

Avaliação de Melhorias Operacionais em Armazém: Um Estudo de Caso na Indústria Automóvel

Rui Pereira Garcia

Projeto apresentado ao Instituto Politécnico de Viana do Castelo para obtenção do Grau
de Mestre em Logística

Orientado por:

Professor Doutor Filipe Manuel Sampaio de Carvalho

Professor Doutor Leonel Jorge Ribeiro Nunes

Valença, 2025

Avaliação de Melhorias Operacionais em Armazém: Um Estudo de Caso na Indústria Automóvel

Rui Pereira Garcia

Orientado por:

Professor Doutor Filipe Manuel Sampaio de Carvalho

Professor Doutor Leonel Jorge Ribeiro Nunes

Valença, 2025

Resumo

O presente projeto foi desenvolvido no âmbito do Mestrado em Logística e tem como principal objetivo avaliar e propor melhorias operacionais num armazém do setor automóvel, com base em dados reais e na identificação de ineficiências que afetam a empresa. O estudo foi realizado num contexto empresarial real, numa empresa fornecedora Tier 1, que enfrenta desafios como tempos de espera elevados, incidentes logísticos e falhas de comunicação entre operadores. A questão de investigação que orienta este trabalho é a seguinte: De que forma é possível melhorar a eficiência operacional de um armazém industrial, através da análise da viabilidade de automatização e da identificação de oportunidades de otimização dos processos existentes? Para responder a esta questão, foram analisadas duas alternativas. A primeira passa pela automatização total da operação, através da substituição do empilhador trilateral manual por um sistema automático. Por outro lado, a segunda alternativa foca-se na otimização da integração com o sistema SAP, através da introdução de localizações intermédias, definição de prioridades de ordens de transporte (OTs) e da implementação de notificações automáticas para os operadores. A metodologia adotada corresponde a um estudo de caso explanatório, assente na recolha e análise de dados de OTs retirados do sistema SAP, que foram reforçados por observação direta e interações com os colaboradores. A alternativa de automatização foi avaliada através de indicadores económico-financeiros, como Valor Atual Líquido (VAL), Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) e *Payback*, enquanto a otimização do sistema SAP foi analisada com base qualitativa. Os resultados obtidos demonstram que, apesar de a automatização apresentar benefícios operacionais muito elevados para a empresa, a sua viabilidade económica não é favorável no contexto atual. No entanto, a otimização da integração com o sistema SAP revelou-se uma solução de menor custo e com benefícios operacionais significativos, permitindo reduzir algumas das ineficiências encontradas, sendo considerada, a alternativa mais viável atualmente e um passo intermédio para uma automatização futura.

Palavras-chave: Eficiência Operacional; Gestão de armazéns; Automatização; Otimização SAP.

Abstract

This project was developed as part of the Master's Degree in Logistics, and its main objective is to evaluate and propose operational improvements in an automotive industry warehouse, based on real data and the identification of inefficiencies affecting the company. The study was conducted in a real business context, within a Tier 1 supplier, which faces challenges such as long waiting times, logistics incidents and communication failures between operators. The research question guiding this work is as follows: How is it possible to improve the operation efficiency of an industrial warehouse through the analysis of the feasibility of automation and the identification of opportunities for optimising existing processes? To address this question, two alternatives were analysed. The first alternative consists of the full automation of the operation, through the replacement of the manual trilateral forklift with an automated system. The second alternative focuses on optimising the integration with the SAP system, through the introduction of intermediate locations, the definition of transport order (TO) priorities and the implementation of automatic notifications for operators. The adopted methodology corresponds to an explanatory case study, based on the collection and analysis of transport order data extracted from the SAP system, complemented by direct observation and interactions with company employees. The automation alternative was assessed using economic and financial indicators, such as Net Present Value (NPV), Internal Rate of Return (IRR), and Payback, while the SAP optimisation alternative was analysed qualitatively. The results demonstrate that, although automation presents very high operational benefits for the company, its economic viability is not favourable in the current context. Conversely, the optimisation of SAP integration proved to be a lower-cost solution with significant operational benefits, enabling the reduction of some of the identified inefficiencies, and is therefore considered the most viable alternative at present and an intermediate step towards future automation.

Keywords: Efficiency; Warehouse management; Automation; SAP optimisation.

Resumen

El presente proyecto se desarrolló en el ámbito del Máster en Logística y tiene como objetivo principal evaluar y proponer mejoras operativas en un almacén del sector de la automoción, basándose en datos reales y en la identificación de ineficiencias que afectan a la empresa. El estudio se llevó a cabo en un contexto empresarial real, en una empresa proveedora *Tier 1*, que enfrenta desafíos como elevados tiempos de espera, incidentes logísticos y fallos de comunicación entre los operarios. La pregunta de investigación que guía este trabajo es la siguiente: ¿De qué forma es posible mejorar la eficiencia operativa de un almacén industrial, mediante el análisis de la viabilidad de la automatización y la identificación de oportunidades de optimización de los procesos existentes? Para dar respuesta a esta cuestión, se analizaron dos alternativas. La primera alternativa consiste en la automatización total de la operación, mediante la sustitución del carretillero trilateral manual por un sistema automático. La segunda alternativa se centra en la optimización de la integración con el sistema SAP, a través de la introducción de ubicaciones intermedias, la definición de prioridades de las órdenes de transporte (OTs) y la implementación de notificaciones automáticas para los operarios. La metodología adoptada corresponde a un estudio de caso explicativo, basado en la recopilación y el análisis de datos de órdenes de transporte extraídos del sistema SAP, complementados con observación directa e interacciones con los colaboradores de la empresa. La alternativa de automatización se evaluó mediante indicadores económico-financieros, como el Valor Actual Net (VAN), la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el *Payback*, mientras que la optimización del sistema SAP se analizó de forma cualitativa. Los resultados obtenidos demuestran que, aunque la automatización presenta beneficios operativos muy elevados para la empresa, su viabilidad económica no resulta favorable en el contexto actual. Por otro lado, la optimización de la integración con el sistema SAP se reveló como una solución de menor coste y con beneficios operativos significativos, permitiendo reducir algunas de las ineficiencias identificadas, siendo considerada la alternativa más viable en la actualidad y un paso intermedio hacia una futura automatización.

Palabras clave: Eficiencia operativa; Gestión de almacenes; Automatización; Optimización SAP.

Agradecimentos

A conclusão deste projeto de mestrado não teria sido possível sem o contributo e apoio de várias pessoas e instituições, às quais deixo o meu mais sincero reconhecimento.

À empresa onde decorreu o estudo de caso, agradeço pela disponibilização de dados, recursos e pela abertura demonstrada ao longo do desenvolvimento do trabalho. Um agradecimento especial ao Diretor Logístico e ao Responsável de Armazém, pela colaboração próxima, pela partilha de conhecimento prático e pela disponibilidade em apoiar as diferentes fases do estudo.

Aos meus orientadores, Professor Doutor Filipe Manuel Sampaio de Carvalho e Professor Doutor Leonel Jorge Ribeiro Nunes, agradeço pelo acompanhamento formal do projeto, pela disponibilidade demonstrada e pelas orientações técnicas fornecidas ao longo do trabalho. O apoio de ambos foi fundamental para ultrapassar dificuldades, manter o foco e garantir a concretização deste projeto.

Agradeço ainda a ex-professores que, mesmo não estando diretamente ligados ao projeto, se mostraram disponíveis para esclarecer dúvidas e partilhar a sua experiência, bem como aos colegas e amigos, pelo apoio e partilha de ideias que enriqueceram o desenvolvimento desta investigação.

Um agradecimento especial à Cláudia e ao Luís, cuja amizade é para mim como família, bem como aos seus filhos, que têm tido um lugar muito especial na minha vida. Em particular, agradeço o privilégio de me confiarem a honra de ser padrinho da Lorena, que chegou às nossas vidas em 2024 e encheu de alegria os nossos corações.

Por fim, à minha namorada, o mais profundo e sentido agradecimento. Ao longo de onze anos de companheirismo, apoio incondicional e compreensão, acompanhou-me em todos os desafios da licenciatura, do mestrado e da vida. Esteve presente nos momentos mais exigentes e celebrou comigo cada conquista. A concretização deste trabalho deve-se, em grande parte, à sua força, incentivo e amor inabalável.

A todos, o meu sincero obrigado.

Lista de Abreviaturas e Siglas

AGV – *Automated Guided Vehicle*
AS/RS – *Automated Storage and Retrieval Systems*
CSCMP - *Council of Supply Chain Management*
ERP - *Enterprise Resource Planning*
FIFO – *First In, First Out*
IA – *Inteligência Artificial*
INE – *Instituto Nacional de Estatística*
IoT – *Internet of Things*
OT – *Ordem de Transporte*
PDT – *Portable Data Terminal*
SAP – *Systems, Applications and Products in Data Processing*
SCM – *Supply Chain Management*
SI – *Sistemas de Informação*
TIR - *Taxa Interna de Rentabilidade*
VAL – *Valor Atual Líquido*
VNA – *Very Narrow Aisles*
WMS – *Warehouse Management System*

Índice

Resumo	iv
Abstract	v
Resumen	vi
Agradecimentos.....	vii
Lista de Abreviaturas e Siglas	viii
1. Introdução.....	1
1.1. Contextualização.....	1
1.2. Questão-Problema e Objetivos.....	1
1.3. Estrutura.....	2
2. Estado-da-Arte	3
2.1. Logística Definição e Conceito de Logística	3
2.2. Logística Interna.....	3
2.3. Gestão da Cadeia de Abastecimento	4
2.4. Gestão de Armazéns	5
2.4.1. Funções e Tipologias Armazéns.....	5
2.4.2. Automatização de Armazéns	7
2.4.2.1. Tipos de soluções.....	7
2.4.2.2. Sistemas AS/RS (Automated Storage and Retrieval Systems) e VNA Automáticos	8
2.5. Filosofia <i>Lean</i>	9
2.5.1. Princípios e Ferramentas <i>Lean</i> aplicadas à Logística.....	9
2.5.2. <i>Lean</i> como base para a Logística 4.0	11
2.6. Logística 4.0 no Contexto da Transformação Digital Industrial	11
2.6.1. Fundamentos e Tecnologias da Logística 4.0	11
2.6.2. Redes Inteligentes e Perpetiva Estratégica	12
2.7. Sistemas de Informação	12
2.7.1. Conceito e Aplicações Logísticas dos Sistemas de Informação	12
2.7.2. Integração de ERP, WMS e Comunicação Operacional	12
2.8. Avaliação de Projetos de Investimento.....	13
2.8.1. Conceito e Importância da Avaliação de Projetos	13
2.8.2. Valor Atual Líquido (VAL).....	14
2.8.3. Taxa Interna de Rentabilidade (TIR).....	14

2.8.4.	Período de Recuperação (<i>Payback</i>)	15
2.8.5.	Limitações e Considerações na Aplicação	15
3.	Metodologia	16
3.1.	Introdução à Metodologia	16
3.2.	Fontes de Dados	16
3.3.	Procedimentos de Recolha e Tratamento de Dados	16
3.4.	Interações com Colaboradores	17
3.5.	Procedimentos de Análise	17
3.6.	Ética e Consentimento	17
4.	Descrição da Empresa	18
4.1.	Caracterização geral da empresa	18
4.2.	Caracterização do Funcionamento da Empresa	18
4.3.	Descrição do Armazém	19
4.4.	Modo de Funcionamento	20
4.4.1.	Equipamento Atual: Trilateral Elétrica Manual	20
4.4.2.	Funcionamento do Sistema SAP na Gestão de Ordens de Transporte	21
4.5.	Diversidade de Referências e Tipologia de Embalagens	22
5.	Justificação e Motivação para a Automatização	25
5.1.	Enquadramento e Motivação da proposta	25
5.2.	Incidentes Registados e Impacto Operacional	25
6.	Análise de dados	28
6.1.	Seleção e Preparação de Dados	28
6.1.1.	Anomalias Detetadas e Primeira Limpeza de Dados	28
6.1.2.	Volume de Operações Total	29
6.1.3.	Exclusão de Fins de Semana	29
6.1.4.	Exclusão do Período de Férias da Empresa	30
6.1.5.	Movimentos Entre Localizações	31
6.2.	Volume de Operações após limpeza de dados	32
6.2.1.	Total de OTs	32
6.2.2.	Distribuição Semanal das OTs	33
6.2.3.	Distribuição das OTs por Turno	34

6.2.4.	Distribuição Horária das OTs	36
6.2.4.1.	Volume Total de OTs por hora	36
6.2.4.2.	Problemas na Gestão de OTs de Saída.....	37
6.2.4.3.	Comportamento das OTs de Entrada.....	38
6.2.4.4.	Comportamento das OTs de Saída	39
6.3.	Análise de Referências Movimentadas	40
6.4.	Análise da Duração das OTs	41
6.5.	Considerações Finais da Análise de Dados	42
7.	Avaliação de Soluções e Análise de Viabilidade.....	44
7.1.	Enquadramento.....	44
7.2.	Análise de Viabilidade da Automatização do Armazém.....	45
7.2.1.	Descrição da Alternativa Analisada	45
7.2.2.	Metodologia de Análise	45
7.2.3.	Ajustes de Inflação	46
7.2.4.	Custos Considerados	46
7.2.5.	Resultados da Análise e implicações	47
7.2.6.	Estudo de Caso: Automação de Armazém – <i>IKEA Components</i>	47
7.2.7.	Conclusão da Análise de Automatização	48
7.3.	Otimização da Integração com o Sistema SAP	49
7.3.1.	Descrição da Alternativa Analisada	49
7.3.1.1.	Funcionamento nas Saídas de Material.....	50
7.3.1.2.	Funcionamento nas Entradas de Material	51
7.3.2.	Problemas Detetados na Análise que Seriam Melhorados	52
7.3.3.	Benefícios Esperados.....	53
7.3.4.	Implementação Técnica.....	54
7.3.5.	Considerações de Viabilidade	54
7.3.6.	Exemplos de Melhoria com SAP	55
7.4.	Considerações Finais sobre as Soluções Avaliadas	56
8.	Conclusões.....	58
9.	Referências	60
Anexos		63

Representação Tridimensional do Armazém.....	63
--	----

Índice de Figuras

Figura 1. Exemplo visual de Tiers (Certainty, 2022).	5
Figura 2. Exemplos de AGVs (SSI SCHAEFER, 2025b)	7
Figura 3. Exemplo Robô de Picking (Mecalux, 2025)	7
Figura 4. Exemplo Sistema AS/RS (SSI SCHAEFER, 2025a)	8
Figura 5. Exemplo corredor VNA automatizado (Jungheinrich, 2025)	9
Figura 6. Exemplo do armazém (Elaboração própria)	20
Figura 7. Jungheinrich EKV 513 (Jungheinrich, 2014)	21
Figura 8. Paleta europeia	23
Figura 9. Caixa KLT 9429 BLUE	23
Figura 10. Paleta plástica	23
Figura 11. BAC 6426 GREEN	23
Figura 12. Contentor CE-120	24
Figura 13. Contentor 00112	24
Figura 14. Número de incidentes logísticos no ano 2024 por mês	25
Figura 15. Rack danificada devido a incidente logístico	26
Figura 16. Rack danificada devido a incidente logístico	26
Figura 17. AGV danificado devido a incidente logístico	26
Figura 18. Número de OTs analisadas, por tipo e por mês	29
Figura 19. Percentagem de OTs por dia da semana	30
Figura 20. Número de OTs por dia	30
Figura 21. Número de OTs de movimentos entre estantes por dia	31
Figura 22. Número de OTs depois da limpeza	32
Figura 23. Número de OTs Totais por dia da semana	33
Figura 24. Número de OTs de entrada e saída por dia da semana	34
Figura 25. Número de OTs totais por turno	35
Figura 26. Número de OTs de entrada por turno	35
Figura 27. Número de OTs de saída por turno	36
Figura 28. Número de OTs totais por hora	37
Figura 29. Número de OTs de entrada por hora	39
Figura 30. Número de OTs de saída por hora	40
Figura 31. Diagrama de Pareto de referências mais usadas	41
Figura 32. Histograma do tempo de processamento das OTs	42
Figura 33. Diagrama de processo de saídas de material do armazém	51
Figura 34. Diagrama de processo de entradas no armazém	52
Figura 35. Vista frontal elevada do armazém	63
Figura 36. Perspetiva isométrica do armazém	63
Figura 37. Vista frontal ao nível do solo do armazém	64
Figura 38. Vista lateral do armazém	64

Índice de Tabelas

Tabela 1. Exemplo da visualização das OTs no tablet do empilhador trilateral	22
Tabela 2. Indicadores Estatísticos das OTs	32
Tabela 3. Taxa de Inflação, dados do INE.....	46
Tabela 4. Projeção da Taxa de Inflação, dados do Banco de Portugal.....	46
Tabela 5. Comparação de Horizontes de 5 e 10 anos para VAL e TIR	47
Tabela 6. Payback	47
Tabela 7. Exemplo da visualização das OTs após a implementação, no Tablet do Empilhador Trilateral.....	50
Tabela 8. Comparação das soluções avaliadas.....	56

1. Introdução

1.1. Contextualização

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do mestrado em Logística e tem como objetivo a avaliação de melhorias operacionais num armazém, tendo como caso de estudo uma empresa da indústria automóvel. A análise centra-se, em particular, na viabilidade de automatizar parte do sistema atual, através da substituição do empilhador trilateral manual por uma versão automática. Importa salientar que este tipo de equipamento se enquadra na categoria dos sistemas VNA (*Very Narrow Aisle*) automáticos, designação que será utilizada ao longo do trabalho por corresponder à terminologia mais comum na literatura científica. Adicionalmente, pretende-se identificar alternativas de melhoria operacional, mesmo que a automatização não se revele economicamente viável.

O armazém em estudo enfrenta atualmente constrangimentos que afetam a sua eficiência e segurança, como a ocorrência de incidentes logísticos regulares, tempos de espera elevados na disponibilização de materiais e falta de coordenação entre operadores. Estes problemas traduzem-se em perdas de tempo, aumento de custos e riscos acrescidos para os colaboradores. Assim, a análise das operações e a análise de alternativas visam responder a necessidades reais e imediatas, reforçando a relevância prática deste projeto.

Esta investigação enquadra-se no contexto da transformação logística automóvel em Portugal, onde a automação e a digitalização de processos de armazenagem constituem uma tendência crescente. A empresa analisada, mantida no anonimato por razões de confidencialidade, terá acesso aos resultados da análise efetuada, sustentados em dados reais, e com recomendações que contribuam para a melhoria da eficiência do armazém. Além disso, considera-se que a análise aqui desenvolvida é representativa das exigências típicas do setor, permitindo que as conclusões obtidas sejam potencialmente aplicáveis a outras organizações com características semelhantes.

1.2. Questão-Problema e Objetivos

A questão que orienta o projeto é a seguinte: De que forma é possível melhorar a eficiência operacional de um armazém industrial, através da análise da viabilidade de automatização e da identificação de oportunidades de otimização dos processos existentes?

Para responder a esta questão, o projeto tem como objetivo principal avaliar a viabilidade da implementação de um sistema automatizado, num armazém industrial, inserido no setor automóvel, e identificar possíveis melhorias nos processos logísticos, independentemente da adoção da automatização.

Tendo em conta este pressuposto, foram identificados os seguintes objetivos específicos:

- Analisar o funcionamento atual do armazém, com base em dados operacionais, como volumes de entrada e saída, tempos médios de operação e utilização dos recursos existentes;

- Avaliar a viabilidade técnica e económica da substituição do empilhador trilateral manual por uma versão automática, considerando custos de investimento, manutenção, impacto na operação e retorno esperado;
- Propor melhorias no sistema atual, mesmo em cenários onde a automatização não se revele vantajosa, com o objetivo de otimizar os fluxos logísticos e aumentar a eficiência das operações;

1.3. Estrutura

Este projeto é composto por sete capítulos, de forma a permitir uma abordagem clara e progressiva do tema em estudo, desde a contextualização teórica até à apresentação das conclusões finais e posteriores anexos.

No segundo capítulo, dedicado ao estado da arte, apresenta-se uma revisão da literatura sobre os principais conceitos que sustentam a investigação. São abordados temas como logística e logística interna, gestão da cadeia de abastecimentos, gestão de armazéns, filosofia Lean, Logística 4.0, sistemas de informação aplicados à logística e métodos de avaliação de projetos de investimento.

O terceiro capítulo descreve a metodologia adotada durante o trabalho, incluindo fontes de dados, procedimentos de recolha e tratamento de informação, interações com colaboradores, limitações metodológicas e aspetos éticos.

O quarto capítulo apresenta a descrição da empresa, caracterizando a organização em estudo, em especial o armazém analisado e os equipamentos utilizados.

O quinto capítulo expõe a justificação e motivação para a automatização, onde são identificados os principais desafios observados, incidentes e o enquadramento que motiva o estudo da solução de automatização.

O sexto capítulo é dedicado à análise de dados, onde são detalhados os processos de recolha, limpeza e tratamento de dados. Inclui a análise quantitativa do volume de operações, a distribuição de ordens de transporte, o estudo dos movimentos entre localizações, a análise de referências movimentadas e a avaliação da duração das OTs.

O sétimo capítulo apresenta a Avaliação de Soluções e Análise de Viabilidade, contemplando a análise económica e operacional da automatização do armazém, bem como a alternativa de otimização da integração com sistema SAP. São discutidos os problemas que cada alternativa resolve, os benefícios esperados, a implementação técnica, considerações de viabilidade e a comparação final das alternativas.

O oitavo capítulo reúne a Conclusão, sintetizando os principais resultados, contributos e limitações do estudo, assim como perspetivas de implementação futura e recomendações para trabalhos futuros.

Por fim são apresentadas as referências utilizadas ao longo do trabalho e os anexos.

2. Estado-da-Arte

2.1. Logística Definição e Conceito de Logística

Segundo o *Council of Supply Chain Management* (CSCMP), a logística consiste no planeamento, implementação e controlo eficientes e eficazes do transporte e armazenamento de bens, bem como dos serviços e informações associadas, desde o ponto de origem até ao ponto de consumo, com o objetivo de satisfazer os requisitos do cliente (Vitasek, 2013).

Christopher (2016) complementa que a logística não se limita apenas ao movimento físico de materiais e produtos, mas também engloba a estratégia de aquisição, armazenamento e distribuição, com o objetivo de criar valor para o cliente e para a empresa, através da otimização de recursos e da melhoria de nível de serviço.

Em um contexto histórico, a logística evoluiu com forte influência do contexto militar. De acordo com de Carvalho & Cardoso (2002), é possível estabelecer um padrão entre as atividades logísticas contemporâneas e as operações logísticas militares, como o abastecimento, transporte, manutenção, evacuação e hospitalização de feridos, bem como serviços complementares. Esta herança evidencia a dependência crescente da logística em reação à estratégia, preparação e cultura organizacional.

Segundo Rushton et al. (2010), as atividades logísticas abrangem vários processos interdependentes como, transporte, armazenagem, gestão de inventário, manuseamento de materiais, processamento de encomendas e gestão de informação. Estes processos devem funcionar de forma coordenada e eficiente, sendo suportados por sistemas tecnológicos e indicadores de desempenho que permitem uma gestão proativa e integrada.

A função estratégica materializa-se na criação da chamada “utilidade de tempo” e “utilidade de lugar”, ou seja, assegurar que os produtos certos estão disponíveis no local certo, no momento certo, contribuindo assim para a eficiência global da operação e para a satisfação do cliente final (Rushton et al., 2010).

A logística tem como principal objetivo proporcionar um serviço ao cliente eficaz, garantindo simultaneamente o controlo de custos e a rentabilidade da operação. O seu papel no contexto empresarial evoluiu de uma função operacional para um elemento essencial da estratégia organizacional, cada vez mais orientado por dados e pela digitalização dos processos (Rushton et al., 2010).

2.2. Logística Interna

A logística interna constitui uma extensão operacional da logística geral focando-se nas atividades fundamentais de uma organização, como o planeamento, execução, controlo dos fluxos de materiais, produtos e informações no interior da organização, de forma a garantir que os recursos certos estão disponíveis nos locais e momentos certos (Rushton et al., 2010).

De acordo com Rushton et al. (2010), as principais atividades da logística interna incluem o controlo de inventário, o *picking*, os movimentos internos entre zonas funcionais e o abastecimento

das linhas de produção, de forma a manter a fluidez operacional e reduzir os tempos de ciclo e custos logístico.

