *Logística: armazenagem, distribuição e trade marketing*. Campinas.

Hamdy, W.; Al-Awamry, A. Mostafa, N. (2022). Warehousing 4.0: A proposed system of using node-red for applying internet of things in warehousing. *Sustainable Futures*. <https://doi.org/10.1016/j.sftr.2022.100069>.

Hillier, S.; Lieberman, G. (2001). *Introduction to Operations Research*. 7^a ed. McGraw-Hill. Nova Iorque.

Instituto Nacional de Estatística (2022), Dados estatísticos recolhidos em Dezembro de 2022 do site Portal do INE

Izdebski, M.; Jacyna-Gółda, I.; Wasiak, M. (2016). The application of genetic algorithm for warehouse location in logistic network. *Journal of KONES Powertrain and Transport*. Vol. 23. no.3. pp 201-208.

Jamkhaneh, H.; Shahin, R.; Tortorella, G. (2022). Analysis of Logistics 4.0 service quality and its sustainability enabler scenarios in emerging economy. *Jornal Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100053>

Kiani Mavi, R.; Goh, M.; Kiani Mavi, N.; Jie, F.; Brown, K.; Biermann, S.; A. Khanfar, A. (2020) Cross-Docking: A Systematic Literature Review. *Sustainability* 2020, 12, 4789. <https://doi.org/10.3390/su12114789>

Khorasani, S.; Keshtzari, M.; Islam, M.; Feizi, R. (2018). Intravenous fluid delivery time improvement: Application of cross-docking system. *Int. J. Health Care Qual. Assur.* pp. 1070–1081

Kordos, M., Boryczko, J., Blachnik, M., & Golak, S. (2020). Optimization of warehouse operations with genetic algorithms. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(14). <https://doi.org/10.3390/app10144817>

Kordos, M., Łapa, K. (2018). Multi-Objective Evolutionary Instance Selection for Regression Tasks. <https://doi.org/10.3390/e20100746>

Kumar, R.; Unnikrishnan, A.; Waller, S. (2011) Capacitated-vehicle routing problem with backhauls on trees. *Transp Res Rec J Transp Res Board* 2263(1); pp.92–102. <https://doi.org/10.3141/2263-11>

Kulwiec, R. (2004). Crossdocking as a supply chain strategy. *Target* 20.3. pp. 28-35.

Ladier, A.; Alpan, G. (2016) Cross-docking operations: Current research versus industry practice. *Omega*. Vol 62. pp. 145-162. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.09.006>.

Li, Y.; Tang, RY.; MuRong, LW. (2020) Collaborative Optimization of Dock Door Assignment and Vehicle Scheduling in Cross-Docking. *J. Oper. Res. Soc. China* 8, pp. 493–514. <https://doi.org/10.1007/s40305-019-00266-9>

Lind, E. (2022). Análise comparativa de métodos de roteirização para separação de pedidos em armazéns. Departamento de Engenharia de Produção e Sistemas. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

Lopes, A. (2021). Crossdocking colaborativo nas cadeias de abastecimento alimentares. Faculdade de Engenharia. Universidades do Porto. Dissertação de Mestrado.

Magalhães, P. (2020). Otimização do Processo de Gestão de Stocks e Transferências na Indústria Alimentar. Universidade do Porto. Faculdade de Engenharia. Dissertação de Mestrado. Porto.

Maia, R. (2020). Proposta de desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à gestão de armazéns no sistema de informação RPS. Instituto Superior de Engenharia do Porto. Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial. Porto.

Melo, B. (2021). Implementação de uma ferramenta de apoio à gestão de stocks na Amorim Cork. Instituto Superior de Engenharia Mecânica. Dissertação de Mestrado. Porto.

Martins, R. (2019). Otimização da logística de receção e expedição. Instituto Superior de Engenharia do Porto. Dissertação de Mestrado. Porto.

Martins, R., Pereira, M., Ferreira, L., Sá, J., Silva, F. (2020). Warehouse operations logistics improvement in a cork stopper factory. 51, pp. 1723-1729

Manoharan, S.; Stilling, D.; Kabir, G.; Sarker, S.(2022).Implementation of Linear Programming and Decision-Making Model for the Improvement of Warehouse Utilization Applied System Innovation , vol. 5 , no. 2 , 33 . <https://doi.org/10.3390/asi5020033>

Mentzer, J.; Dewitt, W.; Keebler, J.; Min, S.; Nix, N.; Smith, C.; Zacharia, Z. (2001). Defining supply chain management. Journal of business logistics. Vol. 22.

