



RIO

PUC

Dissertação de Mestrado

Proposição de estruturação de melhorias nos processos de armazenagem: um estudo de caso em um armazém de materiais de manutenção, reparo e operações

Arthur Luiz Navegantes Goulart

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
Centro Técnico Científico
Departamento de Engenharia Industrial

Rio de Janeiro, 1 de outubro de 2025



Pontifícia
Universidade
Católica do
Rio de Janeiro

Dissertação de Mestrado

Proposição de estruturação de melhorias nos processos de armazenagem: um estudo de caso em um armazém de materiais de manutenção, reparo e operações

Arthur Luiz Navegantes Goulart

Orientação: Professor Prof. Marcelo Xavier Seeling

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Logística pelo Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, no Departamento de Engenharia Industrial da PUC-Rio.

Rio de Janeiro, 1 de outubro de 2025



Pontifícia
Universidade
Católica do
Rio de Janeiro

Proposição de estruturação de melhorias nos processos de armazenagem: um estudo de caso em um armazém de materiais de manutenção, reparo e operações

Arthur Luiz Navegantes Goulart

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Logística (opção profissional).

Aprovada pela Comissão examinadora abaixo:

Professor Marcelo Xavier Seeling

Orientador

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Professor Antônio Márcio Tavares Thomé

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Professora Luciana de Souza Pessoa

Departamento de Engenharia Industrial – PUC-Rio

Rio de Janeiro, 1 de outubro de 2025



Pontifícia
Universidade
Católica do
Rio de Janeiro

Todos os direitos reservados. A reprodução, total ou parcial, do trabalho é proibida sem autorização da universidade, do autor e do orientador.

Arthur Luiz Navegantes Goulart

Graduou-se em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pela Universidade Estácio de Sá, em 2000. É pós-graduado em Gestão de Projetos pela mesma instituição, em 2005, e em Engenharia de Manutenção e Gestão de Ativos pela Universidade Veiga de Almeida, em 2020. Iniciou sua trajetória profissional em 1988, atuando como Desenhista Mecânico. Em 2004, ingressou na Petrobras, onde permanece até hoje, integrando a equipe de liderança da companhia.

Ficha Catalográfica

Goulart, Arthur Luiz Navegantes

Proposição de estruturação de melhorias nos processos de armazenagem: um estudo de caso em um armazém de materiais de manutenção, reparo e operações / Arthur Luiz Navegantes Goulart; orientador: Marcelo Xavier Seeling – 2025.

111 f.: color.; 30cm

Dissertação (mestrando) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Industrial, 2025.

Inclui bibliografia

1. Engenharia Industrial – Teses. 2. MRO (Manutenção, Reparo e Operação). 3. Armazenagem, 4. SAP EWM. 5. Classificação ABC/XYZ. 6. Inventário rotativo. I. Seeling, Marcelo Xavier. II. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia Industrial. III. Título.

CDD: 658.5

Dedico este trabalho a minha esposa Aretha, minhas filhas, Mariana, Juliana e
Esther e minha neta Olívia.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, expresso minha profunda gratidão à minha mãe, Nadir Navegantes, por me ensinar, desde cedo, que o conhecimento é um tesouro imperecível – um bem que ninguém pode nos tirar. Seu exemplo e suas palavras foram o alicerce que me direcionou aos estudos e à persistência.

À minha família, minha eterna base: minha esposa, Aretha Cathaud, e minhas filhas, Mariana, Juliana e Esther Goulart. Agradeço especialmente à Aretha e à pequena Esther pela compreensão diante das ausências em momentos que, embora cotidianos, são preciosos. E à minha neta, Olívia Goulart, cuja chegada trouxe leveza, inspiração e ritmo à etapa final desta jornada acadêmica.

À Petrobras, registro meu sincero reconhecimento por fomentar o desenvolvimento educacional como meio legítimo de transformação profissional e social. Agradeço pela oportunidade concedida e pelo suporte institucional ao aprimoramento técnico de seus colaboradores, que viabilizou a realização deste estudo. Dirijo, de forma especial, minha gratidão aos gestores Thiago Rocha e Antonio Terra, cujo voto de confiança e incentivo foram fundamentais para que eu pudesse aplicar o conhecimento adquirido em prol da eficiência organizacional e do progresso coletivo.

Aos colegas de turma, com quem compartilhei conhecimento, debates enriquecedores, contrapontos produtivos e, acima de tudo, apoio mútuo ao longo da trajetória. Vocês foram parte essencial desta experiência.

Aos professores do curso de mestrado, que com sabedoria, dedicação e generosidade, nos guiaram em cada etapa da formação, proporcionando não apenas conteúdo técnico, mas também inspiração e horizontes.

Ao meu orientador, Professor Marcelo Seeling, manifesto meu sincero reconhecimento por sua disponibilidade constante, vasto conhecimento, serenidade e humanidade no trato acadêmico. Sua orientação foi um farol que iluminou esta caminhada difícil.

E por fim, mas em absoluta primazia, agradeço a Deus. A Ele, que em sua infinita misericórdia me acompanhou em silêncio, fortalecendo-me em cada passo, consolando-me nas incertezas e alegrando-se comigo nas vitórias. À presença serena de Jesus Cristo, cujas palavras foram abrigo nos momentos de angústia e celebração nos dias de luz. À intercessão silenciosa e eterna de Manzinha, e à firmeza inspiradora de São José, que sempre me encorajou a honrar a dignidade do trabalho.

Este trabalho não é apenas o fechamento de uma etapa acadêmica – é a celebração de uma trajetória de fé, esforço, renúncia e amor.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – código de Financiamento 001.

Resumo

Goulart, Arthur Luiz Navegantes; Seeling, Marcelo Xavier (Orientador). **Proposição de estruturação de melhorias nos processos de armazenagem: um estudo de caso em um armazém de materiais de manutenção, reparo e operações.** Rio de Janeiro, 2025. 111p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

A presente dissertação tem como objetivo analisar os processos logísticos de um armazém de materiais de Manutenção, Reparo e Operação (MRO), responsável pelo atendimento às bacias de Santos e Búzios, a fim de propor melhorias orientadas à eficiência operacional, à acuracidade dos estoques e à governança dos processos. Para tanto, utilizou-se o sistema SAP *Extended Warehouse Management* (EWM) como suporte operacional e analítico. O estudo baseou-se em revisão bibliográfica, diagnóstico empírico e simulações aplicadas. O levantamento de campo evidenciou fragilidades no modelo atual de armazenagem, como baixa rastreabilidade, ausência de critérios padronizados para alocação e ineficiências na roteirização de pedidos. A partir desses achados, foi desenvolvido o Projeto Técnico-propositivo Integrado de Otimização Logística (P-TIOL), estruturado em eixos interdependentes que abrangem classificação estratégica de materiais (ABC/XYZ/Giro), redesenho do *layout*, inventário rotativo, governança descentralizada e controle digital em tempo real com uso do SAP EWM. Os resultados indicam ganhos potenciais em eficiência logística, padronização de processos e integração sistêmica, demonstrando a aderência das propostas aos objetivos da pesquisa. Reconhece-se, contudo, a necessidade de validação prática em ambiente real e de estudos complementares sobre tecnologias emergentes, como RFID, IoT e redes LoRa, capazes de ampliar a automação, a rastreabilidade e a inteligência preditiva na gestão de armazéns MRO.

Palavras-chave

MRO (Manutenção, Reparo e Operação); Armazenagem; SAP EWM; Classificação ABC/XYZ; Inventário rotativo.

Abstract

Goulart, Arthur Luiz Navegantes; Seeling, Marcelo Xavier (Orientador). **Proposal for structuring improvements in storage processes: a case study in a maintenance, repair and operations materials warehouse.** Rio de Janeiro, 2025. 111p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Engenharia Industrial, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

This dissertation aims to analyze the logistics processes of a Maintenance, Repair and Operations (MRO) warehouse that supports the Santos and Búzios basins, with the purpose of proposing improvements oriented towards operational efficiency, inventory accuracy, and process governance. For this purpose, the SAP Extended Warehouse Management (EWM) system was employed as an operational and analytical support tool. The study was based on a literature review, empirical diagnosis, and applied simulations. The field survey highlighted weaknesses in the current storage model, such as low traceability, lack of standardized allocation criteria, and inefficiencies in order picking routing. Based on these findings, the Integrated Technical-Propositional Project for Logistics Optimization (P-TIOL) was developed, structured around interdependent axes that encompass strategic material classification (ABC/XYZ/Turnover), layout redesign, cycle counting, decentralized governance, and real-time digital control using SAP EWM. The results indicate potential gains in logistics efficiency, process standardization, and systemic integration, demonstrating the alignment of the proposed solutions with the research objectives. However, it is recognized that practical validation in a real operational environment is still required, as well as complementary studies on emerging technologies such as RFID, IoT, and LoRa networks, which can enhance automation, traceability, and predictive intelligence in MRO warehouse management.

Keywords

MRO (Maintenance, Repair and Operations); Warehousing; SAP EWM; ABC/XYZ classification; Cycle counting.

Sumário

1 – Introdução	14
1.1 – Objetivo Geral	17
1.2 – Objetivos Específicos	17
1.3 – Justificativas e Contribuições	18
1.4 – Estrutura da Dissertação	19
 2 – Referencial Teórico	 21
2.1 – Fundamentos e Classificações de Armazéns e Centros de Distribuição	21
2.2 – <i>Layout</i> de Armazéns: Estrutura, Inovações e Impactos Operacionais	23
2.3 – Políticas de armazenamento	26
2.4 – Roteirização <i>indoor</i> em Armazém	32
2.5 – <i>Warehouse Management Systems</i> (WMS)	35
2.6 – <i>Extended Warehouse Management</i> (EWM).....	36
2.7 – Categorização de estoques	38
2.8 – A influência Humana, Tecnológica e Organizacional no processo de Armazenagem	41
2.9 – Sustentabilidade e Logística reversa	42
 3 – Metodologia da pesquisa	 44
3.1 – Delineamento Metodológico	44
3.2 – Classificação da Pesquisa	45
3.3 – Estrutura Metodológica: as Sete Etapas do Estudo de Caso	45
3.4 – Limitações e Delimitação do Estudo	46
 4 – Estudo de caso da operação de armazém de MRO	 47
4.1 – Caracterização da empresa e armazém de MRO	47
4.2 – Recebimento de material	49
4.3 – Ofensores e desvios do processo de recebimento	52
4.4 – Armazenagem de material	55
4.5 – Ofensores e desvios do processo de armazenagem	56
4.6 – Separação de material	61

4.7 – Ofensores e desvios do processo de separação de materiais	63
4.8 – Inventário	60
4.9 – Ofensores e desvios do processo de inventário	60
5 – Propostas estruturantes para os processos de armazenagem	65
5.1 – Objetivo da Proposta	65
5.2 – Propostas estruturantes para o processo de recebimento de materiais	66
5.3 – Propostas estruturantes para o processo de armazenagem de materiais	69
5.4 – Propostas estruturantes para o processo de separação de materiais	72
5.5 – Propostas estruturantes para o processo de inventário	73
5.6 – Integração do Diagnóstico e Propostas Estruturantes dos Processos Logísticos sob a Perspectiva HTO	75
5.7 – Projeto Técnico-propositivo Integrado de Otimização Logística (P-TIOL)	79
5.7.1 – Classificação Integrada ABC e XYZ com Giro de estoque	80
5.7.2 – Redesenho do Layout com Proporcionalidade Operacional .	86
5.7.3 – Governança Operacional com o Modelo “Dono de Rua”: microgerenciamento Logístico para Eficiência Sistêmica	89
5.7.4 – Inventário Rotativo Inteligente	91
5.7.5 – Rotulagem e Controle com PDA: Rastreabilidade Sistêmica e Precisão Operacional	93
5.8 – Consolidação do Projeto Técnico-propositivo Integrado de Otimização Logística	95
6 – Conclusão	97
7 – Referências Bibliográficas	99

Lista de tabelas

Tabela 1 - Síntese comparativa das políticas de armazenamento	32
Tabela 2 - Pilares do P-TIOL	86
Tabela 3 - Matriz ABC/XYZ com Interpretação Tática por Giro de Estoque	88
Tabela 4 - Matriz ABC/XYZ/Giro	91
Tabela 5 - Zoneamento Operacional	94
Tabela 6 - Matriz de responsabilidade	96
Tabela 7 - Frequência Recomendada por Classificação	98

Lista de figuras

Figura 1 – Relação entre tributos de armazéns e eficiência da cadeia de suprimentos	22
Figura 2 – Modelos de Layout tradicionais	23
Figura 3 – <i>Layout Fishbone</i>	23
Figura 4 – <i>Layout Chevron</i>	23
Figura 5 - Heurísticas de roteirização	31
Figura 6 – Curva ABC	34
Figura 7 – Parafusos sem identificação por etiqueta	48
Figura 8 – Organização de porta-palete	51
Figura 9 – Porta palete pronto para receber filme plástico	52
Figura 10 – Desorganização caixa KLT	52
Figura 11 - Matriz tridimensional ABC/XYZ/Giro	84
Figura 11 -Distribuição tridimentridimensional dos SKUs com pesos logísticos	89

Lista de Quadros

Quadro 1 - Correlação entre HTO, Fluxos Estruturados, Ofensores e Desvios - Recebimento	49
Quadro 2 - Correlação entre HTO, Fluxos Estruturados, Ofensores e Desvios - Armazenagem	54
Quadro 3 - Correlação entre HTO, Fluxos Estruturados, Ofensores e Desvios - Separação de materiais	59
Quadro 4 - Correlação entre HTO, Fluxos Estruturados, Ofensores e Desvios - Inventário	64
Quadro 5 - Processo de Recebimento de Materiais	76
Quadro 6 - Processo de Armazenagem de Materiais	77
Quadro 7 - Processo de Separação de Materiais	78
Quadro 8 - Processo de Inventário	79

Lista de siglas

MRO - Manutenção, Reparo e Operação

FPSO - *Floating Production Storage and Offloading*

UMS - Unidades de Manutenção e Saúde

SKU - *Stock Keeping Units*

WMS - *Warehouse Management System*

EWM - *Extended Warehouse Management*

MRP - *Material Requirements Planning*

Introdução

A indústria de petróleo e gás no Brasil, uma das bases da economia nacional, desempenha um papel crucial no impulso ao desenvolvimento econômico, fomentando a inovação tecnológica e reforçando a competitividade no cenário global (Santos, 2018). Este setor estratégico não apenas é responsável por uma significativa contribuição ao Produto Interno Bruto (PIB), como também se destaca na geração de empregos e arrecadação de substanciais receitas públicas (Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP, 2023). Para sustentar sua competitividade, torna-se imprescindível um controle rigoroso dos insumos e materiais em todas as fases da cadeia produtiva (Munyaka, 2022).

Em 2023, o setor de petróleo e gás contribuiu com 35,1% da matriz energética nacional, com destaque em fontes não renováveis, que representaram 50,9% do total. A maior parte da demanda energética foi absorvida pelos setores de transporte e industrial, responsáveis por 64,8% do consumo total, sendo o setor de transportes responsável por 33% dessa demanda (Empresa de Pesquisa Energética - EPE, 2024). O impacto do setor no desenvolvimento econômico é reforçado por sua contribuição de aproximadamente 15% do PIB industrial, além de atrair expressivos investimentos e proporcionar a geração de empregos por meio de *royalties*, impostos e participações especiais (Santos, 2018). Projeções indicam que a produção nacional de petróleo poderá atingir 5,2 milhões de barris diários até 2031, consolidando a importância da indústria no panorama energético global (Instituto Brasileiro de Petróleo e Gás - IBP, 2023).

Além de seu impacto direto, o setor de petróleo e gás sempre estabeleceu conexões fundamentais entre diferentes setores da economia, conforme Hirschman (1958), o que permanece até os dias de hoje. Ao impulsionar a demanda por insumos a montante, como equipamentos e serviços, e fornecer recursos essenciais para setores a jusante, como energia e transporte, o setor desempenha um papel vital no crescimento econômico (Hirschman, 1977).

No âmbito da gestão de materiais, Kassem et al. (2020), ressalta que fatores externos, como instabilidade política e incertezas econômicas, influenciam

diretamente os custos e prazos dos projetos de unidades marítimas de petróleo e gás, afetando o fornecimento de materiais para construção e operação. Como observado por Ignacio (2019), projetos de construção e montagem de plataformas petrolíferas *offshore* exigem planejamento detalhado e organização precisa dos insumos, garantindo continuidade operacional, otimização de prazos e controle de custos. A gestão eficaz de materiais, portanto, é imprescindível.

Desde a fase de implantação até as operações de Manutenção, Reparo e Operação (MRO), a gestão meticulosa desses processos revela-se indispensável para assegurar a eficiência e a continuidade das operações industriais (Caldas, 2016). De acordo com Saggioro et al. (2007), os materiais de MRO são compostos por itens essenciais que, embora não participem diretamente do processo produtivo, asseguram a manutenção e a continuidade das operações industriais.

Faria et al. (2019) reforçam que, nas atividades de manutenção e preservação, uma gestão inadequada dos materiais pode transformar reparos simples em problemas complexos, aumentando custos e comprometendo a operação. Além disso, destacam a necessidade de correta alocação de materiais para assegurar a eficiência e segurança operacional, considerando que também há possibilidade da obsolescência dos equipamentos. Krynke et al. (2022) enfatizam que a disponibilidade, qualidade e custo dos materiais de MRO influenciam diretamente a eficiência das operações, sendo que a gestão de estoques excessivos ou insuficientes pode resultar em imobilização de capital ou tempo de inatividade dos equipamentos, respectivamente. Portanto, a organização eficiente dos armazéns de MRO é fundamental para a gestão desses materiais. Conforme Santos (2020), a digitalização e a otimização de inventário facilitam o acesso rápido aos materiais, minimizando impactos e agilizando o processos de reposição. De forma complementar, Claure et al. (2023) destacam a importância de uma adequada armazenagem para garantir a eficiência e sustentabilidade das operações no setor de petróleo e gás. Sudjatmiko et al. (2018) reforçam a necessidade de manter níveis adequados de estoque de segurança para assegurar o desempenho contínuo das operações.

A Bacia de Santos desempenha um papel crucial no setor de petróleo e gás, com os campos de Tupi, Búzios e Sapinhoá, que representaram cerca de 70% da produção total de petróleo e gás do Brasil em 2021 (Moreira et al., 2023). Assim como, Anjos et al. (2024) afirmam que a Bacia de Búzios, destacou-se em 2023 ao

superar a produção de 600.000 barris de petróleo por dia, consolidando-se como um dos maiores campos do pré-sal brasileiro.

No ano de 2023, uma companhia integrada de energia do setor de petróleo e gás conduziu atividades de exploração e produção na Bacia de Búzios, por meio de unidades marítimas de produção, armazenamento e transferência de petróleo e gás, como o Almirante Barroso, a Unidade 74, a Unidade 75, a Unidade 76 e a Unidade 77. Essas unidades flutuantes de produção, armazenamento e descarga são estruturas que produzem, processam, armazenam e transferem petróleo e gás em operações *offshore*. Segundo Shimamura (2002), sua flexibilidade e eficiência as tornam essenciais para a exploração de campos de petróleo em águas profundas e remotas.

Já na Bacia de Santos, as operações foram realizadas com as FPSOs Unidade 71, Sepetiba, Guanabara e Pioneiro de Libra. A empresa conta ainda com o suporte de três Unidades de Manutenção e Saúde (UMS) para as atividades de manutenção e reparo, as quais demandam suprimentos de MRO (Petrobras, 2024). As UMS são embarcações utilizadas em projetos de manutenção de plataformas petrolíferas *offshore*, caracterizadas pela complexidade no planejamento e execução nos processos de paradas de manutenções. Segundo De Faria Cunha et al. (2019), esses projetos envolvem atividades de manutenção em ambientes desafiadores, que são antecedidas por um detalhado planejamento em terra, com início cerca de dois anos antes da execução, e requerem coordenação integrada de múltiplos setores e empresas contratadas.

Para garantir o suprimento de MRO nos campos de Búzios e Santos, a companhia integrada de energia do setor de petróleo e gás dispõe de uma infraestrutura de armazenagem de aproximadamente 465.000 m². Essa estrutura administra cerca de 70.815 *Stock Keeping Units* (SKUs), totalizando aproximadamente 201.043 itens organizados por ativo de produção e exploração, por tipo de avaliação e conforme regimes fiscais específicos. Adicionalmente aos itens voltados ao MRO das unidades marítimas, a empresa mantém em estoque materiais essenciais para perfuração de poços de petróleo e ancoragem de plataformas, assegurando a continuidade das operações *offshore*.

Um SKU é um identificador único atribuído a cada item em um sistema de inventário, usado para rastrear e gerenciar o estoque de forma individualizada,

considerando características específicas como quantidade, tipo, localização e outros atributos (Teunter et al., 2017).