No contexto empresarial, empresas como a Mecalux identificam três áreas-chaves na logística interna: o transporte interno entre armazéns e produção, a gestão de stocks assistida por sistemas WMS (*Warehouse Management System*) e a execução de operações como receção, armazenamento, *picking* e expedição. Estas áreas são cruciais e necessitam uma estratégia bem definida para reduzir tempos e aumentar a eficiência das operações e consequentemente da empresa (Mecalux, 2021a).

De acordo com o artigo de Mehami et al. (2018), uma logística interna eficiente depende da sincronização entre diferentes processos produtivos e da capacidade de resposta rápida a alterações nos requisitos de produção. O transporte interno de materiais é um dos maiores desafios operacionais, especialmente em ambientes industriais com elevada exigência de precisão e cadência. A gestão ganha uma importância acrescida quando se pretende garantir fluxos contínuos para linhas de produção. Neste sentido, o autor refere que a melhoria contínua dos processos internos, através de tecnologias como sensores, automação e softwares de gestão, permite reduzir falhas humanas, minimizar paragens e adaptar rapidamente os recursos às necessidades da produção.

2.3. Gestão da Cadeia de Abastecimento

A Gestão da Cadeia de Abastecimento (*Supply Chain Management*, SCM) corresponde ao planeamento e coordenação estratégica de atividades relacionadas com a matéria-prima, produção, armazenagem, distribuição e fornecimento ao cliente final (Vitasek, 2013). A gestão da cadeia de abastecimento visa sincronizar e otimizar todos os elos da cadeia, assegurando que os fluxos de materiais e informação corram de forma fluida e eficiente (Rushton et al., 2010).

A SCM não pode ser observada apenas como uma função logística isolada, mas como um conjunto interligado de decisões estratégicas, que vão desde a seleção de fornecedores até à distribuição final. Estas decisões devem ser orientadas não apenas pelo desempenho económico, mas também pelos impactos ambientais e sociais, garantindo que a cadeia de abastecimento contribua para a sustentabilidade e competitividade da organização no longo prazo (Tien et al., 2019).

De acordo com a empresa Körber (2024), especialista em soluções logísticas, a evolução da SCM passa pela integração de software com soluções físicas de automação, assegurando visibilidade total e resposta rápida às alterações de procura. Esta abordagem tecnológica torna a cadeia de abastecimento mais resiliente e adaptável, colocando o armazém e a produção como elementos fulcrais da gestão moderna da cadeia de abastecimento.

No setor automóvel, as cadeias de abastecimento são estruturadas em níveis hierárquicos designados por *Tiers* (como se pode ver na Figura 1) que representam diferentes patamares de fornecimento com funções específicas no processo produtivo e na criação de valor. Sendo os *Tier 1* referentes a fornecedores diretos do fabricante final, responsáveis pela entrega de produtos completos ou sistemas prontos a integrar no produto final, os *Tier 2* são os fornecedores de

componentes ou subconjuntos destinados aos *Tier 1* e os *Tier 3* fornecem as matérias-primas ou peças básicas que alimentam os *Tier 2*. Esta estrutura exige elevada coordenação e sincronização entre os diferentes *Tiers*, de forma a garantir a qualidade e a eficiência logística necessária. Práticas como o *directed sourcing*, onde o fabricante final especifica diretamente fornecedores de níveis inferiores para assegurar padrões de qualidade, ilustram a importância estratégica desta gestão. Uma coordenação eficaz entre *Tiers* permite otimizar recursos, reduzir riscos e ajustar rapidamente a produção face a variações da procura (Mena et al., 2013).

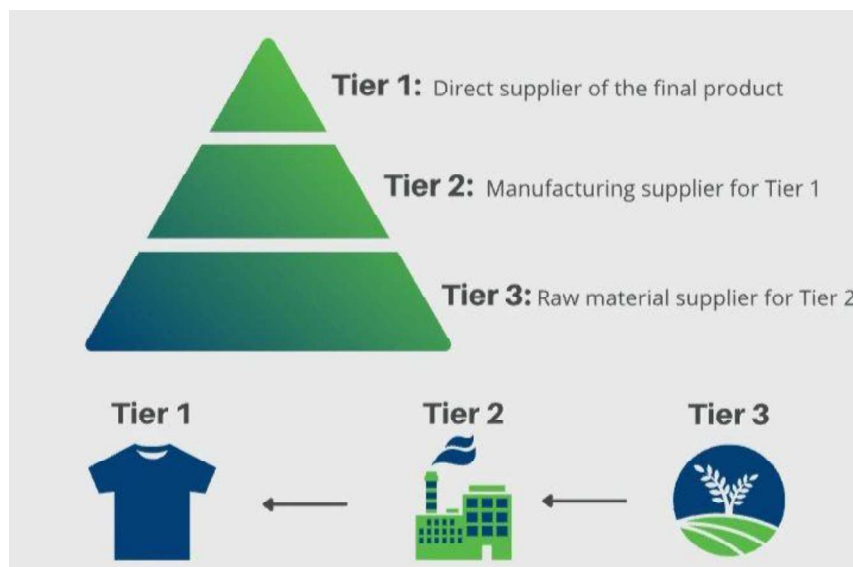


Figura 1. Exemplo visual de Tiers (Certainty, 2022).

2.4. Gestão de Armazéns

2.4.1. Funções e Tipologias Armazéns

A gestão de armazéns desempenha um papel estratégico na logística moderna, sendo responsável pela organização, controlo e otimização de todas as atividades relacionadas com a movimentação e o armazenamento de produtos. De acordo com Bartholdi & Hackman (2019), esta gestão visa reduzir custos operacionais, maximizar a utilização do espaço, melhorar os níveis de serviço e assegurar a disponibilidade atempada de produtos ao longo da cadeia de abastecimento.

Para Bartholdi & Hackman (2019) as operações de um armazém podem ser divididas em quatro funções principais:

- **Receção** – Envolve o agendamento, descarga, conferência e registo dos materiais recebidos, de forma a garantir a qualidade e a integridade dos produtos
- **Armazenagem** – Refere-se ao processo de guardar os produtos nos locais corretos, de forma a equilibrar a acessibilidade com a eficiência do espaço
- **Picking** – Consiste na recolha dos produtos necessários para satisfazer encomendas, sendo esta a atividade que representa mais de metade dos custos operacionais do armazém, com o tempo de deslocação como seu principal fator de ineficiência.

- **Expedição** – Embalagem e preparação para o transporte, garantindo que os pedidos são corretamente despachados para os clientes.

Quanto ao tipo dos armazéns, estes podem ser classificados com base em diferentes critérios, nomeadamente a sua função logística, o grau de automatização e a configuração estrutural. Do ponto de vista funcional, Bartholdi & Hackman (2019) identificam quatro grandes categorias de armazéns:

- **Armazéns de armazenamento (*Storage Warehouses*)**: utilizados para guardar produtos durante períodos longos, permitindo o equilíbrio entre produção e consumo.
- **Armazéns de consolidação (*Consolidation Wharehouses*)**: funcionam como pontos de reunião de cargas provenientes de diferentes origens, com destino comum.
- **Armazéns de desagregação (*Break-bulk Warehouses*)**: recebem grandes quantidades de produtos e dividem-nos em lotes mais pequenos, destinados a diferentes pontos.
- **Armazéns de distribuição (*Distribution Centers*)**: operam com foco na rapidez de movimentação e na expedição eficiente para o cliente final, minimizando tempos de permanência do stock.

Relativamente ao nível de automatização, os armazéns podem ser classificados como manuais, quando as operações são realizadas integralmente por operadores. Podem ainda assumir uma forma mista, combinando equipamentos automáticos com operação humana, ou serem totalmente automatizados, com equipamentos automáticos e softwares de controlo logístico integrado (Bartholdi & Hackman, 2019).

Do ponto de vista estrutural, a configuração do layout dos corredores influencia significativamente a eficiência e capacidade de armazenagem. Corredores mais largos facilitam a movimentação de equipamentos convencionais, mas reduzem a densidade de ocupação do espaço. Em contraste, os corredores muito estreitos como os VNA (*Very Narrow Aisles*) permitem uma utilização mais eficiente da área disponível, especialmente em ambientes com limitação de espaço ou necessidade de elevada densidade de armazenagem (Bartholdi & Hackman, 2019).

Os corredores VNA apresentam larguras entre 1,2 e 2,1 metros, exigindo o uso de equipamentos especializados, como por exemplo os empilhadores trilaterais (*turret trucks*), que possuem garfos rotativos. Estes corredores são particularmente eficazes quando combinados com *racks* de simples profundidade e pisos extremamente nivelados, sendo uma opção comum em armazéns automatizados ou de grande volume vertical. De salientar que a definição do tipo de armazém e da sua configuração deve ter em consideração fatores como a natureza dos produtos, o perfil de rotação do stock, o espaço disponível e os objetivos estratégicos da operação logística (Bartholdi & Hackman, 2019).

2.4.2. Automatização de Armazéns

2.4.2.1. Tipos de soluções

A automatização de armazéns consiste na utilização de tecnologias e sistemas automáticos para executar tarefas tradicionalmente realizadas por operadores humanos, abrangendo atividades como movimentação, armazenagem, *picking* e expedição. Esta abordagem evoluiu significativamente desde os primeiros sistemas mecanizados nas décadas de 1960 e 1970 até às soluções inteligentes atuais, que incorporam inteligência artificial, visão computacional e análise de dados para otimizar a eficiência e a precisão das operações (Sodiya et al., 2024).

As soluções de automatização de armazéns podem assumir diferentes formatos, de acordo com a função desempenhada e o grau de automação pretendido:

- Veículos Guiados Automaticamente (AGV's) – Plataformas móveis que transportam materiais sem necessidade de condutor, guiando-se por marcas no chão, sensores ou navegação autónoma. São usadas para abastecimento de linhas de produção e movimentação interna.
- Sistemas de *Picking* Automatizado – Incluem soluções como robôs de separação de pedidos, sistemas *goods-to-person* e braços robóticos, que aumentam a velocidade e a precisão no processo de encomendas.
- Sistemas AS/RS (*Automated Storage and Retrieval Systems*) – Conjuntos integrados de equipamentos automatizados e sistemas de controlo que realizam, de forma autónoma, a armazenagem e a recolha de cargas.
- VNA Automáticos – Sistemas baseados em empilhadores trilaterais ou *turret trucks* operadas de forma autónoma ou semiautónoma em corredores muito estreitos, maximizando a densidade de armazenagem e a utilização do espaço vertical.



Figura 2. Exemplos de AGVs
(SSI SCHAEFER, 2025b)



Figura 3. Exemplo Robô de Picking
(Mecalux, 2025)

2.4.2.2. Sistemas AS/RS (Automated Storage and Retrieval Systems) e VNA Automáticos

Os Sistemas AS/RS (*Automated Storage and Retrieval Systems*), como se pode averiguar na Figura 4, representam uma das soluções mais avançadas na automatização de armazéns. Estes sistemas consistem na utilização de equipamentos automatizados, controlados por software, que executam as tarefas de armazenagem e recolha de materiais com precisão e rapidez, retirando a necessidade de um operador. A aplicação deste tipo de sistema é altamente favorável em ambientes com elevado volume de movimentações e necessidade contínua de rastreabilidade, como é o caso do setor automóvel (Roodbergen & Vis, 2009).

Este sistema é baseado na integração entre equipamentos físicos e sistemas de controlo inteligentes. O software de gestão define localizações de armazenagem, otimiza percursos e coordena as movimentações dos equipamentos em tempo real, garantindo a execução das operações com critérios definidos. Como vantagens temos a redução dos erros operacionais, a melhoria da segurança, o aproveitamento do espaço vertical e a operação contínua. Contudo, o investimento inicial e a necessidade de manutenção especializada são fatores que podem condicionar a sua implementação (Constante Moya, 2021).

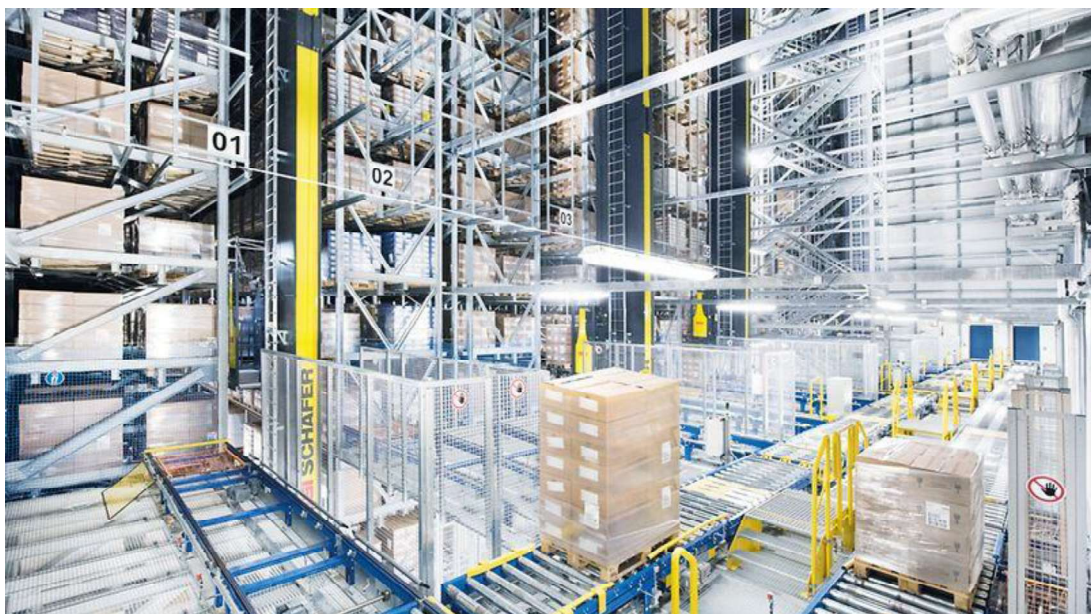


Figura 4. Exemplo Sistema AS/RS (SSI SCHAEFER, 2025a)

Por outro lado, um sistema com corredores VNA (*Very Narrow Aisle*) automatizado, destaca-se pela capacidade de maximizar a densidade de armazenagem através da utilização de corredores extremamente estreitos, como se pode averiguar na Figura 5. Este tipo de sistema baseia-se em transelevadores ou empilhadores trilaterais automatizadas, equipados com sistemas rotativos que permitem o acesso direto a ambos os lados do corredor. Esta solução é controlada através de um software, que gere de forma sincronizada os movimentos verticais, horizontais e de rotação, reduzindo o tempo total de ciclo e otimizando o fluxo interno de materiais (Vasili et al., 2012).

Os VNA automáticos combinam as vantagens dos AS/RS com uma maior flexibilidade de integração em layouts existente, o que os torna uma solução atrativa para empresas que pretendem automatizar armazéns de menor dimensão. Entre os principais benefícios encontram-se o aumento da capacidade de armazenagem, a redução dos tempos de recolha e abastecimento, a melhoria da segurança operacional e a possibilidade de integração direta com sistemas de gestão (WMS e ERP), permitindo total sincronização na empresa. Contudo, tal como no sistema AS/RS é necessário um investimento inicial elevado (Vasili et al., 2012; Sodiya et al., 2024).



Figura 5. Exemplo corredor VNA automatizado (Jungheinrich, 2025)

2.5. Filosofia *Lean*

2.5.1. Princípios e Ferramentas *Lean* aplicadas à Logística

A filosofia *Lean* representa uma abordagem de gestão orientada para a eliminação de desperdícios ao longo de toda a cadeia de valor, com destaque na redução sistemática dos desperdícios associados aos três M's: *Muda* (atividades que não acrescentam valor), *Mura* (irregularidades nos processos) e *Muri* (sobrecarga de pessoas ou equipamentos) promovendo a eficiência operacional, a melhoria contínua e o foco no cliente (Alves et al., 2019). No contexto logístico e de armazenagem, esta filosofia tem vindo a ser amplamente adotada como estratégia para otimizar fluxos de trabalho, reduzir custos e aumentar a competitividade (Da Silva Vasconcelos, 2021). De acordo com Martínez-Jurado & Moyano-Fuentes (2014), esta filosofia assenta em dois pilares principais: a eliminação de atividades que não acrescentam valor (*Muda*) e o respeito pelas pessoas (*Muri*). Estes princípios não se limitam a melhorar a eficiência dos processos, mas implicam

uma mudança cultural profunda, valorizando dessa forma os colaboradores, pois exige participação na melhoria contínua.

A aplicação prática do *Lean* na logística concretiza-se através de diversas ferramentas e princípios que sustentam a sua filosofia, entre as quais destacam-se os 5S e o *Kaizen*. A ferramenta dos 5S, originalmente desenvolvido no Japão pelo sistema de produção Toyota, constitui um dos pilares da gestão *Lean*, promovendo a organização, padronização e disciplina no local de trabalho. A sua designação deriva de cinco palavras japonesas: *Seiri* (Senso de Utilização), *Seiton* (Senso de Organização), *Seisou* (Senso de Limpeza), *Seiketsu* (Senso de Padronização) e *Shitsuke* (Senso de Disciplina), que ajudam a organizar e a conservar os espaços de trabalho. A aplicação dos 5S em ambientes logísticos permite otimizar o espaço de armazenagem, reduzir riscos operacionais e aumentar a produtividade, para além de ganhos operacionais, esta metodologia traz uma cultura de responsabilidade, rigor e disciplina organizacional (Rossi et al., 2022).

Como referido no parágrafo anterior, um princípio de destaque é o *Kaizen*, termo japonês que significa “melhoria contínua”. Baseia-se na implementação de pequenas alterações que conduzem a melhorias significativas nos processos. O *Kaizen* é entendido como um princípio cultural e organizacional da filosofia *Lean*, assente no envolvimento sistemático das pessoas e na aprendizagem contínua (Gutierrez-Gutierrez et al., 2016). Tendo como principal característica o envolvimento de todos os níveis hierárquicos da organização, desde gestores a operadores, incentivando a identificação e resolução de problemas de forma colaborativa (Patel & Patel, 2021). No ambiente logístico, o *Kaizen* é normalmente utilizado para redução de tempos de ciclo ou otimização de capacidade de armazenamento. De acordo com Rossi et al. (2022), a integração deste princípio com a utilização de tecnologias da Indústria 4.0 promove os seus resultados, uma vez que a recolha e análise de dados em tempo real facilita a deteção de problemas e a rápida implementação de melhorias, reforçando os princípios da melhoria contínua.

Entre as ferramentas analíticas complementares destaca-se a Análise de Pareto, que se baseia no princípio 80/20, segundo esta regra, cerca de 80% dos efeitos resultam de 20% das causas. Embora não constitua uma ferramenta nuclear da filosofia *Lean*, a Análise de Pareto é amplamente utilizada no contexto do *Lean Six Sigma* como instrumento de apoio à análise de dados e à priorização de problemas, permitindo reforçar iniciativas *Lean* através de uma abordagem baseada em evidência (Gutierrez-Gutierrez et al., 2016). Esta técnica permite priorizar problemas ou causas com maior impacto concentrando os seus esforços nas áreas de maior relevância. O processo envolve a recolha de dados sobre um determinado problema, a classificação e ordenação das causas segundo a sua frequência ou impacto, e a representação visual através de um gráfico de Pareto, que combina barras e uma linha cumulativa para evidenciar a contribuição relativa de cada causa. No contexto logístico, a Análise de Pareto é normalmente utilizada para identificar as causas mais frequentes de atrasos, erros de expedição ou falhas no abastecimento (Bharath Sankar & Mathirajan, 2023). O estudo de Bharath Sankar & Mathirajan (2023) demonstra que esta ferramenta, quando aplicada de forma consistente, melhora significativamente a eficácia das iniciativas *Lean*, permitindo direccionar recursos e esforços para as áreas com maior retorno potencial.

2.5.2. Lean como base para a Logística 4.0

A aplicação da filosofia *Lean* pode ser vista como uma base essencial para a transição para a Logística 4.0. De acordo com Hofmann & Rüsch (2017), os princípios desta filosofia alinham-se naturalmente com as capacidades das tecnologias emergentes da Indústria 4.0, como os sistemas ciberfísicos, a automação inteligente e a análise de dados em tempo real. A digitalização e a conectividade proporcionadas por estas tecnologias permitem reforçar os objetivos *Lean*, como a redução de variabilidades (*Mura*), a visibilidade dos processos e a tomada de decisões mais rápidas e fundamentadas.

Segundo Thoben et al. (2017), a “*smart logistics*”, constitui uma extensão digital da lógica *Lean*, uma vez que visa configurar sistemas logísticos altamente flexíveis, reativos e com mínima intervenção humana. Assim as novas tecnologias não substituem o *Lean*, mas potenciam a sua aplicação ao permitir o controlo em tempo real dos processos logísticos internos. Rushton et al. (2010) e Christopher (2016) acrescentam que a implementação bem-sucedida de práticas *Lean* na logística exige um profundo conhecimento dos fluxos internos, da gestão de inventários e da colaboração entre departamentos, fatores que criam uma base necessária para o sucesso de qualquer implementação tecnológica.

Desta forma, a filosofia *Lean* revela-se não apenas como um modelo de gestão orientado para a eficiência, mas também como uma plataforma indispensável para a evolução digital dos armazéns. A sua integração com as tecnologias da Logística 4.0 permite às organizações tornarem-se mais ágeis, resilientes e adaptáveis, respondendo com maior rapidez às exigências de um mercado global dinâmico e digitalizado.

2.6. Logística 4.0 no Contexto da Transformação Digital Industrial

2.6.1. Fundamentos e Tecnologias da Logística 4.0

O conceito de Indústria 4.0, inicialmente desenvolvido na Alemanha, baseia-se na digitalização dos processos industriais, promovendo a harmonização entre sistemas físicos e digitais através de tecnologias emergentes, tendo como objetivo uma produção mais flexível, personalizada, eficiente e orientada por dados (Thoben et al., 2017). No âmbito logístico, foi denominada como Logística 4.0 e caracteriza-se pela incorporação de tecnologias avançadas, como Inteligência Artificial (IA), *Internet of Things* (IoT), sistemas ciberfísicos e *Big Data*, com o objetivo de criar operações logísticas mais inteligentes, automatizadas e interconectadas (Hofmann & Rüsch, 2017).

Na perspetiva de Mehami et al. (2018), a Logística 4.0 não se limita à automação de tarefas repetitivas, mas promove uma mudança paradigmática na forma como os fluxos logísticos são planeados, executados e otimizados. Um dos pilares desta revolução é a utilização de veículos autónomos inteligentes e equipamentos robotizados, integrados com sensores e sistemas de gestão, permitindo um controlo em tempo real e decisões descentralizadas. Assim possibilita-se a comunicação entre máquinas, armazéns e softwares WMS, resultando numa logística preditiva e resiliente.

Segundo a empresa Körber (2024) o armazém deixa de ser apenas um espaço de armazenamento e torna-se um nó dinâmico da cadeia de abastecimento. A tecnologia permite reduzir tempos de resposta, aumentar a capacidade de adaptação a flutuações da procura e assegurar total rastreabilidade dos processos. Esta visão é igualmente partilhada pela empresa Mecalux (2021b), que salienta que a Logística 4.0 torna os armazéns mais produtivos, seguros e com menor taxa de erro, graças à integração de plataformas digitais, à automação das tarefas e à recolha e análise de dados em tempo real.

2.6.2. Redes Inteligentes e Perpetiva Estratégica

Cumprir acrescentar que, de acordo com Thoben et al. (2017), o conceito de *smart logistics* permite configurar redes logísticas altamente flexíveis e reconfiguráveis, nas quais as decisões são tomadas com base em dados analíticos e algoritmos preditivos, maximizando o desempenho da cadeia de abastecimento. A utilização de tecnologias digitais nas operações logísticas aumenta significativamente a visibilidade e o controlo dos fluxos de materiais, mesmo em ambientes complexos e de elevada variabilidade.

Hofmann & Rüsch (2017) sublinham que a Logística 4.0 não só melhora os fluxos internos e externos como também prepara as organizações para os desafios futuros, com base em dados históricos e análise preditiva, facilitando a tomada de decisões estratégicas. Assim, esta abordagem representa um passo fundamental para empresas que procurem aumentar a sua competitividade através da inovação tecnológica e da integração digital das suas operações logísticas.

2.7. Sistemas de Informação

2.7.1. Conceito e Aplicações Logísticas dos Sistemas de Informação

De acordo com Rodrigues (2012), um Sistema de Informação (SI) pode ser definido como o conjunto de elementos e procedimentos, com ou sem recurso a tecnologia, que permitem recolher, processar, armazenar e disponibilizar dados transformados em informação útil para apoiar a gestão. No âmbito logístico, estes sistemas assumem um papel essencial ao fornecer informação disponível, exata, oportuna e formatada para suportar decisões estratégicas e operacionais. O autor destaca que, para além do suporte à tomada de decisão, os SI possibilitam reduzir incertezas, coordenar atividades e otimizar processos como a gestão de inventários, o planeamento de transportes e a rastreabilidade de produtos.