Oliveira-Dias, D.; Maqueira-Marín, J.; Mayoano-Fuentes, J. (2022).The link between information and digital technologies of industry 4.0 and agile supply chain: Mapping current research and establishing new research avenues. Computers & Industrial Engineering. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108000>.

Olsson, F. (2010). An inventory model with unidirectional lateral transshipments. European Journal of Operational Research 200 (3). pp. 725-732.

Paoleschi, B. (2014). Estoques e armazenagem. 1.ª ed. São Paulo.

Pettersen, J. (2009). Defining lean production: some conceptual and practical issues. TQM Journal, 21(2), pp. 127–142. <https://doi.org/10.1108/17542730910938137>

Pečený, L., Meško, P., Kampf, R., Gašparík, J. (2020). Optimisation in Transport and Logistic Processes. Transportation Research Procedia. 44 (2019). pp.15-22.

Perera. D; Fernando, A.; Uditha, O. (2021). Warehouse Space Optimization Using a Linear Programming Model. International Conference on Advanced Research in Computing. pp.145-149

Petersen, C. (1997). An evaluation of order picking routing policies. *International Journal of Operations & Production Management*. 17(11). pp. 1098-1111. doi:10.1108/01443579710177860.

Pinto, M. (2019). *Logística como instrumento de Competitividade caso do Pingo Doce*, Instituto Superior de Gestão. Lisboa. Dissertação de Mestrado.

Rakesh, V.; Adil, G. (2015). Layout Optimization of a Three Dimensional Order Picking Warehouse, *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 48 (3), pp. 1155-1160.

Reis, R. L. (2013). *Manual da Gestão dos Stocks*. Editorial Presença.

Rushton, A.; Croucher, P.; Baker, P. (2010). *The Handbook of Logistics & Distribution Management*. 4^a ed. Kogan Page. Londres.

Rushton, A.; Croucher, P.; Baker, P. (2006). *The Handbook of Logistics and Distribution Management*. 3.^a ed. Kogan Page. Londres.

Roodbergen, K.; De Koster, R. (2001) Routing Methods for Warehouses with Multiple Cross Aisles. *International Journal of Production Research*, pp.1865-1883. <http://dx.doi.org/10.1080/00207540110028128>

Rouwenhorst, B., Reuter, B., Stockrahm, V., Van Houtum, G. J., Mantel, R. J., & Zijm, W. H. M. (2000). Warehouse design and control: Framework and literature review. In *European Journal of Operational Research*, Vol. 122, Issue 3, pp. 515–533 North-Holland. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00020-X](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00020-X)

Tavares, J.; Machado, P.; Pereira, F.; Costa, E. (2002). Vehicle Routing Problem: Doing It The Evolutionary Way. In *GECCO*.

Tersine, R. (1994). *Principles of inventory and materials management*; Prentice Hall International; New Jersey.

Thomas, D.; Griffin, P.; (1996). Coordinated supply chain management. *European Journal of Operational Research*. 94(1). pp.1-15. doi:10.1016/0377-2217 (96) 00098-7.

Tompkins, J.; White, J.; Bozer, Y.; Tanchoco, J. (2010). *Facilities Planning*, 4. ed. Hardback

Tseng, Y., Long Yue, W.; Taylor, M. (2005) O papel do transporte na cadeia logística. Sociedade da Ásia Oriental para Estudos de Transporte.

Urzúa-Morales, J.; Sepulveda-Rojas, J.; Alfaro, M.; Fuertes, G.; Ternero, R.; Vargas, M. (2020). Logistic Modeling of the Last Mile: Case Study Santiago, Chile. *Sustainability* 2020, 12, 648. <https://doi.org/10.3390/su12020648>

Valença, F. (2019). Gestão de Stocks em contexto de Cadeia de Abastecimento Estudo de Caso: Luis Simões, Logística Integrada, SA. Instituto Superior de Contabilidade e Administração de Coimbra. Instituto Politécnico de Coimbra. Coimbra.

Vicente, J.; Relvas, S.; Barbosa-Póvoa, A. (2015). Distribution Supply Chain Inventory Planning under Uncertainty. Em *Operations Research and Big Data*, pp.247-254. 1ª ed. Cham: Springer

van Gils, T., Ramaekers, K., Caris, A., & de Koster, R. B. M. (2018). Designing efficient order picking systems by combining planning problems: State-of-the-art classification and review. *European Journal of Operational Research*, 267(1), pp 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.09.002>

VanderVlist, P. (2007). Synchronizing the retail supply chain. ERIM, Roterdão, Holanda.