A expressiva quantidade de SKUs armazenados, aliada à ampla diversidade de classes, tamanhos e tipos, bem como à gestão complexa de um operador logístico responsável por todo o processo de armazenagem, gera desafios significativos para a organização do estoque, pode configurar um conjunto de desafios relevantes para a organização do estoque. Ademais, houve a recente substituição do *Warehouse Management System* (WMS) original da operação, sistema computacional de gestão de armazenagem, por um novo, o *Extended Warehouse Management* (EWM). A implementação desse novo sistema trouxe incertezas quanto à sua eficácia, não sendo possível, até o momento, mensurar os benefícios reais para a operação.

1.1

Objetivo Geral

Propor melhorias na gestão de materiais, na eficiência operacional e na qualidade dos serviços prestados, tendo como base a análise dos processos logísticos implementados no armazém de Materiais de Manutenção, Reparo e Operação de uma unidade do setor de petróleo e gás.

1.2

Objetivos Específicos

a. Identificar, com base na literatura especializada, as melhores práticas relacionadas à disposição física (*layout*) e à segregação de materiais em armazéns de grande escala voltados ao setor de petróleo e gás, estabelecendo um comparativo entre essas diretrizes e os processos atualmente implementados no armazém em análise.

b. Propor o *layout* mais adequado ao contexto de um armazém MRO, considerando os princípios de eficiência espacial, fluidez operacional e segurança, com base nos resultados obtidos na análise comparativa entre teoria e prática.

c. Estruturar propostas de melhoria para as políticas de armazenagem, considerando as práticas mais eficientes identificadas na literatura e a aderência aos requisitos específicos de armazenagem de materiais MRO.

d. Desenvolver sugestões de aperfeiçoamento para os processos de roteirização e movimentação dos coletores de dados móveis no armazém, fundamentadas em metodologias aplicadas à separação de pedidos (*order picking*) e voltadas à redução dos tempos de ciclo logístico.

e. Estruturar um Projeto Técnico-propositivo Integrado de Otimização Logística alinhado às necessidades operacionais do armazém MRO.

1.3

Justificavas e contribuições

A justificativa deste estudo fundamenta-se na crescente complexidade das operações logísticas associadas à gestão de materiais de Manutenção, Reparo e Operação (MRO), especialmente em setores industriais críticos como o de petróleo e gás. Esses ambientes caracterizam-se pela alta variabilidade da demanda, pela elevada criticidade dos insumos e por rigorosos requisitos de segurança e desempenho. Neles, a eficiência da armazenagem e da separação de materiais é determinante para assegurar a continuidade produtiva e reduzir riscos operacionais e financeiros.

Apesar da disponibilidade de sistemas modernos de gerenciamento, como o *SAP Extended Warehouse Management* (EWM), verifica-se, na prática, a existência de um hiato entre as funcionalidades tecnológicas e a efetiva aplicação de metodologias otimizadas de *layout*, roteirização e políticas de alocação de materiais. Essa lacuna reforça a necessidade de pesquisas aplicadas que aproximem teoria e prática, orientando-se pela proposição de soluções aderentes às especificidades de armazéns com grande volume, diversidade e criticidade de itens.

Assim, a pesquisa justifica-se pela relevância técnico-operacional do tema e pelo potencial de oferecer contribuições metodológicas voltadas à racionalização dos fluxos logísticos, ao aumento da produtividade e à elevação da acuracidade dos estoques em ambientes MRO. A abordagem adotada combina técnicas quantitativas de análise com conceitos consolidados e contemporâneos da literatura em logística, resultando em um projeto técnico-propositivo de caráter aplicado e adaptável a distintos contextos industriais.

Do ponto de vista acadêmico, o estudo contribui para a engenharia industrial ao ampliar a compreensão sobre modelos de otimização logística em armazéns

complexos. Do ponto de vista gerencial, apresenta soluções fundamentadas em evidências e alinhadas às melhores práticas internacionais, capazes de apoiar a tomada de decisão estratégica em organizações que operam sob elevados padrões de confiabilidade, segurança e desempenho.

1.4

Estrutura da dissertação

A presente dissertação foi estruturada de forma a conduzir o leitor de maneira lógica e progressiva, partindo da contextualização do problema até a proposição de soluções fundamentadas em análise empírica e referencial teórico. O trabalho está organizado em cinco capítulos, descritos a seguir:

Capítulo 1 – Introdução: apresenta a contextualização do tema, a definição do problema de pesquisa, os objetivos geral e específicos, a justificativa, as contribuições esperadas e a estrutura do trabalho.

Capítulo 2 – Referencial Teórico: apresenta os conceitos e teorias que fundamentam a pesquisa, abordando fundamentos e classificações de armazéns, impactos do *layout*, políticas de armazenagem, metodologias de roteirização, sistemas de gestão (WMS/EWM), categorização de estoques (ABC/XYZ) e a influência dos fatores humanos, tecnológicos e organizacionais (HTO) na eficiência logística.

Capítulo 3 – Metodologia de pesquisa: descreve o método de pesquisa adotado no trabalho, as técnicas empregadas, os procedimentos de coleta e análise dos dados, além das delimitações e limitações do estudo.

Capítulo 4 – Estudo de caso do armazém de MRO: caracteriza a empresa analisada e detalha o armazém de MRO, seus fluxos logísticos e práticas operacionais, evidenciando os desafios enfrentados e os resultados obtidos na análise diagnóstica.

Capítulo 5 – Análise e discussão de resultados e propostas de melhorias: apresenta as soluções técnico-propositivas desenvolvidas a partir dos resultados, demonstra como os objetivos foram atendidos, discute as implicações práticas e teóricas do estudo, aponta suas limitações e sugere direções para pesquisas futuras.

Capítulo 6 – Apresenta a síntese dos resultados e constatações do estudo, demonstrando o atendimento aos objetivos propostos e as contribuições teóricas e

práticas alcançadas. Destaca o potencial do SAP EWM e da metodologia P-TIOL na otimização logística de armazéns MRO, além de indicar limitações e sugerir diretrizes para pesquisas futuras voltadas à automação e rastreabilidade de materiais.

2

Referencial teórico

Este capítulo tem como objetivo fundamentar a construção do conhecimento científico por meio da apresentação de estudos relevantes, teorias consolidadas e evidências empíricas, oriundos da pesquisa da literatura sobre o tema. Essa abordagem permite contextualizar o tema da pesquisa e oferece suporte teórico para a análise e interpretação dos resultados. Para tanto, são explorados Seções como a importância estratégica dos armazéns e Centros de Distribuição (CDs), o impacto do *layout* nas operações logísticas e a aplicação de sistemas de gestão. Também são abordadas a política de armazenamento, a roteirização *indoor* em armazéns, os sistemas *Warehouse Management System* (WMS), *Extended Warehouse Management* (EWM) e Sustentabilidade e Logística reversa, evidenciando as inter-relações entre esses elementos na busca por maior eficiência na gestão de armazenagem. Ao final, apresenta-se como as análises podem ser realizadas com base nas influências humanas, tecnológicas e organizacionais presentes no processo de armazenagem.

2.1

Fundamentos e Classificações de Armazéns e Centros de Distribuição

Os armazéns desempenham um papel estratégico nas operações logísticas, podendo ser analisados sob três principais perspectivas: processos, recursos e organização. Os processos incluem os quatro macrofluxos fundamentais – recebimento, armazenamento, separação de pedidos (*orderpicking*) e expedição, enquanto os recursos abrangem unidades de armazenamento, sistemas computacionais, mão de obra e equipamentos essenciais para as operações (Rouwenhorst et al., 2000). Já a organização é estruturada em políticas de armazenamento, que podem ser dedicadas, aleatórias ou organizadas por zonas, como no modelo ABC (*zoning ABC*), utilizado para priorizar itens com base em sua relevância operacional (Van den Berg et al., 1999).

Neste contexto, os armazéns também podem ser classificados com base em sua finalidade e nos sistemas de armazenagem empregados. Segundo Van den Berg et al. (1999), existem três tipos principais: armazéns de distribuição, que consolidam produtos de diferentes fornecedores para atendimento aos clientes, como por exemplo o armazém de MRO; armazéns de produção, voltados ao armazenamento de matérias-primas e produtos nas instalações industriais; e armazéns contratados, que oferecem serviços de armazenagem a terceiros. Esses armazéns empregam sistemas de armazenagem categorizados pelo nível de automação: manuais (*picker-to-product*), onde operadores se deslocam até os itens; automatizados (*product-to-picker*), em que os itens são levados até os operadores; e automáticos, que utilizam tecnologias como robôs e dispensadores, maximizando eficiência e reduzindo custos.

Kłodawski et al. (2017) descrevem o recebimento como processo-chave que envolve conferência, inspeção e registro em sistema, assegurando a integridade física e a conformidade com as ordens de compra. Sua eficiência depende de fatores como qualificação da mão de obra, tecnologias utilizadas e capacidade das áreas de *buffer* e armazenagem. Os autores ressaltam que estratégias adequadas de manuseio inicial são determinantes para reduzir custos e tempos, além de estabelecerem a base para a confiabilidade e o desempenho de toda a logística subsequente.

A armazenagem de materiais é um componente crucial na cadeia de suprimentos, desempenhando um papel vital na eficiência operacional e na redução de custos. A otimização do uso do espaço, a implementação de sistemas de gestão, a automação dos processos e a utilização eficiente das áreas disponíveis garantem que os materiais sejam armazenados de forma organizada e acessível, minimizando o tempo de busca e movimentação. Isso resulta em maior acuracidade no inventário e assegura a rastreabilidade dos itens (Perkumienė et al., 2022).

De Koster et al. (2007) evidenciam a relevância e a complexidade da separação de pedidos (*picking*), atividade mais intensiva em mão de obra e responsável por até 55% dos custos de armazenagem. A eficiência nesse processo é crucial para assegurar qualidade no serviço e reduzir custos, estando diretamente relacionada ao modelo de *picking* adotado, aos métodos de atribuição de armazenagem, roterização, agrupamento de pedidos e zoneamento. Os autores destacam ainda o papel das tecnologias avançadas, como sistemas automatizados, na redução de erros humanos e na otimização operacional.

Kasemseto et al. (2012) ressaltam que a expedição é um elo estratégico entre o armazém e o cliente, determinante para o fluxo contínuo da cadeia de suprimentos. O processo envolve atividades complexas, como unitização e carregamento, que demandam mão de obra especializada e equipamentos adequados. A eficiência nesse estágio impacta não apenas a satisfação do cliente, mas também a redução de custos operacionais, refletindo em toda a dinâmica logística. Em complemento, os autores destacam que a incorporação de tecnologias avançadas constitui solução estratégica para otimizar recursos, elevar a produtividade e reduzir erros humanos, assegurando operações mais ágeis e precisas.

A gestão de armazéns e centros de distribuição (CDs) com capacidade limitada constitui fator crítico na logística contemporânea (Ozsen et al., 2008). Neste contexto, os autores ressaltam que, diante de restrições de espaço, é imprescindível equilibrar estoques para evitar tanto excessos, que elevam custos de transporte e armazenagem, quanto escassez, que compromete o desempenho logístico. Os autores ainda destacam a necessidade de integrar custos fixos de localização e custos variáveis de transporte e estocagem, de modo a reduzir impactos financeiros e garantir maior eficiência no inventário. Complementarmente, Scavarda et al. (2012) argumentam que a flexibilidade operacional advinda de uma gestão eficaz de CDs pode configurar-se como diferencial competitivo, sobretudo em ambientes desafiadores que demandam resiliência e alinhamento estratégico na cadeia de suprimentos.

Novaes (2004) considera a disponibilização prioritária de produtos como um dos principais objetivos dos canais de distribuição. Após a identificação dos grupos de materiais prioritários, torna-se imprescindível assegurar a logística de distribuição física mais adequada, de modo a atender eficientemente às demandas de prioridade no atendimento (Brasil et al., 2018).

2.2

Layout de Armazéns: Estrutura, Inovações e Impactos Operacionais

De acordo com Jermisittiparsert et al. (2019), o *layout* influencia diretamente as classificações de um armazém, sendo um componente crítico para a eficiência logística e o desempenho da cadeia de suprimentos, assim como, impactar

diretamente a produtividade e a utilização otimizada do espaço. Assim, um *layout* bem planejado deve considerar elementos fundamentais como a localização das docas, os tipos de estruturas de armazenagem utilizadas e a acessibilidade dos itens, ao mesmo tempo que oferece flexibilidade para atender às demandas variáveis de clientes e fornecedores. Ainda conforme estes autores, esses fatores reduzem tempos de deslocamento, minimizam gargalos operacionais e promovem a integração das atividades logísticas, consolidando o *layout* como um fator estratégico para a competitividade empresarial.

De acordo com Frazelle et al. (2002), o projeto de um *layout* de armazém deve ser compreendido como uma estrutura integrada que combina *benchmarking*, de boas práticas de outras operações, aplicação de automação onde houver custo-benefício e racionalização de processos com o objetivo de otimizar o fluxo de materiais. Essas práticas são essenciais para reduzir tempos ociosos, eliminar gargalos e melhorar a organização de áreas críticas, como docas, corredores e zonas de armazenamento. Soma-se a isso, a flexibilidade no *layout* que é indispensável para garantir adaptação às variações das demandas operacionais, constitui-se num elemento-chave na eficiência logística (Mohsen et al., 2002).

Mohamud et al. (2023) complementam essas análises ao enfatizar que técnicas como a segmentação de áreas operacionais e o uso de sistemas de alta densidade de armazenamento são eficazes para maximizar o fluxo de trabalho e atender rapidamente às exigências do mercado, mesmo diante de limitações físicas e orçamentárias. Apesar dos desafios, o *layout* permanece como um dos pilares fundamentais para o desempenho logístico.

Sob essa perspectiva, Jermisittiparsert et al. (2019) propuseram um *framework* teórico, representado na Figura 1, que estrutura as interações entre os elementos do *layout*, como a organização das áreas, a integração das atividades e os impactos no desempenho logístico. Esse *framework* destaca a interdependência entre flexibilidade, eficiência operacional e competitividade, consolidando-se como uma ferramenta essencial para o planejamento estratégico em armazéns.

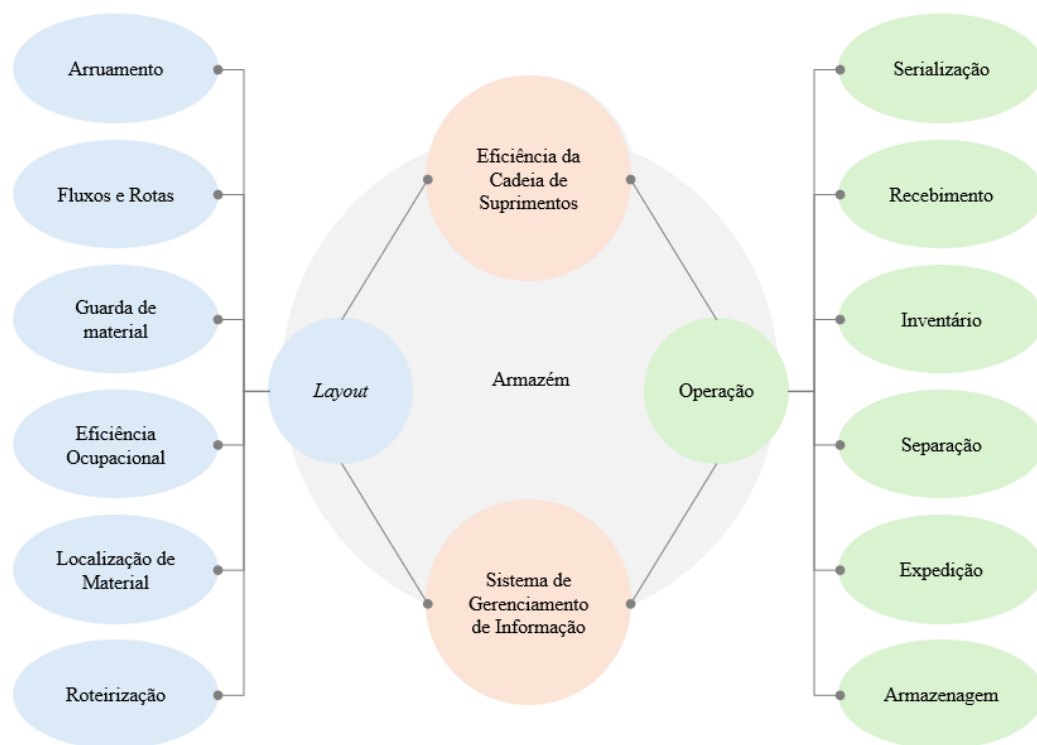


Figura 1: Relação entre tributos de armazéns e eficiência da cadeia de suprimentos.
 Fonte: Adaptada de Jermsittiparsert et al. (2019).

Adicionalmente, Öztürkoğlu et al. (2019) demonstraram que a adoção de modelos de *layout* com túneis ligando as ruas existentes entre as estruturas de armazenagem, também conhecidos como *discrete cross aisle design*, pode reduzir em até 7% as distâncias médias percorridas pelos operadores no armazenamento e na separação de materiais, proporcionando ganhos expressivos na eficiência operacional.

Em acréscimo, a implementação de sistemas como o GABAK, descrito por Ozden et al. (2021), reforça a relevância de soluções computacionais no planejamento de armazéns. Conforme estes autores, este *software*, que combina algoritmos evolutivos e heurísticas, permite modelar e otimizar *layouts*, incluindo designs baseados em túneis. Assim, a integração de ferramentas analíticas e decisões estruturais, como o uso de corredores cruzados segmentados, demonstra-se essencial para maximizar a eficiência e a competitividade no setor logístico.

Dukic et al. (2012) analisam a eficiência dos *layouts* de armazéns, comparando o *layout* tradicional de corredores retos (Figura 2) com os formatos *Fishbone* (Figura 3) e *Chevron* (Figura 4). Embora eficaz no armazenamento e separação de paletes, o *layout Fishbone* mostrou-se menos eficiente em operações de separação de pedidos (*orderpicking*) com múltiplas localizações, resultando em

rotas mais longas. O *layout* tradicional, com corredor de interceptação central – estruturas de porta paletes com separação por corredor, apresentou melhor desempenho, enquanto o *Chevron* demonstrou ainda maior ineficiência, reforçando as limitações desses formatos em operações complexas.

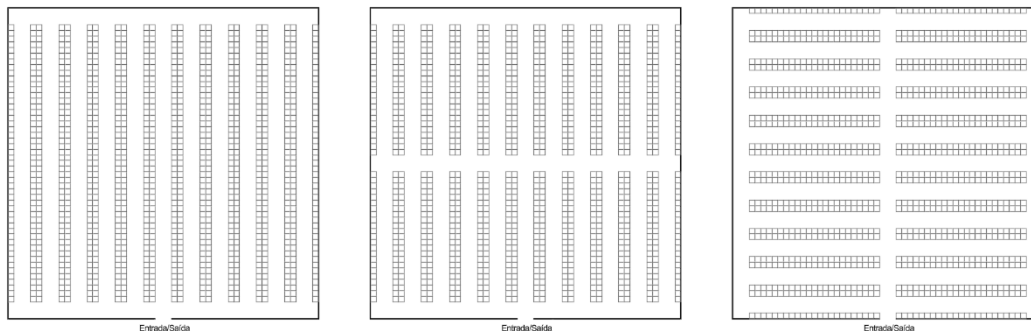


Figura 2: Modelos de Layout tradicionais.
Fonte: Adaptada de Dukic et al. (2012).

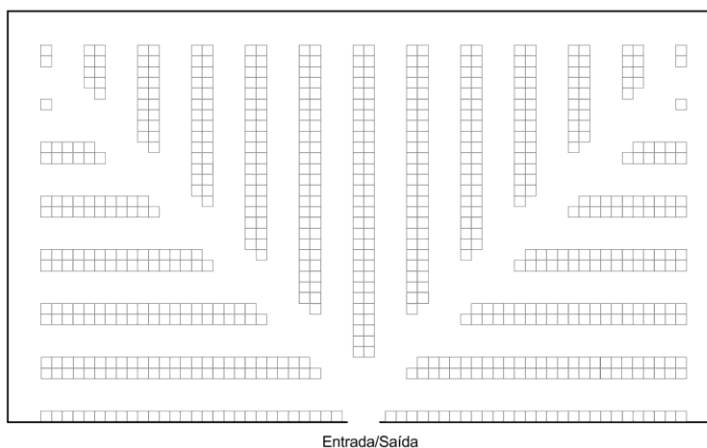


Figura 3: Layout Fishbone.
Fonte: Adaptada de Dukic et al. (2012).

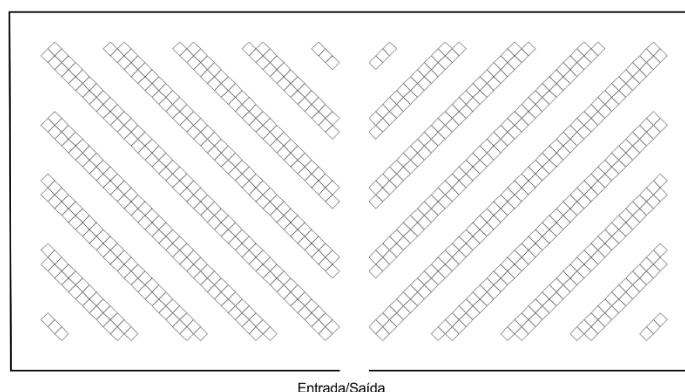


Figura 4 - Layout Chevron.
Fonte: Adaptada de Dukic et al. (2012).