Torres (2012) apoia esta ideia, sublinhando que a correta utilização de informação é determinante para sincronizar fluxos e eliminar desperdícios, assegurando o cumprimento dos requisitos de serviço ao cliente.

2.7.2. Integração de ERP, WMS e Comunicação Operacional

Rodrigues (2012) descreve os *Enterprise Resource Planning* (ERP) como sistemas modulares que integram, num único ambiente, diferentes áreas funcionais da organização, como logística,

produção, compras ou finanças, garantindo a partilha de dados em tempo real e a eliminação de redundâncias. Estes sistemas permitem uma gestão integrada, apoiando a tomada de decisão com base em informação fiável e atualizada. No contexto específico da logística e da armazenagem, os *Warehouse Management Systems* (WMS) desempenham um papel complementar, dado que se especializam no controlo e otimização das operações de armazém, como receção, armazenagem, separação de pedidos e expedição. Segundo Rodrigues (2012), a implementação de um WMS contribui para aumentar a precisão do inventário, melhorar a utilização do espaço e aumentar a produtividade, enquanto reduz erros operacionais.

Torres (2012) acrescenta que a integração entre ERP (*Enterprise Resource Planning*) e WMS é essencial para sincronizar operações internas com as necessidades do cliente, permitindo que as decisões sejam baseadas em informação única e consistente ao longo de toda a cadeia de abastecimento. Rodrigues (2012) salienta que a integração de dados entre diferentes sistemas logísticos é crucial para eliminar redundâncias e garantir a consistência da informação. Um SI eficaz deve permitir a partilha de dados atualizados entre departamentos e parceiros externos, suportando práticas como o planeamento colaborativo e a monitorização contínua de indicadores de desempenho. Torres (2012) reforça que a comunicação operacional, quando suportado por SI integrados, reduz atrasos na transmissão de informação e aumenta a fiabilidade dos processos. A uniformização dos dados evita interpretações divergentes e possibilita decisões rápidas e fundamentadas, condição essencial num ambiente logístico dinâmico e competitivo.

Entre os ERP disponíveis no mercado, o SAP (*Systems, Applications and Products in Data Processing*) é um dos sistemas utilizados em contextos industriais, disponibilizando módulos integrados de apoio às operações logísticas, como gestão de materiais e de armazém (Rodrigues, 2012). Rodrigues (2012) refere que o SAP permite gerir, de forma integrada, stocks, inventário, ordens de transporte e operações de armazém, oferecendo funcionalidades como emissão automática de documentos, controlo de expedições e rastreabilidade completa. A flexibilidade do sistema e a possibilidade de integração com WMS e outras aplicações logísticas permitem que o SAP atue como uma plataforma central, concentrando e distribuindo informação em tempo real. Esta centralização, segundo Torres (2012), contribui para uma maior visibilidade dos processos e para uma rápida deteção de desvios, permitindo ações corretivas imediatas.

2.8. Avaliação de Projetos de Investimento

2.8.1. Conceito e Importância da Avaliação de Projetos

A avaliação de projetos de investimento consiste na análise sistemática da viabilidade económica e financeira de uma iniciativa, com o objetivo de apoiar a decisão de implementação. Segundo Vieito (2021), este processo baseia-se na estimativa dos fluxos de caixa futuros e na sua comparação com o investimento inicial, tendo em conta o valor temporal do dinheiro.

No campo da logística, a avaliação de projetos assume especial relevância dada a necessidade frequente de investimentos significativos, como aquisição de equipamentos de movimentação, implementação de SI, automatização de processos ou expansão de infraestruturas. Uma análise

critérioria permite não só determinar a rentabilidade e o prazo de recuperação do capital investido, mas também comparar alternativas e identificar riscos, assegurando que os recursos são alocados de forma eficiente (Vieito, 2021).

Pereira (2013) reforça que, numa perspetiva logística, a avaliação de projetos deve considerar não apenas o retorno financeiro direto, mas também impactos operacionais como a redução de tempos de ciclo, a diminuição de erros, a melhoria da qualidade de serviço e a flexibilidade para responder a variações da procura.

2.8.2. Valor Atual Líquido (VAL)

O Valor Atual Líquido (VAL) é um dos métodos mais utilizados na avaliação de projetos e consiste na atualização, a uma taxa previamente definida, de todos os fluxos de caixa livres esperados ao longo da vida útil do projeto, subtraindo-se o investimento inicial. A sua fórmula é (Vieito, 2021):

$$VAL = \sum_{i=1}^n \frac{FCF_i}{(1+k)^i} - I_0$$

Onde:

- FCF_i = Fluxo de Caixa Livre no período i
- k = Taxa de atualização (custo do capital ou taxa mínima de atratividade)
- I_0 = Investimento Inicial

Sendo que a interpretação financeira é a seguinte:

- $VAL > 0$: o projeto cria valor, é financeiramente rentável e deve ser implementado;
- $VAL = 0$: o projeto é indiferente em termos de criação de valor, devem ser consideradas outras análises;
- $VAL < 0$: do ponto de vista financeiro não se deve investir no projeto.

Em logística, o VAL é particularmente útil para projetos de longo prazo, como sistemas automatizados de armazém, onde o retorno se distribui por vários anos e os custos iniciais são elevados (Vieito, 2021).

2.8.3. Taxa Interna de Rentabilidade (TIR)

A Taxa Interna de Rentabilidade (TIR) é definida como a taxa hipotética de atualização que torna o VAL igual a zero, representando a rentabilidade percentual anual do projeto. A sua interpretação baseia-se na comparação com o custo do capital:

- $TIR > k$: o projeto é financeiramente viável;
- $TIR = k$: a decisão é indiferente, devendo ser analisado o risco;
- $TIR < k$: o projeto não é financeiramente viável.

A fórmula baseia-se na resolução da equação:

$$0 = \sum_{i=1}^n \frac{FCF_i}{(1 + TIR)^i} - I_0$$

A TIR é útil para comparar projetos mutuamente exclusivos e de diferentes dimensões, mas pode apresentar limitações quando existem fluxos de caixa não convencionais, gerando múltiplas soluções ou interpretações ambíguas (Vieito, 2021).

2.8.4. Período de Recuperação (*Payback*)

O *Payback* indica o tempo necessário para recuperar o capital investido através dos fluxos de caixa gerados pelo projeto. Existem duas variantes principais:

- *Payback* simples: considera apenas a soma dos fluxos de caixa até atingir o valor do investimento, sem desconto temporal;
- *Payback* descontado: aplica uma taxa de atualização aos fluxos de caixa, refletindo o valor temporal do dinheiro.

O *Payback* simples é de cálculo rápido e interpretação fácil, sendo útil como indicador de risco, quanto menor, menor a exposição do capital. Contudo, ignora fluxos de caixa após o período de recuperação e o valor temporal do dinheiro. Enquanto, o *Payback* descontado corrige esta limitação, mas continua a não refletir a rentabilidade global do projeto (Vieito, 2021).

2.8.5. Limitações e Considerações na Aplicação

A aplicação de métodos de avaliação deve considerar que:

- A estimativa de fluxos de caixa está sujeita a incerteza, especialmente em contextos voláteis;
- O VAL e a TIR são sensíveis à taxa de atualização escolhida;
- O *Payback* não mede diretamente a rentabilidade;
- Os projetos podem gerar benefícios intangíveis (exemplo de segurança ou satisfação de clientes) que não são captados diretamente pelos indicadores financeiros.

Assim, recomenda-se complementar a análise quantitativa com uma avaliação qualitativa dos impactos operacionais, garantindo que a decisão de investimento considera tanto o retorno financeiro como a melhoria global do desempenho logístico (Vieito, 2021).

3. Metodologia

3.1. Introdução à Metodologia

A metodologia adotada neste estudo baseia-se na estratégia do Estudo de Caso, segundo a perspectiva de Yin (2009). Este método é amplamente reconhecido pela sua adequação à análise de fenómenos complexos em contextos reais, permitindo uma compreensão abrangente e fundamentada através da combinação de múltiplas fontes de evidência.

De acordo com Yin (2009), os estudos de caso podem ser exploratórios, descritivos ou explanatórios. O estudo exploratório procura formular hipóteses, o descritivo documenta fenómenos em detalhe e o explanatório analisa relações de causa e efeito. Neste trabalho, foi adotado o estudo de caso explanatório, por permitir avaliar os impactos de diferentes soluções de melhoria logística e compreender de que forma estas poderiam responder às ineficiências identificadas.

A escolha desta abordagem justifica-se pelos objetivos definidos, que exigem não apenas a descrição da situação atual do armazém, mas também a avaliação comparativa de alternativas com base em dados reais e indicadores de desempenho.

3.2. Fontes de Dados

A principal fonte de dados utilizada foi o sistema SAP, a partir do qual foram extraídas todas as Ordens de Transporte (OTs) registadas no armazém em estudo, entre novembro e dezembro de 2024. O responsável de armazém procedeu à configuração da pesquisa no software, filtrando apenas as operações associadas a este armazém específico, tanto de entrada como de saída de material.

O resultado foi exportado para um ficheiro Excel, que constitui a base da análise quantitativa. Este ficheiro incluía campos como número da OT, referência de material, número de identificação da etiqueta, localização de origem, localização de destino, quantidade teórica, data, hora a que a OT foi criada e hora a que a OT foi fechada.

Além dos dados do SAP, recorreram-se a outras fontes complementares:

- Observação direta no armazém, acompanhando o funcionamento dos turnos, a utilização do empilhador trilateral e os fluxos físicos de materiais.
- Conversas informais com colaboradores, incluindo operadores de empilhador, operadores da trilateral e responsáveis logísticos, permitindo clarificar práticas observadas e recolher perceções sobre problemas operacionais.

3.3. Procedimentos de Recolha e Tratamento de Dados

Foi necessário efetuar uma limpeza para garantir a consistência dos registos, incluindo:

- Eliminação de dados duplicados, resultantes do registo de movimentos por caixa em vez de palete.
- Remoção de dados artificiais associados ao inventário físico de 16 de novembro de 2024, que inflacionaram o número de entradas.

- Exclusão de períodos de férias de Natal, considerados atípicos e não representativos da operação regular.
- Consolidação de movimentos internos redundantes entre localizações.

Desta forma, foram obtidos 35 dias úteis de trabalho para análise.

O tratamento e análise inicial dos dados foram realizados no Microsoft Excel, recorrendo a técnicas de estatística descritiva. Foram calculadas médias, desvios padrão, distribuições semanais e horárias, e elaborados gráficos de linhas, gráficos de barras, gráficos circulares e diagramas de Pareto, que permitiram identificar padrões e picos de atividade.

3.4. Interações com Colaboradores

As interações qualitativas tiveram como objetivo complementar os dados numéricos com a percepção prática dos operadores.

A maioria das conversas ocorreram de forma espontânea durante visitas ao armazém, mas também foram realizadas duas sessões prolongadas de observação participante, em que foi acompanhado, durante cerca de duas horas cada, o trabalho de diferentes operadores da trilateral.

Estas interações permitiram compreender como os operadores gerem as OTs no dia a dia, identificar dificuldades práticas (por exemplo, a ausência de ordem clara de execução e sobrecarga inicial de pedidos em cada turno) e recolher sugestões de melhoria.

Os registos foram feitos de forma mista: alguns pontos-chave foram anotados no bloco de notas, enquanto outros foram retidos por memória imediata após interação. Embora este procedimento limite a sistematização científica, assegurou a recolha de informação prática valiosa.

3.5. Procedimentos de Análise

A análise quantitativa baseou-se em estatística descritiva e visualização gráfica, permitindo caracterizar o volume de operações, a sua distribuição no tempo e a duração das OTs.

A análise qualitativa consistiu na triangulação entre os dados SAP e as percepções dos operadores, reforçando a interpretação dos resultados. Por exemplo os operadores referiram a prática de solicitar antecipadamente grandes quantidades de material no início do turno, devido à incerteza sobre a disponibilidade da trilateral, este padrão foi confirmado pela análise da distribuição horária das OTs, a qual revelou picos concentrados nesse período.

3.6. Ética e Consentimento

Todos os dados foram tratados com confidencialidade, mantendo o anonimato da empresa e dos colaboradores envolvidos.

Os operadores estavam cientes da realização do projeto, no âmbito do Mestrado em Logística e estavam conscientes de que as informações partilhadas poderiam ser utilizadas exclusivamente para fins académicos. Existia também conhecimento do acordo de confidencialidade assinado com a empresa e a instituição de ensino, o que reforçou a confiança no processo.

4. Descrição da Empresa

4.1. Caracterização geral da empresa

O presente projeto foi desenvolvido em uma unidade industrial pertencente a uma multinacional do setor da indústria automóvel, com presença global e significativa atividade em território ibérico. O foco desta organização é a produção de variados componentes para automóveis, como estruturas metálicas de assentos e reforços de para-choques, sendo uma empresa fornecedora *Tier 1* para diversos fabricantes automóveis internacionais.

A unidade analisada caracteriza-se por um elevado nível de exigência operacional, tanto em termos de volume produtivo como de rigor logístico. No seu dia-a-dia é evidente o compromisso da organização com a melhoria contínua e com a adoção da filosofia *Lean* como pilar central da sua gestão. Neste contexto, destacam-se a implementação consistente da ferramenta dos 5S e a promoção de uma cultura *Kaizen*, suportada por rondas diárias de *Gemba Walk*, liderada pelo gerente da fábrica e acompanhada pelos respetivos responsáveis dos departamentos, com o objetivo de identificar oportunidades de melhoria e garantir a padronização dos processos.

A adoção de práticas *Lean* reflete uma cultura organizacional focada na eficiência, na eliminação de desperdícios e na otimização dos fluxos produtivos e logísticos. Além disto, a empresa encontra-se diariamente a avaliar melhores soluções tecnológicas de forma a reforçar as atividades logísticas, como é o exemplo da implementação recente de AGV's nas linhas de produção, o que se alinha com os princípios da Logística 4.0.

Por razões de confidencialidade, a identidade da empresa será mantida no anonimato ao longo deste trabalho.

4.2. Caracterização do Funcionamento da Empresa

A empresa opera de forma contínua, 24 horas por dia, sustentada por um regime de trabalho por turnos. Esta estrutura permite dar resposta às exigências produtivas do setor automóvel, garantindo elevada flexibilidade e capacidade de adaptação à procura. A organização dos turnos está dividida da seguinte forma:

- Turnos A e B: podem ser considerados turnos opostos, porque nunca trabalham ao mesmo tempo e por sua vez alteram semanalmente entre o horário da manhã (das 06h00 até às 14h00) e o horário da tarde (das 14h00 às 22h00). São responsáveis pelo período diurno da produção de segunda a sexta-feira,
- Turno C: é dedicado ao período noturno (das 22h00 às 06h00), também de segunda a sexta-feira,
- 4º Turno: funciona em regime misto, operando à segunda-feira e sexta-feira no horário da manhã (das 06h00 às 14h00) e ao sábado e domingo em horário alargado (das 06h00 às 18h00), assegurando continuidade de produção durante o fim de semana,
- Turno de Dia: representa os colaboradores da área administrativa e técnica da empresa, com isenção de horário fixo.

De forma a garantir o cumprimento de prazos e responder a picos de produção, os Turnos A, B e C podem ser ocasionalmente convocados para trabalhar no fim de semana, nos períodos (manhã, tarde, noite) respetivos que trabalharam nessa semana, graças a esta flexibilidade operacional consegue-se garantir o cumprimento da procura dos clientes evitando assim atrasos no fornecimento.

4.3. Descrição do Armazém

O armazém analisado está inserido num dos três pavilhões interligados da unidade industrial, partilhando o espaço com zonas de produção, zonas de expedição e outros serviços de apoio. O espaço logístico estudado ocupa uma área de 865,8 metros quadrados, com 66,6 metros de comprimento e 13 metros de largura.

A estrutura de armazenagem é composta por estantes metálicas (*racks*) com 8 metros de altura, distribuídas por 5 níveis de armazenamento, além do nível de solo (totalizando 6 níveis funcionais). Existem 6 filas de estantes, separadas por 3 corredores do tipo VNA, com 1,2 metros de largura cada, o que permite maximizar a capacidade de armazenagem, reduzindo o espaço dedicado à circulação. Para completar a descrição física do espaço, foi desenvolvido um modelo no programa *SketchUp*, de forma a ilustrar visualmente a configuração do armazém como podemos ver na Figura 6.

O sistema de localização é estruturado com códigos numéricos de seis dígitos, onde:

- Os três primeiros dígitos identificam a estante (203 a 208),
- Os dois dígitos seguintes indicam a coluna dentro da estante (de 01 a 60),
- E o último dígito refere-se ao nível vertical da localização (de 0 a 5, sendo 0 o nível do chão e 5 o mais elevado).

Por exemplo, a localização 205413 refere-se à estante 205, coluna 41, no terceiro nível de altura.

À frente e atrás de cada estante existem zonas de apoio logístico, destinadas à pré-armazenagem de materiais prontos a ser inseridos nos *racks* ou à retirada de materiais expedidos para posterior envio ou abastecimento interno.

O tipo de material armazenado é diversificado, incluindo matéria-prima, produto intermédio e produto final, o que demonstra a importância de uma boa gestão da utilização das localizações neste armazém, para evitar possíveis erros e movimentação desnecessária.

A gestão de stocks segue a metodologia FIFO (*First In, First Out*), garantindo que o material mais antigo armazenado é movimentado e consumido primeiro. O cumprimento do FIFO é assegurado pelo ERP, que quando são criadas as OTs de saída, o sistema seleciona automaticamente as localizações com o material mais antigo em stock. A OT só é finalizada, após o operador registar a etiqueta do material, desta forma garantindo que foi movimentado o material correspondente e cumprido o FIFO. Esta abordagem é essencial para prevenir deterioração dos componentes e também para assegurar a conformidade com os padrões de qualidade internos.

A operação deste armazém é assegurada por três operadores, um por cada turno semanal, que manuseiam um empilhador trilateral elétrico de condução manual.

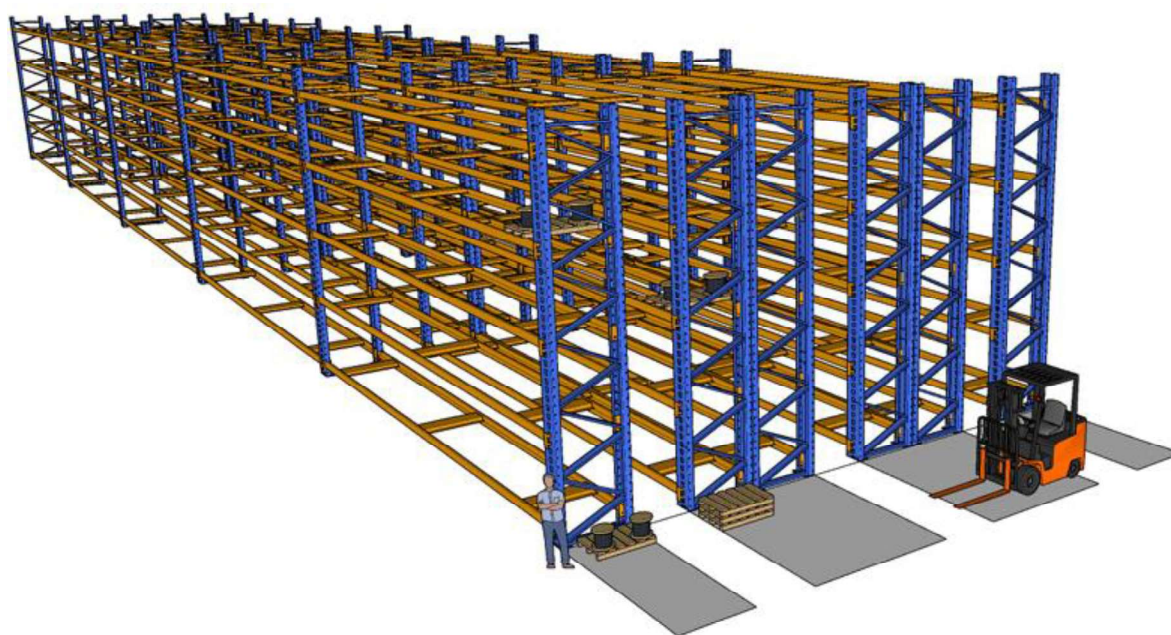


Figura 6. Exemplo do armazém (Elaboração própria)

4.4. Modo de Funcionamento

4.4.1. Equipamento Atual: Trilateral Elétrica Manual

Atualmente, a operação do armazém em estudo, é essencialmente realizada com recurso a um empilhador trilateral elétrico de condução manual, da marca *Jungheinrich*, modelo EKX 513, como demonstra a Figura 7. Este equipamento foi concebido especificamente para ambientes com corredores VNA, sendo adequado às características estruturais do armazém em estudo (Jungheinrich, 2014).

As principais características técnicas deste equipamento são as seguintes (Jungheinrich, 2014):

- Altura de elevação: configurável entre 3 metros e 14 metros, dependendo dos módulos aplicados. No caso da configuração em uso neste armazém, a altura útil atinge aproximadamente 8 metros,
- Capacidade de carga: até 1250kg.

Este modelo apresenta diversas vantagens operacionais, destacando-se (Jungheinrich, 2014):

- Elevada eficiência energética: com uma única carga de bateria, o empilhador é capaz de operar durante cerca de 16 horas contínuas, conseguindo cobrir dois turnos de trabalho,
- Ergonomia avançada: a cabine foi concebida para proporcionar maior conforto ao operador durante longos períodos de operação,
- Sistemas de segurança integrados: inclui funcionalidades como a redução automática da velocidade ao entrar nos corredores e um sistema de deteção de postura e controlo, que imobiliza a máquina caso o operador não esteja corretamente posicionado (por exemplo, se não tiver ambas as mãos no volante ou os pés nos locais adequados).

Estas características tornam a EKX 513 uma solução eficaz para ambientes de armazenagem com elevada densidade e requisitos de precisão, embora a operação manual exija a presença constante de um operador treinado, constituindo um fator de custo fixo significativo (Jungheinrich, 2014).



Figura 7. Jungheinrich EKX 513 (Jungheinrich, 2014)

4.4.2. Funcionamento do Sistema SAP na Gestão de Ordens de Transporte

Apesar da empresa não ter disponibilizado informações detalhadas sobre a versão do SAP utilizada nem sobre os módulos específicos implementados, foi possível, através da observação direta do funcionamento das operações perceber a presença de um módulo de WMS. Esta conclusão baseia-se no registo de todo o fluxo de materiais, desde a matéria-prima até ao produto final, estar registado no SAP, sendo esta uma característica dos módulos de gestão de armazém. Por motivos de confidencialidade, não foi facultado acesso às configurações técnicas do sistema nem à informação sobre a versão utilizada.

A operação do empilhador trilateral elétrico manual é apoiada por um tablet instalado na cabine, permanentemente conectado ao sistema SAP, que apresenta em tempo real uma lista de ordens de transporte (OTs) pendentes. No caso do armazém em estudo, todas as OTs apresentadas ao operador da trilateral correspondem a operações de saída de material, ou seja, tarefas de recolha de componentes armazenados nas estantes para posterior envio para zonas de expedição ou abastecimento de linhas de produção.

A interface do sistema apresenta colunas com a informação essencial para a execução das tarefas:

- Quantidade (*CtdTeórDsd*): quantidade total unitária a movimentar;
- Localização Origem (*Ubic.pr*): código da localização física na estante onde se encontra o material;

- N°OT: número de identificação único da ordem de transporte;
- Material: referência do componente a movimentar;
- Localização Destino (*Ubicac. Destino*): código do destino final do material após ser retirado da estante;
- Data Criação (*Fecha creación*): data em que a OT foi registada no sistema;
- Hora: hora de registo da OT no sistema.

Apesar de disponibilizar esta informação de forma organizada, o sistema não impõe uma ordem de execução definida. O operador da trilateral, ao iniciar o seu turno, consulta a lista de OTs e decide autonomamente a sequência de recolha, geralmente optando por uma abordagem, que lhe pareça mais conveniente ou eficiente no momento. Esta flexibilidade, embora possa ser vantajosa em determinadas situações, como por exemplo reagir rapidamente a prioridades informais comunicadas verbalmente, também pode originar percursos menos otimizados, movimentos desnecessários e tempos de deslocação superiores ao ideal.

Além disso, a ausência de um mecanismo automático de reordenamento de prioridades significa que, caso surjam OTs urgentes após o início da execução, o operador depende de comunicação direta por parte de outros elementos da equipa ou supervisores, o que pode gerar atrasos ou falhas na sincronização com outros processos logísticos.