Van Belle, J.; Valckenaers, P.; Cattrysse, D. (2012) Cross-docking: State of the art. *Omega*, 40(6). pp. 827-846

Sa,C.(2021).Melhoria de processos num armazém do sector da construção civil.Universidade do Minho. Escola de Engenharia.Dissertação de Mestrado em Engenharia Industrial.Braga.

Shapiro, R.; Heskett, J. (1985). *Logistics Strategy: Cases and Concepts*. St. Paul, MN. West Publishing, pp. 6.

Suh, E.S. (2015). Cross-docking assessment and optimization using multi-agent co-simulation: a case study. *Flexible Services Manufacturing Journal*. 27 (1) pp.115–133. <https://doi.org/10.1007/s10696-014-9201-3>

Mira da Silva, M.; Pereira R. (2011) A Maturity Model for Implementing ITIL V3 in Practice, *IEEE 15th International Enterprise Distributed Object Computing Conference Workshops*, Helsinki, Finlândia pp. 259-268, doi: 10.1109/EDOCW.2011.30

Silva, M. (2022). Dashboard em Power BI para apoio na Gestão de armazéns. Universidade de Coimbra.Faculdade de Ciências e Tecnologia. Departamento de Engenharia Informática. Relatório de Estágio no âmbito do Mestrado em Engenharia Informática. Coimbra.

Silva, N.; Barros, J.; Santos, M.Y.; Costa, C.; Cortez, P.; Carvalho, M.S.; Gonçalves, J.N.C.(2021). Advancing Logistics 4.0 with the Implementation of a Big DataWarehouse: A Demonstration Case for the Automotive Industry. *Jornal Electrónica* 2021,10, 2221. <https://doi.org/10.3390/electronics10182221>

Silva,P.(2019).Análise e Melhoria de Processo de Picking e Layout de armazém numa empresa do ramo alimentar - estudo de caso. Instituto Politécnico de Tomar. Escola Superior de Gestão. Tomar.

Soares,M.(2012). A Gestão de Transportes. Universidade de Coimbra. Coimbra. Dissertação de Mestrado.

Sousa,M. (2015). Gestão de armazéns e Logística Interna. Universidade do Porto. Faculdade de Engenharia. Dissertação de Mestrado. Porto.

Staudt, F.; Alpan, G.; Mascolo, M; Rodrigues, C. (2015). Warehouse performance assessment:a literature review. *International Journal of Production Research*. 53:18. pp. 5524-5544. <https://doi.org/10.1080/00207543.2015.1030466>

Teixeira, E.(2018). Análise e melhoria dos processos de arrumação e picking do armazém exterior de uma empresa do sector da construção civil.Universidade do Minho. Escola de Engenharia. Dissertação de Mestrado.Braga.

Wang,L; Tao, F.; Liu,A. (2021). Artificial intelligence in product lifecycle management. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*.114. pp. 771-796. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-06882-1>

Wang, W., Gao, J., Gao, T., Zhao, H. (2017). Optimization of Automated Warehouse Location Based on Genetic Algorithm. 134(Caai), 309–313. <https://doi.org/10.2991/caai-17.2017.70>

Xu, W., Jia, H. (2019). Research on Storage Location Optimization Based on Genetic Algorithms. Journal of Physics: Conference Series, 1213(3). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1213/3/032020>

Verma, A., Tripathy, S., & Singhal, D. (2022). A importância da gestão de armazéns na cadeia de suprimentos: uma abordagem ISM. Tomada de Decisão: Aplicações em Gestão e Engenharia. <https://doi.org/10.31181/dmame0321052022v>

Waller, A.; Cassady, C.; Ozment, J. (2006). Impact of cross-docking on inventory in a decentralized retail supply chain. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 42(5), p. 359–382. doi:10.1016/j.tre.2005.01.002, 2006

Gallego, G.; Ozer, O.; Zipkin, P. (2007) Bounds, heuristics, and approximations for distribution systems. Operations Research, 55, p. 503–517.

APÊNDICES

APÊNDICE 1. ENTREVISTAS

No âmbito do presente anexo apresenta-se uma transcrição sumária das entrevistas realizadas no âmbito do caso prático analisado.

As entrevistas tiveram um guião de questões prévias, maioritariamente questões de resposta aberta, e viabiliza a formulação de novas questões em espaço de entrevista e mediante resposta do entrevistado.

Entrevista 1: Efetuada à Direção da Empresa

Porquê um armazém de *crossdocking*?