Öztürkoğlu et al. (2019) indicam que aproximadamente 50% dos custos operacionais de um armazém estão diretamente associados às atividades manuais

de armazenamento e separação de materiais. Esses custos tendem a ser ainda mais expressivos em *layouts* baseados em blocos únicos ou duplos, que, embora permitam maior densidade de armazenagem, frequentemente apresentam limitações significativas em termos de eficiência e otimização das operações logísticas internas, devido ao menor número de corredores e ao aumento das distâncias percorridas durante a movimentação e o *picking*.

Vaughan et al. (1999) apresentam um modelo de programação dinâmica para determinar a rota de separação de pedidos mais curta em armazéns com corredores cruzados. O modelo considera variáveis como número de corredores de intercepção, comprimento dos corredores principais e densidade de itens, permitindo reduzir em até 30% as distâncias percorridas em *layouts* otimizados. Os ganhos são mais expressivos em armazéns com corredores longos e alta densidade de separação. Contudo, os autores alertam que a adição excessiva de corredores de intercepção pode gerar impactos negativos, reforçando a necessidade de balancear flexibilidade de trajeto e eficiência operacional.

Na gestão de armazéns, a escolha da estrutura de armazenagem impacta tanto o desempenho operacional quanto a ergonomia. White et al. (1981) compararam empilhamento em blocos, porta-paletes simples e duplo, evidenciando diferenças entre densidade de estocagem e facilidade de acesso. Calzavara et al. (2017, 2019) avançaram nesse campo ao avaliar paletes inteiros e meio-paletes, concluindo que fatores como peso do SKU, frequência de separação e necessidade de reposição devem orientar a decisão.

Complementarmente, Gue et al. (2006) apontaram que sistemas de alta densidade exigem atenção ao risco de bloqueio de operadores, enquanto Finnsgård et al. (2013) demonstraram que a altura de acesso, especialmente a “zona dourada”, é determinante para produtividade e ergonomia. Finnsgård et al. (2013) definem que, essa zona é a faixa de altura mais ergonômica para armazenar e coletar itens, situada entre a cintura e os ombros do operador. Essa posição reduz esforço físico, evita movimentos excessivos e aumenta a velocidade e a segurança no *picking*.

Entre as soluções de maior densidade, os sistemas dinâmicos do tipo *flow rack* se destacam, embora ainda recebam pouca atenção acadêmica (Battini et al., 2018). Adicionalmente, os autores propuseram um método de alocação que considera simultaneamente o tempo de reposição e o de separação, mostrando que, para determinados SKUs, o *flow rack* de alta densidade pode superar o desempenho

de porta-paletes convencionais. Tecnologias de automação, como *mini-loads*, assim como arranjos de prateleiras e gaveteiros, também têm papel estratégico, pois influenciam diretamente a organização intralogística, a roteirização e o fluxo de materiais no armazém – alinhando-se ao que Baker et al. (2009) apontam sobre o projeto do sistema de armazenagem como elemento central na definição das estratégias operacionais.

2.3

Políticas de armazenamento

Conforme discutido por Kapou, Vasiliki, et al. (2022) uma política de armazenamento é um conjunto de regras que orienta a alocação de produtos no armazém até sua expedição. Seu objetivo é otimizar o uso do espaço e os tempos de movimentação. Entre as políticas mais reconhecidas estão: *random storage*, *dedicated storage*, *full-turnover storage*, *cube-per-order index* e *class-based storage*. Elas são explicadas na sequência, sendo que cada uma aplica critérios específicos para a organização dos SKUs, como frequência de acesso, volume ou categorização por classes.

Muharni et al. (2019) explicam que a organização eficiente de um armazém é fundamental para reduzir perdas financeiras, otimizar os custos operacionais e agilizar os processos logísticos. Para alcançar esses objetivos, é essencial adotar políticas adequadas de armazenamento, que podem variar conforme a dinâmica e a demanda do ambiente. Entre as abordagens mais recorrentes na prática logística destacam-se o *random storage*, o *dedicated storage* e o *class-based storage*, cada uma com características e aplicações específicas.

De acordo com Petersen (1999), o *random storage* (armazenamento aleatório) era uma das estratégias mais adotadas nas operações de armazém à época de seus estudos, caracterizando-se pela alocação dos materiais em qualquer posição disponível, sem um endereço fixo predefinido para cada item. Segundo Rosenblatt et al. (1984), essa abordagem proporciona elevada flexibilidade operacional e permite a maximização do uso do espaço físico, uma vez que não há necessidade de reservar locais específicos para determinados produtos. No entanto, Zhou et al. (2022) destacam como uma das principais desvantagens dessa estratégia a possibilidade de percursos mais longos durante a separação de pedidos, o que pode

acarretar aumento no tempo de execução das operações. Essas limitações estão relacionadas à redução da eficiência operacional e ao prolongamento dos percursos de coleta durante a separação de pedidos.

Complementando essa perspectiva, Al Jaber (2023), aponta que o tempo necessário para armazenar produtos é superior no modelo de armazenamento aleatório quando comparado a outras estratégias. Tal fato deve-se à elevada taxa de chegada de produtos, que leva ao rápido preenchimento das posições disponíveis mais próximas, exigindo que os operadores percorram distâncias maiores até encontrar espaços livres.

Zhang et al. (2017) destacam que a política de *dedicated storage* (armazenamento dedicado) é eficaz na organização de estoques e estruturação operacional de armazéns, pois cada item é alocado em posição fixa e previamente definida. Essa previsibilidade facilita a localização dos produtos, melhora a fluidez das operações e favorece a ocupação total das posições disponíveis. O uso racional do espaço torna-se ainda mais relevante em ambientes com demanda e diversidade de produtos estáveis, como também apontam Muppani et al. (2007).

Segundo Alfian (2022), o método de armazenamento dedicado, também chamado *fixed slot storage*, consiste na atribuição de locais fixos para cada item no armazém, sendo amplamente utilizado pela previsibilidade e organização que proporciona. Há duas variações principais: o armazenamento por sequência de número de peça, em que itens com numeração mais baixa ficam próximos ao ponto de entrada/saída, e o armazenamento dedicado baseado em *throughput* (taxa de transferência), que considera a demanda e o nível de atividade de cada item, sendo mais eficiente em ambientes com variação significativa entre produtos, conforme explica Rahayu (2023). O autor acrescenta que esse último modelo tornou-se o mais comum por sua maior racionalidade operacional. Em ambos os casos, o número de posições para cada item deve atender à maior quantidade que pode ser necessária em estoque simultaneamente, o que implica que a área total necessária corresponde à soma das demandas máximas de todos os produtos. O armazenamento dedicado é também referido como armazenamento certo e fixo, pois a localização de cada item já é previamente determinada (Muharni et al., 2019).

Muharni et al. (2019) afirmam que a abordagem de armazenamento dedicado organiza os itens com base na relação entre o nível de movimentação de cada produto e o espaço de armazenagem necessário. A partir dessa análise, os

produtos são classificados em ordem decrescente, priorizando-se aqueles com maior atividade.

Já a política *class-based storage* (armazenamento por classes) é uma estratégia intermediária entre as políticas aleatória e dedicada. Nessa abordagem, os produtos são agrupados em categorias com base em critérios específicos, e cada categoria é direcionada a uma zona definida dentro do armazém – uma prática frequentemente conhecida como zoneamento ABC. Embora cada classe possua uma área reservada, a alocação dos itens dentro dessa zona ocorre de forma aleatória. A principal vantagem dessa política está na possibilidade de posicionar produtos de maior giro próximos aos pontos de expedição, ao mesmo tempo em que se mantém a flexibilidade e a eficiência de uso do espaço características do armazenamento aleatório (Muharni et al., 2019).

Septiani et al. (2020), concluem que a política de armazenamento baseados em classes também contribuem para o aumento da eficiência operacional nos armazéns, pois ajudam a diminuir o tempo necessário para a coleta dos materiais, bem como a distância percorrida nesse processo. Com isso, torna-se possível avaliar com mais precisão a real demanda de área destinada ao armazenamento de produtos.

Segundo Chan et al. (2011), a política de armazenamento baseada em classes organiza os produtos por meio do agrupamento de itens com características semelhantes – como tipo, giro de estoque, padrões de demanda ou frequência conjunta em pedidos, alocando-os em áreas definidas do armazém. Essa abordagem otimiza a eficiência operacional ao posicionar produtos de alta rotatividade próximos aos pontos de coleta, reduzindo o tempo de retirada e o deslocamento. Além disso, ao considerar o comportamento dos pedidos, é possível alocar itens frequentemente solicitados em conjunto em locais próximos, agilizando o atendimento. Embora amplamente aplicada em sistemas automatizados de armazenagem e recuperação, Juliana et al. (2016) destacam que também pode ser adaptada a armazéns convencionais, desde que haja estabilidade nos padrões de pedidos e consistência nas políticas de armazenagem.

Segundo Bahrami et al. (2019), essa política não apenas equilibra os benefícios das abordagens aleatória e dedicada, mas também destaca-se pela simplicidade operacional. Um dos principais diferenciais está na possibilidade de ignorar os critérios de classificação ao longo do horizonte de planejamento, o que

simplifica a administração diária. Além disso, essa abordagem não exige o ordenamento completo de todos os *Stock Keeping Units* (SKU), cada item armazenado individualmente, o que representa uma economia de tempo e esforço em ambientes dinâmicos. Outrossim, Bahrami et al. (2019) afirmam que a flexibilidade da política permite melhor adaptação a cenários com grande variabilidade nos níveis de estoque, resultando em uma ocupação mais eficiente do espaço disponível e desempenho superior em certas condições operacionais.

Na Tabela 1 são sintetizadas, de forma comparativa, as políticas de armazenamento analisadas, considerando características como flexibilidade, eficiência no uso do espaço e aplicabilidade operacional. Essa estrutura favorece a compreensão das vantagens e limitações de cada abordagem, apoiando a definição da estratégia mais adequada ao contexto logístico.

Tabela 1: Síntese comparativa das políticas de armazenamento.

Política de Armazenamento	Características	Autores
<i>Random Storage</i> (Armazenamento Aleatório)	Alta flexibilidade operacional	(PETERSEN, 1999; ROSENBLATT et al., 1984)
	Melhor desempenho em cenários dinâmicos	(MUHARNI et al., 2019)
	Maximização do uso do espaço físico	(PETERSEN, 1999; ROSENBLATT et al., 1984)
	Possibilidade de percursos mais longos durante a coleta	(ZHOU et al., 2022)
	Maior tempo para armazenar produtos devido à taxa de chegada e ocupação rápida das posições próximas	(AL JABERI, 2023)
<i>Dedicated Storage</i> (Armazenamento Dedicado)	Alta organização e previsibilidade	(ZHANG et al., 2017; ALFIAN, 2022)
	Eficiência no uso do espaço físico	(ZHANG et al., 2017; MUPPANI et al., 2007)
	Melhor desempenho em cenários de demanda estável	(ZHANG et al., 2017; MUPPANI et al., 2007)
	Baixa flexibilidade	(ZHANG et al., 2017)
	Organização por posição fixa para cada item	(ALFIAN, 2022; RAHAYU, 2023; MUHARNI et al., 2019)
	Variações: por sequência de número de peça ou por throughput	(ALFIAN, 2022)
<i>Class-Based Storage</i> (Armazenamento por Classes)	Combina flexibilidade e organização	(MUHARNI et al., 2019)
	Reduz percursos de coleta	(SEPTIANI et al., 2020)
	Mais eficiente em sistemas automatizados	(CHAN et al., 2011; JULIANA et al., 2016)
	Adequado para produtos com alta e baixa rotatividade	(MUHARNI et al., 2019)
	Agrupa itens por características (tipo, giro, demanda, frequência conjunta)	(CHAN et al., 2011)
	Permite posicionar produtos de alta rotatividade próximos à expedição	(CHAN et al., 2011)
	Não exige ordenamento completo dos SKUs	(BAHRAMI et al., 2019)
	Flexibilidade para adaptação a variações de estoque	(BAHRAMI et al., 2019)

2.4

Roteirização *indoor* em Armazém

De acordo com Fabri et al. (2023), a roteirização *indoor* em armazéns é reconhecida como um fator estratégico para a excelência operacional na logística interna, especialmente em ambientes industriais complexos, como o setor automotivo. Adicionalmente, os autores afirmam que a adoção de sistemas

avançados de roteirização, como o *Internal Logistics Routing Management* (ILRM), permite garantir o abastecimento contínuo das estações de trabalho, otimizar rotas de entrega de materiais, reduzir custos logísticos e eliminar atrasos (*backorders*). Além disso, os autores demonstram que a implementação de rotas variáveis, ajustadas periodicamente conforme a demanda real ou prevista por sistemas automáticos e *Material Requirements Planning* (MRP), potencializa a flexibilidade e a eficiência do armazém. Além disso, o uso de técnicas de otimização, como programação linear inteira e metaheurísticas, possibilita simular cenários realistas e identificar estratégias que promovem estabilidade operacional e excelência no atendimento das necessidades produtivas. Dessa forma, a roteirização indoor deixa de ser apenas uma atividade operacional e passa a integrar a estratégia de integração entre logística e produção, contribuindo para a competitividade sustentável do ambiente fabril (Fabri et al., 2023).

A roteirização de coleta é considerada por diversos autores um elemento essencial nas operações de separação de pedidos, com impacto direto sobre a eficiência operacional e os custos logísticos. Segundo Dos Santos et al. (2017), rotas bem planejadas contribuem para a redução dos deslocamentos, o equilíbrio da carga de trabalho e o aumento da produtividade. Os autores ressaltam que a escolha da estratégia de roteirização deve considerar fatores como o *layout* do armazém, a política de armazenagem e o volume de pedidos. Ainda de acordo com Dos Santos et al. (2017), a integração entre sistemas de gestão e ferramentas automatizadas de roteirização tem se mostrado eficaz, proporcionando respostas mais rápidas, maior precisão na separação e melhores níveis de serviço. Os autores destacam o uso de abordagens heurísticas e modelagens matemáticas como alternativas para explorar as especificidades do processo e melhorar seu desempenho prático.

Bonassa et al. (2011) corroboram a relevância da roteirização no contexto da separação manual de peças em armazéns, apontando-a como uma ferramenta estratégica para otimizar a eficiência logística. Um dos avanços destacados pelos autores é a utilização de algoritmos capazes de gerar rotas mais curtas e eficientes que aquelas definidas de forma empírica pelos operadores.

De forma semelhante, Rouwenhorst et al. (2000) afirmam que a roteirização é indispensável para a melhoria da eficiência nos armazéns, destacando sua importância na redução de deslocamentos e na maximização da taxa de transferência. Os autores observam que diferentes técnicas e algoritmos têm sido

aplicados para sequenciar atividades de separação, inclusive em ambientes automatizados, onde aspectos como falhas de localização, datas de vencimento e sazonalidade também são considerados. Tais estratégias contribuem para operações mais ágeis, econômicas e com melhor nível de serviço.

Complementando essa perspectiva, Gu et al. (2007) destacam que a roteirização em armazéns com separação de pedidos configura-se como uma extensão do problema clássico de roteirização de veículos (VRP), envolvendo múltiplas localizações de coleta. Os autores apresentam duas heurísticas amplamente utilizadas: a de semente, que constrói lotes a partir de um pedido inicial com base em critérios de proximidade, e a de economia, que funde lotes com o objetivo de reduzir o esforço total de separação. Ambas utilizam métricas de proximidade entre pedidos e rotas, sendo sensíveis a fatores como *layout*, políticas de armazenagem e estrutura dos pedidos. Embora eficientes, os resultados variam conforme o contexto operacional. Modelos mais avançados incorporam ainda critérios como prazos e penalidades, ampliando o escopo da roteirização para além da simples minimização de distâncias.

A separação de pedidos representa uma etapa crítica na cadeia de suprimentos, sobre a ótica do consumo de tempo e recursos operacionais. Nesse contexto, Masae et al. (2021) abordam o problema de roteirização de separadores de pedidos, uma variação do problema clássico do caixeiro-viajante, propondo um algoritmo exato baseado em programação dinâmica e teoria dos grafos. Os autores trouxeram quatro heurísticas de roteirização – *leaf S-shape*, *leaf return*, *leaf midpoint* e *leaf largest gap* – que buscam orientar o separador por rotas eficientes onde as heurísticas que demonstraram melhor desempenho na redução das distâncias percorridas em armazéns menores foi a *leaf S-shape* e em armazéns maiores foi a *leaf midpoint* e *leaf largest gap*. A Figura 5 ilustra as quatro heurísticas de roteirização propostas por Masae et al. (2021)

transformando a gestão do armazém em um diferencial estratégico, promovendo maior produtividade e competitividade para as organizações (Ramaa et al., 2012).

O WMS desempenha um papel crítico na logística, ferramenta indispensável para assegurar a eficiência operacional e a integração das cadeias de suprimentos, permitindo o controle preciso de estoques e a rastreabilidade de produtos, e a comunicação em tempo real entre diferentes *stakeholders* – pessoas envolvidas diretamente ou indiretamente com a operação e seus resultados. Ao integrar dados de forma contínua e confiável, o WMS garante a entrega do produto certo, no momento certo e nas condições adequadas, atendendo às exigências dos *stakeholders* e reduzindo erros operacionais (Andiyappillai, 2020).

Segundo Zaman et al. (2023), a implementação do WMS enfrenta desafios, incluindo a dependência de tecnologias inadequadas e práticas ultrapassadas, que aumentam custos operacionais e os riscos de perda de investimento. Para complementar, a infraestrutura digital limitada dificulta a adoção de soluções avançadas, como computação em nuvem e realidade aumentada, essenciais para o pleno funcionamento do sistema. A resistência organizacional, muitas vezes causada pela falta de conhecimento sobre os benefícios do WMS e pelos altos custos iniciais, também é uma barreira significativa.

2.6

Extended Warehouse Management (EWM)

O *Extended Warehouse Management (EWM)* é uma solução avançada e robusta para otimizar e controlar todos os processos logísticos de um armazém, desde a recepção até o envio de materiais, incluindo movimentações internas, inventários e outras operações. Integrando-se com módulos como *Systemanalyse Programmentwicklung* - Sistema de planejamento de recursos empresariais (SAP ERP) e *Systemanalyse Programmentwicklung* - Gestão da cadeia de suprimentos (SAP SCM), o EWM proporciona maior visibilidade e controle sobre as operações, automatizando processos e reduzindo erros. Sua flexibilidade permite personalizações para diferentes tipos de armazéns e processos logísticos, incluindo funcionalidades como *cross-docking* e gerenciamento de pátios, tornando-o uma solução escalável e adaptável para empresas de diversos portes, buscando otimizar

operações logísticas, reduzir custos e melhorar a eficiência na gestão de estoques (Carter, 2010).

Vaka (2020) afirma que o *Extended Warehouse Management* é uma ferramenta tecnológica essencial para o gerenciamento de armazéns, oferecendo funcionalidades avançadas como controle de números de série e lotes, inventário gerido por fornecedores, otimização de recursos e serviços de valor agregado. Essas capacidades permitem orquestrar operações com maior eficiência e precisão, assegurando o controle contínuo do fluxo de mercadorias. Além disso, o sistema possibilita a gestão eficaz dos processos de entrada e saída, favorecendo a acuracidade do inventário, o cumprimento de pedidos e a correta distribuição dos materiais. O autor também ressalta a integração entre módulos, abrangendo valores de materiais, objetos contábeis, pedidos de compra e ordens de produção, o que facilita a consistência e a replicação de dados.

O *Extended Warehouse Management* (EWM) destaca-se no gerenciamento de armazenagem por suas funcionalidades avançadas, que otimizam processos, reduzem desperdícios e fortalecem a sustentabilidade. O sistema oferece suporte para o armazenamento seguro de materiais perigosos, assegurando conformidade regulatória e mitigando riscos ambientais. Também aprimora a gestão de itens de manutenção, subprodutos e resíduos por meio de rastreamento preciso, segregação eficiente e identificação de oportunidades de reutilização ou reciclagem. Suas capacidades de automação e uso inteligente do espaço maximizam a eficiência operacional, consolidando o EWM como ferramenta essencial para elevar os padrões de gestão, eficiência e sustentabilidade em operações logísticas (Ioannidis, 2024).

Sarac et al. (2010) definem o *Radio Frequency Identification* (RFID) como uma tecnologia de identificação automática que utiliza sinais de radiofrequência para registrar e transmitir dados de forma remota, sem a necessidade de contato visual com o item etiquetado. Segundo os autores, no contexto da gestão da cadeia de suprimentos, o RFID proporciona visibilidade em tempo real do fluxo de materiais, melhora a acuracidade dos estoques, reduz perdas e custos operacionais, além de aumentar a rastreabilidade e a eficiência ao longo de toda a cadeia.