A tabela 1 exemplifica, com dados fictícios, o formato da listagem de OTs apresentada no tablet da trilateral utilizada pelo do operador.

Tabela 1. Exemplo da visualização das OTs no tablet do empilhador trilateral

CtdTeórDsc	Ubic. Pr	N° OT	Material	Ubicac. Destino	Fecha creación	Hora
100	204061	21432	Referência X	Máquina Z	18/11/2024	06:40:26
1500	206180	21433	Referência Z	Envio X	18/11/2024	06:45:17
1350	207015	21434	Referência Y	Máquina Y	18/11/2024	06:51:09
600	205712	21435	Referência B	Máquina X	18/11/2024	06:58:49
900	203414	21436	Referência A	Envio Z	18/11/2024	07:01:21

4.5. Diversidade de Referências e Tipologia de Embalagens

Durante o período analisado, foi identificada uma elevada diversidade de referências movimentadas neste armazém (cerca de 400), abrangendo matérias-primas, produtos intermédios e produto final. Esta variedade implica uma maior complexidade na gestão dos fluxos logísticos internos, nomeadamente na organização do espaço, na movimentação dos materiais e na definição das localizações mais adequadas para cada tipo de artigo.

A diversidade de produtos está também refletida na multiplicidade de tipologias de embalagens utilizadas. As combinações mais frequentes observadas correspondem à utilização de paletes normalizadas, como a paleta CHEP (1200X1000X162mm), a paleta europeia (1200X800X144mm) e paletes plásticas (1200X1000X250mm), em conjunto com caixas plásticas normalizadas, destacando-se as caixas KLT 6429 BLUE (594X393X280mm), 6426 GREEN (594X396X214mm) e BAC 4322 BLUE (396X297X214mm). Estas caixas são empilhadas sobre as paletes, sendo que cada paleta pode conter entre 10 e 25 caixas, consoante o produto e as instruções definidas no manual de embalagem do respetivo. Estas unidades combinadas representam a maioria da

movimentação de entrada e saída no armazém, influenciando diretamente a organização do espaço e o método de movimentação de cargas.



Figura 8. Paleta europeia



Figura 10. Paleta plástica



Figura 9. Caixa KLT 9429 BLUE



Figura 11. BAC 6426 GREEN

Adicionalmente, existem contentores de maiores dimensões, como o SLI-1200 (1600X1200X930mm), o contentor 00112 (1200X100X900mm), o Contentor CE-120 (1090X800X700mm) entre outros, mesmo sendo menos utilizados são fundamentais para o transporte de produtos com características específicas ou em maior volume.



Figura 12. Contentor CE-120



Figura 13. Contentor 00112

Esta variedade de embalagens, tanto em dimensões como em formatos, representa um desafio para a gestão eficiente do espaço de armazenagem, da alocação de localizações e da operação do empilhador trilateral. A heterogeneidade de embalagens reforça, assim, a necessidade de uma abordagem mais estruturada à armazenagem e a avaliação de soluções tecnológicas que permitem responder à variabilidade dos fluxos com maior flexibilidade e precisão.

5. Justificação e Motivação para a Automatização

5.1. Enquadramento e Motivação da proposta

A decisão de estudar a viabilidade da automatização da operação logística no armazém surgiu a partir de uma necessidade identificada pela própria organização. Motivada por preocupações crescentes com segurança, a eficiência operacional e a redução de falhas humanas, a empresa manifestou interesse em explorar alternativas tecnológicas, nomeadamente a substituição do empilhador trilateral manual por uma versão automática. Assim, o presente projeto procurou, entre outros objetivos, avaliar se a automatização deste processo logístico representa uma solução válida, fundamentando-se em evidências recolhidas no terreno.

Durante o processo de observação e recolha de dados, foram identificadas fragilidades operacionais associadas à intervenção humana, particularmente no manuseamento de cargas em corredores estreitos. Estas fragilidades traduzem-se em incidentes frequentes, cujas consequências impactam diretamente o desempenho logístico e os custos da empresa. A automatização é, portanto, aqui analisada não como uma imposição tecnológica, mas como uma resposta racional a problemas concretos identificados no terreno.

5.2. Incidentes Registados e Impacto Operacional

Uma das principais razões que sustentam a necessidade de automatização prende-se com a recorrência de incidentes logísticos causadas por erro humano. Como demonstrado no gráfico da Figura 14, ao longo do ano de 2024, não houve um único mês sem incidentes reportados. Importa ainda referir que muitos incidentes não são formalmente registados, o que significa que o impacto real pode ser ainda mais significativo do que os dados sugerem.

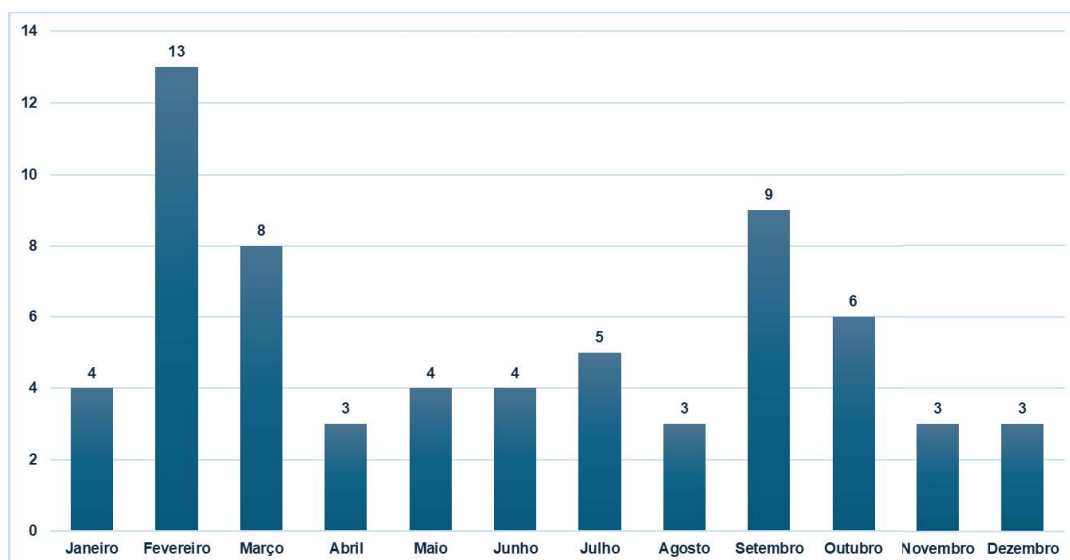


Figura 14. Número de incidentes logísticos no ano 2024 por mês

Os incidentes resultam em custos adicionais para a empresa: desde a sucata de material danificado, reparações em estantes, revisões de qualidade nos produtos, até à perda de tempo operacional. A automatização surge, assim, como uma solução estratégica para reduzir a frequência

destes incidentes, minimizando desperdícios e aumentando a segurança e fiabilidade das operações.

Nas imagens incluídas abaixo, observa-se o resultado de algumas dessas ocorrências. Um dos exemplos mais críticos refere-se a estantes deformadas devido ao impacto de paletes, consequência de falhas na operação do empilhador trilateral. Esta deformação comprometeu a integridade da estrutura, tornando a estante inutilizável. Embora não tenha ocorrido colapso no momento, o risco estrutural impediu o seu uso futuro (Figura 15 e Figura 16).



Figura 15. Rack danificada devido a incidente logístico

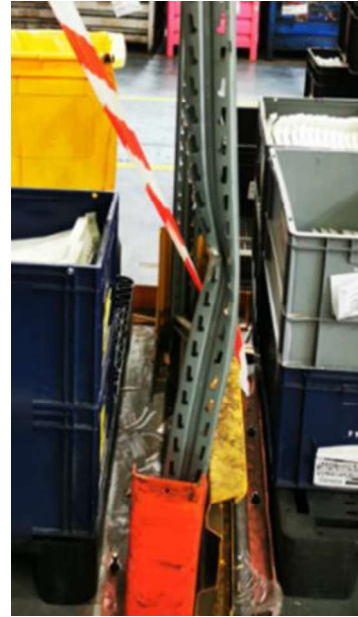


Figura 16. Rack danificada devido a incidente logístico

Outro incidente relevante ocorreu com um AGV danificado após colisão com os garfos de um empilhador manual, ilustrando a interferência negativa entre sistemas manuais e automatizados no mesmo ambiente de trabalho. Para além do custo elevado de reparação, este evento afetou diretamente o normal funcionamento das operações, como o abastecimento das linhas de produção (Figura 17).



Figura 17. AGV danificado devido a incidente logístico

Estes incidentes evidenciam a vulnerabilidade do sistema atual e sustentam a hipótese de que a introdução de soluções automáticas, como um sistema VNA automático, pode representar um avanço significativo em termos de segurança, eficiência e redução de falhas humanas.

6. Análise de dados

6.1. Seleção e Preparação de Dados

A análise de dados realizada neste estudo teve como objetivo principal identificar padrões de operação, quantificar o volume de movimentações e avaliar potenciais ineficiências no funcionamento do armazém. Esta análise serviu de base para a formulação de propostas de melhoria, nomeadamente no que diz respeito à forma da automatização do armazém.

A recolha de dados foi efetuada através da extração de registos históricos do sistema SAP utilizado pela empresa, onde se obteve os dados sobre as ordens de transporte (OTs) criadas no sistema. Estes dados abrangem os meses de novembro e dezembro de 2024 e foram obtidos com o apoio do responsável do armazém da organização em estudo.

Embora este período de 35 dias úteis permita identificar padrões relevantes, deve ser reconhecido como uma limitação metodológica, uma vez que não contempla toda a variabilidade sazonal da operação. A análise de um intervalo mais longo, idealmente abrangendo diferentes épocas do ano, permitiria validar a consistência das tendências observadas e reforçar a robustez das conclusões. Ainda assim, a análise efetuada fornece uma base sólida para a identificação de ineficiências e a definição de propostas de melhoria.

Antes da análise, foi necessário proceder à filtragem e tratamento dos dados. Devido à complexidade e granularidade dos registos, esta fase foi dividida em diferentes etapas de filtragem e preparação, descritas nos subpontos seguintes.

6.1.1. Anomalias Detetadas e Primeira Limpeza de Dados

Inicialmente, foi identificado um número desproporcional de movimentos atribuídos ao turno da noite, o que levantou suspeitas de duplicações. A análise revelou que esta distorção estava associada ao procedimento seguido pelos operadores na criação de OTs. Em determinadas situações, em vez de se registar a OT da palete como um todo, eram registadas individualmente as caixas que a compunham. Este procedimento fazia com que, por exemplo, uma palete de 15 caixas gerasse quinze registos distintos no sistema SAP, em vez de um único registo correspondente à ordem de transporte real. Assim, uma única movimentação física originava múltiplos registos digitais, inflacionando artificialmente o volume de operações. Para corrigir esta anomalia, eliminaram-se os registos duplicados, considerando apenas as movimentações ao nível da palete e assegurando que não permaneciam OTs repetidas. Adicionalmente, esta situação foi comunicada ao responsável de armazém, de forma a garantir a sua correção futura.

Posteriormente, constatou-se um excesso de entradas em relações às saídas, com uma diferença de 3 171 registos. Esta discrepância foi explicada pela realização de um inventário físico no dia 16 de novembro de 2024. Durante esse processo, o sistema SAP colocou o stock a zero, e cada unidade foi lançada individualmente como nova entrada. Deste modo, o inventário foi interpretado pelo sistema como um conjunto de operações normais de entrada de materiais, criando um pico artificial. Para preservar a fiabilidade da análise, todos os registos correspondentes a este

inventário foram eliminados da amostra, dado que não representavam movimentações reais de abastecimento ou expedição.

6.1.2. Volume de Operações Total

Após a primeira limpeza dos dados, foi possível identificar o volume total de OTs registadas no armazém durante o período de novembro e dezembro de 2024. Neste tempo analisado existiram um total de 8 655 OTs, sendo 5 067 OTs de entrada e 3 588 OTs de saída, o que representa um saldo positivo de 1 479 entradas (Figura 18). Este desequilíbrio justifica-se pela estratégia de acumulação de stock adotada pela empresa no final do ano, tendo em vista a preparação para um aumento de procura previsto para o início de 2025.

A comparação entre novembro e dezembro revela uma redução no número de OTs em dezembro, refletindo o menor volume de encomendas típico do final do ano e o impacto das férias da empresa.

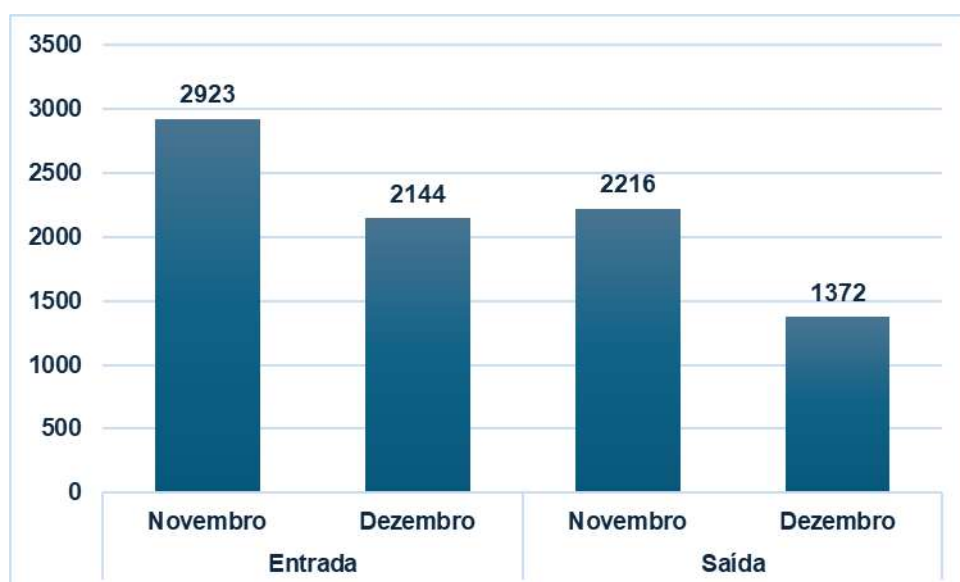


Figura 18. Número de OTs analisadas, por tipo e por mês

Esta tendência reflete tanto uma desaceleração natural da atividade industrial, como também a interrupção temporária das operações a partir do dia 23 de dezembro.

6.1.3. Exclusão de Fins de Semana

Como demonstrado no gráfico da Figura 19, os sábados e domingos representavam apenas 575 OTs (Menos de 10% do total), sendo desproporcionais em relação aos restantes dias úteis. Por comparação, a quinta-feira, dia útil com menos OTs, apresentava cerca de 1 438 OTs, o que reforça a decisão de exclusão destes dias de amostra.

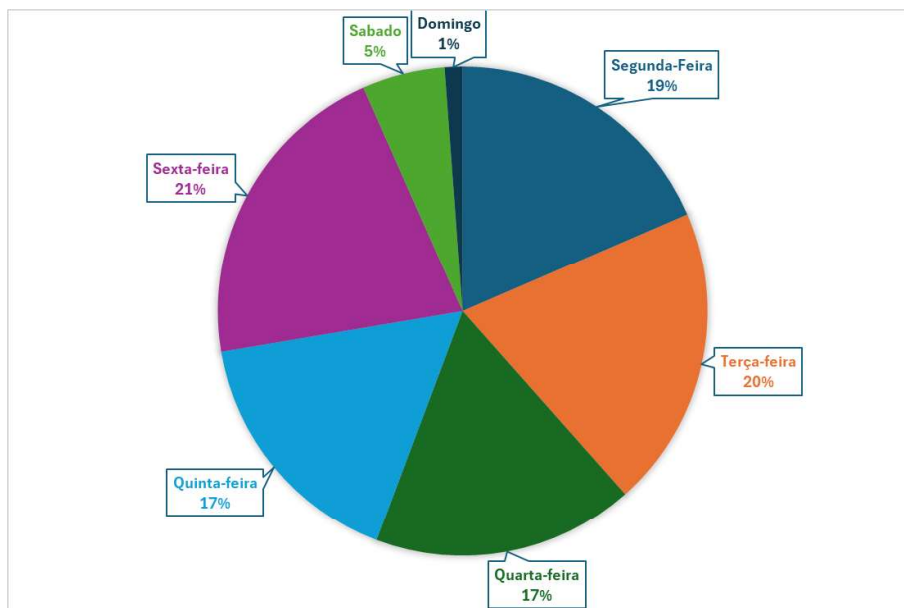


Figura 19. Percentagem de OTs por dia da semana

6.1.4. Exclusão do Período de Férias da Empresa

No gráfico de linhas apresentado na Figura 20, podemos ver a distribuição do número de OTs por dia, onde é possível observar que os picos mínimos coincidem com os fins de semana, refletindo a menor atividade nesses dias, o que vem a reafirmar o ponto anterior. Além disso, verifica-se uma redução acentuada a partir do dia 23/12/2024, o mesmo se deve ao período de férias da empresa, o qual foram realizadas operações mínimas.

No intervalo entre 23/12 e 31/12/2024, foram registadas apenas 61 OTs, um número residual que não contribui significativamente para a análise. Assim, os dados deste período foram eliminados da análise, por não refletir a rotina logística da empresa.

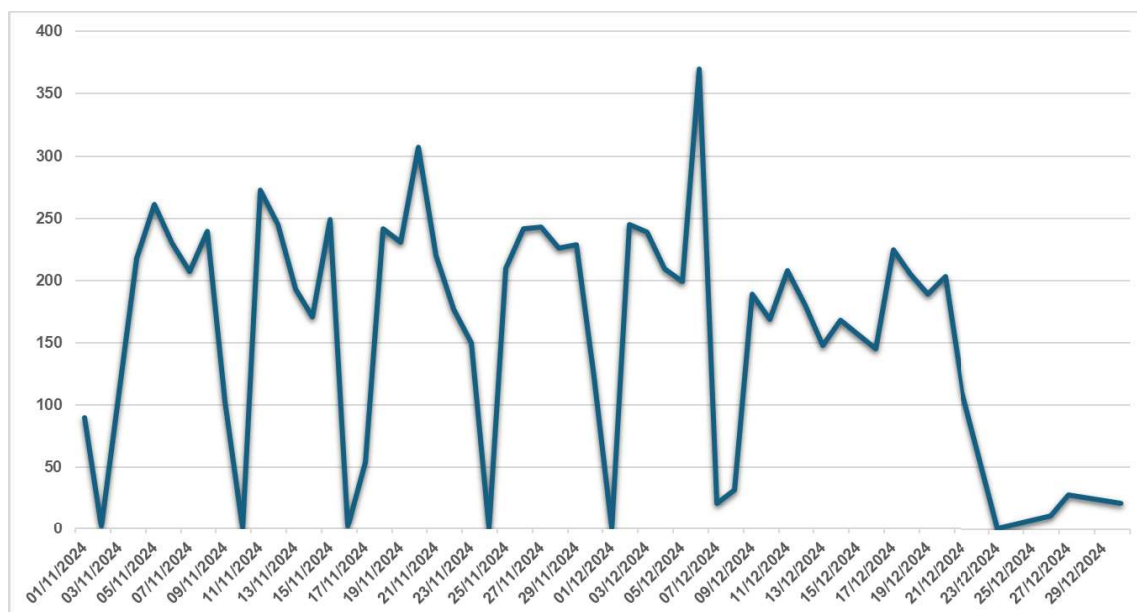


Figura 20. Número de OTs por dia

6.1.5. Movimentos Entre Localizações

No período analisado, foram registadas aproximadamente 501 OTs entre localizações no armazém em estudo. Estes movimentos ocorrem quando um operador necessita de relocar um contentor para uma estante diferente, de forma a acomodar outro contentor de maiores dimensões. No entanto, este processo pode ser considerado um desperdício de tempo, pois poderia ser evitado caso existissem restrições bem definidas e um sistema automatizado para indicar, de forma precisa, a localização ideal dos contentores no momento da sua entrada no armazém.

Após a exclusão de dados anteriormente mencionada, foram obtidos os seguintes resultados acerca das OTs referentes a movimentos entre estantes no armazém estudado:

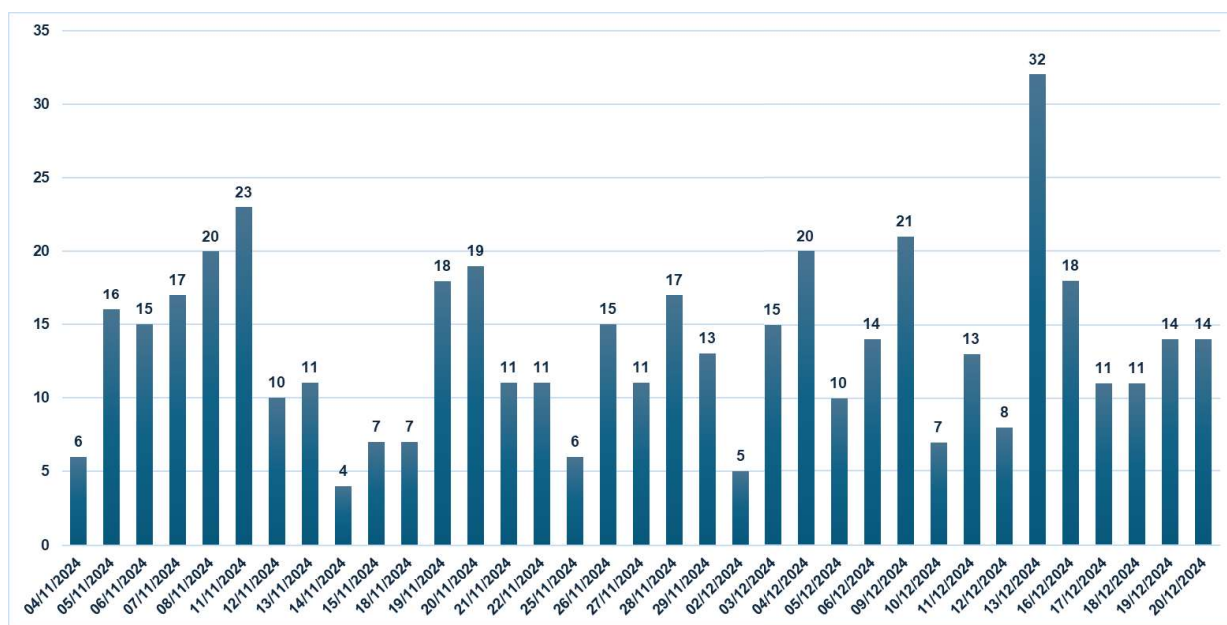


Figura 21. Número de OTs de movimentos entre estantes por dia

O total de movimentos entre localizações reduziu-se para 470, o que indica que, durante os fins de semana e o período em que a fábrica esteve encerrada para férias, ocorreram 31 movimentos deste tipo. O pico máximo foi registado a 13 de dezembro, com um total de 32 movimentações.

No período analisado (de 1 de novembro de 2024 a 31 de dezembro de 2024), excluindo os feriados, fins de semana e período de férias, contabilizaram-se 35 dias úteis de trabalho para análise. Nestes dias, a média de movimentos entre estantes foi de 13,43 por dia, com um desvio padrão de 5,88 movimentos.

Considerando que cada um destes movimentos demora, em média 2 minutos, estima-se uma perda de tempo diária de 26,86 minutos. Se projetarmos este valor para um mês típico de 22 dias úteis, a perda de tempo ascende a 590,86 minutos, o que equivale aproximadamente 9,85 horas por mês. Em termos absolutos, corresponde a um turno de trabalho completo de 8 horas, mais 1 hora, 50 minutos e 51 segundos de tempo improdutivo.

Estes movimentos não acrescentam valor ao processo e evidenciam ineficiências claras na gestão do armazém. Este tipo de desperdício contraria os princípios *Lean*, cuja filosofia assenta na eliminação de atividades que não agregam valor e na redução de desperdícios nos processos operacionais.

Numa empresa que adota esta metodologia, a padronização dos processos e a implementação de sistemas que tornam a distribuição eficiente dos produtos seriam medidas essenciais para minimizar estas perdas, contribuindo significativamente para o aumento da eficiência operacional da organização em estudo.