A maior parte das mercadorias são rececionadas em palete inteira e têm tempos de permanência pequenos no armazém, seguindo em menos de 48 horas para o cliente final.

Estas são apenas algumas das características de fluxo logístico ponderadas quando optámos pelo *crossdocking*.

Quais as operações no armazém de *crossdocking* que exigem mais atenção?

Uma vez que, o material não pode permanecer em armazém por um período de tempo superior a 48 h, a mercadoria é rececionada, colocada em *stock* no armazém, de seguida expedida. Mesmo que seja enviada para o cliente no próprio dia, passa sempre por este circuito devido à sua rastreabilidade.

A mobilização interna o espaço disponível nos cais e as rotas de distribuição são os fatores mais relevantes na operação diária.

E as cargas e as rotas como são programadas?

Quanto às cargas, quando se verifica que é atingido o limite da carga do veículo, os produtos excedentes, são usualmente entregues no dia seguinte. Sendo estes produtos recolocados, numa zona do armazém para avaliar a possibilidade de reenvio noutra carga.

A construção da carga e o planeamento o veículo é efetuado no dia anterior à expedição das mercadorias, em função do horário de descarga do dia seguinte.

E relativamente ao fluxo logístico durante o ano?

Os meses de verão são, de facto, a época do ano em que há mais movimentação de mercadorias, quer em receção, quer em expedição de mercadorias.

Entrevista 2: Efetuada à Direção de operações do armazém de *crossdocking*

Em sequência da Visita de acompanhamento da operação no armazém de *crossdocking*

Como é efetuada a descarga de material não consolidado?

Quando ocorre a descarga de material não consolidado e, de forma a otimizar o veículo, as paletes são desmanchadas e refeitas. Sendo o material entregue, verificado e catalogado.

Quais os procedimentos efetuados durante a receção e expedição de mercadorias?

Antes de efetuar a descarga, é entregue ao operador a lista de mercadorias a rececionar e a respetiva rota de distribuição pela qual deverão ser enviadas. Assim, após descarga as mercadorias são colocadas na zona do armazém para a qual a respetiva rota está identificada e, a partir das quais são posteriormente expedidas. A construção da carga e o planeamento do veículo é efetuado no dia anterior à expedição das mercadorias, em função do horário de descarga do dia seguinte e consoante o espaço disponível nos veículos.

Qual a duração de tempo para realização operações de carga e descarga?

Relativamente à duração das operações, considera-se que o tempo para carga e descarga de materiais decorre num período máximo de 10 minutos, sendo que para o manuseamento de paletes são necessários 2 minutos. Assim, considera-se que deverão ser descarregues, no máximo 33 paletes por hora.

E relativamente ao tempo considerado para condução do veículo?

Em relação ao tempo de condução do veículo é definido o período máximo durante 8 horas diárias, enquanto o tempo de trabalho poderá atingir as 12 horas/dia. O período de almoço dos motoristas é ajustado consoante as horas de condução efetuadas em cada dia.

Como são planeados os horários para realização das rotas e descargas?

Existem horários para entrega de mercadorias definidos pelos clientes, nomeadamente aqueles cuja receção de produtos deve ocorrer durante o período da manhã, como é o caso dos hipermercados e superfícies comerciais para os quais se deve obedecer ao horário restrito de entrega a ocorrer diariamente das 07:00h às 09:00h, no entanto um dos supermercados recebe os produtos diariamente das 07:00h às 13:00h, enquanto que os restantes clientes rececionam as suas encomendas 09:00h às 16:00h.

Qual o horário de saída dos veículos cujas rotas contêm clientes distantes do COL?

Os veículos cujas mercadorias serão entregues em clientes mais distantes do COL de Coimbra, assim como os carros dedicados, deverão sair do mesmo até às 07:00h de forma a que a mercadoria seja entregue ao cliente final até às 10:00h.

APÊNDICE 2. DADOS DOS CLIENTES E DAS ENCOMENDAS UTILIZADAS NO ESTUDO

Informação considerada dos 67 clientes do dia em estudo -17/06/2022.

Fonte : elaboração própria.