Carter (2010) salienta que a integração da tecnologia *Radio Frequency Identification* ao *Extended Warehouse Management* (EWM) promove ganhos expressivos na otimização das operações de armazém, refletindo diretamente na

eficiência da cadeia de suprimentos. De acordo com Vaka (2020), a RFID, ao possibilitar a identificação e o rastreamento de itens por meio de ondas de rádio, oferece visibilidade em tempo real sobre os níveis de inventário e o fluxo de materiais. Ioannidis (2024) complementa que a integração dessa tecnologia ao EWM automatiza a captura de dados, reduzindo erros manuais e acelerando processos operacionais, o que resulta em maior precisão na gestão de estoques, minimização de divergências e retrabalhos, além da otimização do uso de espaço e recursos do armazém. Ioannidis (2024) ainda acrescenta que as funcionalidades como gestão de números de série e lote, inventário gerido pelo fornecedor e alocação eficiente de recursos são potencializadas por essa sinergia tecnológica. Por fim, Vaka (2020) reforça que, quando implementada de forma planejada e acompanhada de capacitação adequada das equipes, a integração entre RFID e EWM não apenas reduz custos operacionais, mas também eleva os padrões de eficiência, sustentabilidade e competitividade no cenário empresarial contemporâneo.

2.7

Categorização de estoques

De acordo com Ramanathan (2006), a Curva ABC, fundamentada no Princípio de Pareto, classifica estoques considerando que 10% a 20% dos itens respondem por mais de 70% do valor anual de uso, obtido pelo produto entre a demanda anual e o preço unitário. Os itens são organizados em ordem decrescente de valor e distribuídos em três classes: A, de maior relevância econômica; B, intermediária; e C, de menor impacto financeiro. Segundo Liu et al. (2016), também denominada análise de Pareto, essa metodologia parte do pressuposto de que aproximadamente 20% dos itens concentram cerca de 80% do valor total movimentado ou estocado, tendo como critério central o valor monetário anual. Na Figura 6 é apresentada a distribuição típica dessa classificação, que permanece como ferramenta estratégica na gestão de estoques, ao priorizar itens de maior impacto operacional e orientar a alocação eficiente de recursos (Dos Santos Pereira et al., 2022).

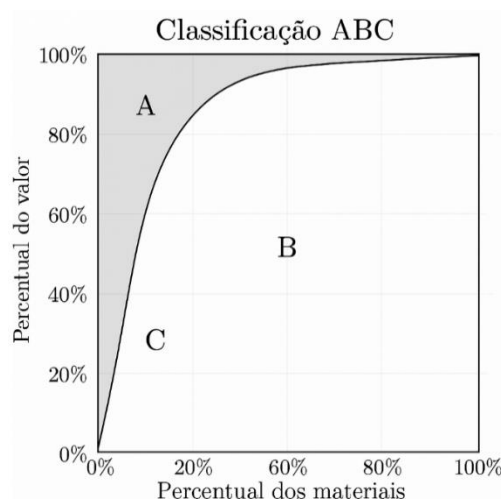


Figura 6: Curva ABC.

Fonte: Adaptada de Dos Santos Pereira et al., 2022.

Na aplicação recursiva proposta por Jemelka et al. (2017), a Curva ABC possibilita segmentações sucessivas dentro de cada classe, oferecendo maior precisão na organização dos estoques. Segundo eles, tal abordagem otimiza o uso do espaço, reduz tempos de manuseio e assegura acesso rápido aos itens mais críticos, sendo especialmente relevante em operações logísticas complexas. A eficácia dessa aplicação é evidenciada por Khan et al. (2017), que verificaram, em estudo empírico, que a realocação de itens das classes A e B para áreas próximas à expedição reduziu significativamente o tempo de separação de pedidos, aumentando a eficiência operacional. Conforme estes autores, esses resultados confirmam o papel da Curva ABC como instrumento não apenas de análise, mas de transformação dos processos logísticos, ancorada no princípio do “produto certo no lugar certo”.

Liu et al. (2016) apontam uma limitação central na Curva ABC tradicional: considerar apenas o valor monetário anual como critério de classificação. Em contextos logísticos complexos, com estoques heterogêneos, como os de materiais de Manutenção, Reparo e Operação (MRO), essa restrição pode comprometer a efetividade da análise e das decisões dela decorrentes. Segundo os autores, sua aplicação em armazéns favorece a otimização do *layout*, posicionando itens da classe A próximos às áreas de expedição e os da classe C em locais de menor acessibilidade. Essa organização viabiliza a criação de zonas funcionais – *hot*, *warm* e *cold zones*, aprimora a roteirização das operações de *picking* e reduz deslocamentos, além de permitir políticas de inventário mais eficientes, com ciclos

de contagem mais curtos para itens críticos e intervalos maiores para itens de menor relevância (Liu et al., 2016).

No que se refere à Curva XYZ, Stoll et al. (2015) a definem como uma metodologia de classificação baseada na variabilidade da demanda, tendo o coeficiente de variação como parâmetro central. Pandya et al. (2016) descrevem que, segundo esse indicador, os itens são agrupados em três categorias: X, com consumo constante e previsível; Y, com variações moderadas, muitas vezes sazonais; e Z, com demanda irregular e de difícil previsão. Essa segmentação possibilita alinhar estratégias de abastecimento e estocagem à regularidade de consumo, otimizando recursos e reduzindo riscos. Stoll et al. (2015) acrescentam que a correta aplicação da Curva XYZ permite definir políticas específicas de armazenagem e reposição, ajustando níveis de estoque e localização conforme a previsibilidade. Para aumentar a confiabilidade da classificação, Zenkova et al. (2018) sugerem a utilização de testes estatísticos, como o de Grubbs, para eliminar outliers que possam distorcer os resultados e gerar efeitos como o *bullwhip effect*. O *bullwhip effect*, também denominado efeito chicote, caracteriza-se pela amplificação das variações da demanda ao longo da cadeia de suprimentos: pequenas oscilações no consumo do cliente final acabam sendo ampliadas nas etapas anteriores de fornecedores e distribuidores, resultando em estoques excessivos ou rupturas. Esse fenômeno é amplamente discutido na literatura de gestão de cadeias de suprimento, tendo sido descrito inicialmente por Forrester (1961) e aprofundado por Lee et al. (1997).

Segundo Scholz-Reiter et al. (2012), a integração das curvas ABC e XYZ amplia a precisão do controle de estoques ao unir a análise por valor econômico (ABC) à previsibilidade da demanda (XYZ). Os autores destacam que essa combinação proporciona uma visão mais abrangente para decisões de estocagem e reabastecimento, permitindo, por exemplo, que itens de alto valor e alta previsibilidade (A-X) sejam geridos com políticas *just-in-time*, enquanto itens de menor valor e baixa previsibilidade (C-Z) requeiram estoques de segurança mais robustos ou posicionamento estratégico no armazém.

Ainda conforme Scholz-Reiter et al. (2012), a robustez da Curva XYZ é amplificada quando associada à previsão de demanda. Os autores demonstram que a inclusão de dados prospectivos no modelo ABC-XYZ reduz significativamente os desvios de classificação, aumentando a acurácia de 75% para até 92% em relação

à classificação de referência definida por especialistas. Esse aprimoramento, de acordo com os autores, resulta da capacidade de antecipar tendências de consumo, minimizando erros provocados por oscilações pontuais ou por sazonalidades que não seriam identificadas apenas com o uso de dados históricos.

Por fim, diante da crescente complexidade das cadeias de suprimento, novas metodologias têm sido propostas para complementar a Curva ABC, como análises multicritério, a exemplo das integrações ABC-XYZ e EIQ-ABC (Scholz-Reiter et al., 2012). A EIQ-ABC considera a frequência de entrada dos itens, a variedade movimentada e o volume de quantidades, permitindo uma classificação mais completa e aderente ao comportamento real dos materiais (Scholz-Reiter et al., 2012). Segundo Herlambang et al. (2021), essas abordagens incorporam variáveis adicionais – como criticidade operacional, frequência de movimentação e volume ocupado, resultando em classificações mais abrangentes e ajustadas às demandas reais de ambientes logísticos.

2.8

A influência Humana, Tecnológica e Organizacional no processo de Armazenagem

Conforme Karlton et al. (2016), a eficiência de processos logísticos e de armazenagem é fortemente condicionada pela interação de fatores humanos, tecnológicos e organizacionais, cuja análise integrada é abordada no conceito – *Human, Technology and Organization* (HTO).

Na lógica de análise científica, HTO, o fator humano assume papel central por integrar competências técnicas, experiência prática e atributos cognitivos e psicossociais que impactam diretamente a eficiência operacional. Estes autores ainda salientam que a interação entre pessoas e tecnologia deve ser concebida para reduzir a carga de trabalho, minimizar erros e ampliar a capacidade de resposta em situações críticas. Carvalho et al. (2014) acrescentam que, mesmo em ambientes suportados por sistemas avançados de programação, a intervenção humana é indispensável para ajustes finos, priorização de tarefas e resolução de conflitos de recursos. Nesse sentido, Berglund et al. (2007) reforçam que profissionais responsáveis pela programação detalhada da operação necessitam não apenas de habilidades técnicas, mas também da capacidade de lidar com incertezas, solucionar

problemas complexos e articular interesses entre diferentes áreas, competências que não podem ser plenamente automatizadas e são determinantes para manter a fluidez operacional.

Quanto ao fator tecnológico, segundo Berglund et al. (2007), o desempenho do processo é limitado e moldado por dois subsistemas: o primário, composto pelos equipamentos e infraestrutura física, e o secundário, formado pelos sistemas de informação e softwares de apoio à decisão. Restrições técnicas ou falhas no sistema primário reduzem a capacidade de resposta, enquanto limitações nos sistemas de gestão, como softwares de programação padrão, podem levar os profissionais a desenvolver soluções complementares – por exemplo, planilhas customizadas – para suprir lacunas informacionais. Carvalho et al. (2014) corroboram que, na programação de capacidade finita, a integração adequada entre tecnologia e prática operacional é determinante para o cumprimento de prazos e otimização de recursos.

No que se refere ao fator organizacional, Berglund et al. (2007) apontam que a estrutura formal e as dinâmicas informais da organização influenciam diretamente a comunicação, a tomada de decisão e a coordenação entre áreas. Estruturas flexíveis e canais de interação interdepartamentais aumentam a adaptabilidade e permitem respostas mais ágeis às demandas. Karlton et al. (2016) acrescentam que a abordagem HTO reforça a importância de alinhar as dimensões humanas e tecnológicas com políticas e práticas organizacionais coerentes, garantindo que a estratégia corporativa seja refletida nos processos logísticos.

Assim, a compreensão sistêmica desses três fatores – humano, tecnológico e organizacional – permite não apenas diagnosticar fragilidades, mas também desenhar soluções integradas para elevar a eficiência, a resiliência e a capacidade de resposta em operações logísticas e de armazenagem (Berglund et al., 2007).

2.9

Sustentabilidade e Logística reversa

Segundo Salas-Navarro et al. (2024), sustentabilidade envolve a integração dos aspectos econômicos, sociais e ambientais nas decisões organizacionais, promovendo o uso racional dos recursos naturais e a preservação dos ecossistemas para as gerações presentes e futuras. Adicionalmente, os autores afirmam que a logística reversa é definida como uma estratégia que busca o reaproveitamento, a

reciclagem e a remanufatura de produtos ao final de seu ciclo de vida, reduzindo impactos ambientais e agregando valor à cadeia produtiva. Os autores destacam que a união entre sustentabilidade e logística reversa é fundamental para a construção de processos produtivos mais responsáveis e para o avanço da economia circular.

3

Método de pesquisa

A definição do método de pesquisa constitui etapa fundamental para assegurar a consistência científica e a validade dos resultados obtidos. Neste capítulo, apresentam-se as opções metodológicas que orientaram o desenvolvimento do estudo, desde a concepção do delineamento até os procedimentos de coleta, análise e validação das evidências. A estrutura contempla a caracterização da pesquisa, sua classificação quanto aos objetivos e a descrição detalhada das etapas do estudo de caso, de modo a explicitar o rigor adotado na investigação e a aderência entre a estratégia metodológica e a problemática logística abordada.

3.1

Delineamento Metodológico

A presente pesquisa caracteriza-se como de natureza aplicada, voltada à solução de problemas práticos relacionados à gestão logística em armazéns de materiais de Manutenção, Reparo e Operação (MRO) no setor de petróleo e gás. Adota-se o método do estudo de caso único, conforme delineado por Yin (2015) e ampliado por Voss et al. (2002), por permitir a análise aprofundada de fenômenos complexos em seu contexto real.

A abordagem metodológica é mista. A vertente quantitativa contempla o tratamento de indicadores operacionais, cálculos de giro de materiais. A vertente qualitativa envolve a interpretação de processos, a análise documental (Gil, 2008). Essa integração amplia a validade dos resultados e reforça o rigor analítico (Creswell, 2014).

3.2

Classificação da Pesquisa

Sob o ponto de vista dos objetivos, o estudo é exploratório e descritivo. Exploratório, por investigar práticas ainda pouco consolidadas na literatura sobre armazenagem MRO com SAP EWM. Descritivo, por detalhar fluxos, processos e variáveis operacionais do caso analisado.

A escolha do estudo de caso único justifica-se pela relevância estratégica do armazém em análise, caracterizado por grande diversidade de SKUs, criticidade dos itens para a continuidade operacional e complexidade logística em seus processos de gestão.

3.3

Estrutura Metodológica: as Sete Etapas do Estudo de Caso

O desenvolvimento da pesquisa seguiu sete etapas, fundamentadas no protocolo de estudo de caso proposto por Yin (2015) e Voss et al. (2002), em consonância com a estrutura metodológica de etapas de pesquisa descrita por Gil (2008):

1. Definição da questão de pesquisa: Analisar os processos logísticos implementados no armazém de MRO de uma unidade do setor de petróleo e gás, a fim de propor melhorias na gestão de materiais, na eficiência operacional e na qualidade dos serviços prestados.
2. Seleção do caso: escolha de um armazém de grande porte, localizado em área estratégica da cadeia logística do setor de petróleo e gás, especializado em materiais MRO e responsável pelo atendimento às Bacias de Santos e Búzios.
3. Desenvolvimento do protocolo de pesquisa: nesta etapa foram estabelecidas as fontes de dados (documentos, relatórios, SAP S/4HANA e SAP EWM), as técnicas de coleta (observação direta e análise documental) e os procedimentos de análise (estatística descritiva, classificação ABC, cálculo de giro).
4. Coleta de dados: Os dados foram obtidos em cinco frentes principais:

- Documental: procedimentos operacionais, relatórios de desempenho, contratos e indicadores logísticos (IRM, ISA).
- Sistêmica: extração de informações dos módulos SAP S/4HANA e SAP EWM.
- Campo: observação participativa direta com operadores, supervisores e gestores.
- Visita de campo.
- Pesquisa das melhores práticas da literatura sobre tema.

5. Análise dos dados: A análise ocorreu em três níveis:

- Diagnóstico operacional: mapeamento de processos críticos.
- Classificação de materiais: aplicação da Curva ABC e cálculo de giro (Ballou, 2006).
- Modelagem: avaliação de *layout*.

6. Validação das evidências: A triangulação de dados (documentos, sistemas e observação participativa direta) foi empregada para aumentar a validade interna da pesquisa, conforme recomenda Yin (2015).

7. Elaboração do relatório: organização dos resultados de forma crítica e estruturada, vinculando evidências empíricas aos referenciais teóricos e culminando em um projeto técnico-propositivo aplicável ao contexto analisado.

3.4

Limitações e Delimitação do Estudo

O estudo restringe-se à análise de um único armazém de MRO, o que limita a generalização direta dos resultados, muito embora os resultados indiquem que possuem uma validade mais ampla de aplicação, quando consideradas operações logísticas com características semelhantes. A modelagem de roteirização considerou simplificações operacionais, como percursos ideais e ausência de barreiras físicas. Ainda assim, o caso analisado apresenta elevada representatividade devido à escala das operações, à criticidade dos materiais e à complexidade logística envolvida.

4

Estudo de caso da operação de armazém de MRO

Este capítulo apresenta o estudo de caso conduzido em um armazém de materiais de Manutenção, Reparo e Operação (MRO) de uma empresa do setor de petróleo e gás, estruturado sob a ótica dos três pilares do modelo HTO – Humano, Tecnológico e Organizacional. A análise abrange o ambiente organizacional, os principais fluxos logísticos e as práticas operacionais observadas, considerando o papel das equipes (humano), das ferramentas de gestão (tecnológico) e das diretrizes que orientam os processos (organizacional).

O propósito é oferecer uma visão integrada e consistente do contexto investigado, conectando o referencial teórico discutido anteriormente à realidade prática do caso. A descrição busca contextualizar os desafios e particularidades do armazém dentro do modelo HTO, servindo de base para as análises subsequentes.

4.1

Caracterização da empresa e armazém de MRO

Este estudo é realizado em uma companhia integrada de energia do setor de petróleo e gás, reconhecida como uma das maiores produtoras globais de hidrocarbonetos, com destacada atuação na exploração e produção *offshore*. A companhia lidera a produção em águas profundas e ultraprofundas, onde estão concentrados 76% de suas reservas provadas e 79% de suas reservas totais. Sua expertise nesse segmento impulsiona o desenvolvimento de tecnologias avançadas, assegurando eficiência e segurança operacional.

Com um portfólio robusto que inclui plataformas de produção, refinarias e unidades flutuantes de produção (FPSO), a empresa mantém uma operação integrada, o que garante sua competitividade no mercado global. Seu plano estratégico abrange investimentos de \$111 bilhões nos próximos cinco anos, consolidando sua posição na indústria e ampliando sua capacidade de atender à crescente demanda por petróleo e gás natural.

Para apoiar seu *core business*, a empresa conta com uma cadeia logística estruturada, capaz de atender de forma eficiente às demandas de exploração e produção, garantindo o suprimento contínuo de materiais essenciais para suas operações marítimas e submarinas. Essa cadeia logística divide-se em duas frentes principais: a logística *offshore*, que engloba operações marítimas e aéreas, e a logística *onshore*, que inclui armazenagem, transporte terrestre e operações portuárias. Além disso, a logística onshore conta com estruturas transversais estratégicas, como o Centro Integrado de Logística de Exploração e Produção (CILEP), bem como programas de segurança e excelência em aviação, que contribuem para o suporte contínuo das operações de exploração e produção.

A operação de armazenagem é estruturada de forma segmentada, com foco em dois tipos principais: Manutenção, Reparo e Operação (MRO) e Produtos Químicos. Os armazéns são estrategicamente localizados com base na proximidade dos portos, definidos pela geolocalização das jazidas petrolíferas.

Para atender às unidades marítimas – desde a área submarina até o *Top Size* de uma unidade marítima, passando por sondas de perfuração, MRO, perfuração e ancoragem – a logística onshore dispõe de dois armazéns. Este estudo concentra-se, especificamente, no armazém voltado às operações das jazidas profundas e ultra profundas.

O armazém analisado neste estudo possui 13 anos de operação e ocupa uma área de aproximadamente 465.000 m², dividida entre áreas cobertas (área interna) e descobertas (área externa). Sua gestão abrange processos fundamentais da cadeia logística, como recebimento, estocagem, separação de pedidos (*orderpicking*), expedição, unitização de carga e transporte, com foco no atendimento às unidades marítimas e submarinas das Bacias de Santos e Búzios.

A operação logística é executada por uma empresa contratada, responsável pela gestão de estoque e realização do inventário anual. O contrato vigente, denominado Polo Operacional Logístico Integrado (POLI), consolidou diversos contratos anteriores de menor escopo que fragmentavam a cadeia de suprimentos, gerando dificuldades operacionais e baixa integração. Com o modelo POLI, todos os serviços inerentes à gestão de armazenagem para exploração e produção de petróleo e gás foram unificados, promovendo maior eficiência e padronização.

Dada a diversidade de materiais armazenados, adotou-se um modelo contratual em que o ressarcimento ao operador logístico é baseado na volumetria

dos itens. Os materiais são classificados em quatro faixas – pequeno, médio, grande e especial, permitindo remuneração proporcional aos principais processos logísticos realizados: recebimento, estocagem, separação e expedição.

O modelo atual contempla três principais fluxos operacionais:

- a) Entrada de materiais novos – provenientes diretamente dos fornecedores, ainda não processados pelo armazém;
- b) Retorno de materiais (*backload*) – itens que circularam por unidades operacionais ou por empresas contratadas e retornam ao armazém;
- c) Expedição de materiais (*load*) – envio de materiais para atendimento às operações.