6.2. Volume de Operações após limpeza de dados

6.2.1. Total de OTs

Após a eliminação de registos não representativos (como dados de fim de semana, feriados e período de férias), considerou-se um universo de 35 dias úteis para a análise. Neste período analisado, foram registadas 7 928 OTs, distribuídas da seguinte forma:

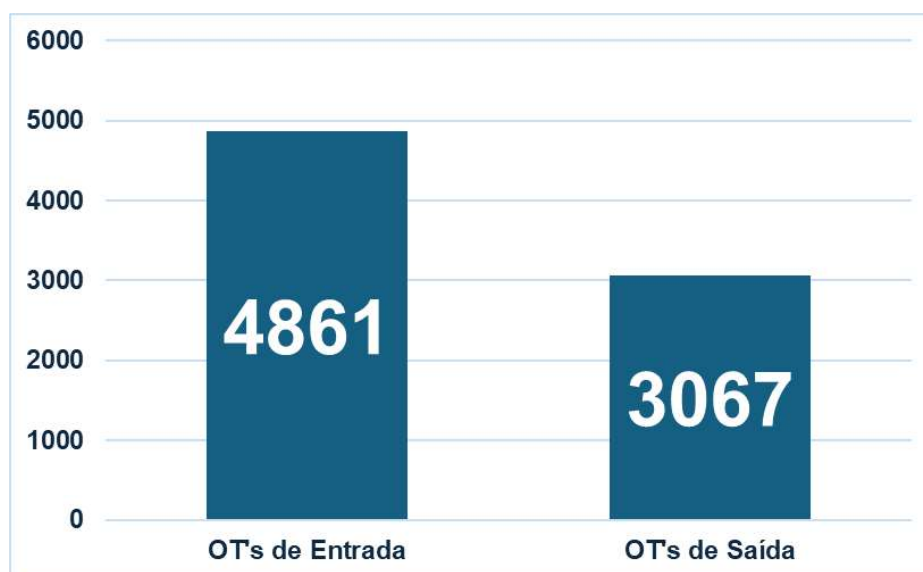


Figura 22. Número de OTs depois da limpeza

Com base neste universo de 35 dias, foi possível calcular os seguintes indicadores estatísticos:

Tabela 2. Indicadores Estatísticos das OTs

Tipo de OT	Média diária	Desvio Padrão
Entrada	138,89	39,87
Saída	87,63	35,58
Total	226,51	46,74

Em termos de picos de atividade, podemos ainda acrescentar que:

- O dia com maior número de OTs de entrada foi 06/12/2024 (Segunda-feira), com 226 entradas.
- O dia com maior número de OTs de saída foi 08/11/2024 (sexta-feira), com 222 saídas.
- O dia com menor número de OTs de entrada foi 20/12/2024 (sexta-feira), com 88 entradas, coincidindo com o último dia de trabalho antes das férias.
- O dia com menor número de saída foi 25/11/2024 (segunda-feira), com 41 saídas.

A análise do volume de operações após a limpeza de dados permite traçar um retrato mais fidedigno da atividade logística no armazém durante o período analisado, servindo de base para os subpontos seguintes, que aprofundam a distribuição das OTs por dia da semana, por turno e por hora.

6.2.2. Distribuição Semanal das OTs

A análise da distribuição semanal das OTs revelou um padrão de movimentação relativamente equilibrado entre os dias úteis, com variações moderadas, como averiguado na Figura 23.

O dia com maior volume de movimentações foi a sexta-feira com um total de 1 744 OTs, enquanto a quinta-feira registou o menor volume, com 1 383 OTs. Estes dados são apresentados no gráfico de linhas abaixo, que permite observar a evolução do número total de OTs ao longo dos dias da semana.

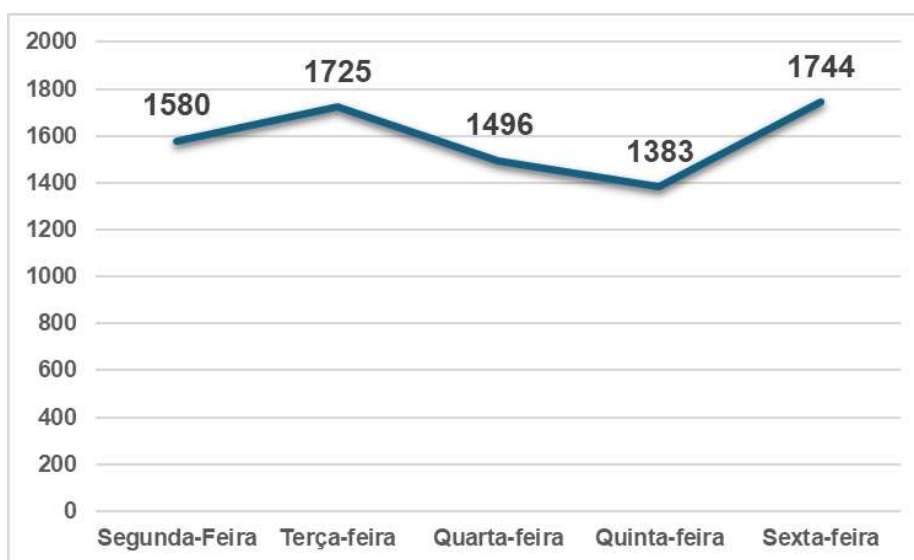


Figura 23. Número de OTs Totais por dia da semana

Ao analisar-se separadamente as OTs de entrada e as OTs de saída, identificam-se padrões distintos entre os dias da semana. Por exemplo:

- À segunda-feira, registaram-se 1 102 OTs de entrada, representando 69,75% do total de OTs desse dia,
- Já à sexta-feira, as 977 OTs de entrada corresponderam apenas a 56,02% do total, refletindo um maior volume relativo de saídas nesse dia.

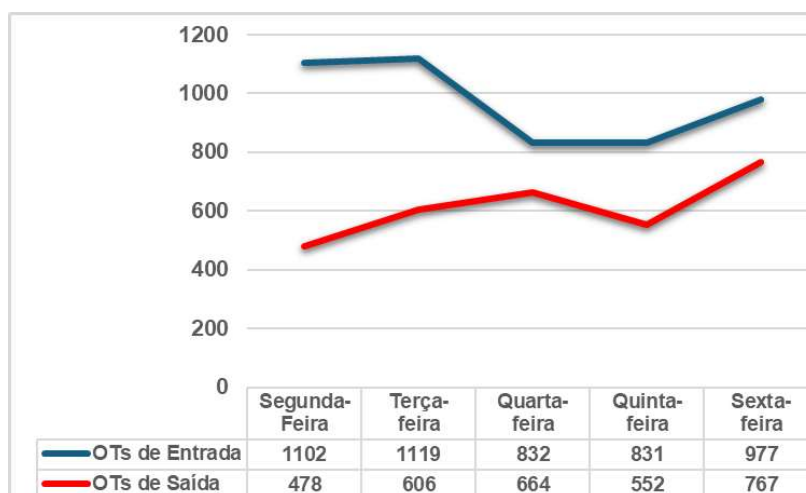


Figura 24. Número de OTs de entrada e saída por dia da semana

Com base na Figura 24, é possível identificar um padrão semanal cíclico no funcionamento do armazém. O início da semana caracteriza-se por um maior volume de entradas, refletindo, provavelmente, a reposição de matéria-prima após o fim de semana. A meio da semana, observa-se uma redução geral da atividade, enquanto no final da semana, particularmente à sexta-feira, destaca-se um aumento significativo das saídas, o que poderá estar relacionado com a preparação de envios para os clientes ou com a organização da produção para o início da semana seguinte.

Esta distribuição reforça a importância de ajustar a capacidade operacional às flutuações semanais, podendo constituir uma variável relevante na definição de estratégias de automatização e dimensionamento de recursos.

6.2.3. Distribuição das OTs por Turno

Considerando apenas os dias úteis e as operações logísticas regulares, a análise foi centrada nos três turnos operacionais principais: manhã, tarde e noite.

A distribuição total das OTs ao longo dos 35 dias úteis revela uma atividade bastante equilibrada entre os turnos da manhã e da tarde, com volumes globais de movimentações muito semelhantes como observado na Figura 25. Por sua vez o turno da noite apresenta um volume significativamente inferior de OTs, o que poderá ser explicado pela menor intensidade da atividade produtiva nesse período. Com efeito, a equipa afeta ao turno da noite corresponde a cerca de 15% do total de operadores de produção da empresa, percentagem substancialmente inferior à dos turnos da manhã e da tarde, que em conjunto representam cerca de 85%. Esta discrepância na alocação de recursos contribui para justificar o menor número de OTs registadas durante a madrugada.

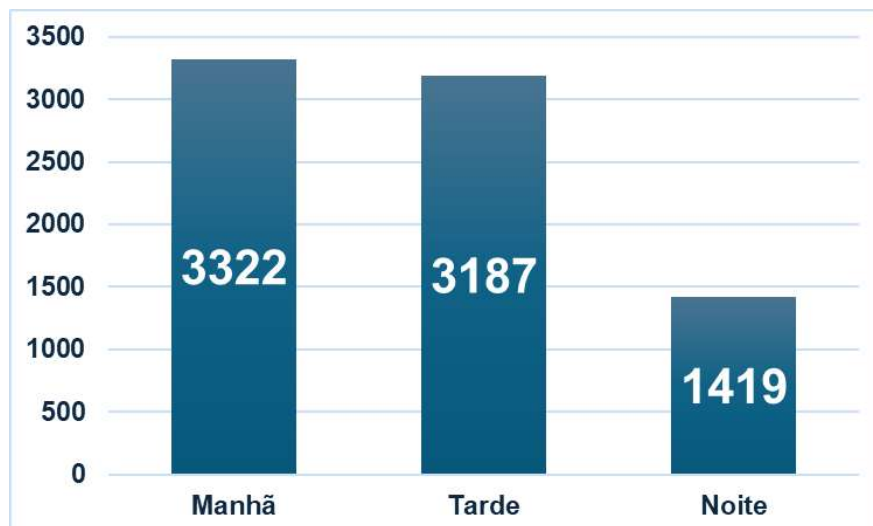


Figura 25. Número de OTs totais por turno

Na análise específica das OTs de entrada (Figura 26), observa-se novamente um padrão consistente entre os turnos da manhã e da tarde, com valores semelhantes. No entanto, o turno da noite registra um número substancialmente inferior de entradas, o que pode dever-se à ausência de receções de matéria-prima nesse horário, uma vez que os transportes externos são geralmente agendados para o período diurno.

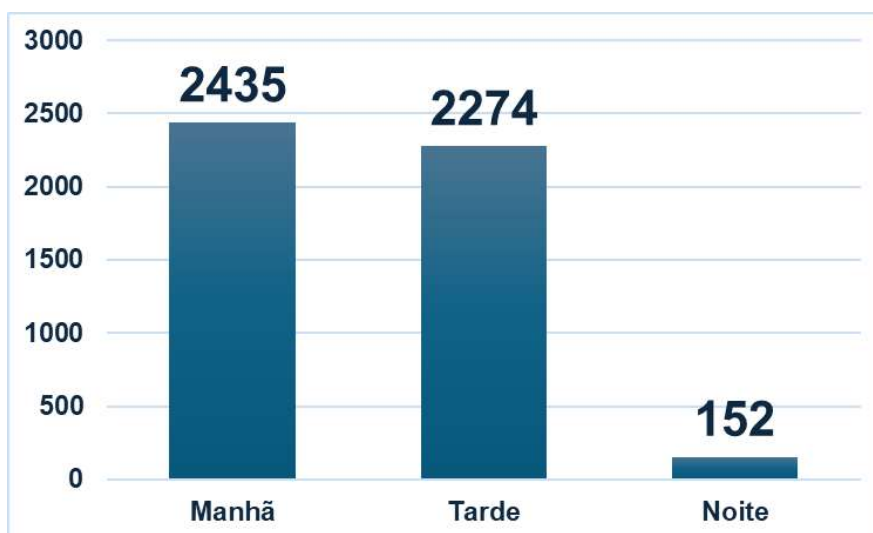


Figura 26. Número de OTs de entrada por turno

Já no que respeita às OTs de saída (Figura 27), o comportamento é inverso: o turno da noite apresenta o maior volume de saídas, superando inclusive os turnos diurnos. Este fenómeno está diretamente relacionado com a preparação dos envios para os clientes, tarefa que é tradicionalmente executada durante a noite, com o objetivo de agilizar o carregamento dos camiões logo no início da manhã seguinte.

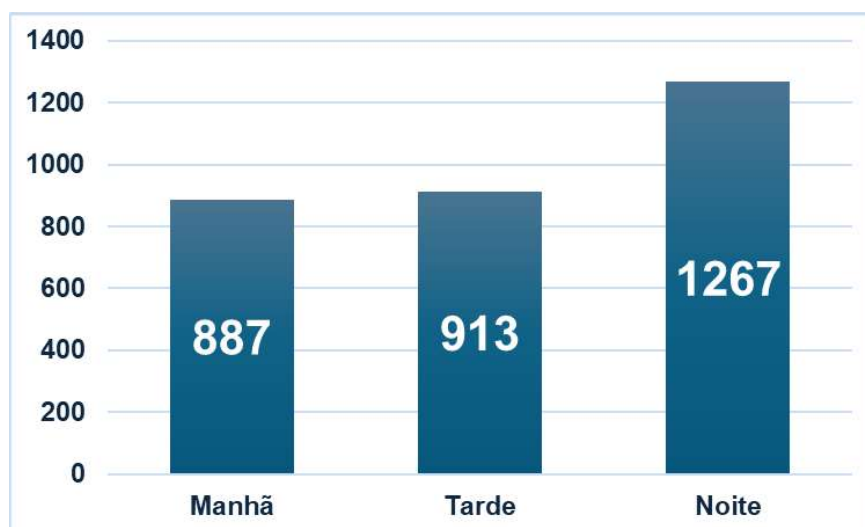


Figura 27. Número de OTs de saída por turno

Os gráficos apresentados neste ponto ilustram claramente este padrão operacional, permitindo identificar a especialização funcional dos turnos: entradas durante o dia, preparação de saídas durante a noite.

6.2.4. Distribuição Horária das OTs

6.2.4.1. Volume Total de OTs por hora

A distribuição horária das OTs permite identificar padrões de atividade ao longo do dia, evidenciando os períodos de maior intensidade operacional no armazém. De acordo com os dados analisados e a Figura 28, observam-se picos de registo de OTs no início de cada turno. No turno da manhã e no turno da tarde, os maiores volumes de registo ocorrem logo na primeira hora (entre as 06:00-07:00 e 14:00-15:00, respetivamente), enquanto no turno da noite o pico desloca-se para a segunda hora (entre as 23:00 e 00:00), sugerindo uma adaptação progressiva à dinâmica noturna.

Adicionalmente, o gráfico de linhas revela uma queda acentuada no número total de OTs entre as 09:00 e as 11:00, bem como entre as 17:00 e as 19:00. Estes intervalos coincidem com os períodos de pausa dos operadores de logística e produção, que realizem interrupções de 30 minutos distribuídas de forma intercalada ao longo dessas faixas horárias. Esta prática visa manter a continuidade do processo produtivo, mas tem impacto direto na cadência das movimentações logísticas, justificando a quebra de ritmo observada.

A análise horária do volume de OTs permite assim uma melhor compreensão da alocação de recursos ao longo do dia, constituindo um ponto de partida para uma eventual reorganização dos processos e identificação de janelas temporais críticas para otimização do desempenho operacional.

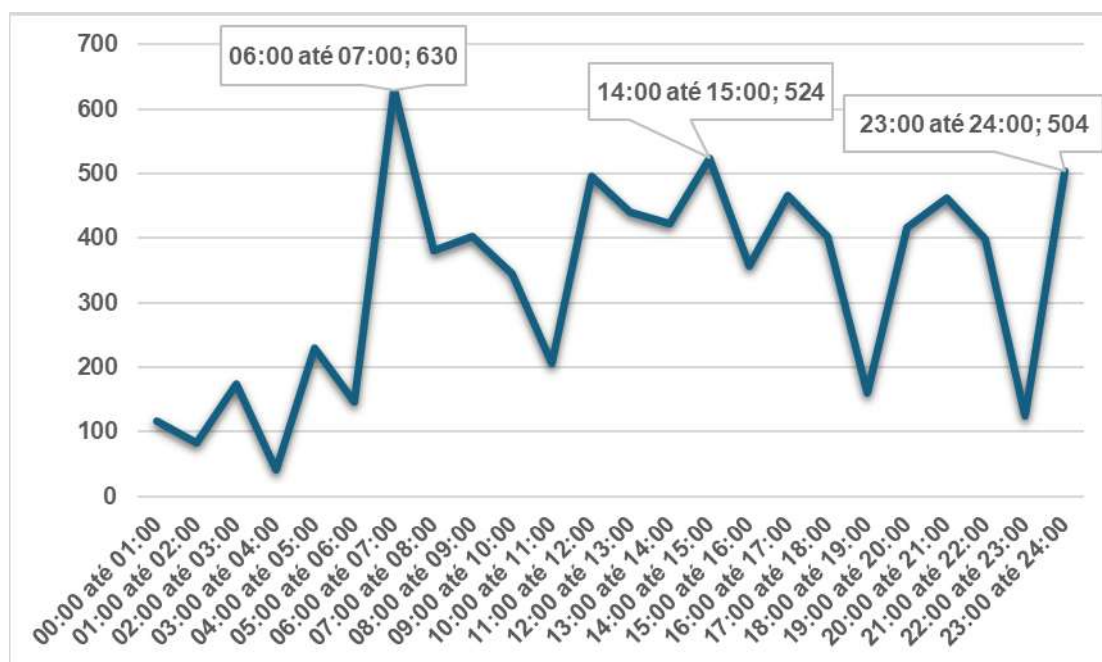


Figura 28. Número de OTs totais por hora

6.2.4.2. Problemas na Gestão de OTs de Saída

De acordo com relatos recolhidos junto de um operador logístico, é prática comum que os operadores de empilhadores iniciem os seus turnos com uma estimativa do consumo previsto de materiais nas linhas de produção. Com base nessa previsão, geram antecipadamente todas as OTs que consideram necessárias para o turno.

Estas OTs são imediatamente recebidas no dispositivo móvel do operador do empilhador trilateral, que procede à sua execução com base no agrupamento por localização, e não por ordem de criação de OT ou de urgência da produção. Este método, embora eficaz do ponto de vista da minimização de deslocações, apresenta diversas limitações operacionais.

Uma das principais fragilidades reside no facto de o sistema não encerrar automaticamente a OT após o material ser deslocado para a zona intermédia. Assim, é frequente que o material fique estacionado nessa zona durante horas, à espera de ser recolhido pelo operador de empilhador. Este, por sua vez, não tem visibilidade imediata da disponibilidade do material, o que leva a atrasos ou tentativas de recolha prematuras.

Além disso, como o operador da trilateral não dispõe de um sistema de gestão com priorização inteligente das OTs, é forçado a memorizar quais os pedidos já foram executados e quais estão pendentes, o que aumenta significativamente o risco de erros, duplicações e atrasos.

Esta ausência de coordenação em tempo real entre os operadores e sistema de gestão compromete a fluidez do processo logístico interno e revela uma oportunidade clara de melhoria através da implementação de um sistema mais automatizado.

6.2.4.3. Comportamento das OTs de Entrada

No caso das OTs de entrada, observa-se que a hora de criação coincide com a hora de fecho da ordem, o que se deve ao próprio funcionamento do processo logístico. O operador de empilhador deposita o material na zona de entrada do armazém e, posteriormente, quando o operador da trilateral tem disponibilidade, procede à sua armazenagem nas localizações.

Este registo é efetuado com recurso a uma *Portable Data Terminal* (PDT), frequentemente chamada de pistola de leitura, que permite identificar a localização final do material e encerrar automaticamente a OT no sistema. No entanto, todo este processo decorre de forma empírica, sendo guiado exclusivamente pela experiência do operador, sem qualquer suporte de um sistema automatizado de alocação de localizações.

A elevada variedade de dimensões tanto das embalagens como das localizações disponíveis agrava esta limitação. Na ausência de critérios sistematizados ou restrições previamente definidas, é comum que o operador necessite de reorganizar os materiais entre estantes para conseguir acomodar os volumes recebidos, o que representa desperdícios de tempo e recursos operacionais.

Esta realidade evidencia a importância de considerar soluções de apoio à decisão baseadas em algoritmos de otimização de espaço, de forma a garantir maior eficiência na entrada de materiais no armazém.

O gráfico de linhas da Figura 29 ilustra a distribuição das OTs de entrada por hora do dia. Verifica-se que os picos de entrada ocorrem predominantemente na última hora de cada turno, o que poderá estar associado ao facto de o operador da trilateral apenas proceder à colocação em estante quando não existe pedidos de saída pendentes.

No turno da noite, em particular, observa-se um padrão distinto: entre as 22:00 e as 00:00 registam-se 66 OTs de entrada, enquanto entre 04:00 e as 06:00 o número subiu para 70 OTs. Por contraste, nas restantes quatro horas do turno noturno, registaram-se apenas 16 OTs no total. Este comportamento pode ser explicado pelo facto de, no início do turno, os operadores concluírem as entradas pendentes deixadas pelo turno anterior e, posteriormente, apenas realizarem novas entradas nas últimas horas do turno, quando se acumulam produtos finais resultantes da produção nesse mesmo turno.

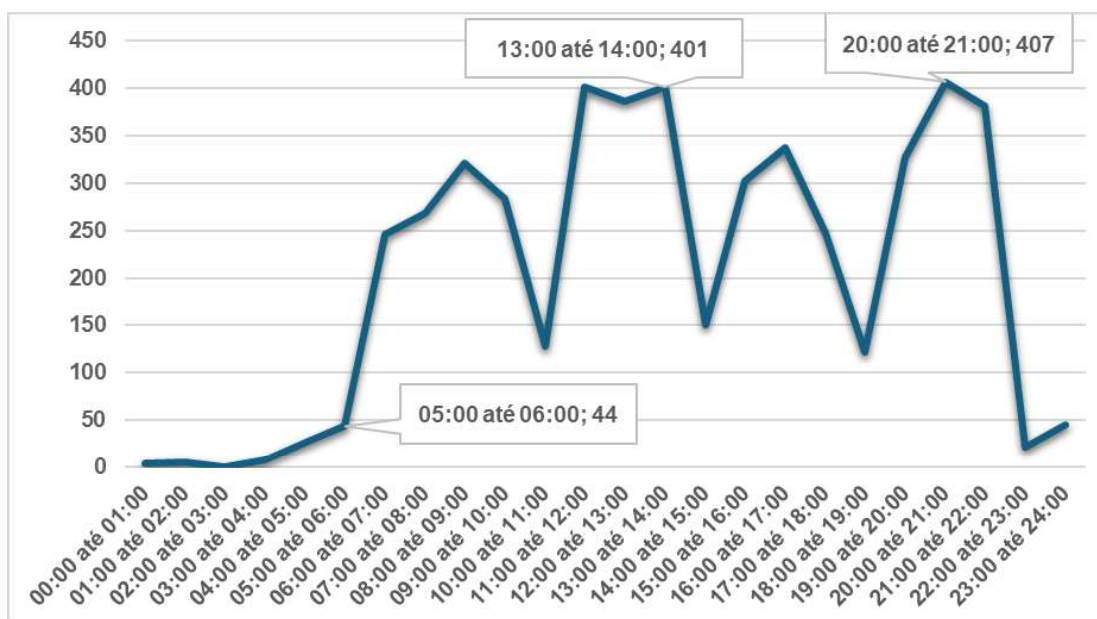


Figura 29. Número de OTs de entrada por hora

6.2.4.4. Comportamento das OTs de Saída

O gráfico de linhas da Figura 30 que demonstra as OTs de saída reforça a explicação fornecida pelos operadores logísticos. Observa-se que a maior concentração de ordens de transporte ocorre na primeira hora dos turnos de manhã e da tarde, enquanto no turno da noite, o pico de atividade surge na segunda hora.

Nos turnos diurnos, após esse pico inicial, o número de OTs decresce acentuadamente, confirmando a prática descrita anteriormente, a criação de OTs logo no início do turno, com base em previsões operacionais. Já no turno da noite, a distribuição das OTs por hora é mais dispersa, refletindo uma maior flexibilidade nas tarefas logísticas noturnas.

Este comportamento deve-se ao facto de o turno da noite ter como principal responsabilidade a preparação dos envios do dia seguinte, o que implica a retirada dos produtos finais do armazém e a sua organização nas áreas de expedição. Por essa razão, o turno noturno regista um volume superior de OTs de saída, bem como maior variabilidade temporal nas operações.

Outro aspeto relevante é a relação inversa entre as OTs de saída e as OTs de entrada. Como o operador da trilateral tende a dar prioridade às ordens de saída, que são geradas pelos operadores dos empilhadores, o processamento das OTs de entrada fica condicionado à sua disponibilidade. Este fator contribui para a acumulação de material na zona intermédia e para um potencial atraso na reposição de stock nas estantes.