ID Cliente	Coordenadas		Encomendas (Paletes)	ID Cliente	Coordenadas		Encomendas (Paletes)
	Latitude Y	Longitude X			Latitude Y	Longitude X	
1	40,21036	-8,43074	1	34	40,15168	-8,86675	2
2	40,72392	-7,26206	2	35	40,40054	-7,53965	1
3	40,66123	-7,94366	1	36	40,35662	-8,60791	1
4	40,51496	-7,22084	1	37	40,62845	-7,88387	4
5	40,51641	-8,0808	6	38	40,42177	-8,67599	2
6	40,35233	-7,83861	5	39	40,3464	-8,59369	1
7	39,89975	-8,27365	2	40	40,11461	-8,24297	1
8	40,16969	-8,85624	5	41	40,60571	-7,76595	3
9	40,64409	-7,91286	5	42	40,63967	-7,84884	1
10	40,61065	-7,92222	1	43	39,85265	-8,65286	2
11	40,20221	-8,50964	1	44	40,64409	-7,91286	3
12	40,13859	-8,46937	3	45	40,51496	-7,22084	6
13	40,28265	-7,50326	2	46	40,24824	-8,41662	3
14	40,20957	-8,44421	1	47	40,30485	-8,32338	5
15	40,11671	-8,24223	1	48	40,53713	-7,26785	2
16	40,16081	-8,84948	1	49	40,20957	-8,44421	2
17	40,54126	-7,27031	8	50	40,21264	-8,46445	3
18	40,43368	-8,002	2	51	40,23799	-8,43413	5
19	40,28628	-8,42546	7	52	40,15078	-8,85121	3
20	40,20415	-8,40617	1	53	40,65447	-7,88357	3
21	40,20085	-8,40483	1	54	40,65447	-7,88357	2
22	40,1677	-8,46366	3	55	40,67064	-7,92786	1
23	40,25126	-8,44643	2	56	40,63967	-7,84884	1
24	39,91378	-8,62749	2	57	40,30951	-8,42542	1
25	40,1677	-8,46366	1	58	40,22378	-8,41622	1
26	40,21149	-8,4292	2	59	40,41278	-7,71341	2
27	40,20957	-8,44421	1	60	40,58928	-8,45088	3
28	40,20957	-8,44421	1	61	40,64119	-8,65362	5
29	40,20957	-8,44421	1	62	40,6281	-8,64476	8
30	40,1936	-8,42089	1	63	40,35971	-7,86166	2
31	40,39732	-8,22857	1	64	40,87726	-8,6326	3
32	40,00328	-8,74246	2	65	40,51811	-8,08076	3
33	39,6822	-7,96829	2	66	40,65956	-7,91493	1
				67	40,66836	-7,91717	1

Gestão Ágil de Armazéns com Otimização de Operações

APÊNDICE 3. RESULTADOS DA ANÁLISE MENSAL

1) março

04/03/2022

Versão	Dia	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	Total
V1	04/03/2022	10	8	10	13	18	17	18	18	18	19	20	...	...	...	...	169
	04/03/2022	04:27:20	01:09:00	02:56:40	04:45:20	04:48:00	05:47:00	03:28:00	08:17:00	03:51:20	04:44:20	07:03:00	...	...	...	...	51:17:00
V2	04/03/2022	9	...	...	15	18	18	15	18	18	19	20	19	...	...	...	169
	04/03/2022	02:41:00	...	...	05:04:20	04:48:00	04:20:00	04:44:40	05:08:40	07:42:40	04:47:20	08:09:00	03:21:00	...	...	...	50:46:40
V3	04/03/2022	9	...	...	18//17	17//18	18	17	18	17	20	...	...	...	...	...	169
	04/03/2022	02:21:00	...	...	08:38:20	05:48:00	05:15:00	08:57:40	05:52:00	06:00:20	06:06:20	...	...	...	...	...	48:58:40
V4	04/03/2022	10	10	10	18	17	18//15	18	18	16	19	...	...	...	...	...	169
	04/03/2022	01:52:00	02:56:40	04:27:20	05:25:00	05:57:20	02:40:00	04:38:20	07:56:00	05:52:00	04:47:20	...	...	...	...	...	46:32:00

11/03/2022

Versão	Dia	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	Total
V1	11/03/2022	10	10	...	18	18	16	18	18	17	19	14	17	20	...	...	195
	11/03/2022	02:57:20	02:44:00	...	03:05:00	05:38:20	03:10:40	03:39:40	05:49:00	05:15:00	05:13:00	06:31:20	08:31:40	03:27:00	...	...	56:02:00
V2	11/03/2022	9	9	...	18	18	16	18	18	17	19	17	20	16	...	...	195
	11/03/2022	02:39:00	01:18:40	...	03:05:00	03:08:00	03:10:40	05:38:20	05:15:00	05:39:00	05:13:00	08:31:40	07:27:40	03:55:40	...	...	55:01:40
V3	11/03/2022	10//7	10	...	17//18	17	17//17	18//9	18	...	18	19	...	...	...	...	195
	11/03/2022	02:38:00	03:25:00	...	06:57:00	02:50:00	05:45:00	07:34:40	06:21:20	...	07:34:40	07:24:00	...	...	...	...	50:29:40
V4	11/03/2022	10	10//7	10	17	18	14//17//18	18//18	...	...	19	19	...	...	...	...	195
	11/03/2022	04:34:00	02:11:00	02:48:00	04:44:00	05:52:00	07:17:00	07:49:00	...	...	06:41:00	08:00:00	...	...	...	...	49:56:00