4.2

Recebimento de material

O processo de recebimento é estruturado em dois fluxos principais: (i) a entrada de materiais novos, provenientes de fornecedores, e (ii) o retorno de materiais oriundos de unidades operacionais, como plataformas e sondas, denominado *backload*. O recebimento de materiais novos está associado tanto a demandas de projetos (*Capital Expenditures – CAPEX*) quanto a necessidades de manutenção e reparo (*Operational Expenditures – OPEX*). Integrado ao ERP SAP S/4HANA, esse processo conecta a área de suprimentos à recepção física dos itens, permitindo que fornecedores registrem notas fiscais e documentos complementares, como certificados e declarações técnicas, em plataforma digital.

O recebimento de materiais novos segue um padrão corporativo previamente estabelecido e constitui uma etapa essencial para garantir a acuracidade do estoque e a conformidade dos itens com os pedidos. A atividade tem início com o agendamento da entrega, no qual é definido um cronograma de atendimento ao fornecedor, considerando a quantidade de itens e o tempo necessário para cada operação. O operador logístico analisa as notas fiscais e documentos anexos, disponibilizando uma janela específica de data e horário para a entrega.

Na sequência, o recebimento assume caráter crítico, iniciando com a chegada física do fornecedor/transportador à área de recebimento. Nesse momento, realiza-se a conferência de nota fiscal, certificados (quando exigidos), pedido de

compra e documento de entrada em estoque (reserva de entrada). Caso a conferência esteja em conformidade, o fornecedor/transportador é encaminhado às docas de recebimento de materiais; quando se tratar de volumes grandes ou de porte especial, o direcionamento ocorre para a área externa de triagem.

Após a conferência física e documental com base nas informações do SAP, quando o material atende integralmente ao pedido – em quantidade, especificações técnicas e estado físico – ele é integrado ao estoque de forma sistêmica. Nesse momento, é gerada uma etiqueta de identificação via SAP (transação sistêmica código YSRELETIQUETA), contendo informações essenciais: número do material (NM), descrição, centro recebedor, lote, unidade de medida, data de recebimento, validade (quando aplicável) e número de série. Essa etiqueta, que pode incluir QR *Code* para rastreabilidade e eficiência, deve ser fixada diretamente no material quando não houver embalagem, e aplicada, também, na própria embalagem quando existente. Concluído esse processo, a entrada física e sistêmica é registrada no SAP, acompanhada da geração da tarefa de depósito que oficializa a incorporação ao inventário.

Nos casos em que o material apresente divergências – como quantidade incorreta, incompatibilidade técnica ou avarias, são adotadas tratativas específicas. Sempre que possível, o item é recusado e devolvido ao transportador. Quando a devolução imediata não é viável, o material é recebido fisicamente e direcionado ao processo de controle de qualidade. Nesse estágio, sua entrada definitiva no estoque permanece suspensa até que as não conformidades sejam analisadas e resolvidas junto ao fornecedor ou às áreas demandantes.

A sistematização desse processo assegura rastreabilidade, integridade e confiabilidade dos materiais, além de promover um fluxo logístico alinhado aos padrões da organização e reduzir riscos operacionais. Trata-se, portanto, de um elemento-chave para a eficiência da gestão de suprimentos da empresa.

O fluxo de recebimento de materiais de *backload* inicia-se com a chegada do transportador à Área de Triagem, podendo os itens estar acondicionados em contentores (unidades de transporte) ou de forma avulsa. O atendimento deve ocorrer em até três horas, sendo vedada a retenção do transportador além desse prazo sem justificativa formal. A liberação só ocorre após a conferência física e documental, etapa indispensável para validar a conformidade inicial.

Na sequência, realiza-se a triagem técnica, que avalia o estado físico do material, sua origem, tipologia e documentação associada. Materiais em boas condições de uso e com documentação regular seguem para os depósitos da gerência de armazenagem, sendo classificados como disponíveis em estoque ou sob análise técnica, conforme parecer da fiscalização. Já os itens que apresentam avarias, ausência documental ou pendências técnicas são direcionados ao fluxo de divergências, no Setor de Tratamento de Divergências, onde podem ser classificados como pendentes de inspeção, pendentes de autorização, devolução à origem ou passivo ambiental.

Esse setor atua em conjunto com suprimentos, meio ambiente e fiscalização, assegurando conformidade legal, alinhamento às diretrizes internas e mitigação de riscos ambientais e operacionais. Todo o processo é registrado no sistema corporativo, garantindo rastreabilidade, transparência e confiabilidade das informações, que também subsidiam auditorias, relatórios gerenciais e monitoramento de indicadores de desempenho.

Para aferir o processo de recebimento de materiais de forma temporal, a companhia integrada de energia do setor de petróleo e gás estabeleceu o Índice de Recebimento de Materiais (IRM). Esse indicador é aplicado de maneira distinta para materiais novos e para materiais de *backload*, sendo atribuídos pesos específicos a cada categoria. Os materiais novos possuem maior peso no cálculo, por apresentarem recebimento mais homogêneo e frequente, enquanto os materiais de *backload* apresentam ocorrências mais esporádicas.

O cálculo do IRM considera a relação entre os itens recebidos dentro do prazo estabelecido e o total de itens recebidos, ponderados pelos pesos definidos para cada tipo de material. A fórmula é apresentada na expressão (1).

$$IRM = \left(\frac{(\sum \text{novos no prazo} \times Pn) + (\sum \text{backload no prazo} \times Pbk)}{(\sum \text{novos recebidos} \times Pn) + (\sum \text{backload recebidos} \times Pbk)} \right) \times 100$$

(1)

onde:

$\sum$ novos no prazo = quantidade de itens novos recebidos dentro do prazo estabelecido;

$\sum \text{backload no prazo} = \text{quantidade de itens de backload recebidos dentro do prazo estabelecido};$

$\sum \text{novos recebidos} = \text{quantidade total de itens novos recebidos};$

$\sum \text{backload recebidos} = \text{quantidade total de itens de backload recebidos};$

$P_n = \text{peso atribuído aos materiais novos};$

$P_b = \text{peso atribuído aos materiais de backload}.$

A meta mensal do IRM estabelece 95,44% para materiais novos e 85,90% para materiais usados, o que corresponde a um índice consolidado de 93,92%. No entanto, a média registrada nos últimos 12 meses atingiu 95,34%, superando a meta consolidada e evidenciando um desempenho consistente acima do esperado.

4.3

Ofensores e desvios do processo de recebimento

No processo de recebimento, que se inicia pelo agendamento, foi observado que os profissionais lidam com documentos fiscais diversos, como notas fiscais, documentos de importação (DI) e certificados de qualidade. Em alguns casos, a ausência ou o preenchimento incompleto dessas informações resultou em alocação inadequada de recursos, sobrecarga de equipamentos, reprogramações de serviços e atrasos no fluxo operacional. Constatou-se ainda que o desalinhamento entre os recursos humanos e o processo ocasionou filas de entrega, concorrência pelo uso de equipamentos e veículos e períodos de ociosidade. Deficiência na qualificação profissional em alguns casos esteve associada a falhas na leitura e interpretação de documentos fiscais, certificados e procedimentos de conferência, o que gerou identificação equivocada de itens, divergências entre o material físico e os registros no sistema e falhas na verificação de documentação obrigatória. Esses achados refletem o pilar Humano do modelo HTO, evidenciando como a capacitação e o alinhamento da força de trabalho impactam diretamente o fluxo logístico.

Na etapa de segregação de materiais no recebimento para qualificação e quantificação, erros humanos foram recorrentes, especialmente relacionados ao desconhecimento de especificações, à interpretação de unidades de medida e à leitura inadequada de etiquetas e endereços logísticos. Também foram registradas falhas no manuseio de cargas com equipamentos e instrumentos de medição, bem

como problemas recorrentes de etiquetagem: materiais de pequeno porte, como parafusos, arruelas e itens similares, não receberam a etiqueta padrão de identificação, conforme ilustrado na Figura 7 – Parafusos sem identificação por etiqueta; além disso, em caixas com múltiplos SKUs, apenas a embalagem externa era identificada, sem detalhamento individual.



Figura 7: Parafusos sem identificação por etiqueta.

No pilar Tecnológico, constatou-se a ausência de soluções como RFID, *Longe Range* (LoRa), *machine learning*, *analytics* em tempo real e IoT. Em contrapartida, observou-se que, nos processos mais recentes, têm sido utilizadas etiquetas com *QR Code* para a verificação e identificação de materiais, servindo como recurso de rastreabilidade. O SAP EWM, em sua configuração padrão, mostrou limitações, exigindo customizações pela equipe de TI e gerando controles paralelos em planilhas e *Business Intelligence* (BI), com perda de rastreabilidade histórica. Já no pilar Organizacional, emergiram fragilidades relacionadas à integração sistêmica, à padronização de rotinas e à definição de responsabilidades. No processo de recebimento, observou-se, por exemplo, a ausência de fluxos padronizados para conferência documental e física, resultando em divergências entre nota fiscal, pedido de compra e material entregue. Além disso, a falta de clareza na atribuição de responsabilidades entre áreas de suprimentos, operação logística e controle de qualidade gera atrasos na liberação e retrabalhos, evidenciando a necessidade de maior coerência entre recursos, tecnologia e gestão.

O Quadro 1 apresenta a correlação entre o processo estruturado de recebimento de materiais e os principais ofensores e desvios identificados, organizados segundo os pilares do modelo HTO (Humano, Tecnológico e Organizacional).

Quadro 1: Correlação entre HTO, Fluxos Estruturados, Ofensores e Desvios – Recebimento.

Pilar HTO	Descrição do Processo (Top. 4.2)	Ofensores e Desvios (Top. 4.3)
Humano	- Agendamento prévio da entrega com definição de janela de data e horário. - Conferência documental: NF, certificados, pedido de compra, DI e reserva de entrada. - Conferência física: quantidade, especificações técnicas e estado do material. - Segregação de materiais para qualificação e quantificação. - Triagem de backload na área de triagem e avaliação técnica (estado físico, origem, tipologia e documentação).	- Ausência ou preenchimento incompleto de documentos fiscais, gerando alocação inadequada de recursos, reprogramações e atrasos. - Desalinhamento entre recursos humanos e processo → filas, concorrência por equipamentos e períodos de ociosidade. - Deficiência na qualificação profissional → falhas na leitura/interpretação de documentos e certificados. - Identificação equivocada de itens, divergências com registros no sistema e falhas na verificação documental. - Erros recorrentes na segregação (unidades de medida, desconhecimento de especificações, leitura inadequada de etiquetas e endereços logísticos). - Falhas no manuseio de cargas e uso incorreto de instrumentos de medição. - Problemas de etiquetagem: itens pequenos sem etiqueta individual e caixas com múltiplos SKUs apenas com identificação externa.
Tecnológico	- Integração ao ERP SAP S/4HANA e uso do SAP EWM. - Geração de etiqueta via SAP (YSRELETIQUETA), contendo NM, descrição, centro, lote, UM, data, validade e nº de série. - Etiquetas podem incluir QR Code para rastreabilidade. - Registro sistêmico da entrada e geração de tarefa de depósito. - Registro de processos de backload no sistema corporativo, assegurando rastreabilidade.	- Ausência de tecnologias avançadas: RFID, LoRa, machine learning, analytics em tempo real e IoT. - Uso restrito de QR Code apenas em algumas etiquetas. - SAP EWM com limitações em configuração padrão, exigindo customizações e controles paralelos em planilhas/B1, resultando em perda de rastreabilidade histórica.
Organizacional	- Procedimentos corporativos padronizados para recebimento de materiais novos (fornecedores – CAPEX/OPEX) e backload. - Tratativas para não conformidades: recusa, devolução, controle de qualidade ou setor de divergências. - Fluxo de triagem técnica e classificação do backload (estoque disponível, análise técnica, pendência, devolução, passivo ambiental). - Atuação conjunta de suprimentos, meio ambiente e fiscalização para conformidade legal e mitigação de riscos.	- Falta de padronização em fluxos de conferência documental e física, gerando divergências entre NF, pedido de compra e material físico. - Alocação inadequada de recursos devido a falhas documentais. - Fragilidades na integração sistêmica e padronização de rotinas. - Falta de clareza na atribuição de responsabilidades entre suprimentos, logística e controle de qualidade → atrasos e retrabalhos. - Necessidade de maior coerência entre recursos, tecnologia e gestão.

4.4

Armazenagem de material

O processo de armazenagem de materiais tem como finalidade garantir a estocagem adequada, segura, organizada e rastreável dos itens, respeitando critérios técnicos e logísticos conforme suas características físicas, operacionais e estratégicas. Essa atividade tem início após a finalização do processo de recebimento, registrada por meio da emissão da entrada de material e da geração da tarefa de depósito no sistema SAP EWM.

No armazém, os materiais são destinados à armazenagem de acordo com as tarefas de guarda geradas pelo sistema SAP EWM. Essas tarefas representam instruções automáticas do sistema que orientam o processo de estocagem. O profissional responsável pela guarda recebe a tarefa em seu *Personal Digital Assistant* (PDA) – coletor de dados, que indica a posição em que o material deve ser armazenado. A confirmação da guarda ocorre em duas etapas: primeiro, o profissional faz a leitura do código de barras da posição de depósito; em seguida, realiza a leitura do código de barras do material. Nesse momento, o sistema registra o material naquela posição, consolidando a movimentação no EWM. O profissional de armazenagem, ao realizar a guarda do material, pode encontrar impedimentos na posição indicada pelo SAP, como área já ocupada ou dimensões do item incompatíveis com a capacidade do local. Nessas situações, de forma prevista e procedimentada, ele utiliza um código de exceção no PDA, registrando a movimentação e alocando o material em uma posição diferente da originalmente orientada pelo sistema.

A distribuição dos itens é realizada automaticamente pelo sistema, com base em estratégias de alocação que consideram o porte do material, o arranjo físico e uma lógica de serpentina, priorizando inicialmente setores de maior densidade e, gradualmente, direcionando para áreas menos ocupadas. Os materiais quando destinados para o porta-paleta podem ser acondicionados em paletes diretamente com sua embalagem original ou em caixas modelo KLT, GLT ou TITAN – caixas plásticas de capacidades diferentes. A correta localização dos itens é definida com base em critérios como giro, peso, dimensão, criticidade e frequência de uso, buscando reduzir custos logísticos, agilizar o atendimento às demandas e garantir rastreabilidade plena. A equipe de armazenagem é, portanto, responsável não apenas pela estocagem física, mas também pela gestão assertiva das posições,

assegurando coerência entre material, localização e quantidade, em conformidade com os padrões corporativos.

O armazém em estudo apresenta um modelo de setorização estruturado, contemplando áreas internas e externas. A área externa, com aproximadamente 360.000 m², é destinada ao armazenamento horizontal e equipada com tendas lonadas para proteção dos materiais. A área interna é composta por dois galpões: o primeiro, com 7.000 m², utilizado exclusivamente para armazenagem em bloco (bloqueado); e o segundo, com 24.000 m², organizado em diferentes arranjos de armazenagem, incluindo porta-paletes, racks, áreas de bloqueado e estruturas de cantiléver. No maior galpão interno, os materiais estão dispostos em porta-paletes com até 12 colunas e 10 níveis de elevação, separados por uma via principal que divide ruas pares e ímpares. Os racks permitem verticalização em até três níveis, direcionados a itens de características semelhantes aos do bloqueado. A área de bloqueado é destinada a materiais volumosos e pesados, acima de 3.000 kg e 6.000 kg, geralmente acondicionados em caixas.

4.5

Ofensores e desvios do processo de armazenagem

O processo de armazenagem, que sucede o recebimento, apresentou pontos relevantes relacionados ao fator humano. Foram observadas dificuldades na manipulação de materiais de pequeno porte (menores que 0,16 m³), frequentemente acondicionados sem identificação adequada ou em recipientes improvisados, como caixas de papelão ou com etiquetas manuscritas. Constatou-se que, ao receber a tarefa e chegar à posição designada, o profissional armazena o material no espaço disponível, sem reorganizar os itens já acondicionados. A Figura 8 apresenta a posição desorganizada.



Figura 8: Organização de porta-paleta.

Registrou-se também que, quando um material é direcionado para um paleta já ocupado por outros itens embalados com filme plástico, não ocorre a rearrumação para integração dos novos materiais antes da aplicação do filme. A Figura 9 demonstra o paleta pronto para receber o filme plástico para ser colocado na posição no porta-paleta.



Figura 9: Porta paleta pronto para receber filme plástico.

Situação semelhante foi observada em casos de utilização de caixas do tipo KLT ou GLT, nas quais os itens são inseridos sem a redistribuição do conteúdo previamente existente, a Figura 10 ilustra essa observação.



Figura 10: Desorganização caixa KLT.

Além disso, a prática de limpeza e organização do local não é adotada de forma sistemática, sendo comum a permanência de resíduos como filmes plásticos e caixas vazias nas posições de armazenagem. Durante o armazenamento manual, foi registrada a queda de caixas nos níveis inferiores do porta-paletes, sem que o profissional percebesse o movimento.

No pilar tecnológico, observou-se a utilização de etiquetas heterogêneas, rasgadas, manuscritas ou de baixa legibilidade. Foram registrados erros de etiquetagem, além da aplicação de etiquetas apenas em embalagens externas, sem detalhamento dos SKUs internos. Verificaram-se etiquetas desatualizadas após alterações sistêmicas de centro, lote, projeto ou tipo de estoque e a ausência de registros por número de série para a maioria dos materiais, com exceção das válvulas do tipo *Shutdown Valve* (SDV) e *Blowdown Valve* (BDV). Constatou-se ainda que, na atual implementação, o SAP EWM foi parametrizado de forma a permitir a alocação de múltiplos SKUs em um mesmo endereço, o que inviabiliza a organização de famílias de materiais em posições setorizadas. Além disso, verificou-se a imprecisão na definição de posições físicas em longarinas sem marcadores, o que dificulta a correta localização dos materiais.

No pilar organizacional, foram observadas descrições idênticas associadas a diferentes números de material, decorrentes de inconsistências no cadastro. Identificou-se também a presença de itens geridos por módulos distintos do SAP (MM – gestão de materiais e EWM – gestão do armazém) em uma mesma área de armazenagem. Verificou-se o fracionamento de um mesmo material em diferentes endereços, aspecto que, embora vinculado à gestão organizacional, apresenta também relação com o pilar tecnológico. Foram ainda registrados resíduos operacionais, como etiquetas antigas, embalagens vazias e anotações anteriores,

evidenciando a inexistência de procedimentos institucionais uniformes para limpeza, descarte e atualização de registros. Esses pontos demonstram a sobreposição entre dimensões tecnológicas e organizacionais, em razão da interação entre práticas de cadastro, governança sistêmica e diretrizes corporativas.

O Quadro 2 apresenta a correlação entre o processo estruturado de armazenagem de materiais e os principais ofensores e desvios identificados, organizados segundo os pilares do modelo HTO (Humano, Tecnológico e Organizacional).

Quadro 2: Correlação entre HTO, Fluxos Estruturados, Ofensores e Desvios – Armazenagem.

Pilar HTO	Descrição do Processo (Top. 4.4)	Ofensores e Desvios (Top. 4.5)
Humano	- Execução das tarefas de armazenagem com base nas instruções automáticas do SAP EWM. - Utilização de PDA para recebimento das tarefas, leitura do código de barras da posição e do material. - Possibilidade de uso de códigos de exceção para realocação em posições alternativas. - Responsabilidade da equipe pela guarda física, correta localização e gestão assertiva das posições.	- Dificuldades na manipulação de materiais de pequeno porte ($<0,16 \text{ m}^3$), muitas vezes sem identificação ou em recipientes improvisados (ex.: caixas de papelão, etiquetas manuscritas). - Armazenagem realizada no espaço disponível sem reorganizar itens já acondicionados (Figura 7). - Inserção de materiais em paletes ou caixas KLT/GLT já ocupados, sem redistribuição prévia (Figuras 8 e 9). - Ausência de prática sistemática de limpeza e organização, com resíduos (filmes plásticos, caixas vazias) nas posições. - Queda de caixas em níveis inferiores do porta-paletes sem percepção do operador.
Tecnológico	- Sistema SAP EWM como núcleo do processo, gerando tarefas de depósito e aplicando estratégias automáticas de alocação (lógica de serpentina). - Estruturas de armazenagem: porta-paletes, racks, bloco e cantiléver. - Utilização de caixas padrão (KLT, GLT, TITAN) para acondicionamento. - Critérios técnicos de alocação: giro, peso, dimensão, criticidade e frequência de uso. - Estrutura de setorização em áreas internas e externas (galpões e pátios cobertos).	- Uso de etiquetas heterogêneas, rasgadas, manuscritas ou de baixa legibilidade. - Erros de etiquetagem e aplicação apenas em embalagens externas, sem detalhamento dos SKUs internos. - Etiquetas desatualizadas após alterações sistêmicas (centro, lote, projeto, estoque). - Ausência de registros por número de série para a maioria dos itens (exceto SDV/BDV). - Implementação atual do SAP EWM parametrizada para permitir múltiplos SKUs em um mesmo endereço, inviabilizando a organização por famílias de materiais. - Definição imprecisa de posições físicas em longarinas sem marcadores, dificultando a localização.
Organizacional	- Procedimentos institucionais que definem critérios de armazenagem segura, rastreável e alinhada às diretrizes corporativas. - Governança do processo por meio de integrações do SAP EWM com políticas de gestão de estoque. - Estrutura formal de setores internos (galpões) e externos (área aberta com tendas) definida pela companhia.	- Descrições idênticas vinculadas a diferentes números de material, decorrentes de inconsistências cadastrais. - Itens geridos por módulos distintos do SAP (MM e EWM) em uma mesma área de armazenagem. - Fracionamento de um mesmo material em diferentes endereços, com sobreposição entre dimensões tecnológicas e organizacionais. - Resíduos operacionais (etiquetas antigas, embalagens vazias, anotações anteriores) devido à inexistência de procedimentos institucionais uniformes de limpeza, descarte e atualização de registros.