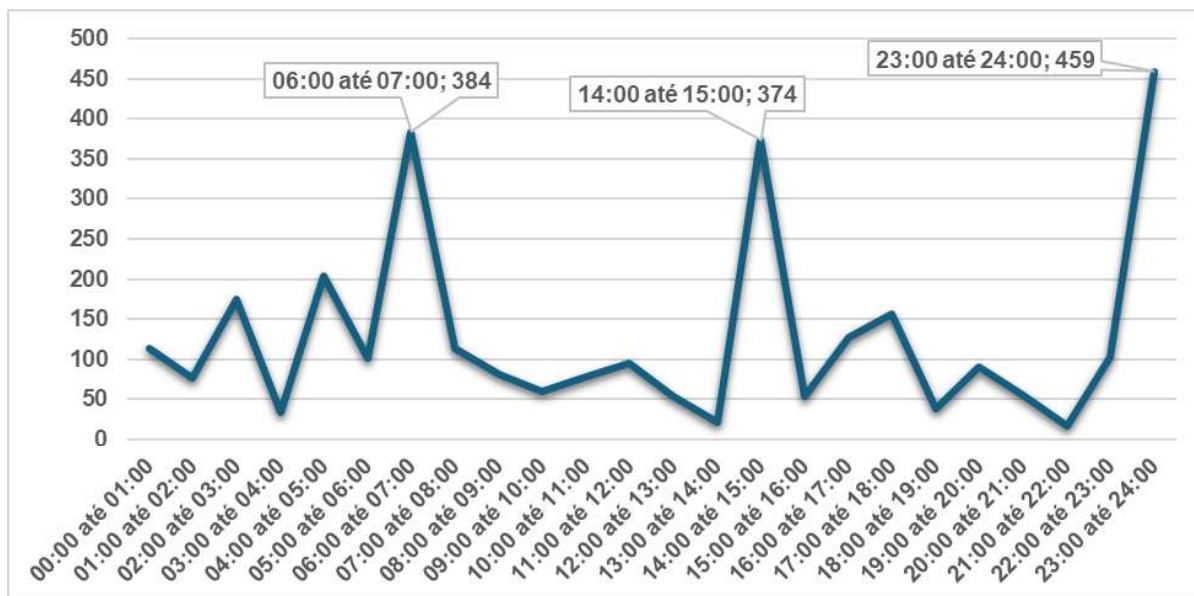


Figura 30. Número de OTs de saída por hora

6.3. Análise de Referências Movimentadas

Durante os 35 dias úteis analisados, foram registadas movimentações relativas a 393 referências distintas no armazém. A análise da frequência de movimentações permitiu identificar uma forte concentração das operações logísticas num número reduzido de artigos, o que se confirma pela aplicação da análise de Pareto, como demonstrado na Figura 31.

Em concreto, 132 referências representaram cerca de 80% do total de movimentações, evidenciando a existência de uma pequena parcela de artigos com elevada rotação. A referência com maior número de registos acumulou 177 movimentos, destacando-se claramente das restantes.

Ao restringir a análise às 50 referências mais movimentadas, verifica-se que estas concentram aproximadamente 50% das operações. A 50ª referência nesta hierarquia registou 47 movimentações, contrastando com muitas outras que apresentam apenas um número residual de movimentos durante todo o período em análise.

Esta distribuição desigual de movimentações reforça a importância de implementar estratégias de armazenagem orientadas à rotação, como por exemplo a organização de localizações com base na frequência de utilização. Tal abordagem poderá otimizar o uso do empilhador trilateral, reduzir os tempos de deslocamento e melhorar a eficiência geral das operações logísticas.

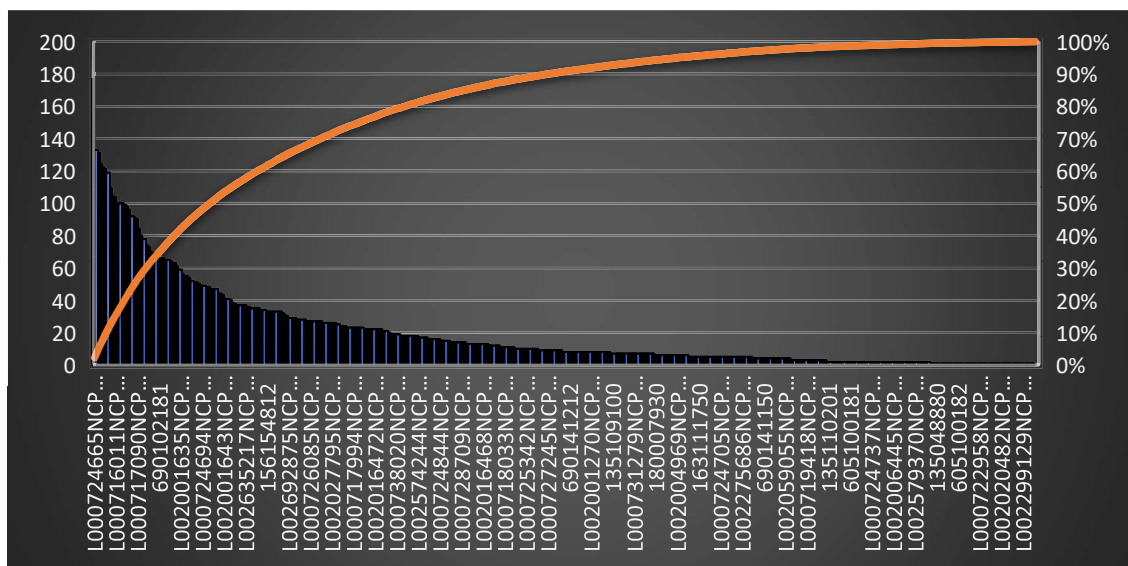


Figura 31. Diagrama de Pareto de referências mais usadas

6.4. Análise da Duração das OTs

Atualmente, o processo de saída de material do armazém inicia-se quando o operador de linha identifica a necessidade de um determinado componente. Nesse momento é efetuado um pedido através do sistema SAP, o qual dá origem à criação de uma OT. Com base nesse pedido, o operador do empilhador trilateral dirige-se à estante correspondente, retira o material necessário e coloca-o na zona intermédia, previamente definida para recolha.

A finalização da OT acontece apenas quando o operador do empilhador recolhe o material e o transporta até ao destino final, momento em que a OT é dada como concluída no sistema.

Esta lógica de funcionamento introduz um intervalo de tempo entre a criação da ordem e o seu encerramento no sistema. Independentemente do momento em que o operador da trilateral realiza a movimentação física (por exemplo, em poucos minutos), a OT permanece aberta até que o operador do empilhador a encerre, o que apenas acontece quando o material chega efetivamente ao destino. Assim o tempo registado corresponde ao intervalo total entre a criação e o fecho da OT, não refletindo necessariamente o tempo de execução da tarefa, mas sim todo o tempo que o material permanece em espera ou em trânsito.

Este processo apresenta várias limitações. Um dos principais problemas é a falta de comunicação entre as diversas fases da operação. O operador responsável pelo abastecimento das linhas não tem conhecimento do estado da OT, o que pode levar a situações de ineficiência. Por exemplo, desperdiçando tempo valioso, deslocando-se até ao local do material e não tendo o material pronto para recolha, ou, pelo contrário e mais comum, fazê-lo tardiamente, resultando na acumulação de materiais no local e na desorganização do espaço.

Adicionalmente, as OTs permanecem visíveis no sistema do operador do empilhador trilateral, o que pode gerar incerteza quanto à sua execução, como o operador não se lembrar que já executou determinada ordem e dificultando assim a sua gestão de tarefas.

O histograma da Figura 32, revela que a maioria das OTs é encerrada em menos de 30 minutos. No entanto, existem diversas OTs com tempos superiores a uma hora, o que é incongruente com o tempo real necessário para executar a tarefa. Esta discrepância está, em grande parte, associada à prática comum de criação de OTs no início do turno, sendo a sua execução e encerramento adiado até que o material seja efetivamente necessário.

Importa ainda referir que não existem OTs com duração superior a 7 horas e 30 minutos. Este limite está relacionado com a duração do turno (8 horas), sendo prática comum que os operadores encerrem todas as ordens pendentes antes da mudança de turno. Por exemplo, no caso de três OTs com durações entre 7h00 e 7h30, verificou-se que foram criadas entre as 06h00 e as 06h30, e encerradas após as 13h00. É plausível assumir que o material foi solicitado por precaução, mas não foi imediatamente necessário, tendo sido reorganizado e recolocado noutra localização no final do turno para garantir a organização do espaço e o encerramento das ordens pendentes.

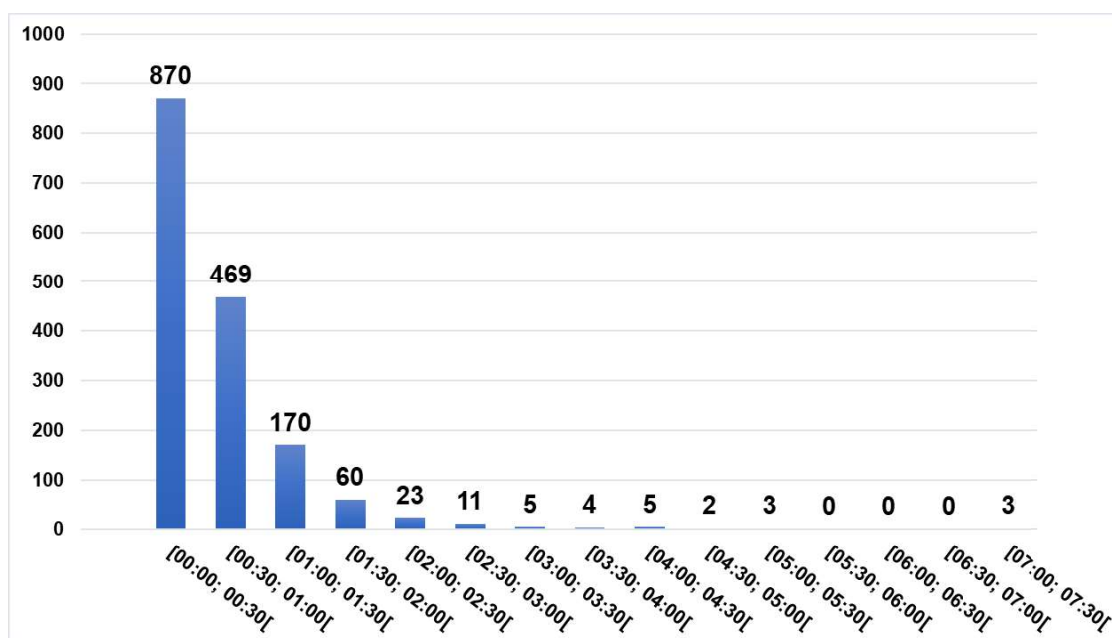


Figura 32. Histograma do tempo de processamento das OTs

6.5. Considerações Finais da Análise de Dados

A análise dos dados operacionais recolhidos durante os meses de novembro e dezembro de 2024 permitiu identificar de forma clara vários padrões de funcionamento e, sobretudo, ineficiências relevantes no processo de movimentação interna de materiais no armazém em estudo.

Verificou-se um volume elevado de movimentações diárias, com uma média superior a 220 OTs por dia útil, sendo que a maior parte das movimentações corresponde a operações de entrada. A distribuição semanal, por turno e por hora revelou picos de atividade descoordenados, muitas vezes relacionados com práticas empíricas e falta de priorização dos pedidos, o que contribui para acumulação de tarefas e desperdício de tempo.

A análise detalhada da duração das OTs expôs fragilidades no encerramento e controlo das ordens, consequência da ausência de comunicação direta entre operadores de empilhadores e

operadores da trilateral. O sistema atual permite que as OTs permaneçam abertas durante horas, mesmo após a movimentação física estar concluída, distorcendo os indicadores de desempenho e dificultando a gestão eficaz das tarefas.

Do ponto de vista da gestão de referências, verificou-se uma concentração significativa de movimentos num número reduzido de artigos, reforçando a importância de adotar estratégias de armazenagem baseadas na rotação e frequência. Esta evidência, associada à elevada diversidade de embalagens e à ausência de um sistema automático de alocação, explica também o número considerável de OTs entre estantes, movimentos esses que não acrescentam valor ao processo e contribuem para perdas de tempo mensuráveis.

Importa salientar que o período analisado poderá não refletir plenamente a operação anual típica, dado incluir épocas de menor atividade devido a férias e ajustamentos de produção. Assim, seria desejável, em análises futuras, ampliar o horizonte temporal de análise para diferentes meses do ano, reforçando a consistência e generalização das tendências identificadas.

Estes elementos, analisados em conjunto, sustentam a necessidade de considerar soluções de melhoria operacional. Uma das mais evidentes e a razão deste estudo, é a automatização da movimentação de materiais, nomeadamente através da substituição do empilhador trilateral manual por uma solução automática.

No entanto, outra opção de melhoria relevante passa pela otimização da integração entre o armazém e o sistema SAP. A criação, gestão e encerramento das OTs é atualmente feita de forma manual e sem comunicação entre intervenientes, o que origina erros, duplicações e atrasos. A implementação de regras de validação, fluxos automáticos de notificação e mecanismos de priorização inteligente poderá aumentar significativamente a eficiência sem necessidade imediata de investimento em automatização física.

No capítulo seguinte, será apresentada uma avaliação técnica e económica das diferentes alternativas de melhoria identificadas, com especial enfoque na viabilidade da automatização, através da análise de indicadores como Valor Atual Líquido (VAL) e o *Payback* do investimento, bem como a análise de possíveis melhorias no sistema de gestão logística.

7. Avaliação de Soluções e Análise de Viabilidade

7.1. Enquadramento

As escolhas das alternativas analisadas surgiram de origens distintas. A automação do armazém através de um sistema VNA automático, foi sugerida pela empresa com o intuito de avaliar a viabilidade de um investimento desta natureza. Por outro lado, a otimização da integração do sistema SAP, surgiu por iniciativa própria sustentada por uma análise inicial e apoiada pela literatura, pois percebeu-se desde cedo que o investimento numa solução de automação total poderia revelar-se demasiado elevado, pelo que se optou por estudar uma alternativa eficiente, mas com menor custo.

Na literatura podemos averiguar, que as soluções de automatização de armazéns, como os sistemas AS/RS e VNA, destacam-se pelos ganhos de eficiência, segurança e melhor aproveitamento do espaço (como mencionado no ponto 2.4.2.2). Em contrapartida os autores referenciados na literatura, também alertam para o elevado investimento inicial e a complexidade técnica que podem comprometer a sua viabilidade económica no curto prazo. Já a integração de sistemas ERP e WMS, como o SAP, surgem como alternativa de menor custo, mas com impacto direto na rastreabilidade da informação, na redução de tempos de espera e na organização dos fluxos de materiais como observado em 2.7. No caso desta empresa que já utiliza o sistema SAP, a alternativa estudada é uma otimização do sistema, com um algoritmo melhorado e notificações para os operadores.

Como se pode averiguar na análise de dados, esta revelou ineficiências relevantes, como as movimentações desnecessárias entre localizações (6.1.5), a falta de comunicação entre operadores (6.2.4.2) e elevada variedade de dimensões tanto das embalagens como das localizações (6.2.4.3). O que torna essencial um algoritmo que reduza estas ineficiências.

Apesar de as alternativas serem diferentes, ambas estão centradas no mesmo algoritmo de otimização, só diferem na execução. Num sistema VNA automático, a decisão é incorporada no equipamento e a operação decorre de forma automatizada, já na otimização do SAP, a decisão é sugerida ao operador, que mantém a execução manual, mas com apoio reforçado de prioridades, notificações e rastreabilidade. Importa ainda referir que a otimização do SAP nasceu da observação direta e da interação com os operadores durante o estudo de caso, sendo depois melhorada com recurso à literatura. Esta alternativa também pode ser vista como o primeiro passo, para futuramente automatizar o armazém, desta forma preparando uma mudança mais suave, lenta e com custos mais reduzidos.

7.2. Análise de Viabilidade da Automatização do Armazém

7.2.1. Descrição da Alternativa Analisada

A primeira alternativa analisada consiste na substituição da operação manual do empilhador trilateral por um sistema VNA automático. Para efeitos de precisão terminológica, clarifica-se que o “empilhador trilateral automático” referido internamente na empresa corresponde, na literatura técnica, a uma aplicação prática de um sistema VNA automático. Este sistema, para além de efetuar a recolha e colocação de paletes de forma autónoma, integra um algoritmo avançado de otimização de armazenagem. De acordo com práticas comuns em nestes sistemas, este tipo de algoritmo identifica, para cada artigo, a localização mais adequada, considerando dimensões da carga, rotação de stock e disponibilidade de espaço.

A implementação desta solução visa eliminar tempos de deslocação desnecessários, reduzir a manipulação redundante de cargas e aumentar a capacidade de resposta do armazém, garantindo uma maior eficiência e segurança operacional.

A integração com o sistema de gestão atual permitirá a transmissão automática de OTs, assegurando que as movimentações são executadas de uma forma sequencial e com prioridade ajustada às necessidades da produção e expedição.

7.2.2. Metodologia de Análise

A viabilidade económica foi avaliada segundo os métodos de análise de projetos de investimento descritos por Vieito (2021), selecionando-se três indicadores amplamente utilizados na avaliação de projetos industriais pela sua capacidade de medir atratividade económica e de risco:

- Valor Atual Líquido (VAL): Cálculo do valor presente dos fluxos de caixa líquidos futuros, descontados a uma taxa previamente definida, deduzindo o investimento inicial.
- Taxa Interna de Rentabilidade (TIR): Corresponde à taxa de desconto que iguala o valor presente dos fluxos de caixa futuros ao investimento inicial, ou seja, o valor que torna o VAL igual a zero.
- Período de Recuperação (*Payback*): Cálculo simples e descontado, permitindo determinar o tempo necessário para recuperar o investimento inicial através das poupanças geradas.

O investimento considerado corresponde ao custo de aquisição, instalação e posterior seguimento do sistema automatizado.

Os fluxos de caixa operacionais foram determinados com base nas poupanças anuais provenientes da eliminação de custos atualmente suportados pela empresa, nomeadamente, remuneração e encargos dos operadores, custos de seguros, custo médio anual de formação e custo de aluguer do empilhador trilateral manual. Não foram considerados custos relativos a horas extras, trabalho ao fim de semana, equipamentos de proteção, absentismo ou outros encargos pontuais.

A taxa de atualização utilizada foi de 5%, alinhando com o intervalo recomendado por Vieito (2021) para projetos industriais com risco baixo a moderado, refletindo o custo de oportunidade do capital e o risco específico do projeto.

7.2.3. Ajustes de Inflação

Todos os custos históricos foram ajustados a preços correntes. Para tal, recorreu-se a:

Tabela 3. Taxa de Inflação, dados do INE

Taxa de Inflação: (INE, 2025)	
2022	9,59%
2023	1,42%
2024	2,70%

Tabela 4. Projeção da Taxa de Inflação, dados do Banco de Portugal

Projeções da taxa de inflação: (BP, 2025)	
2025	2,10%
2026	2,00%
2027	2,00%

Para os anos posteriores, assumiu-se uma inflação estabilizada em 2% de acordo com as perspetivas macroeconómicas para a Zona Euro.

Este ajuste garante que os valores analisados refletem o poder de compra e o custo real ao longo do período de vida útil do projeto, assegurando maior rigor na estimativa dos fluxos de caixa futuros.

7.2.4. Custos Considerados

Para a determinação dos *cash flows*, foram contabilizadas as seguintes poupanças anuais:

- Remuneração e encargos dos operadores: Inclui salário base, subsídios, encargos sociais e complementos remuneratórios. Foi aplicada uma taxa média de atualização salarial anual, obtida por análise interna da empresa. Por motivos de confidencialidade, não é possível divulgar os valores.
- Custo do seguro de acidentes de trabalho: Calculado com base na taxa legal aplicada sobre a remuneração e complementos, conforme dados de Rôla (2025).
- Custo médio anual de formação por trabalhador: Valor médio de 394 euros em 2022, segundo dados do Gabinete de Estratégia e Planeamento (Patrício, 2023). Este custo foi multiplicado pelo número de operadores substituídos e ajustado pela inflação.
- Custo de aluguer do empilhador trilateral: Considerado o valor mensal de aluguer atualmente praticado, sem incluir custos adicionais.

Todos estes custos constituem poupanças recorrentes que, caso o investimento se concretize, deixarão de ser suportados pela empresa. Por esta razão, passam a integrar diretamente os fluxos de caixa anuais positivos do projeto.

7.2.5. Resultados da Análise e implicações

A aplicação dos métodos de avaliação descritos permitiu obter os seguintes resultados para o investimento na automatização do armazém:

Tabela 5. Comparação de Horizontes de 5 e 10 anos para VAL e TIR

Indicador	Horizonte de 5 anos	Horizonte de 10 anos
VAL	-417 442,84 €	-61 500,17 €
TIR	-16,62%	3,47%

Tabela 6. Payback

Indicador	Resultado
Payback Simples	7,53 anos
Payback Descontado	10,89 anos

No horizonte de 5 anos, o VAL apresenta-se negativo, evidenciando que, considerando o custo do investimento e as poupanças estimadas, o projeto não recupera o capital aplicado nem gera valor adicional nesse período. Já no horizonte de 10 anos, embora o VAL esteja mais próximo do zero, tal aproximação revela apenas uma melhoria marginal no desempenho económico, sem garantir uma criação de valor efetiva nem um retorno financeiro.

A TIR reforça esta conclusão, o valor negativo (-17%) no horizonte de 5 anos demonstra que a rentabilidade está muito abaixo do custo de capital. No horizonte de 10 anos, a TIR de 3% representa uma melhoria, mas permanece inferior à taxa de atualização adotada (5%), confirmando que o investimento, mesmo a longo prazo, não atinge o patamar mínimo de atratividade financeira exigido.

Relativamente ao *Payback*, o cálculo simples indica um período de recuperação de 7,53 anos, ou seja, cerca de 7 anos, 6 meses e 10 dias, para que as poupanças acumuladas igualem o investimento inicial, sem considerar o valor temporal do dinheiro. No entanto, para a avaliação de projetos de investimento, o *Payback* descontado é considerado mais adequado, pois incorpora o valor temporal do dinheiro, refletindo de forma mais realista o momento em que o investimento é efetivamente recuperado. Aplicando a taxa de atualização de 5%, o *Payback* aumenta para cerca de 10 anos e 11 meses, evidenciando não só o impacto da atualização monetária como também o longo intervalo necessário até se obter retorno financeiro.

7.2.6. Estudo de Caso: Automação de Armazém – IKEA Components

Um exemplo real da implementação de um sistema automatizado em um armazém é o caso da IKEA Components, na Eslováquia. A empresa modernizou um armazém convencional,

anteriormente operado por porta-paletes e empilhadores trilaterais manuais, através da instalação de 12 transelevadores trilaterais automáticos, transportadores de paletes e do software Easy WMS da Mecalux. O projeto foi desenvolvido em diversas fases, garantindo a continuidade das operações durante a transição, e incluiu a ligação direta da produção ao armazém por meio de AGVs e postos de inspeção automáticos (Mecalux, 2024).

Após a implementação, os resultados obtidos foram expressivos: o sistema passou a gerir automaticamente cerca de 90% das localizações das paletes, assegurando rastreabilidade em tempo real e atingindo um nível de serviço de 99% de pedidos entregues no prazo e completos (Mecalux, 2024).

Embora se trate de um setor distinto, este caso demonstra que a automação de armazéns melhora o fluxo de materiais, aumenta a fiabilidade e contribui para níveis elevados de serviço logístico (Mecalux, 2024).

7.2.7. Conclusão da Análise de Automatização

A automatização do armazém traria benefícios operacionais significativos, como a redução da dependência de mão de obra humana, a eliminação de problemas de assiduidade e a redução de riscos de erros e acidentes associados à operação manual de empilhadores. Um sistema automatizado mantém um funcionamento contínuo, garantindo maior eficiência, melhor organização e maior fiabilidade na gestão de referências, reduzindo drasticamente falhas no abastecimento e na expedição. Importa referir que muitos destes ganhos têm natureza qualitativa, como o aumento de segurança e a organização das operações, e não são facilmente quantificáveis em termos financeiros, embora contribuam para a eficiência operacional.

Como se pôde observar no estudo de caso apresentado no ponto 7.2.6, existem já exemplos reais que comprovam que a automação de armazéns conduz a melhorias claras no fluxo de materiais e na qualidade de serviço.