18/03/2022

Versão	Dia	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	Total
V1	18/03/2022	8	...	...	16	18	18	18	17	17	20	20	...	...	...	...	152
	18/03/2022	02:55:00	...	...	02:59:00	07:24:00	06:32:00	05:59:20	06:33:20	05:33:00	08:04:40	03:41:00	...	...	...	...	49:41:20
V2	18/03/2022	7	...	...	18	18	16	18	17	18	20	20	...	...	...	...	152
	18/03/2022	02:42:00	...	...	05:46:00	07:24:00	02:59:00	05:59:20	06:33:20	06:32:00	03:41:00	08:04:40	...	...	...	...	49:41:20
V3	18/03/2022	...	...	...	15//18	18	18	16//15	18//14	...	20	...	...	...	...	...	152
	18/03/2022	...	...	...	08:55:20	07:44:00	05:53:20	07:48:20	05:24:00	...	07:26:20	...	...	...	...	...	43:11:20
V4	18/03/2022	10	...	...	17//18	18	18	17//16//18	...	...	20	...	...	...	...	...	152
	18/03/2022	04:22:00	...	...	08:14:00	06:24:00	07:41:00	08:46:00	...	...	07:26:00	...	...	...	...	...	42:53:00

25/03/2022

Versão	Dia	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	Total
V1	25/03/2023	10	10	9	13	18	18	18	17	18	17	20	20	...	...	...	188
	25/03/2023	04:00:00	02:12:00	02:09:00	08:29:00	03:31:00	04:57:00	04:49:00	05:01:00	06:09:00	03:59:00	06:13:00	03:57:00	...	...	...	55:26:00
V2	25/03/2023	8	10	9	13	18	18	18	17	18	19	20	20	...	...	...	188
	25/03/2023	02:57:00	02:22:00	00:47:00	08:06:00	05:59	05:27	04:49	04:36	05:33	03:42	04:31:00	07:00:00	...	...	...	55:49:00
V3	25/03/2023	9//10	10	10	18	17//9//18	18//17	18	17	17	...	...	...	...	...	...	188
	25/03/2023	02:22:00	02:23:00	03:18:00	06:34:00	08:24	05:36	06:00	07:07	08:04	...	...	...	...	...	...	49:48:00
V4	25/03/2023	9//9	10	10	18	17//11//18	18//17	17	17	17	...	...	...	...	...	...	188
	25/03/2023	02:35:00	01:19:00	03:18:00	06:51:00	08:47	05:36	05:47	07:07	07:47	...	...	...	...	...	...	49:07:00

Gestão Ágil de Armazéns com Otimização de Operações

2) junho

03/06/2022

Versão	Dia	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	Total
V1	03/06/2022	9	10	...	16	18	17	18	17	18	20	20	...	...	...	...	163
	03/06/2022	02:50	03:53	...	03:55	05:10	07:24	06:43	03:07	07:14	07:03	06:33	...	...	...	...	42:52:40
V2	03/06/2022	8	9	...	18	18	17	18	18	18	20	19	...	...	...	...	163
	03/06/2022	02:37	02:22	...	04:43	05:48	05:30	06:20	05:52	07:58	06:19	04:22	...	...	...	...	51:53:40
V3	03/06/2022	10	10/10	...	16/18	18	18/18	17	18	...	...	...	...	...	...	...	163
	03/06/2022	01:54	08:50	03:54	07:00	07:59	07:00	05:50	07:18	...	...	...	...	...	...	...	49:48:00
V4	03/06/2022	10	8	9	18	18/18	16/18	18	12/18	...	...	...	...	...	...	...	163
	03/06/2022	02:49	04:22	02:22	08:24	08:00	07:59	04:46	08:20	...	...	...	...	...	...	...	47:03:40