4.6

Separação de material

A separação de materiais tem início a partir de dois fenômenos principais: as reservas e as remessas. As reservas podem ser originadas pela sensibilização do *Material Requirements Planning* (MRP) ou por demandas específicas de manutenção e projetos. As remessas decorrem de solicitações de manutenção, projetos ou da emissão de Pedidos de Transferência de Materiais (PTM). Esses fenômenos são gerados diretamente no SAP ERP, pelos módulos de Materiais ou de Manutenção, conforme a necessidade do proprietário do material.

As demandas resultantes são centralizadas no EPLANLOG, que é uma ferramenta sistêmica para planejamento logístico por solicitação de demanda de materiais, utilizado pelo Centro de Operações Integradas cuja responsabilidade é consolidar, priorizar e programar o atendimento, bem como para tratar as exceções, mantendo a sincronia entre o armazém e as operações de apoio às unidades marítimas, sistemas de ancoragem e atividades submarinas.

No processo de separação, a programação dos itens no sistema informatizado da companhia integrada de energia do setor de petróleo e gás define o início da contagem de prazos. Para que um item seja considerado separado, ele deve ser retirado do estoque, identificado e registrado conforme as especificações, sendo então disponibilizado para atendimento de reservas ou remessas.

No SAP EWM, a separação de pedidos (*picking*) é estruturada a partir do agrupamento de atividades logísticas em uma *wave* (onda), executada com o apoio do PDA. A *wave* consolida requisições de retirada de mercadorias de acordo com critérios parametrizados, como pedidos com mesma janela de expedição, mesma rota de transporte, mesmo cliente, mesma tipologia de materiais ou zona do armazém.

Após a liberação da *wave*, o sistema gera automaticamente as tarefas de armazém (*warehouse tasks*), contendo instruções ao operador, como itens a coletar, quantidades e endereços de armazenagem. Essas tarefas são transmitidas ao PDA, permitindo execução guiada e validação em tempo real. Uma mesma *wave* pode reunir diferentes tipos de solicitações, como requisições internas, transferências entre centros logísticos, movimentações internas ou atendimento a contratos de fornecimento, todas integradas em um único circuito logístico.

A separação física dos materiais é realizada por meio do percurso em “serpentina” ou “zig-zag”, no qual o operador percorre sequencialmente as ruas do armazém, da posição mais próxima da expedição até as áreas mais distantes. Durante o percurso, o sistema orienta o operador a acessar todas as posições definidas na *wave*.

A coleta é condicionada à identificação por etiquetas, com leitura via QR *Code* tanto da posição de armazenagem quanto do item. Esse procedimento confirma a retirada e registra a movimentação no sistema EWM. Quando concluída, o SAP EWM gera automaticamente um documento com os dados, transferindo o saldo contábil do material para a unidade solicitante.

O Índice de Separação de Armazenagem (ISA) é um indicador estabelecido pela companhia integrada de energia do setor de petróleo e gás, utilizado para mensurar o desempenho do processo de separação de materiais em relação aos prazos definidos contratualmente. Seu cálculo baseia-se na relação entre o número de itens separados dentro do prazo estabelecido e o total de itens separados, sejam eles realizados dentro ou fora do prazo. A fórmula é apresentada na expressão (2).

$$ISA = \left(\frac{\sum \text{itens separados no prazo}}{\sum \text{itens separados}} \right) \times 100 \quad (2)$$

onde:

$\sum$ itens separados no prazo = *quantidade total de itens processados dentro do prazo estabelecido*;

$\sum$ itens separados = *quantidade de itens processados, incluindo aqueles realizados fora do prazo*.

A meta mensal do ISA estabelece 78,44%. No entanto, a média registrada nos últimos 12 meses atingiu 79,56%, superando a meta consolidada e evidenciando um desempenho consistente acima do esperado.

A etapa final da separação direciona os materiais para a área de expedição, sob responsabilidade de uma gestão operacional específica. Nessa unidade, as cargas são organizadas e segmentadas por destino, sendo então submetidas aos processos de consolidação logística.

4.7

Ofensores e desvios do processo de separação de materiais

A separação de materiais constitui uma das etapas mais críticas do fluxo logístico em armazéns de MRO, pois conecta diretamente o planejamento da demanda às operações de expedição. Nesse processo, emergem diversas fragilidades que afetam sua execução e que podem ser compreendidas a partir do modelo HTO (Humano, Tecnológico e Organizacional). A seguir, apresentam-se os principais problemas identificados, estruturados de acordo com esses três pilares, de modo a evidenciar os fatores que interferem na acurácia, rastreabilidade e confiabilidade da atividade.

No âmbito humano, a separação de materiais apresenta recorrentes dificuldades relacionadas à execução das atividades pelos operadores. Erros de leitura e interpretação de etiquetas e endereços logísticos são frequentes, assim como equívocos na compreensão das unidades de medida, o que pode gerar distorções no atendimento das requisições. A não localização de itens mesmo com o endereço indicado no sistema provoca retrabalhos e atrasos, impactando diretamente a fluidez do processo. Além disso, a adoção de listagens impressas como apoio paralelo ao uso do PDA introduz duplicidade de orientação, aumentando a possibilidade de inconsistências. Somam-se a esses aspectos as falhas de manuseio durante a coleta com equipamentos de movimentação, que podem comprometer a integridade do material e a segurança do trabalhador.

Sob a perspectiva tecnológica, verificou-se que o SAP EWM, na atual implementação, permite a alocação de múltiplos SKUs em um mesmo endereço, não diferenciando grupos ou famílias de materiais. Constatou-se que a estratégia de separação em serpentina obriga o profissional a percorrer todos os corredores em ordem sempre que houver itens a serem coletados, mas o posicionamento de itens de maior giro não está concentrado nas posições iniciais das ruas. Foi observada também a formação de *waves* com demandas heterogêneas, reunindo transferências, requisições internas e contratos de fornecimento em uma mesma lista de coleta. Registraram-se problemas de identificação, como ausência de etiquetas, etiquetas rasgadas, trocadas, de baixa legibilidade ou aplicadas de forma incorreta durante o recebimento. Além disso, identificou-se o uso recorrente de códigos de exceção no

PDA para redirecionar materiais a posições diferentes daquelas originalmente indicadas pelo sistema.

No pilar organizacional, observa-se a ausência de padronização e controle que garantam maior consistência ao processo de separação. A heterogeneidade de armazenagem, caracterizada pela presença de diferentes SKUs em uma mesma posição, dificulta a localização e aumenta o risco de falhas. Um mesmo material pode estar fragmentado em múltiplas posições, exigindo verificações adicionais que elevam a complexidade do processo. A falta de delimitação física clara nas estantes de armazenagem – como longarinas com várias posições sobrepostas – dificulta a identificação dos espaços destinados aos itens, gerando erros durante a coleta. Além disso, materiais de pequeno porte, como parafusos, são frequentemente acondicionados soltos em grandes volumes, sem estar embalados em pacotes com uma quantidade padrão ou subdivisão, o que inviabiliza métodos alternativos de contagem e torna o processo de separação mais suscetível a falhas. Em outros casos, itens caem nos vãos das estruturas de estocagem, permanecendo fora da posição visível, o que compromete sua localização no momento da coleta.

No Quadro 3 é apresentada correlação entre o processo estruturado de separação de materiais e os principais ofensores e desvios identificados, organizados segundo os pilares do modelo HTO (Humano, Tecnológico e Organizacional).

Quadro 3: Correlação entre HTO, Fluxos Estruturados, Ofensores e Desvios - Separação de materiais.

Pilar HTO	Descrição do Processo (Top. 4.6)	Ofensores e Desvios (Top. 4.7)
Humano	- Execução da separação pelos operadores com apoio do PDA. - Coleta guiada por tarefas de armazém (warehouse tasks) geradas automaticamente pelo SAP EWM. - Percurso físico em serpentina (zig-zag), da área de expedição às posições mais distantes. - Confirmação da retirada por leitura de código de barras da posição e do material. - Responsabilidade da equipe pela coleta e integridade dos itens.	- Erros de leitura e interpretação de etiquetas e endereços logísticos. - Equívocos na compreensão de unidades de medida. - Não localização de itens mesmo com endereço indicado no sistema, gerando retrabalhos e atrasos. - Uso paralelo de listagens impressas junto ao PDA, criando duplicidade de orientação. - Falhas no manuseio de equipamentos durante a coleta, comprometendo a integridade do material e a segurança do trabalhador.
Tecnológico	- SAP EWM como sistema estruturante do processo. - Formação de waves (ondas) consolidadas com base em parâmetros como janela de expedição, rota, cliente, tipologia e zonas do armazém. - Integração entre SAP ERP e EWM, com geração automática de warehouse tasks. - Identificação dos itens e posições por etiquetas com leitura via QR Code. - Indicador ISA (Índice de Separação da Armazenagem) para mensurar desempenho.	- Implementação do SAP EWM permitindo múltiplos SKUs em uma mesma posição, sem diferenciação por grupos ou famílias. - Estratégia em serpentina obriga o operador a percorrer todos os corredores em ordem sempre que houver itens a serem coletados; itens de maior giro não estão concentrados nas posições iniciais. - Waves com demandas heterogêneas (transferências, requisições internas e contratos de fornecimento), dificultando segregação de finalidades. - Problemas de identificação: ausência de etiquetas, etiquetas rasgadas, trocadas ou de baixa visibilidade. - Uso frequente de códigos de exceção no PDA para redirecionar materiais a posições diferentes daquelas indicadas pelo sistema.
Organizacional	- Demandas originadas por reservas (MRP, manutenção e projetos) e remessas (manutenção, projetos e Pedidos de Transferência de Materiais). - Consolidação e priorização das demandas pelo EPLANLOG, garantindo sincronia entre armazém e operações offshore. - Procedimentos institucionais de programação e monitoramento dos prazos contratuais (ISA). - Gestão operacional da área de expedição e consolidação logística.	- Ausência de padronização que assegure maior consistência ao processo de separação. - Heterogeneidade de SKUs em uma mesma posição, dificultando a localização. - Fragmentação de um mesmo material em múltiplas posições, exigindo verificações adicionais. - Falta de delimitação física clara nas estantes (longarinas com várias posições sobrepostas), comprometendo a identificação durante a coleta. - Materiais de pequeno porte armazenados soltos em grandes volumes, sem subdivisão em quantidades padrão ("pacotização"). - Itens caindo em vãos das estruturas, permanecendo fora da posição visível.

4.8

Inventário

O processo de inventário anual é conduzido de forma sistemática e contínua, 24 horas por dia e 7 dias por semana, obedecendo a um cronograma previamente elaborado pelo operador logístico e aprovado pela gestão do armazém em reunião inicial de inventário. Para dar início às atividades, o operador logístico solicita à Comissão de Inventário a abertura dos documentos correspondentes no sistema SAP ERP. Esses documentos podem ser configurados de duas maneiras: para orientar a contagem completa de uma posição de armazenagem, abrangendo todos os materiais nela localizados, ou para direcionar a contagem de um SKU específico em determinada posição.

A contagem física é então realizada pelos profissionais de armazenagem, com apoio de dispositivos móveis do tipo *Personal Digital Assistant* (PDA) ou, na ausência destes, por meio de registros manuais. Quando a contagem é executada com suporte do PDA, os dados coletados são imediatamente inseridos no sistema, garantindo a integração em tempo real. Nos casos em que a contagem ocorre sem o uso do dispositivo, os resultados são anotados manualmente pelo profissional e, posteriormente, lançados no sistema via terminal de computador.

O lançamento dos dados no SAP pode resultar em três situações distintas: (i) coincidência entre as quantidades físicas e as registradas no sistema, caracterizando ausência de divergência; (ii) divergência positiva, quando a contagem física identifica maior quantidade de determinado SKU em relação ao saldo sistêmico; ou (iii) divergência negativa, quando a contagem física apresenta quantidade inferior à registrada no sistema. Todas essas informações são registradas e formalizadas, permitindo a análise posterior pela Comissão de Inventário, responsável pelos ajustes e lançamentos contábeis necessários.

Os resultados do processo são registrados em relatórios formais, utilizados para fins contábeis, de auditoria e de acompanhamento de indicadores corporativos, assegurando a rastreabilidade e a documentação de todas as etapas do inventário.

4.9

Ofensores e desvios do processo de inventário

O processo de inventário apresentou registros de ofensores e desvios durante sua execução. Esses pontos foram organizados segundo o modelo HTO – Humano, Tecnológico e Organizacional, de forma a descrever as ocorrências observadas em cada pilar.

No âmbito humano, foram observados desvios na execução da contagem física. Identificaram-se dificuldades na interpretação de documentos de inventário, resultando em registros incompletos ou incorretos. Em alguns casos, operadores não localizaram itens mesmo com endereço registrado no sistema e apresentaram divergências na interpretação de unidades de medida, como tubos lineares e pacotes fracionados. Também foram verificadas situações em que profissionais realizaram a contagem de muitas posições sem conhecimento sobre materiais mais específicos, o que limitou a correta identificação. Constatou-se, ainda, a prática de considerar apenas a quantidade descrita em etiquetas, sem conferência física, bem como falhas em SKUs com volumes superiores a 500 unidades, especialmente em materiais de pequeno porte (menores que 0,16 m³), como parafusos, frequentemente acondicionados soltos sem estar embalados em pacotes com quantidades padronizadas. Além disso, diante de materiais com etiquetas parcialmente legíveis ou ausentes, alguns operadores reuniram os itens em um único contentor para identificação posterior, sem efetuar registros imediatos, ocasionando divergências negativas no inventário. Adicionalmente, verificou-se o desconhecimento na identificação de números de série e *part numbers*, além da falta de domínio no uso de instrumentos como paquímetro, canivete de roscas e canivete de *o'rings*, ferramentas com padrões usadas para determinação de diâmetros de peças.

Foram identificadas variações nos padrões de etiquetas, incluindo materiais sem identificação, etiquetas rasgadas ou de baixa legibilidade. Registraram-se erros de etiquetagem, como troca de identificação entre itens e aplicação apenas em embalagens externas, sem detalhamento dos SKUs internos. Algumas etiquetas permaneceram desatualizadas após alterações sistêmicas, envolvendo centro, lote, projeto ou tipo de estoque. Observou-se, ainda, a ausência de registros de número de série para parte dos materiais, especialmente tubulações, cujo controle é obrigatório. No caso de tubulares metálicos, verificou-se que, em razão da

proximidade do armazém com a Baía de Guanabara, o processo de corrosão é acentuado, tornando ilegíveis os números de série pintados nos equipamentos. Também foi constatado o uso parcial de recursos tecnológicos no inventário, com contagens realizadas sem o apoio do PDA. Em determinadas situações, divergências ocorreram por falhas de sincronização entre lançamentos manuais e registros no sistema, especialmente quando os dados eram posteriormente digitados via computador. Além disso, foram observadas falhas de integração entre os módulos SAP ERP e SAP EWM. A ausência de tecnologias como RFID, LoRa e outras soluções avançadas impossibilitou a realização de inventário ágil e automatizado.

Constataram-se divergências entre saldos físicos e contábeis decorrentes de movimentações sistêmicas não acompanhadas da movimentação física correspondente, como nos fluxos de alienação e sucateamento, em que a baixa contábil foi realizada antes da saída efetiva. Em outras situações, cancelamentos de processos, como Requisições de Transporte (RT), não foram acompanhados de estornos adequados, resultando em discrepâncias entre os registros. Foram observados casos de migração de dados no EWM que geraram saldos pendentes não tratados, além da coexistência de materiais geridos por módulos distintos (MM e EWM) em uma mesma área física, dificultando a contagem. Também se registraram situações de imobilização de materiais, em que o saldo permaneceu contábil em depósitos distintos da posição física. Adicionalmente, verificaram-se materiais caídos no chão entre as estruturas, sem recolhimento imediato, o que gera incerteza sobre sua origem e compromete a confiabilidade das contagens. A arrumação constante e a inspeção prévia deveriam integrar os procedimentos de armazenagem e ser realizadas antes do inventário anual, no qual a totalidade do estoque é contada uma única vez ao longo do exercício. Esses aspectos evidenciam a presença de divergências institucionais relacionadas à governança do processo de inventário, à integração sistêmica e ao tratamento de registros corporativos.

O Quadro 4 apresenta a correlação entre o processo estruturado de inventário e os principais ofensores e desvios identificados, organizados segundo os pilares do modelo HTO (Humano, Tecnológico e Organizacional).

Quadro 4: Correlação entre HTO, Fluxos Estruturados, Ofensores e Desvios – Inventário.

Pilar HTO	Descrição do Processo (Top. 4.8)	Ofensores e Desvios (Top. 4.9)
Humano	- O inventário é anual, contínuo 24h por dia e 7 dias por semana, conforme cronograma elaborado pelo operador logístico e aprovado pela gestão do armazém. - A execução inicia-se com a abertura de documentos no SAP ERP pela Comissão de Inventário. - Os documentos podem orientar a contagem completa de uma posição ou de um SKU específico. - A contagem física é realizada pelos profissionais de armazenagem, com uso de PDA ou, na ausência, por registros manuais.	- Dificuldades na interpretação de documentos de inventário, gerando registros incompletos ou incorretos. - Não localização de itens mesmo com endereço registrado no sistema. - Divergências na interpretação de unidades de medida (tubos lineares, pacotes fracionados). - Contagem de muitas posições sem conhecimento técnico de materiais específicos. - Contagem baseada apenas em etiquetas, sem conferência física. - Falhas na contagem de SKUs com grandes volumes (>500 unidades), especialmente materiais pequenos (<0,16 m³). - Consolidação de itens sem etiquetas ou com etiquetas ilegíveis em um único contentor, sem registro imediato. - Desconhecimento na identificação de números de série, part numbers e no uso de instrumentos de medição. - Materiais caídos no chão entre estruturas sem recolhimento imediato, dificultando a identificação da origem e comprometendo a confiabilidade da contagem.
Tecnológico	- Quando a contagem ocorre com PDA, os dados são inseridos diretamente no sistema em tempo real. - Na ausência de PDA, os resultados são anotados manualmente e depois lançados no sistema via computador. - Os lançamentos no SAP podem gerar três situações: ausência de divergência, divergência positiva ou divergência negativa. - Todos os resultados são formalizados para análise pela Comissão de Inventário.	- Variações nos padrões de etiquetas (ausentes, rasgadas, ilegíveis). - Erros de etiquetagem (troca entre itens, aplicação apenas em embalagem externa). - Etiquetas desatualizadas após mudanças sistêmicas (centro, lote, projeto, estoque). - Ausência de registros de número de série em parte dos materiais. - Números de série de tubulares metálicos corroídos pela proximidade com a Baía de Guanabara, tornando-os ilegíveis. - Uso parcial de PDA, com contagens manuais e lançamento posterior. - Divergências por falhas de sincronização entre registros manuais e sistema. - Falhas de integração entre SAP ERP e SAP EWM.
Organizacional	- A Comissão de Inventário analisa os resultados, realizando ajustes e lançamentos contábeis. - Os relatórios formais são utilizados para fins contábeis, auditoria e indicadores corporativos. - O processo assegura rastreabilidade e documentação das etapas.	- Divergências entre saldos físicos e contábeis por movimentações sistêmicas sem movimentação física correspondente (alienação, sucateamento). - Cancelamentos de processos (RT) sem estorno adequado. - Migração de dados no EWM com saldos pendentes não tratados. - Coexistência de materiais geridos por módulos distintos (MM e EWM) em uma mesma área física. - Imobilização de materiais com saldo contábil em depósito diferente da posição física. - Divergências institucionais ligadas à governança do inventário, integração sistêmica e tratamento dos registros corporativos.

5

Propostas estruturantes para os processos de armazenagem

Neste capítulo são apresentadas propostas estruturantes para os processos de recebimento, armazenagem, separação e inventário, organizadas sob a perspectiva HTO (Humano, Tecnológico e Organizacional). As recomendações derivam diretamente dos achados do Capítulo 4 e são respaldadas por referenciais teóricos apresentadas no Capítulo 2 e práticas consolidadas de mercado. Além das recomendações específicas para cada processo, este capítulo introduz o Projeto Técnico-propositivo Integrado de Otimização Logística (P-TIOL), que articula classificação ABC/XYZ/Giro, redesenho de *layout*, governança “Dono de Rua”, inventário rotativo e controle digital via PDA, configurando um modelo analítico e prático para aumentar a eficiência, a rastreabilidade e a maturidade operacional do armazém estudado.