Contudo, estes benefícios enfrentam um obstáculo crítico, o elevado custo do investimento. Com um *Payback* descontado próximo de 11 anos, um VAL negativo e uma TIR inferior à taxa de atualização, a viabilidade económica do projeto é limitada, tornando a implementação pouco atrativa no contexto atual.

Do mesmo modo, a rápida evolução tecnológica, em especial no domínio da inteligência artificial, aumenta o risco de obsolescência prematura do equipamento. Num horizonte de 10 anos, é plausível que estejam disponíveis soluções mais avançadas, capazes de otimizar não apenas a localização de armazenagem através de algoritmos predefinidos, mas também implementar modelos preditivos que reorganizem autonomamente o armazém durante períodos de menor atividade, maximizando a eficiência operacional.

Assim, antes que esse retorno financeiro fosse alcançado, é provável que novas tecnologias superassem as capacidades do sistema proposto. Por esta razão, e tendo em conta as limitações económicas e o risco tecnológico, a análise prossegue com a avaliação de uma alternativa de menor custo e menor risco, mas ainda assim com potencial relevante para melhorar a eficiência do armazém, abordada no ponto seguinte.

Apesar de os indicadores financeiros atuais não justificarem a implementação imediata, é relevante reconhecer benefícios intangíveis associados ao sistema VNA automático que não se refletem diretamente no VAL, TIR ou *Payback*. Entre estes destacam-se a melhoria da segurança operacional (redução da exposição a riscos em altura e em corredores VNA, a diminuição de danos em materiais, estantes e equipamentos, a maior ergonomia e previsibilidade dos fluxos e a redução da variabilidade humana em tarefas críticas. Estes ganhos qualitativos reforçam o interesse estratégico da solução a longo prazo e devem ser monitorizados em futuras reavaliações.

7.3. Otimização da Integração com o Sistema SAP

7.3.1. Descrição da Alternativa Analisada

A segunda alternativa analisada incide sobre a melhoria da integração e parametrização do sistema SAP, com o objetivo de otimizar a comunicação entre operadores e reduzir tempos de espera de material nas zonas de carga e descarga. O princípio fundamental é a criação de localizações intermédias no sistema, que funcionarão como pontos de passagem obrigatórios para todo o material movimentado, permitindo registos mais rigorosos e um controlo operacional mais eficiente das operações. Todo o fluxo logístico será gerido segundo a política FIFO, esta regra já está integrada no algoritmo do SAP e não irá ser alterada. A lógica da atribuição automática de localizações para as OT's de entrada é a mesma referida na alternativa anterior, atuando aqui como suporte à decisão dos operadores.

Adicionalmente, propõe-se a implementação de um sistema de prioridades, onde o operador que cria a OT atribui um nível de urgência com base no tempo máximo disponível para execução:

- Prioridade Alta: Execução necessária em menos de 30 minutos.
- Prioridade Média: Execução necessária entre 30 minutos e 1 hora.
- Prioridade Baixa: Execução superior a 1 hora.

Esta estrutura de prioridades permitirá otimizar o fluxo de trabalho, garantindo que os recursos são direcionados primeiro para as tarefas mais críticas e evitando a sobrecarga da operação com pedidos não urgentes.

A Tabela 7 apresenta um exemplo de como a listagem de OTs será exibida no tablet do operador da trilateral após a implementação. Com a nova configuração, a interface será adaptada para destacar visualmente a prioridade de cada OT, substituindo a visualização da data por uma coluna específica da Prioridade, codificada por cores segundo um esquema tipo semáforo: vermelho para prioridade alta, amarelo para prioridade média e verde para prioridade baixa. A ordenação das OTs deixará de seguir a sequência numérica ou cronológica, passando a ser feita com base na prioridade atribuída.

O sistema ajustará automaticamente o nível de prioridade em função do tempo decorrido desde a criação da OT, por exemplo, uma OT inicialmente registada com prioridade média, passará a prioridade alta assim que restarem menos de 30 minutos para o seu tempo limite de execução. Esta funcionalidade garante que as tarefas mais críticas surgem sempre no topo da lista, permitindo que

o operador da trilateral organize a sua execução de forma eficiente e evitando atrasos no abastecimento e expedição.

Tabela 7. Exemplo da visualização das OTs após a implementação, no Tablet do Empilhador Trilateral.

CtdTeórDsc	Ubic. Pr	Nº OT	Material	Ubicac. Destino	Hora	Prioridade	Nº Operador
1500	206180	21433	Referência Z	Envio X	06:45:17	Alta	Operador 1
600	205712	21435	Referência B	Máquina X	06:58:49	Alta	Operador 2
900	203414	21436	Referência A	Envio Z	07:01:21	Alta	Operador 3
1350	207015	21434	Referência Y	Máquina Y	06:51:09	Média	Operador 2
100	204061	21432	Referência X	Máquina Z	06:40:26	Baixa	Operador 1

7.3.1.1. Funcionamento nas Saídas de Material

O processo proposto para saídas de material foi concebido para garantir maior rastreabilidade, otimizar a comunicação entre operadores e evitar a acumulação de material nas zonas de carga e descarga. Este novo fluxo implica a utilização de duas OTs sequenciais, permitindo registar e analisar separadamente cada etapa da operação. Sendo assim, o funcionamento fica da seguinte forma:

- 1. Criação da OT de recolha** – O operador de empilhador, quando necessita de material seja para abastecer a linha de produção ou para expedição, cria uma OT, atribuindo-lhe a prioridade de acordo com a urgência.
- 2. Receção da OT na trilateral** – A OT é enviada automaticamente para o tablet do operador da trilateral, indicando o material solicitado e a localização de origem.
- 3. Recolha do Material** – O operador da trilateral desloca-se até à localização indicada e retira o contentor ou palete da referência correspondente.
- 4. Colocação em localização intermédia** – O material é colocado numa localização intermédia predefinida.
- 5. Fecho da OT de recolha** – O operador da trilateral encerra a OT quando conclui a colocação na localização intermédia.
- 6. Notificação automática ao solicitante** – O SAP envia automaticamente ao operador que criou a OT uma notificação indicando que o material está pronto para recolha, bem como a localização intermédia onde se encontra.
- 7. Criação automática da OT de entrega** – Simultaneamente, o sistema cria uma OT no SAP para a entrega do material ao destino final (linha de produção ou expedição), visível no tablet do operador do empilhador.
- 8. Entrega do material** – O operador do empilhador recolhe o material da localização intermédia e transporta-o até ao destino final indicado.
- 9. Fecho da OT de entrega** – Após a colocação no destino final, o operador encerra a OT no SAP, concluindo o processo.

Esta estrutura em duas OTs consecutivas permite medir com precisão os tempos parciais de cada fase (do pedido à colocação intermédia e da colocação intermédia à entrega final), criando as condições para análises detalhadas de eficiência. Além disso, previne a desorganização das áreas de carga e descarga identificada no ponto 6.2.4.2, assegurando que o material não permanece em espera por longos períodos sem registo ou controlo.

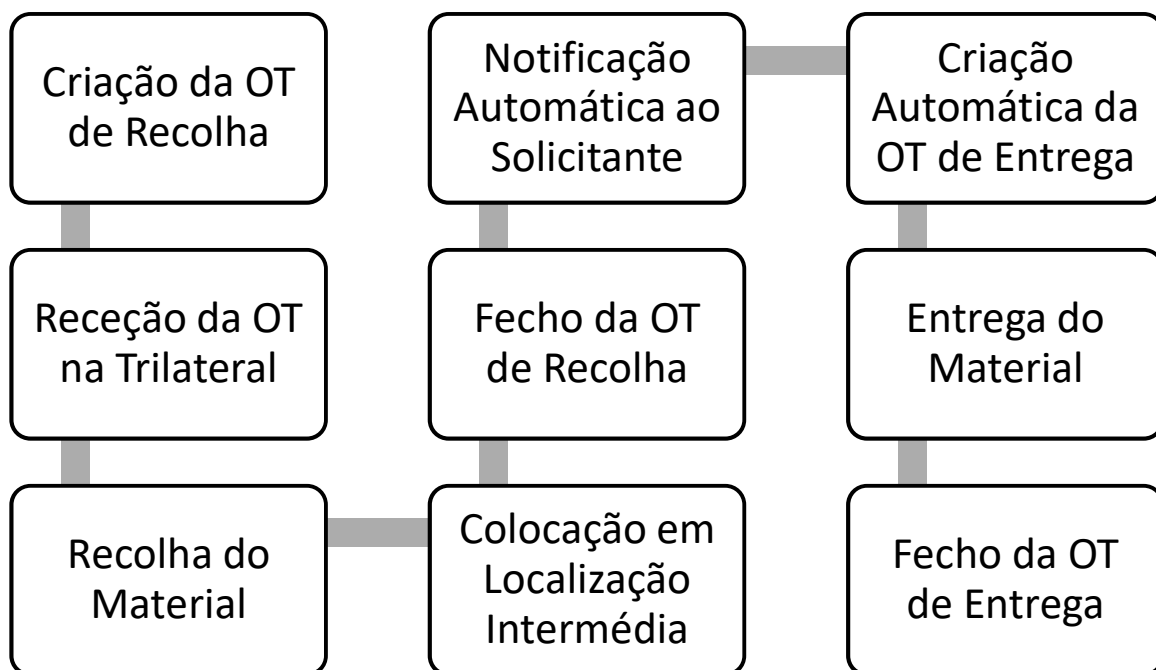


Figura 33. Diagrama de processo de saídas de material do armazém

7.3.1.2. Funcionamento nas Entradas de Material

O processo proposto para entradas de material visa garantir o registo rigoroso de todo o fluxo, desde a sua origem até à armazenagem final, assegurando rastreabilidade e organização. As entradas podem corresponder a matéria-prima recebida do exterior ou produto (final ou intermédio) proveniente da linha de produção, destinado a stock para posterior expedição ou uso.

Um dos objetivos centrais desta alternativa é permitir que o SAP, com recurso a um algoritmo de otimização, identifique automaticamente a localização mais adequada para guardar cada contentor ou palete. Este processo tem como finalidade reduzir movimentações desnecessárias e evitar o problema de excessos de movimentos entre localizações identificado no ponto 6.1.5.

O funcionamento proposto é o seguinte:

1. **Receção do material** – O operador de empilhador recebe o material, podendo este ter origem num camião ou na própria linha de produção.
2. **Colocação em localização intermédia** – O material é colocado diretamente numa localização intermédia definida no sistema.
3. **Criação da OT de entrada** – O Operador de empilhador regista no SAP a colocação do material e cria uma OT de entrada.
4. **Receção da OT na trilateral** – A OT de entrada é enviada para o tablet da trilateral, surgindo de forma idêntica a uma OT de saída, mas com a localização final indicada automaticamente pelo algoritmo do SAP.
5. **Armazenagem na localização final** – O operador da trilateral recolhe o material da localização intermédia e arruma-o na localização final indicada.
6. **Fecho manual da OT** – Após a arrumação, o operador da trilateral encerra a OT no sistema, finalizando o processo.

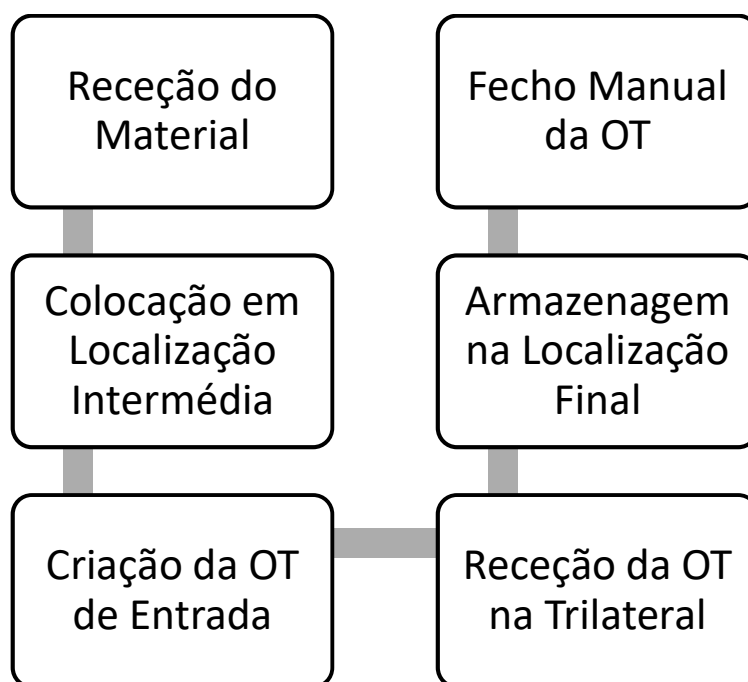


Figura 34. Diagrama de processo de entradas no armazém

7.3.2. Problemas Detetados na Análise que Seriam Melhorados

A análise realizada nos pontos anteriores permitiu identificar três problemas principais, cuja mitigação ou eliminação poderá ser alcançada com a implementação desta alterativa:

➤ **Movimentações excessivas de material entre localizações:**

Conforme referido no ponto 6.1.5, foram identificados movimentos desnecessários de material entre diferentes localizações, resultando em desperdício de tempo e esforço operacional.

No processo atual, a ausência de um mecanismo que indique automaticamente a localização de destino para a entrada de material leva a arrumações provisórias, seguidas de realocações subsequentes. Com a alternativa proposta, o algoritmo de otimização do SAP indicará automaticamente a localização final mais adequada no momento de criação da OT, reduzindo movimentações adicionais e garantindo maior eficiência.

➤ **Pedidos de material antecipados e desorganização das áreas:**

No ponto 6.2.4.2. verificou-se a tendência de os operadores solicitarem, logo no início do turno, todo o material que preveem necessitar ao longo do dia. Esta prática resulta da incerteza sobre o momento em que o operador da trilateral irá disponibilizar o material solicitado. Consequentemente, o material permanece por longos períodos nas zonas de carga e descarga, ocupando espaço e dificultando a gestão de outras saídas.

A nova abordagem, baseada na divisão do processo em duas OTs sequenciais, acompanhada de notificações automáticas e sistema de prioridades, permitirá que os operadores solicitem o material apenas quando este for realmente necessário, evitando congestionamento e assegurando maior organização.

➤ **Falta de registo e otimização na armazenagem de material:**

Conforme identificado no ponto 6.2.4.3, a entrada de material no armazém, seja matéria-prima, produto intermédio ou produto final, nem sempre é registada de forma imediata no SAP. No processo atual, o operador da trilateral apenas arruma o material quando o deteta visualmente, criando e fechando a OT no momento dessa arrumação. Este método não permite avaliar corretamente a eficiência dos operadores nem assegurar a escolha mais adequada para a localização de armazenagem.

A alternativa proposta prevê que o registo no SAP e a criação da OT de entrada sejam realizados imediatamente pelo operador de empilhador, com a localização final atribuída automaticamente pelo algoritmo do SAP, permitindo maior organização, rastreabilidade e eficiência.

7.3.3. Benefícios Esperados

A implementação da alternativa proposta permitirá alcançar melhorias significativas na eficiência operacional e na organização do armazém, refletindo-se nos seguintes aspetos:

- Redução de tempos de espera e eliminação de acumulação de material nas zonas de carga e descarga intermédias, assegurando maior fluidez no fluxo de materiais. A divisão das operações em duas OTs sequenciais possibilita um acompanhamento rigoroso de cada fase e evita a sobrecarga de áreas críticas.
- Aumento da rastreabilidade e fiabilidade dos registos no sistema SAP, permitindo medir com precisão os intervalos entre criação, execução e fecho das OTs. Este acompanhamento detalhado viabiliza análises de desempenho e estudos de eficiência mais completos.
- Melhoria da comunicação operacional entre operadores, através da utilização de notificações automáticas, que reduzem a necessidade de contacto verbal ou deslocações para troca de informação, contribuindo para a agilidade e segurança nas operações.
- Apoio à tomada de decisão baseada em dados, ao disponibilizar indicadores mais consistentes para a identificação de gargalos, otimização de recursos e definição de prioridades operacionais, potenciando a melhoria contínua.
- Otimização da gestão de localizações de armazenagem, com o suporte de um algoritmo de otimização no SAP que indica a localização final mais adequada no momento da criação da OT, reduzindo deslocações desnecessárias e assegurando uma disposição mais estratégica dos materiais.
- Melhor aproveitamento dos recursos humanos e físicos, ao permitir a distribuição equilibrada das tarefas ao longo dos turnos e ao evitar a concentração excessiva de pedidos no início das jornadas de trabalho.

7.3.4. Implementação Técnica

A concretização desta solução requer uma intervenção técnica e organizacional estruturada, assegurando que todos os elementos funcionais são corretamente integrados e operacionais.

Em primeiro lugar, será necessária a contratação de uma empresa de consultoria especializada em SAP, responsável pela programação, personalização e parametrização do sistema. Esta intervenção deverá garantir que as novas funcionalidades, incluindo a gestão de duas OTs sequenciais, o sistema de prioridades e o algoritmo de otimização para atribuição de localizações, correspondem aos requisitos operacionais definidos.

Seguidamente, será efetuada a reconfiguração do sistema SAP para permitir a criação e gestão de localizações intermédias específicas para processos de entrada e saída. Esta alteração possibilitará a monitorização detalhada de cada movimentação e o encaminhamento eficiente do material para o destino mais adequado, reduzindo movimentações redundantes.

Paralelamente, será necessário o desenvolvimento e integração de um sistema de notificações em tempo real, compatível com os dispositivos móveis já utilizados pelos operadores. Esta funcionalidade assegurará a comunicação imediata entre os intervenientes, informando, por exemplo, quando um material se encontra pronto para recolha na localização intermédia ou quando uma nova OT é atribuída.

Por fim, será imprescindível implementar um programa de formação direcionado para todos os operadores envolvidos. Esta formação permitirá que a equipa compreenda e aplique corretamente as novas funcionalidades do sistema, garantindo a adaptação aos novos fluxos de trabalho, a minimização do período de transição e a maximização da eficiência operacional desde a fase inicial de utilização. Deve ainda ser colocada especial ênfase à utilização adequada do sistema de prioridades, alertando os operadores para a importância de atribuir o nível de urgência de forma criteriosa e justificada. A utilização indiscriminada da prioridade “Alta” poderá comprometer a eficácia do processo e reduzir a capacidade do sistema em distinguir as tarefas realmente urgentes.

7.3.5. Considerações de Viabilidade

A natureza desta solução, centrada na melhoria dos fluxos de trabalho, na comunicação entre operadores e na fiabilidade da informação, não gera poupanças financeiras diretas que permitam suportar uma análise económico-financeira tradicional com base em indicadores como o VAL ou o *Payback*.

Os benefícios obtidos serão predominantemente qualitativos e operacionais, traduzindo-se em:

- Melhoria da eficiência dos processos logísticos internos, através da divisão das operações em duas OTs sequenciais, reduzindo tempos mortos e reorganizando a distribuição das tarefas ao longo do turno.
- Aumento da qualidade e rastreabilidade da informação, graças ao registo imediato das operações no SAP, à atribuição automática de localizações pelo algoritmo de otimização e à possibilidade de medir com precisão os tempos parciais de cada fase.

- Maior capacidade de resposta e organização do armazém, reduzindo congestionamentos e acumulação de material das zonas intermédias, especialmente pela utilização correta do sistema de prioridades,
- Diminuição de erros operacionais e otimização do espaço disponível, assegurando que os materiais são colocados estrategicamente para minimizar deslocações desnecessárias.

Embora não quantificável de forma direta, este impacto pode refletir-se indiretamente na produtividade global da operação e, consequentemente, no desempenho económico da empresa.

Quando comparada com a alternativa de automatização total do armazém, esta proposta apresenta menor risco de implementação, custos iniciais substancialmente mais reduzidos e um prazo de execução mais curto, podendo ser implementada sem alterações estruturais significativas nas infraestruturas físicas ou tecnológicas existentes.

Neste sentido, a viabilidade da proposta deve ser analisada não pelo retorno financeiro imediato, mas sim pelo seu contributo para a eficiência operacional, a qualidade da informação e a melhoria contínua dos processos.

7.3.6. Exemplos de Melhoria com SAP

Existem diversos exemplos que demonstram que a implementação do sistema SAP e dos seus módulos logísticos, melhoram significativamente a eficiência, reduz erros e melhora a rastreabilidade dos produtos nas organizações.

Um dos exemplos analisados foi o caso da *York International*, onde foram detetadas ineficiências como o armazém em estudo, nomeadamente atrasos na entrada de materiais. No caso desta empresa, foi integrado o SAP com o módulo de WMS com apoio de PDT de forma a substituir os registos manuais por processos digitais e automáticos (Peak Technologies, 2025).

Com esta melhoria, o inventário passou a ser atualizado em tempo real, o que resultou em uma redução do tempo de processamento das entradas de um dia para cerca de uma hora. O sistema também passou a validar automaticamente os movimentos e quantidades, de forma que se ocorresse um erro, o operador seria notificado (Peak Technologies, 2025).

Esta transformação resultou em redução dos custos de mão de obra, eliminação de erros de inventário e melhoria de 30 a 40% na produtividade global do armazém.

Quando comparado este exemplo, com o projeto atual, podemos ver que um melhor controlo nas OTs de entrada e nas OTs de saída (estas com notificações), apresenta a possibilidade de melhorar a eficiência das operações.

7.4. Considerações Finais sobre as Soluções Avaliadas

Tabela 8. Comparação das soluções avaliadas

Critério	Automatização do Armazém	Otimização do Sistema SAP
Investimento Inicial	Elevado	Reduzido
Complexidade de Implementação	Alta	Moderada
Benefícios Operacionais	Muito Elevados	Elevados
Indicadores Financeiros (VAL e TIR)	Desfavoráveis	Não Aplicável*
Prazo de <i>Payback</i>	Longo (> 10 anos)	Não Aplicável*
Impacto na Organização do Fluxo	Muito Elevado	Elevado
Melhoria da Fiabilidade dos Dados	Muito Elevada	Muito Elevada
*Não Aplicável por não gerar poupanças financeiras diretas mensuráveis.		

A análise desenvolvida sustentada nos dados e observações obtidos no capítulo 6, permitiu avaliar duas abordagens distintas para a melhoria do armazém: a automatização total da operação e a otimização da integração do sistema SAP.

A solução de automatização apresenta benefícios operacionais muito elevados, nomeadamente na eliminação de movimentações manuais e na maximização da velocidade de operação. Contudo, implica um investimento inicial elevado, indicadores económico-financeiros desfavoráveis e um risco acrescido de obsolescência tecnológica num horizonte temporal prolongado, o que compromete a sua viabilidade económica no contexto atual.

Por outro lado, a otimização da integração com o sistema SAP apresenta-se como uma alternativa de custo inicial reduzido e complexidade moderada, centrada na melhoria da comunicação entre operadores, na implementação de duas OTs sequenciais, no sistema de prioridades e na atribuição automática de localizações através de algoritmo de otimização. Apesar de não gerar poupanças financeiras diretas que permitam aplicar indicadores como VAL ou o *Payback*, o impacto desta solução na organização do fluxo de trabalho, na redução de desperdícios e na melhoria da fiabilidade dos dados é elevado, criando condições para ganhos indiretos a médio e longo prazo.

Face aos resultados obtidos, conclui-se que, no contexto atual, a implementação da otimização do sistema SAP apresenta-se como a solução mais viável e adequada para responder aos desafios identificados. Para além de proporcionar melhorias relevantes na eficiência e no controlo do processo, esta abordagem constitui uma base sólida para evoluções futuras, podendo, no médio prazo, facilitar uma transição gradual para níveis mais elevados de automação, sem incorrer no elevado esforço financeiro e risco associados a uma implementação imediata.

Para além da comparação direta entre alternativas, importa salientar que a otimização do SAP deve ser entendida como um primeiro passo estratégico para uma eventual adoção futura de um sistema automático. Ao introduzir localizações intermédias e prioridades operacionais a organização passa a dispor de dados de melhor qualidade, rastreáveis e granulares. Esta base informacional

robusta simplifica estudos de capacidade e calibração de algoritmos de armazenagem reduzindo riscos de integração e acelerando a aprendizagem quando a automatização física se tornar economicamente mais acessível.

Assim, as análises realizadas estabelecem uma base sólida para a decisão estratégica a adotar, servindo de suporte às conclusões gerais e recomendações que serão apresentadas no capítulo seguinte.

8. Conclusões

O presente projeto, desenvolvido no âmbito do Mestrado em Logística, teve como objetivo principal avaliar e propor melhorias operacionais num armazém do setor automóvel, com base em dados reais e na identificação de ineficiências nos processos atuais. Procurou-se, dessa forma, responder ao problema central do estudo: identificar, comparar e fundamentar alternativas que permitam aumentar a eficiência, reduzir desperdícios e melhorar a fiabilidade da informação utilizada na gestão do armazém.