09/06/2022

Versão	Dia	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	V16	Total
V1	09/06/2022	10	8	10	18	18	15	18	18	18	20	20	20	20	19	20	20	272
	09/06/2022	03:11	03:26	05:25	04:44	05:32	08:52	08:32	04:20	06:19	06:08	04:22	04:37	03:55	05:50	05:34	04:09	80:50:20
V2	09/06/2022	10	10	10	17	18	17	18	16	17	19	20	20	20	20	20	20	272
	09/06/2022	06:09	02:18	02:58	07:31	07:46	04:36	04:51	03:33	04:21	05:17	04:52	05:51	07:04	04:36	05:28	05:00	77:14:40
V3	09/06/2022	9/9/10/10	10/18	6	18/14	18	18/18	18/16	18	18/17/18	19	...	...	...	...	...	...	272
	09/06/2022	08:24	05:30	02:30	07:28	08:00	08:43	08:31	08:26	06:51	04:39	...	...	...	...	...	...	69:03:20
V4	09/06/2022	10/9/9/10	10/10/10	10	13/18	18/18	18	18/17	18	18/18	20	...	...	...	...	...	...	272
	09/06/2022	05:38	06:22	08:08	08:52	05:37	07:59	07:16	07:16	08:11	05:51	...	...	...	...	...	...	71:14:00

17/06/2022

Versão	Dia	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	Total
V1	17/06/2022	10	8	...	18	18	18	18	18	18	20	20	18	19	20	20	243
	17/06/2022	02:19	02:41	...	05:22	06:22	04:34	05:16	06:51	05:10	05:06	03:51	06:06	05:21	05:38	05:55	70:36:00
V2	17/06/2022	8	9	...	17	18	18	18	18	18	20	20	20	20	19	20	243
	17/06/2022	02:41	03:07	...	04:13	05:51	08:27	04:15	07:01	05:57	06:04	05:59	04:23	03:42	05:21	03:47	70:51:40
V3	17/06/2022	10	10	17/13	18/17	18/17	18/18	17/18/17	17/18	...	...	...	...	...	...	...	243
	17/06/2022	05:15	03:24	08:09	08:25	08:52	07:00	07:57	08:45	...	...	...	...	...	...	...	57:49:00
V4	17/06/2022	10/10	10/10	10	18/18	18/18	18	18/18	16/18	18/15	...	...	...	...	...	...	243
	17/06/2022	05:27	03:31	03:48	08:50	07:53	08:07	08:29	06:41	07:28	...	...	...	...	...	...	60:16:00

24/06/2022

Versão	Dia	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	Total
V1	24/06/2022	8	8	...	18	18	18	18	17	18	20	19	19	20	20	...	221
	24/06/2022	02:58	02:41	...	04:52	08:14	07:34	04:32	06:12	03:28	06:11	06:03	02:04	03:04	05:09	...	63:07:40
V2	24/06/2022	8	6	...	18	18	18	18	18	18	20	20	20	20	20	...	221
	24/06/2022	04:55	03:42	...	06:50	04:13	07:50	05:12	04:24	06:23	05:08	06:52	04:48	04:32	03:22	...	68:14:00
V3	24/06/2022	9/16	9/9	...	17/16	15/16	18/17	18	16/18	18	19	...	...	...	...	...	221
	24/06/2022	03:42	02:38	...	08:11	07:51	08:21	07:21	08:46	07:34	02:28	...	...	...	...	...	56:55:40
V4	24/06/2022	8	...	...	17	18/16	18/18	18	15/16	18	19/20	20	...	...	...	...	221
	24/06/2022	02:19	...	...	05:48	07:23	07:45	07:56	08:06	07:34	04:41	04:53	...	...	...	...	56:27:40

3) agosto

05/08/2022

Versão	Dia	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	Total
V1	05/08/2022	9	10	...	18	17	16	18	18	18	20	20	20	20	...	...	204
	05/08/2022	03:01:00	01:21:20	...	03:31:00	04:04:00	05:18:00	06:29:00	04:52:40	06:52:20	07:15:00	03:05:40	08:37:20	07:41:20	...	...	62:08:40
V2	05/08/2022	10	10	...	18	18	18	18	17	16	20	20	19	20	20	...	204
	05/08/2022	01:08:00	01:42:20	...	03:56:00	06:47:00	03:08:00	06:54:20	04:19:40	07:00:20	06:21:20	05:45:40	04:49:00	08:44:20	...	...	60:36:00
V3	05/08/2022	10	9/9	...	18/18	18/13	18	18	18/16	...	20	19	...	...	...	...	204
	05/08/2022	01:36:00	06:41:40	...	06:14:00	06:18:40	05:42:40	07:50:20	07:47:40	...	08:20:20	05:02:20	...	...	...	...	55:33:40
V4	05/08/2022	10	10	...	18/16	17/13	18	18/18	18	12/17	19	...	...	...	...	...	204
	05/08/2022	03:20:20	01:36:00	...	08:09:40	05:49:40	05:33:00	07:23:40	07:50:20	06:48:40	08:22:20	...	...	...	...	...	54:53:40