5.1

Objetivo da Proposta

A partir das evidências levantadas no estudo de caso e das fragilidades diagnosticadas nos processos de recebimento, armazenagem, separação de materiais, expedição e inventário, este capítulo apresenta um conjunto de propostas estruturantes fundamentadas no modelo HTO (Humano, Tecnológico e Organizacional), respaldadas pela literatura científica e por práticas consolidadas do mercado. O objetivo é propor soluções factíveis e alinhadas ao contexto do armazém de MRO, de modo a mitigar os problemas identificados e potencializar a eficiência operacional.

As propostas aqui delineadas não se restringem a ajustes pontuais, mas configuram recomendações de carácter sistêmico, que integram a capacitação contínua da força de trabalho, a incorporação de tecnologias avançadas e o fortalecimento da governança organizacional. Fundamentam-se no referencial

teórico discutido no Capítulo 2 e buscam oferecer soluções factíveis e alinhadas às melhores práticas, ampliando a eficiência e a resiliência das operações logísticas.

Somadas às propostas estruturantes, este capítulo apresenta um projeto técnico-propositivo com o intuito de mitigar e prevenir os principais pontos de estrangulamento identificados, por meio de um conjunto de ações integradas, modelagens matemáticas e práticas logísticas de referência.

5.2

Propostas estruturantes para o processo de recebimento de materiais

O processo de recebimento, caracterizado por sua complexidade documental e operacional, exige propostas estruturantes que integrem os pilares do modelo HTO – Humano, Tecnológico e Organizacional – para assegurar eficiência, rastreabilidade e confiabilidade.

Em referência ao pilar humano, a primeira medida refere-se à capacitação contínua em conferência documental e especificações técnicas, contemplando treinamentos periódicos sobre leitura de notas fiscais, certificados e unidades de medida. Essa prática responde diretamente às fragilidades observadas, já que, conforme destacam Karlton et al. (2016), a eficiência dos processos logísticos depende da integração de competências técnicas e cognitivas, reduzindo erros de conferência e assegurando a integridade do fluxo de recebimento. Além disso, é necessária a padronização de competências operacionais, por meio da estruturação de matrizes de capacitação que englobem tanto habilidades técnicas (uso de equipamentos de medição) quanto atributos psicossociais. Tal abordagem está em consonância com Carvalho et al. (2014), que reforçam a indispensabilidade da intervenção humana para ajustes finos e resolução de conflitos operacionais, e com Berglund et al. (2007), que salientam a importância da preparação dos profissionais para lidar com incertezas e articular interesses entre diferentes áreas.

Como ação complementar, sugere-se a criação de um programa de certificação em logística documental, de forma a aprofundar o conhecimento das equipes na análise de notas fiscais, certificados de qualidade e documentos de importação. Essa medida mitigaria falhas recorrentes de interpretação, fortalecendo o controle do fluxo de entrada.

Outra proposta é a adoção de rotação de funções e desenvolvimento de polivalência operacional, permitindo que profissionais alternem atividades de conferência, triagem e manuseio. Essa prática contribui para reduzir períodos de ociosidade em gargalos e ampliar a resiliência do processo diante de variações na demanda.

Adicionalmente, recomenda-se a implementação de técnicas de *workforce management*, para redistribuir equipes em tempo real conforme a formação de filas ou a sobrecarga em determinados pontos do processo, reduzindo esperas e otimizando o uso dos recursos disponíveis.

Do ponto de vista tecnológico, recomenda-se a integração incremental de tecnologias de rastreo, com adoção gradativa de RFID em complemento ao QR Code, ampliando a rastreabilidade e reduzindo falhas de etiquetagem, como apontam Sarac et al. (2010). Em paralelo, é essencial a melhoria da customização do SAP EWM, minimizando controles paralelos em planilhas e *Business Intelligence*, reforçando a integração sistêmica. Vaka (2020) enfatiza que a flexibilidade do EWM possibilita configurações escaláveis, evitando perda de rastreabilidade e retrabalhos.

Como medida adicional, propõe-se a incorporação de modelos analíticos preditivos, capazes de antecipar picos de recebimento e ajustar janelas de agendamento de fornecedores. Essa previsão reduziria gargalos e aumentaria a acuracidade na alocação de recursos.

Recomenda-se também a adoção de sensores IoT integrados a *dashboards* em tempo real, aplicados em docas de recebimento e áreas de triagem. Essa tecnologia permitiria monitorar indicadores de fluxo, utilização de equipamentos e níveis de ocupação, eliminando a necessidade de controles paralelos e fortalecendo a rastreabilidade histórica.

Outra ação estruturante consiste em explorar a automação parcial do recebimento, por meio de esteiras de triagem com leitores automáticos de etiquetas (QR, código de barras e RFID). Esse recurso aceleraria as etapas críticas e reduziria erros humanos, em consonância com práticas descritas por Ramaa et al. (2012) sobre WMS/EWM.

Práticas de mercado reforçam essas medidas: a Deloitte Global, por meio de sua oferta *Digital Supply Chain Strategy* (DSCS), apoia o redesenho das cadeias logísticas com foco em agilidade, inteligência operacional, automatização

inteligente e análise de dados. Essas capacidades podem potencializar iniciativas como *advanced shipping notifications* (ASN), por meio de automatização, e habilitar *dynamic slotting* por meio de inteligência de *forecast* e demanda em tempo real. Já a Capgemini S.A promove uma transformação digital das cadeias de suprimento por meio de *Intelligent Supply Chain Operations*, com foco em operações autônomas, integração de inteligência artificial e economia de custos – reportando ganhos como até 50 % de redução em custos operacionais e elevação significativa da satisfação do cliente.

Por fim, recomenda-se a adoção de um plano de incorporação tecnológica estruturado em horizontes de curto, médio e longo prazo, de modo a alinhar inovação logística às necessidades reais da operação. No curto prazo, podem ser priorizadas ações de baixo custo e rápido retorno, como a padronização de etiquetas, a expansão do uso de *QR Code*, a automação parcial do recebimento por esteiras com leitos e leitores óticos, além da implantação gradual de projetos-piloto com RFID. Essas iniciativas apresentam maior viabilidade imediata, pois demandam investimentos moderados e podem ser implementadas em conjunto com a equipe de TI e o operador logístico, em linha com Carter (2010), que destaca a relevância da integração tecnológica incremental como fator de confiabilidade operacional.

Essas medidas devem ainda alinhar-se à agenda de sustentabilidade, contemplando práticas de logística reversa e o acompanhamento de indicadores ambientais, como emissões de carbono e eficiência energética, em consonância com Wanke (2011), que ressalta a importância da integração entre eficiência logística e responsabilidade socioambiental.

Sob a ótica organizacional, propõe-se a criação de protocolos claros para tratamento de divergências, com fluxos documentados e padronizados que reduzam filas e agilizem decisões, em consonância com Berglund et al. (2007), que ressaltam a coerência entre políticas organizacionais e rotinas operacionais. Também é recomendada a definição de responsabilidades interdepartamentais, garantindo que áreas como Suprimentos, Meio Ambiente e Armazenagem atuem de forma coordenada, conforme defendem Karlton et al. (2016).

Complementarmente, sugere-se a criação de uma plataforma unificada de agendamento e gestão documental de fornecedores, que permita *upload* e validação de notas fiscais, certificados e reservas de entrada antes da chegada física do

material. Tal medida reduziria significativamente falhas documentais e alocação incorreta de recursos.

Outra iniciativa é a ampliação do IRM (Índice de Recebimento de Materiais), incorporando novos indicadores, como tempo médio de fila, taxa de erro documental e divergências resolvidas dentro do Acordo de Nível de Serviço (SLA). Essa evolução ampliaria a visão sistêmica de desempenho e permitiria comparações consistentes com *benchmarks* internacionais.

Por fim, recomenda-se a criação de um comitê interdepartamental de governança do processo de recebimento, com encontros regulares para análise de divergências e proposição de melhorias contínuas. Essa prática fortalece a integração entre áreas e promove decisões mais rápidas e coerentes.

5.3

Propostas estruturantes para o processo de armazenagem de materiais

O processo de armazenagem, além de garantir a estocagem adequada e acessível dos itens, requer estruturação para responder aos desafios de espaço, *layout* e políticas de alocação. Assim como no recebimento, as propostas são delineadas sob os três pilares HTO.

No âmbito humano, recomenda-se a inclusão de treinamento ergonômico e de boas práticas de movimentação, mitigando riscos de saúde ocupacional e otimizando a produtividade. Estudos como os de Finnsgård et al. (2013) evidenciam que a ergonomia, especialmente relacionada à altura de acesso – a chamada “zona dourada” – tem impacto direto no desempenho operacional. Paralelamente, sugere-se a capacitação em políticas de armazenagem (ABC/XYZ e zoneamento), de modo que os operadores compreendam a lógica de alocação. Liu et al. (2016) demonstram que o zoneamento ABC, ao posicionar itens de maior giro em áreas estratégicas, reduz deslocamentos e eleva a eficiência do *picking*.

Adicionalmente, recomenda-se a criação de um programa de padronização de acondicionamento para pequenos materiais, utilizando *kits* e subdivisões internas em KLTs, evitando improvisações que comprometem a rastreabilidade. Outra medida é a implementação de rotinas de *housekeeping* (5S adaptado a armazéns), com ciclos de limpeza e inspeção para assegurar organização e reduzir riscos de

contaminação ou acidentes. Por fim, treinamentos específicos em percepção de risco para movimentações em grandes alturas devem ser incorporados, minimizando incidentes como a queda de caixas em porta-paletes.

No campo tecnológico, recomenda-se a adoção progressiva de sistemas de alta densidade, como porta-paletes dedicados, que conciliam densidade com acessibilidade, conforme demonstrado por Battini et al. (2018). Além disso, a utilização de suporte analítico para *layout*, por meio de heurísticas como *leaf midpoint* e *S-shape*, aliadas a *softwares* de simulação, reduz deslocamentos e equilibra a carga de trabalho (Dos Santos et al., 2017).

Outra proposta é a implantação da política de armazenamento por classes (*class-based storage*), que organiza os itens em zonas específicas, reduzindo tempo de coleta e otimizando deslocamentos (Chan et al., 2011). Septiani et al. (2020) corroboram a eficiência desse método em operações complexas. Na prática, isso significa adotar critérios de zoneamento que associem a localização física dos itens ao seu comportamento logístico. Ballou (2006) destaca que o posicionamento de itens de maior valor ou giro em áreas de fácil acesso reduz significativamente o tempo de atendimento. Assim, materiais classificados como A/X devem ser priorizados em posições próximas às docas de expedição, enquanto itens de baixo giro, como os C/Z, podem ser alocados em áreas periféricas ou bloqueadas, preservando o espaço nobre para materiais críticos. De acordo com Van den Berg et al. (1999), a correta distribuição física também deve considerar características volumétricas: SKUs grandes ou de difícil movimentação precisam ser armazenados em corredores largos e de acesso direto a empilhadeiras, enquanto materiais de pequeno porte podem ser organizados em estruturas de alta densidade, como gaveteiros, próximos às zonas de *picking*. Esse alinhamento entre *layout* físico e estratégia operacional está em consonância com Liu et al. (2016), que evidenciam que o zoneamento ABC aplicado ao *layout* reduz deslocamentos desnecessários e amplia a eficiência do processo de separação.

Jermisittiparsert et al. (2019) destacam que a coerência entre *layout* e objetivos estratégicos é um fator-chave para o desempenho da cadeia de suprimentos.

Como ações complementares, recomenda-se a padronização centralizada das etiquetas logísticas, com modelos integrados (QR *code* + RFID) para eliminar registros manuscritos ou ilegíveis. Sugere-se ainda a parametrização do SAP EWM

para impedir múltiplos SKUs em um mesmo endereço, fortalecendo a rastreabilidade. A instalação de marcadores físicos visíveis em longarinas e corredores também deve ser implementada, reduzindo erros de endereçamento. Finalmente, propõe-se expandir a utilização do registro por número de série para materiais críticos para o processo de manutenção, reparo e operação, como por exemplo: bombas, válvulas, tubos de exploração, ferramentas de interfaces entre o poço de exploração e as plataformas marítimas, elevando a confiabilidade do inventário.

Além disso, é essencial implantar um programa de saneamento e governança de cadastros de materiais, corrigindo descrições idênticas e inconsistências entre os módulos SAP MM e EWM. Recomenda-se também a adoção de uma política de endereçamento único por material, reduzindo dispersão em múltiplos endereços, bem como a definição de procedimentos uniformes para descarte de resíduos operacionais (etiquetas antigas, embalagens vazias, anotações manuais). Por fim, sugere-se a criação de um comitê de governança interdepartamental sobre dados mestres, integrando Suprimentos, Tecnologia da Informação (TI) e Operações para garantir consistência e integração sistêmica.

No âmbito organizacional, propõe-se a criação de políticas institucionais de governança da armazenagem, que definam fluxos formais de comunicação entre as áreas de suprimentos, armazenagem e tecnologia da informação. Berglund et al. (2007) destacam que estruturas institucionais bem definidas ampliam a coordenação entre departamentos e reduzem falhas operacionais. Na prática, isso pode ser implementado por meio de reuniões interdepartamentais periódicas, com agendas pré-definidas de análise de divergências sistêmicas e de avaliação de indicadores logísticos.

Adicionalmente, recomenda-se a padronização dos cadastros e do endereçamento dos materiais, evitando descrições duplicadas e dispersão de SKUs em múltiplos endereços. Karlton et al. (2016) ressaltam que o alinhamento entre políticas institucionais e processos logísticos é essencial para assegurar coerência entre a estratégia corporativa e a execução operacional. Como exemplo, pode-se instituir a obrigatoriedade de um “endereço único” por material, evitando que um mesmo item seja fragmentado em diferentes posições de armazenagem, o que compromete a rastreabilidade.

Por fim, sugere-se a integração institucional plena entre os módulos SAP MM e EWM, de modo a eliminar divergências entre saldos físicos e contábeis. Carvalho et al. (2014) evidenciam que a integração entre sistemas institucionais e a prática operacional fortalece a confiabilidade do fluxo logístico. Como ação prática, recomenda-se a criação de projetos corporativos de saneamento sistêmico, em que equipes conjuntas de TI e logística realizem auditorias trimestrais nos cadastros de materiais e nas movimentações de estoque, com relatórios formais submetidos à alta gestão.

5.4

Propostas estruturantes para o processo de separação de materiais

As propostas estruturantes para o processo de separação de materiais respondem às fragilidades identificadas no estudo empírico e se fundamentam no referencial teórico, Capítulo 2. Organizadas à luz do modelo HTO – Humano, Tecnológico e Organizacional, contemplam de forma integrada a capacitação da força de trabalho, o aprimoramento dos recursos tecnológicos e o fortalecimento das políticas institucionais que sustentam a governança logística.

No pilar Humano, a ênfase na capacitação contínua e no treinamento prático dialoga com Karlton et al. (2016), que destacam a centralidade do fator humano como determinante para reduzir erros e aumentar a capacidade de resposta em situações críticas. Carvalho et al. (2014) reforçam que, mesmo em operações amparadas por sistemas avançados, a atuação dos operadores permanece essencial para a priorização de tarefas e ajustes finos, justificando a recomendação de padronização de procedimentos e uso exclusivo do PDA como medidas para eliminar redundâncias e aumentar a consistência do processo.

No pilar Tecnológico, recomenda-se a adoção sistemática de etiquetas RFID nos materiais, assegurando que o SAP EWM esteja devidamente parametrizado e interligado para registrar automaticamente cada movimentação física no sistema. O RFID, conforme Sarac et al. (2010), proporciona visibilidade em tempo real do fluxo de materiais, amplia a acuracidade dos estoques e reduz perdas operacionais. Carter (2010) acrescenta que a integração dessa tecnologia ao EWM promove ganhos expressivos na otimização das operações de armazém, refletindo diretamente na eficiência da cadeia de suprimentos. Vaka (2020) reforça que, ao

permitir a identificação por radiofrequência, o RFID garante rastreabilidade contínua e otimiza o uso do espaço e dos recursos logísticos. Ioannidis (2024) complementa que a sinergia entre RFID e EWM automatiza a captura de dados, reduzindo erros manuais, acelerando processos e potencializando funcionalidades como gestão de lotes e números de série. Essa integração tecnológica apoia de forma decisiva o processo de picking, considerado por De Koster et al. (2007) como uma das atividades mais relevantes e complexas da armazenagem, responsável por até 55% dos custos operacionais.

A literatura evidencia que a incorporação de sistemas automatizados contribui para a redução de erros humanos, otimização de rotas e aumento da acurácia (Rouwenhorst et al., 2000). Complementarmente, a revisão das estratégias de roteirização com base em giro, criticidade e proximidade física relaciona-se diretamente aos estudos de Dos Santos et al. (2017), que ressaltam a importância da roteirização heurística para reduzir deslocamentos, balancear cargas de trabalho e elevar a produtividade em processos de separação.

Sob a perspectiva Organizacional, a formulação de políticas institucionais voltadas à padronização de processos, a padronização de embalagens com quantidades definidas de itens de pequeno porte, integração entre módulos SAP MM e EWM e gestão de resíduos operacionais encontra fundamento em Van den Berg et al. (1999) e Kapou et al. (2022), que discutem a importância de políticas de armazenagem como instrumentos reguladores para a eficiência do espaço e dos fluxos logísticos. A padronização de práticas operacionais também se alinha à abordagem de Muharni et al. (2019), que defendem a adoção de políticas estruturadas de armazenagem – seja dedicada, aleatória ou por classes como mecanismo essencial para reduzir perdas financeiras, otimizar custos e agilizar o atendimento. Considerando o perfil do armazém analisado, caracterizado por elevada diversidade de SKUs, diferentes níveis de giro e variação de criticidade, o modelo mais aderente é o de armazenagem por classes, uma vez que permite agrupar materiais de acordo com seu comportamento logístico e priorizar a acessibilidade de itens críticos e de maior movimentação. Além disso, o fortalecimento do papel do EPLANLOG como unidade coordenadora coaduna-se com Berglund et al. (2007), ao destacarem que estruturas organizacionais flexíveis e mecanismos de governança ampliam a adaptabilidade institucional e permitem maior alinhamento estratégico entre áreas.

5.5

Propostas estruturantes para o processo de inventário

As propostas de melhoria para o processo de inventário foram concebidas de forma a responder aos problemas observados no estudo empírico (Seções 4.8 e 4.9), ao mesmo tempo em que se alinham ao arcabouço teórico consolidado no campo da logística e da gestão de armazéns (Capítulo 2). O modelo HTO – Humano, Tecnológico e Organizacional – foi adotado como estrutura de análise, assegurando a integração entre práticas operacionais, recursos tecnológicos e políticas institucionais.

No eixo humano, propõe-se a implementação de um programa contínuo de capacitação para os profissionais envolvidos no inventário, com foco na interpretação de documentos de contagem, identificação de materiais e domínio de instrumentos específicos, como paquímetro, canivete de roscas e canivete de *o’rings*. Recomenda-se a realização de treinamentos voltados à correta distinção de unidades de medida, especialmente em materiais lineares e itens fracionados, bem como práticas de conferência física complementares às etiquetas. Em consonância com Karlton et al. (2016), a valorização das competências técnicas e cognitivas é essencial para reduzir falhas humanas, assegurando maior confiabilidade nas contagens. A especialização em SKUs críticos e de grande volumetria deve ser incorporada em trilhas de aprendizagem direcionadas, incluindo materiais de pequeno porte ($<0,16 \text{ m}^3$), frequentemente associados a maiores taxas de divergência.

No âmbito tecnológico, sugere-se a adoção gradual de tecnologias de rastreamento avançadas, como RFID e LoRa (Ioannidis, 2024), integradas ao SAP EWM, possibilitando inventários mais ágeis e automatizados, em linha com Sarac et al. (2010). Propõe-se a padronização das etiquetas, assegurando legibilidade, resistência e atualização contínua em casos de alteração sistêmica de atributos (centro, lote, projeto). Para materiais sujeitos à corrosão, como tubulares metálicos, recomenda-se a substituição da pintura convencional dos números de série por tecnologias mais resistentes, como plaquetas metálicas gravadas a laser ou etiquetas plásticas de alta durabilidade. A adoção dessa prática deve ser incorporada às especificações técnicas e cláusulas contratuais de fornecimento, de forma que os fabricantes e fornecedores já entreguem os materiais com identificação permanente,

reduzindo perdas de rastreabilidade e evitando retrabalhos durante a armazenagem e o inventário. O uso obrigatório do PDA deve ser ampliado, eliminando gradualmente registros manuais e reduzindo divergências oriundas de lançamentos posteriores. Além disso, recomenda-se a integração plena entre SAP ERP e SAP EWM, com mecanismos de validação em tempo real para prevenir inconsistências, conforme destacado por Andiyappillai (2020) sobre a importância da interoperabilidade nos sistemas de gestão de armazéns.