Para atingir esses objetivos, foram estudadas duas soluções distintas: a automatização total da operação, através da substituição do empilhador trilateral manual por um sistema automatizado, e a otimização da integração com o sistema SAP atualmente em uso. Com esta abordagem, o projeto conseguiu cumprir os objetivos propostos, oferecendo respostas concretas ao problema inicial e orientando a tomada de decisão da empresa com base em evidências quantitativas e qualitativas.

A análise comparativa das alternativas revelou conclusões importantes. A primeira alternativa, de automatização total, revelou benefícios operacionais significativos, demonstrados pela literatura estudada, contudo, apresentou indicadores económico-financeiros desfavoráveis. Em particular, obteve-se um VAL negativo, uma TIR abaixo do custo de capital da empresa e um *Payback* superior a dez anos, o que indica um investimento pouco atrativo. Por sua vez, a segunda alternativa, centrada na otimização do sistema SAP, não cria poupanças financeiras diretas quantificáveis pelos métodos tradicionais de avaliação de investimento, mas destaca-se pelo baixo custo de implementação e no impacto no fluxo de trabalho.

Adicionalmente, o estudo evidenciou uma lacuna operacional crítica nos processos atuais, sendo ela a falta de coordenação na gestão das OTs de saída (conforme descrito no ponto 6.2.4.2). Esta falha de sincronização resultava frequentemente em materiais parados em zonas intermédias do armazém, o que por vezes levava a atrasos de materiais, zonas desarrumadas e aumento de erros por parte do operador, devido a não existir um mecanismo de priorização das tarefas, nem comunicação digital entre operadores. A alternativa de otimização do SAP proposta neste trabalho aborda diretamente esse problema, introduzindo uma coordenação em tempo real entre os operadores e o sistema de gestão, implementando um sistema de prioridades na gestão das ordens de transporte. Dessa forma, agilizam-se as operações de saída de material e reduzem-se desperdícios, melhorando a fluidez do processo logístico interno. Importa realçar que esta melhoria, não só aumenta a eficiência imediata dos processos do armazém, como também serve de preparação para uma eventual automatização total no futuro, pois estabiliza os processos e assegura dados mais fidedignos.

Do ponto de vista científico, este estudo de caso enriquece a literatura em logística interna ao demonstrar a aplicação integrada de ferramentas de análise de processos operacionais e de avaliação financeira num ambiente real. A abordagem multidisciplinar adotada, oferece uma perspetiva abrangente sobre a tomada de decisões em investimentos operacionais, constituindo uma referência para estudos futuros neste domínio.

Do ponto de vista da empresa, os resultados fornecem uma base objetiva e estruturada para decisões estratégicas informadas, e as metodologias empregues poderão ser adaptadas por

profissionais de logística em organizações com desafios semelhantes. Além disso, ao identificar pontos críticos de ineficiência e ao apresentar soluções concretas para esses problemas, este projeto abre caminho para futuras investigações.

Apesar dos resultados obtidos, o trabalho enfrentou alguns constrangimentos, nomeadamente a necessidade de proteger informações confidenciais, esta impôs limitações na apresentação de certos dados, o que obrigou ao uso de valores relativos e de estimativas fundamentadas, sem, contudo, comprometer a integridade da análise. Adicionalmente, a estrutura de registo de dados no sistema SAP não se encontrava orientada para uma análise direta, exigindo um esforço em filtrar e tratar manualmente os dados brutos antes da obtenção de análises fiáveis. Um aspeto relevante prende-se ainda com o horizonte temporal reduzido da base de dados analisada, limitada a dois meses (novembro e dezembro de 2024), sendo que em dezembro existiu um período de férias na organização, por este motivo só foram utilizados 35 dias para análise, período que apesar de ser possível determinar certos padrões e algumas ineficiências, pode não refletir a variabilidade anual das operações do armazém. Por este motivo, a generalização dos resultados deve ser realizada com prudência.

Estas limitações não invalidam o trabalho desenvolvido, mas enquadram as conclusões no contexto específico do estudo, reforçando a importância de interpretações cautelosas. Nesse sentido, a inclusão de um intervalo de dados mais alargado, por exemplo, um ou dois anos completos, apresenta-se como um passo desejável para futuras análises, pois aumentaria significativamente a validade externa do estudo e permitiria verificar se os comportamentos observados se mantêm ao longo de diferentes ciclos operacionais.

Uma recomendação para investigações futuras, tanto no contexto da empresa analisada como no meio académico, recomenda-se a replicação deste tipo de estudo noutros contextos industriais e logísticos, sendo desta forma possível a comparação de resultados e avaliação das conclusões obtidas. Adicionalmente, uma eventual implementação da otimização do SAP proposta neste trabalho, é recomendável que seja acompanhada de perto, quantificando dessa forma os ganhos operacionais efetivos e possíveis novas oportunidades de melhoria. Além disso, futuras pesquisas poderiam concentrar-se na utilização de sistemas de gestão de armazém mais inteligentes, explorando o avanço da inteligência artificial e a sua utilização, de forma a facilitar os processos existentes e elevar o patamar de eficiência logística.

A nível pessoal, a execução deste projeto representou uma experiência enriquecedora. Ao longo deste trabalho, tive a oportunidade de aplicar, de forma integrada, os conhecimentos adquiridos na licenciatura em Organização e Gestão Empresariais, nomeadamente na área de avaliação de projetos, em conjunto com as competências desenvolvidas no mestrado em Logística. Esta combinação permitiu transformar conhecimento teórico em prática aplicada a um contexto real do setor automóvel, fortalecendo a minha capacidade de análise crítica. Mais que um requisito académico, este projeto constituiu uma etapa marcante de crescimento pessoal e profissional, reforçando a minha convicção que a melhoria contínua é um elemento fundamental para uma organização ser eficiente.

9. Referências

- Alves, A. C., Ferreira, A. C., Maia, L. C., Leão, C. P., & Carneiro, P. (2019). A symbiotic relationship between Lean Production and Ergonomics: Insights from Industrial Engineering final year projects. *International Journal of Industrial Engineering and Management*, 10(4). <https://doi.org/10.24867/IJIEM-2019-4-244>
- Bartholdi, J. J., & Hackman, S. T. (2019). *Warehouse & Distribution Science*. www.warehouse-science.com
- Bharath Sankar, S., & Mathirajan, M. (2023). *A Pareto Analysis of Critical Success Factors of Lean Production System*.
- BP. (2025, Junho 6). *Projeções Económicas*. Banco de Portugal. <https://www.bportugal.pt/page/projecoes-economicas>
- Certainty. (2022). *Tier 1, 2, and 3 Suppliers: What They Are and Why They Matter for Your Supply Chain*. Certainty. <https://www.certaintysoftware.com/what-are-tier-1-tier-2-and-tier-3-suppliers/>
- Christopher, M. (2016). *Logistics And Supply Chain Management Preview*. Pearson Education Limited.
- Constante Moya, P. H. (2021). *Innovative automated storage and retrieval systems: literature review and future research agenda*.
- Da Silva Vasconcelos, J. A. (2021). *APLICAÇÃO DE FERRAMENTAS LEAN NUM ARMAZÉM* [Instituto Superior de Engenharia do Porto]. <https://recipp.ipp.pt/entities/publication/9cf8754c-e00a-4f2f-8def-6e944f12cfbd>
- de Carvalho, J. M. C., & Cardoso, E. G. (2002). *Logística e Gestão da Cadeia de Abastecimento*. Sílabo.
- Gutierrez-Gutierrez, L., de Leeuw, S., & Dubbers, R. (2016). Logistics services and Lean Six Sigma implementation: a case study. *International Journal of Lean Six Sigma*, 7(3), 324–342. <https://doi.org/10.1108/IJLSS-05-2015-0019>
- Hofmann, E., & Rüsch, M. (2017). Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. *Computers in Industry*, 89, 23–34. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2017.04.002>
- INE. (2025). *Índice de preços no consumidor*. Instituto Nacional de Estatística. https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_indicadores&indOcorrCod=0014177&contexto=bd&selTab=tab2
- Jungheinrich. (2014). *Manual técnico da empilhadora EKX 513/515k/515*. <https://forkliftschristchurch.co.nz/wp-content/uploads/2018/07/Jungheinrich-EKX-513-515k-515-Data-Sheet.pdf>
- Jungheinrich. (2025). *Armazenamento automatizado para corredores estreitos (VNA)*. Jungheinrich. <https://www.jungheinrich.com.br/automation/rob%C3%B4s-m%C3%B3veis/armazenamento-automatizado-para-corredores-estreitos-vna>
- Körber. (2024). *Keeping thousands of supply chains around the world moving*. Körber. <https://www.koerber.com/en/supply-chain>

- Martínez-Jurado, P. J., & Moyano-Fuentes, J. (2014). Lean management, supply chain management and sustainability: A literature review. *Journal of Cleaner Production*, 85, 134–150. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.09.042>
- Mecalux. (2021a, Janeiro 28). *Intralogistics: what is it? Process optimisation trends in internal logistics*. Mecalux. <https://www.mecalux.com/blog/intralogistics-definition>
- Mecalux. (2021b, Maio 5). *Intralogistics: a competitive advantage*. Mecalux. <https://www.mecalux.com/blog/intralogistics>
- Mecalux. (2024). *How to automate a warehouse without disrupting operations*. <https://www.mecalux.com/case-studies/ikea-components-slovakia-automation>
- Mecalux. (2025). *Robô de Picking*. Mecalux. <https://www.mecalux.pt/armazens-automaticos/robo-de-picking>
- Mehami, J., Nawi, M., & Zhong, R. Y. (2018). *Smart automated guided vehicles for manufacturing in the context of Industry 4.0*. 26, 1077–1086. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.07.144>
- Mena, C., Humphries, A., & Choi, T. Y. (2013). Toward a theory of multi-tier supply chain management. *Journal of Supply Chain Management*, 49(2), 58–77. <https://doi.org/10.1111/jscm.12003>
- Patel, A. S., & Patel, K. M. (2021). Prioritization of Lean Six Sigma Success Factors using Pareto Analysis. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1070(1), 012133. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1070/1/012133>
- Patrício, I. (2023). *Há mais empresas a dar formação contínua aos trabalhadores*. ECO. <https://eco.sapo.pt/2023/12/29/ha-mais-empresas-a-dar-formacao-continua-aos-trabalhadores/>
- Peak Technologies. (2025). *YORK INTERNATIONAL CASE STUDY*. <https://www.peaktech.com/case-studies/york-international-paperless-inventory-movements-provide-real-time-visibility/>
- Pereira, M. (2013). *Eficiência logística e os seus impactos financeiros: uma análise ao tecido empresarial português*. Instituto Politécnico do Cávado e do Ave.
- Rodrigues, M. (2012). *SISTEMAS DE INFORMAÇÃO PARA A LOGÍSTICA: ANÁLISE E SELEÇÃO* [Instituto Politécnico de Coimbra]. <https://comum.rcaap.pt/entities/publication/97562889-6f0d-4118-a0d6-e78062d073b4>
- Rôla, V. (2025). *Cálculo do custo do trabalhador para uma empresa [passo a passo + calculadora]*. Factorial. <https://factorialhr.pt/blog/custo-trabalhador-empresa/#acidentes-de-trabalho>
- Roodbergen, K. J., & Vis, I. F. A. (2009). A survey of literature on automated storage and retrieval systems. *European Journal of Operational Research*, 194(2), 343–362. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.01.038>
- Rossi, A. H. G., Marcondes, G. B., Pontes, J., Leitão, P., Treinta, F. T., De Resende, L. M. M., Mosconi, E., & Yoshino, R. T. (2022). Lean Tools in the Context of Industry 4.0: Literature Review, Implementation and Trends. Em *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 14, Número 19). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su141912295>

- Rushton, Alan., Croucher, Phil., & Baker, Peter. (2010). *The handbook of logistics & distribution management*. Kogan Page.
- Sodiya, E. O., Amoo, O. O., & Atadoga, A. (2024). AI-driven warehouse automation: A comprehensive review of systems. *GSC Advanced Research and Reviews*. <https://gsconlinepress.com/journals/gscarr/content/ai-driven-warehouse-automation-comprehensive-review-systems>
- SSI SCHAEFER. (2025a). *O que é um sistema automatizado de armazenamento (ASRS)?* SSI SCHAEFER. <https://www.ssi-schaefer.com/pt-pt/solucoes/por-estrategia-intralogistica/automacao-de-armazem/asrs>
- SSI SCHAEFER. (2025b). *Veículos Guiados Automaticamente (AGV)*. SSI SCHAEFER. <https://www.ssi-schaefer.com/pt-pt/produtos/transporte/veiculos-automaticamente-guiados>
- Thoben, K. D., Wiesner, S. A., & Wuest, T. (2017). "Industrie 4.0" and smart manufacturing-a review of research issues and application examples. Em *International Journal of Automation Technology* (Vol. 11, Número 1, pp. 4–16). Fuji Technology Press. <https://doi.org/10.20965/ijat.2017.p0004>
- Tien, N. H., Anh, D. B. H., & Thuc, T. D. (2019). *Global supply chain and logistics management*. Academic Publications, Dehli.
- Torres, D. (2012). *Logística Interna rotas sincronizadas* [Universidade de Aveiro]. <https://ria.ua.pt/handle/10773/9906>
- Vasili, M. R., Tang, S. H., & Vasili, M. (2012). Automated storage and retrieval systems: A review on travel time models and control policies. Em *Warehousing in the Global Supply Chain* (pp. 159–209). Springer-Verlag London Limited. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-2274-6_8
- Vieito, J. P. (2021). *Análise de Projetos de Investimento*. Escolar Editora.
- Vitasek, K. (2013). *Supply Chain Management Terms and Glossary*. https://cscmp.org/CSCMP/Educate/SCM_Definitions_and_Glossary_of_Terms.aspx
- Yin, R. K. (2009). *Case Study Research - Design and Methods* (4o Edição). SAGE Publications, Inc.

Anexos

Representação Tridimensional do Armazém

As imagens seguintes representam o armazém modelado em 3D no SketchUp, com base nas dimensões reais do espaço. A modelação foi desenvolvida para exemplificar visualmente a disposição e o funcionamento do armazém, uma vez que, por motivos de confidencialidade, não foi possível utilizar a planta original da empresa.

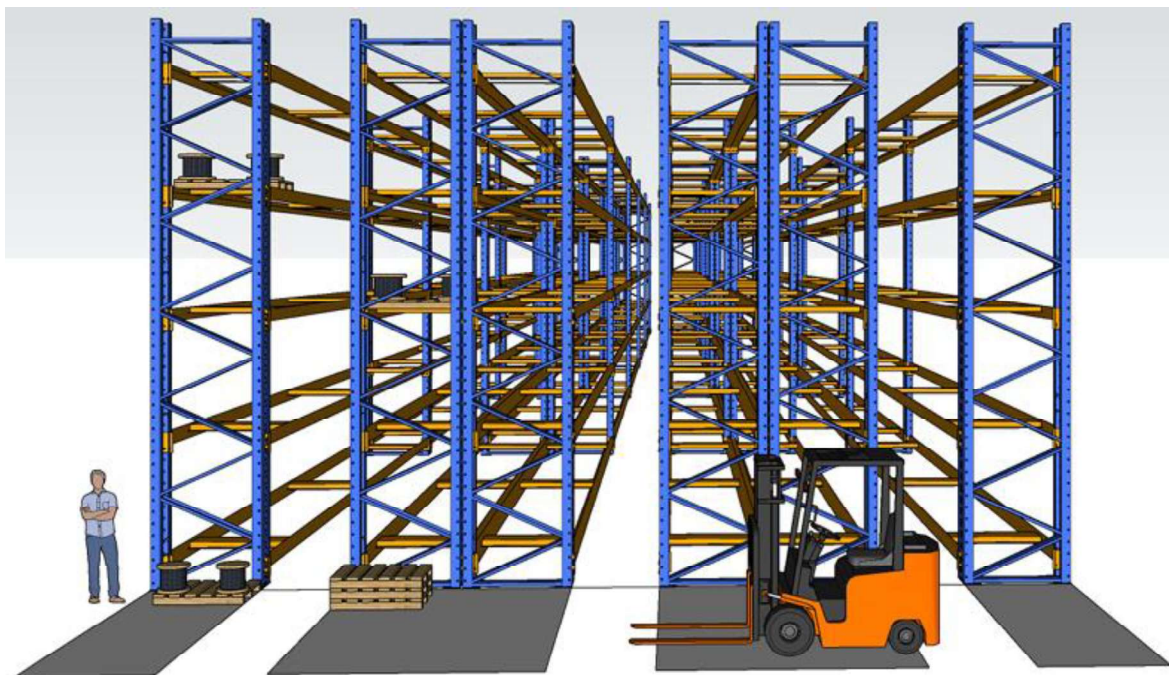


Figura 35. Vista frontal elevada do armazém

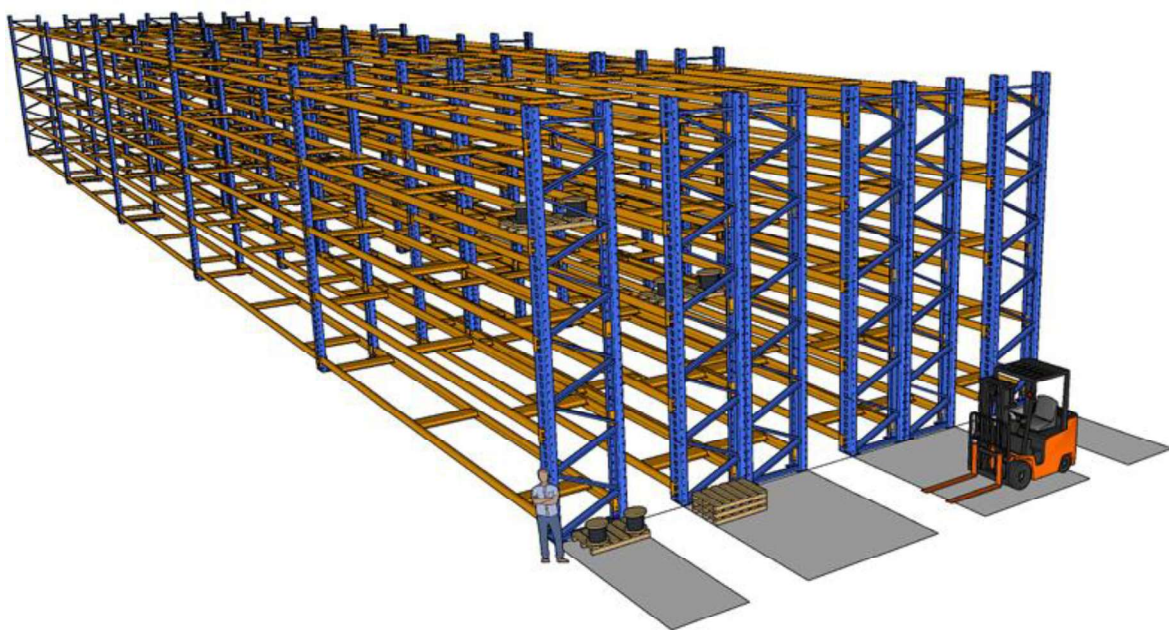


Figura 36. Perspetiva isométrica do armazém

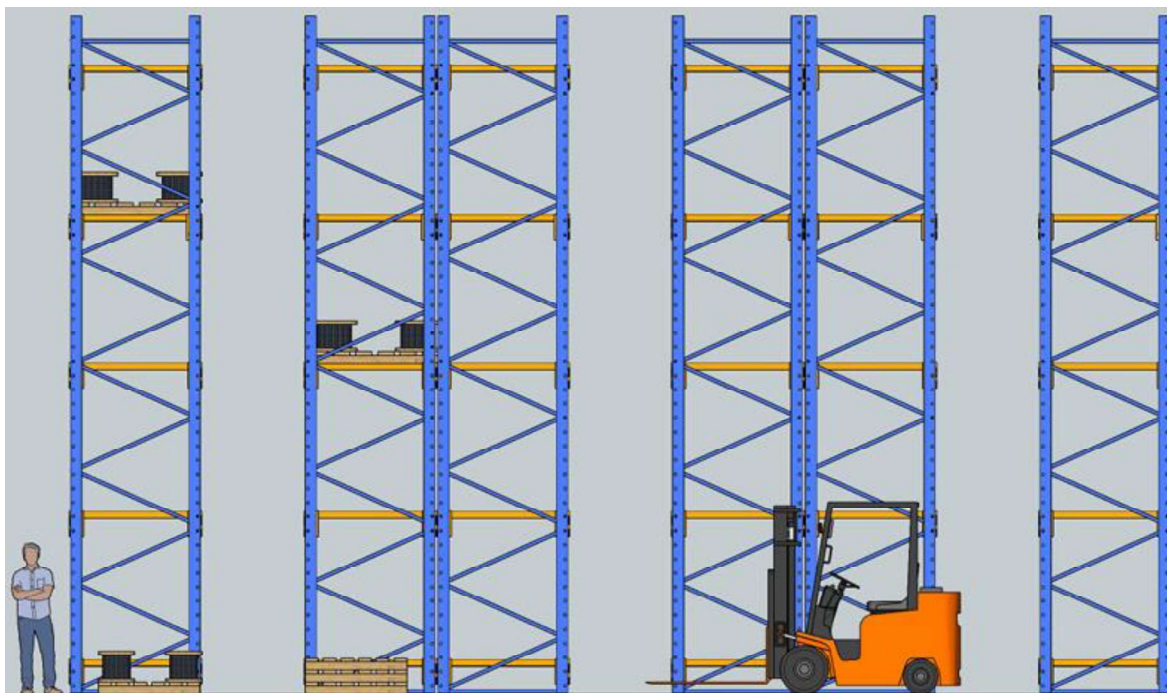


Figura 37. Vista frontal ao nível do solo do armazém

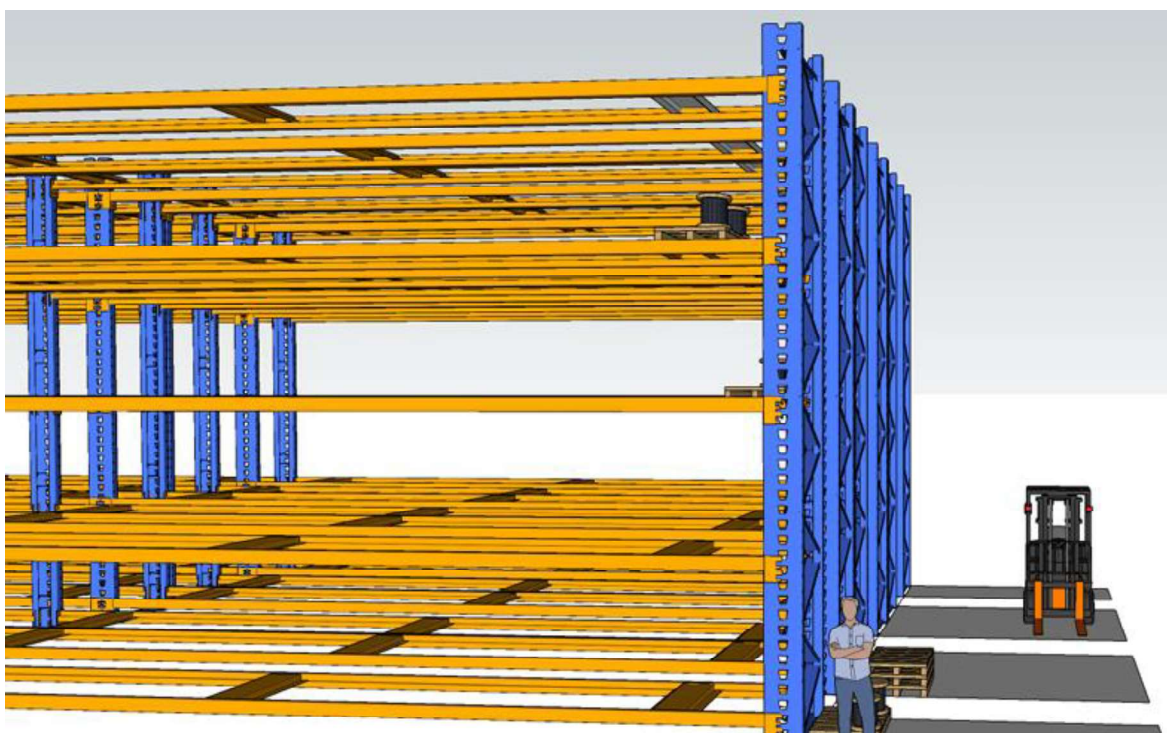


Figura 38. Vista lateral do armazém