12/08/2022

Versão	Dia	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	Total
V1	12/08/2022	10	9	...	18	17	15	18	17	16	20	20	20	20	...	...	200
	12/08/2022	02:29:20	02:20:00	...	01:43:20	05:01:00	04:13:40	07:22:00	05:38:00	04:37:00	04:13:40	05:09:20	08:11:00	07:41:20	...	...	58:39:40
V2	12/08/2022	8	8	...	18	18	18	18	18	16	20	20	20	18	...	...	200
	12/08/2022	03:00:20	01:21:40	...	04:23:40	06:26:00	04:09:00	04:42:20	04:47:40	06:07:00	03:21:00	07:59:00	07:18:20	05:31:00	...	...	59:07:00
V3	12/08/2022	10	10	...	18/18	14/18	18	18	18	18	20	20	...	...	...	...	200
	12/08/2022	02:21:00	02:16:00	...	08:08:40	07:17:00	06:23:00	04:47:00	04:31:00	06:55:00	06:31:00	07:26:00	...	...	...	...	56:35:40
V4	12/08/2022	4/10	...	...	18	18/4/17	18	18	18	17	20	19	19	...	...	...	200
	12/08/2022	02:37:00	...	...	07:03:00	06:10:00	07:42:20	04:31:40	06:23:00	04:24:20	04:50:20	06:37:00	06:46:00	...	...	...	57:04:40

Gestão Ágil de Armazéns com Otimização de Operações

19/08/2022

Versão	Dia	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	Total
	19/08/2022	10	7	...	17	18	18	17	18	18	19	20	20	19	...	...	201
V1	19/08/2022	02:39:00	05:17:00	...	04:48:20	03:24:40	04:45:00	03:08:40	04:07:00	03:54:00	03:38:00	04:40:40	06:25:40	08:18:00	...	...	55:06:00
	19/08/2022	10	10	...	16	17	18	18	17	18	20	20	20	17	...	...	201
V2	19/08/2022	02:51:00	03:09:40	...	04:53:00	04:11:00	04:41:20	04:04:00	04:42:20	06:36:00	04:49:40	02:37:20	06:21:20	04:17:40	...	...	53:14:20
	19/08/2022	10	...	...	17//13	17//17//17	18//18	18	18//18	...	20	...	...	...	...	...	201
V3	19/08/2022	02:36:00	...	...	08:38:00	07:41:40	06:50:40	05:36:00	06:34:40	...	04:12:20	...	...	...	...	...	42:09:20
	19/08/2022	10//10	9	...	18//16	18	17//18//18	14	18//18	...	17	...	...	...	...	...	201
V4	19/08/2022	03:31:40	02:52:00	...	07:25:20	04:18:00	08:53:20	05:58:40	06:56:20	...	07:41:40	...	...	...	...	...	47:37:00

26/08/2022

Versão	Dia	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8	V9	V10	V11	V12	V13	V14	V15	Total
V1	26/08/2022	6	10	...	18	17	18	17	18	17	20	20	19	20	18	...	218
	26/08/2022	02:52:00	03:13:00	...	07:40:20	04:52:40	03:50:00	04:12:00	05:52:00	02:20:00	03:35:40	05:06:40	04:14:40	05:06:20	08:11:00	...	61:06:20
V2	26/08/2022	10	10	...	17	18	18	18	16	17	16	20	20	18	20	...	218
	26/08/2022	04:04:00	03:07:00	...	04:52:40	03:16:00	04:13:00	06:04:20	03:50:00	04:35:40	03:50:40	03:32:40	07:18:40	08:18:00	05:19:40	...	62:22:20
V3	26/08/2022	9//10	10	...	12//17	16//18	17//17	18//17	18	...	20	19	...	...	...	...	218
	26/08/2022	03:21:40	03:07:00	...	04:12:00	07:29:20	05:03:40	07:29:00	03:50:00	...	07:18:40	08:32:00	...	...	...	...	50:23:20
V4	26/08/2022	...	...	...	18//17	13//16	18	18//18//17	18	18	7//20	20	...	...	...	...	218
	26/08/2022	...	...	...	05:21:40	04:24:20	04:46:40	08:39:00	07:47:20	04:22:40	05:09:40	08:48:00	...	...	...	...	49:19:20