No pilar organizacional, destaca-se a necessidade de políticas institucionais voltadas à governança do inventário, garantindo maior alinhamento entre áreas de armazenagem, suprimentos, contabilidade e auditoria. Sugere-se a criação de procedimentos corporativos específicos para a gestão de divergências (positivas e negativas), estabelecendo fluxos padronizados para tratamento de ajustes sistêmicos e contábeis. A integração entre os módulos MM e EWM deve ser consolidada em uma política corporativa única, reduzindo inconsistências em registros de depósitos distintos. Além disso, propõe-se a implantação de auditorias internas periódicas e programas de melhoria contínua baseados em indicadores de desempenho, como o Índice de Acuracidade do Inventário. A experiência de Scavarda et al. (2012) evidencia que políticas institucionais robustas e bem estruturadas reforçam a confiabilidade do inventário e fortalecem a governança logística em ambientes complexos e regulados.

5.6

Integração do Diagnóstico e Propostas Estruturantes dos Processos Logísticos sob a Perspectiva HTO

Com o objetivo de consolidar, de maneira comparativa e estruturada, os resultados empíricos e as propostas delineadas nesta pesquisa, foram elaborados quadros analíticos que abrangem os processos de recebimento, armazenagem, separação e inventário de materiais. Organizados segundo o modelo HTO – Humano, Tecnológico e Organizacional, esses quadros apresentam, em uma mesma estrutura, a descrição operacional de cada processo (Seções 4.2, 4.4, 4.6 e 4.8), os respectivos ofensores e desvios identificados (Seções 4.3, 4.5, 4.7 e 4.9) e as propostas estruturantes fundamentadas no referencial teórico (Capítulo 5). A

composição possibilita uma visualização integrada dos elementos analisados, relacionando diagnóstico e proposições de forma sistemática.

O Quadro 5 apresenta a correlação entre a Seção 4.2, que descreve as etapas do processo de recebimento, a Seção 4.3, que evidencia os ofensores e desvios, e a Seção 5.2, que reúne as propostas estruturantes. O quadro organiza essas informações sob o modelo HTO.

Quadro 5: Processo de Recebimento de Materiais.

Pilar HTO	Descrição do Processo (Top. 4.2)	Ofensores e Desvios (Top. 4.3)	Propostas Estruturantes (Top. 5.2)	Referências
Humano	- Agendamento prévio da entrega com definição de janela de data e horário. - Conferência documental: NF, certificados, pedido de compra, DI e reserva de entrada. - Conferência física: quantidade, especificações técnicas e estado do material. - Segregação de materiais para qualificação e quantificação. - Triagem de backlog na área de triagem e avaliação técnica (estado físico, origem, tipologia e documentação).	- Ausência ou preenchimento incompleto de documentos fiscais, gerando alocação inadequada de recursos, reprogramações e atrasos. - Desalinhamento entre recursos humanos e processo → filas, concorrência por equipamentos e períodos de ociosidade. - Deficiência na qualificação profissional → falhas na leitura/interpretação de documentos e certificados. - Identificação equivocada de itens, divergências com registros no sistema e falhas na verificação documental. - Erros recorrentes na segregação (unidades de medida, desconhecimento de especificações, leitura inadequada de etiquetas e endereços logísticos). - Falhas no manuseio de cargas e uso incorreto de instrumentos de medição. - Problemas de etiquetagem: itens pequenos sem etiqueta individual e caixas com múltiplos SKUs apenas com identificação externa.	- Capacitação contínua em conferência documental, leitura de certificados e interpretação de unidades de medida. - Estruturação de matrizes de capacitação contemplando habilidades técnicas e atributos psicossociais. - Programa de certificação em logística documental. - Rotação de funções e polivalência operacional. - Técnicas de workforce management para redistribuição dinâmica de equipes.	Karlton et al. (2016); Carvalho et al. (2014); Berglund et al. (2007)
Tecnológico	- Integração ao ERP SAP S/4HANA e uso do SAP EWM. - Geração de etiqueta via SAP (YSRELETIQUETA), contendo NM, descrição, centro, lote, UM, data, validade e nº de série. - Etiquetas podem incluir QR Code para rastreabilidade. - Registro sistêmico da entrada e geração de tarefa de depósito. - Registro de processos de backlog no sistema corporativo, assegurando rastreabilidade.	- Ausência de tecnologias avançadas: RFID, LoRa, machine learning, analytics em tempo real e IoT. - Uso restrito de QR Code apenas em algumas etiquetas. - SAP EWM com limitações em configuração padrão, exigindo customizações e controles paralelos em planilhas/BI, resultando em perda de rastreabilidade histórica.	- Adoção incremental de RFID integrada ao QR Code para rastreabilidade em tempo real. - Customização do SAP EWM para reduzir controles paralelos em planilhas. - Modelos analíticos preditivos para antecipar picos de recebimento. - Sensores IoT integrados a dashboards em tempo real. - Automação parcial com esteiras de triagem e leitores automáticos de etiquetas. - Plano de incorporação tecnológica em fases (curto, médio e longo prazo).	Sarac et al. (2010); Vaka (2020); Ramaa et al. (2012); Carter (2010); Wanke (2011)
Organizacional	- Procedimentos corporativos padronizados para recebimento de materiais novos (fornecedores – CAPEX/OPEX) e backlog. - Tratativas para não conformidades: recusa, devolução, controle de qualidade ou setor de divergências. - Fluxo de triagem técnica e classificação do backlog (estoque disponível, análise técnica, pendência, devolução, passivo ambiental). - Atuação conjunta de suprimentos, meio ambiente e fiscalização para conformidade legal e mitigação de riscos.	- Falta de padronização em fluxos de conferência documental e física, gerando divergências entre NF, pedido de compra e material físico. - Alocação inadequada de recursos devido a falhas documentais. - Fragilidades na integração sistêmica e padronização de rotinas. - Falta de clareza na atribuição de responsabilidades entre suprimentos, logística e controle de qualidade → atrasos e retrabalhos. - Necessidade de maior coerência entre recursos, tecnologia e gestão.	- Protocolos claros e padronizados para tratamento de divergências. - Definição de responsabilidades interdepartamentais (Suprimentos, Meio Ambiente e Armazenagem). - Plataforma unificada de agendamento e gestão documental de fornecedores. - Evolução do IRM com novos indicadores (tempo de fila, taxa de erro documental, SLA). - Criação de comitê interdepartamental de governança do processo de recebimento.	Berglund et al. (2007); Karlton et al. (2016)

O Quadro 6 apresenta a correlação entre a Seção 4.4, que descreve as etapas do processo de armazenagem, a Seção 4.5, que evidencia os ofensores e desvios, e a Seção 5.3, que reúne as propostas estruturantes. O quadro organiza essas informações sob o modelo HTO.

Quadro 6: Processo de Armazenagem de Materiais.

Pilar HTO	Descrição do Processo (Top. 4.4)	Ofensores e Desvios (Top. 4.5)	Propostas Estruturantes (Top. 5.3)	Referências
Humano	- Execução das tarefas de armazenagem com base nas instruções automáticas do SAP EWM. - Utilização de PDA para recebimento das tarefas, leitura do código de barras da posição e do material. - Possibilidade de uso de códigos de exceção para realocação em posições alternativas. - Responsabilidade da equipe pela guarda física, correta localização e gestão assertiva das posições.	- Dificuldades na manipulação de materiais de pequeno porte (<0,16 m³), muitas vezes sem identificação ou em recipientes improvisados (ex.: caixas de papelão, etiquetas manuscritas). - Armazenagem realizada no espaço disponível sem reorganizar itens já acondicionados (Figura 7). - Inserção de materiais em paletes ou caixas KLT/GLT já ocupados, sem redistribuição prévia (Figuras 8 e 9). - Ausência de prática sistemática de limpeza e organização, com resíduos (filmes plásticos, caixas vazias) nas posições. - Queda de caixas em níveis inferiores do porta-paletes sem percepção do operador.	- Treinamento ergonômico com foco na “zona dourada” e boas práticas de movimentação. - Capacitação em políticas de armazenagem (ABC/XYZ e zoneamento) para compreensão da lógica de alocação. - Padronização de acondicionamento para pequenos materiais (kits e subdivisões em KLT). - Implantação de rotinas de housekeeping (5S) com ciclos de limpeza e inspeção. - Treinamentos de percepção de risco para trabalho em altura (porta-paletes).	Finnsgård et al. (2013); Liu et al. (2016)
Tecnológico	- Sistema SAP EWM como núcleo do processo, gerando tarefas de depósito e aplicando estratégias automáticas de alocação (lógica de serpentina). - Estruturas de armazenagem: porta-paletes, racks, bloco e cantilever. - Utilização de caixas padrão (KLT, GLT, TITAN) para acondicionamento. - Critérios técnicos de alocação: giro, peso, dimensão, criticidade e frequência de uso. - Estrutura de setorização em áreas internas e externas (galpões e pátios cobertos).	- Uso de etiquetas heterogêneas, rasgadas, manuscritas ou de baixa legibilidade. - Erros de etiquetagem e aplicação apenas em embalagens externas, sem detalhamento dos SKUs internos. - Etiquetas desatualizadas após alterações sistêmicas (centro, lote, projeto, estoque). - Ausência de registros por número de série para a maioria dos itens (exceto SDV/BDV). - Implementação atual do SAP EWM parametrizada para permitir múltiplos SKUs em um mesmo endereço, inviabilizando a organização por famílias de materiais. - Definição imprecisa de posições físicas em longarinas sem marcadores, dificultando a localização.	- Adoção progressiva de sistemas de maior densidade (ex.: porta-paletes dedicados) conciliando densidade e acessibilidade. - Suporte analítico a layout/roteirização com heurísticas (leaf midpoint, S-shape) e simulação para reduzir deslocamentos. - Implantação de class-based storage para organizar zonas por comportamento logístico e reduzir tempo de coleta. - Padronização centralizada de etiquetas (QR Code + RFID) e atualização automática de atributos. - Parametrização do SAP EWM para impedir múltiplos SKUs por endereço e reforçar rastreabilidade. - Instalação de marcadores físicos visíveis em longarinas/corredores. - Expansão de registro por número de série para itens críticos de MRO (bombas, válvulas, tubos, ferramentas).	Battini et al. (2018); Dos Santos et al. (2017); Chan et al. (2011); Van den Berg et al. (1999); Ballou (2006)
Organizacional	- Procedimentos institucionais que definem critérios de armazenagem segura, rastreável e alinhada às diretrizes corporativas. - Governança do processo por meio de integrações do SAP EWM com políticas de gestão de estoque. - Estrutura formal de setores internos (galpões) e externos (área aberta com tendas) definida pela companhia.	- Descrições idênticas vinculadas a diferentes números de material, decorrentes de inconsistências cadastrais. - Itens geridos por módulos distintos do SAP (MM e EWM) em uma mesma área de armazenagem. - Fracionamento de um mesmo material em diferentes endereços, com sobreposição entre dimensões tecnológicas e organizacionais. - Resíduos operacionais (etiquetas antigas, embalagens vazias, anotações anteriores) devido à inexistência de procedimentos institucionais uniformes de limpeza, descarte e atualização de registros.	- Programa de saneamento e governança de cadastros (eliminação de descrições duplicadas e inconsistências MM/EWM). - Política de endereço único por material para evitar fragmentação e elevar rastreabilidade. - Procedimentos uniformes para limpeza/descartes e atualização de registros nas posições. - Comitê interdepartamental de dados mestres (Suprimentos, TI e Operações) com auditorias periódicas. - Reuniões interdepartamentais com agenda de divergências e indicadores logísticos (follow-up formal). - Projetos corporativos de integração plena MM-EWM com ciclos de saneamento trimestrais.	Berglund et al. (2007); Karlton et al. (2016); Carvalho et al. (2014); Van den Berg et al. (1999)

O Quadro 7 apresenta a correlação entre a Seção 4.6, que descreve as etapas do processo de separação de materiais, a Seção 4.7, que evidencia os ofensores e desvios, e a Seção 5.4, que reúne as propostas estruturantes. O quadro organiza essas informações sob o modelo HTO.

Quadro 7: Processo de Separação de Materiais.

Pilar HTO	Descrição do Processo (Top. 4.6)	Ofensores e Desvios (Top. 4.7)	Propostas Estruturantes (Top. 5.4)	Referências
Humano	- Execução da separação pelos operadores com apoio do PDA. - Coleta guiada por tarefas de armazém (warehouse tasks) geradas automaticamente pelo SAP EWM. - Percorso físico em serpentina (zig-zag), da área de expedição às posições mais distantes. - Confirmação da retirada por leitura de código de barras da posição e do material. - Responsabilidade da equipe pela coleta e integridade dos itens.	- Erros de leitura e interpretação de etiquetas e endereços logísticos. - Equívocos na compreensão de unidades de medida. - Não localização de itens mesmo com endereço indicado no sistema, gerando retrabalhos e atrasos. - Uso paralelo de listagens impressas junto ao PDA, criando duplicidade de orientação. - Falhas no manuseio de equipamentos durante a coleta, comprometendo a integridade do material e a segurança do trabalhador.	- Treinamentos contínuos em conferência documental, unidades de medida e manuseio seguro de equipamentos. - Padronização do uso exclusivo do PDA, eliminando listagens paralelas. - Estruturação de matrizes de capacitação, abrangendo competências técnicas e cognitivas. - Programas de rotação de funções e polivalência operacional para ampliar resiliência do processo. - Implementação de workforce management para redistribuição de equipes conforme gargalos.	Karlton et al. (2016); Carvalho et al. (2014); Berglund et al. (2007)
Tecnológico	- SAP EWM como sistema estruturante do processo. - Formação de waves (ondas) consolidadas com base em parâmetros como janela de expedição, rota, cliente, tipologia e zonas do armazém. - Integração entre SAP ERP e EWM, com geração automática de warehouse tasks. - Identificação dos itens e posições por etiquetas com leitura via QR Code. - Indicador ISA (Índice de Separação da Armazenagem) para mensurar desempenho.	- Implementação do SAP EWM permitindo múltiplos SKUs em uma mesma posição, sem diferenciação por grupos ou famílias. - Estratégia em serpentina obriga o operador a percorrer todos os corredores em ordem sempre que houver itens a serem coletados; itens de maior giro não estão concentrados nas posições iniciais. - Waves com demandas heterogêneas (transferências, requisições internas e contratos de fornecimento), dificultando segregação de finalidades. - Problemas de identificação: ausência de etiquetas, etiquetas rasgadas, trocadas ou de baixa visibilidade. - Uso frequente de códigos de exceção no PDA para redirecionar materiais a posições diferentes daquelas indicadas pelo sistema.	- Implantação sistemática de RFID integrado ao SAP EWM para registro automático de movimentações. - Padronização de etiquetas (QR Code + RFID) e atualização automática de dados críticos. - Parametrização do SAP EWM para diferenciar famílias de materiais e evitar múltiplos SKUs por endereço. - Revisão de estratégias de roteirização com base em giro, criticidade e proximidade física. - Uso de heurísticas (S-shape, leaf midpoint) e softwares de simulação para otimizar rotas de coleta.	Sarac et al. (2010); Carter (2010); Vaka (2020); Ioannidis (2024); De Koster et al. (2007); Rouwenhorst et al. (2000); Dos Santos et al. (2017)
Organizacional	- Demandas originadas por reservas (MRP, manutenção e projetos) e remessas (manutenção, projetos e Pedidos de Transferência de Materiais). - Consolidação e priorização das demandas pelo EPLANLOG, garantindo sincronia entre armazém e operações offshore. - Procedimentos institucionais de programação e monitoramento dos prazos contratuais (ISA). - Gestão operacional da área de expedição e consolidação logística.	- Ausência de padronização que assegure maior consistência ao processo de separação. - Heterogeneidade de SKUs em uma mesma posição, dificultando a localização. - Fragmentação de um mesmo material em múltiplas posições, exigindo verificações adicionais. - Falta de delimitação física clara nas estantes (longarinas com várias posições sobrepostas), comprometendo a identificação durante a coleta. - Materiais de pequeno porte armazenados soltos em grandes volumes, sem subdivisão em quantidades padrão ("pacotização"). - Itens caindo em vãos das estruturas, permanecendo fora da posição visível.	- Implementação da política de armazenagem por classes (class-based storage) para agrupar materiais conforme giro e criticidade. - Padronização de embalagens com quantidades definidas para itens de pequeno porte. - Fortalecimento do papel do EPLANLOG como unidade coordenadora de demandas e exceções. - Definição de políticas institucionais para endereçamento único por material, reduzindo fragmentação. - Programas de governança e auditoria sobre cadastros e endereços, com participação interdepartamental.	Van den Berg et al. (1999); Kapou et al. (2022); Muharni et al. (2019); Berglund et al. (2007)

O Quadro 8 apresenta a correlação entre a Seção 4.8, que descreve as etapas do processo de inventário, a Seção 4.9, que evidencia os ofensores e desvios, e a Seção 5.5, que reúne as propostas estruturantes. O quadro organiza essas informações sob o modelo HTO.

Quadro 8: Processo de Inventário.

Pilar HTO	Descrição do Processo (Top. 4.8)	Ofensores e Desvios (Top. 4.9)	Propostas Estruturantes (Top. 5.5)	Referências
Humano	- Inventário contínuo (24h/7d) conforme cronograma aprovado. - Abertura de documentos no SAP ERP pela Comissão de Inventário. - Contagem de posição ou SKU específico. - Contagem física com PDA ou, na ausência, registros manuais.	- Dificuldades na interpretação de documentos, gerando registros incompletos/incorretos. - Não localização de itens, mesmo com endereço registrado. - Divergências em unidades de medida (tubos lineares, pacotes fracionados). - Falhas em SKUs de grande volumetria ou materiais pequenos (<0,16 m³). - Contagem baseada apenas em etiquetas, sem conferência física. - Consolidação de itens sem etiqueta em contentor único, sem registro imediato. - Desconhecimento no uso de instrumentos (paquímetro, canivete de roscas, de o' rings).	- Programa contínuo de capacitação para inventário, com foco na interpretação de documentos, identificação de materiais e domínio de instrumentos específicos. - Treinamentos voltados à distinção correta de unidades de medida (materiais lineares e fracionados). - Práticas de conferência física complementares às etiquetas. - Trilhas de aprendizagem direcionadas para SKUs críticos, de grande volumetria e itens de pequeno porte (<0,16 m³).	Karlton et al. (2016)
Tecnológico	- Contagem com PDA → dados inseridos em tempo real. - Sem PDA → registros manuais lançados depois no sistema. - Resultados no SAP: sem divergência, divergência positiva ou negativa. - Resultados formalizados e analisados pela Comissão de Inventário.	- Variações e falhas em etiquetas (ausentes, rasgadas, ilegíveis). - Troca de identificação entre itens, etiquetas só na embalagem externa. - Etiquetas desatualizadas após mudanças sistêmicas. - Falta de registro de número de série em parte dos materiais. - Corrosão de números de série em tubulares metálicos (exposição à Baía de Guanabara). - Uso parcial do PDA, com lançamentos manuais posteriores. - Falhas de sincronização entre registros manuais e sistema. - Falhas de integração SAP ERP/EWM. - Ausência de RFID, LoRa e tecnologias de inventário automatizado.	- Adoção gradual de RFID e LoRa integrados ao SAP EWM para inventários automatizados. - Padronização de etiquetas resistentes, legíveis e constantemente atualizadas. - Substituição da pintura dos números de série por plaquetas metálicas gravadas a laser ou etiquetas plásticas de alta durabilidade em tubulares sujeitos à corrosão. - Inclusão de cláusulas contratuais para que fornecedores entreguem materiais com identificação permanente. - Expansão do uso obrigatório do PDA, eliminando registros manuais. - Integração plena SAP ERP/EWM com validação em tempo real.	Ioannidis (2024); Sarac et al. (2010); Andiyappillai (2020)
Organizacional	- Comissão de Inventário analisa resultados, ajusta lançamentos contábeis. - Relatórios formalizados para contabilidade, auditoria e indicadores corporativos. - Processo assegura rastreabilidade documental.	- Divergências entre saldos físicos e contábeis (movimentações sistêmicas sem correspondência física). - Cancelamentos de processos sem estorno adequado. - Migração de dados no EWM com saldos pendentes não tratados. - Coexistência de materiais geridos por MM e EWM na mesma área. - Imobilização de materiais com saldo em depósito diferente da posição física. - Fragilidades de governança do inventário e integração sistêmica.	- Criação de políticas institucionais de governança do inventário, com fluxos padronizados para tratamento de divergências. - Consolidação da integração entre MM e EWM em política corporativa única. - Realização de auditorias internas periódicas e programas de melhoria contínua. - Adoção de indicadores como o Índice de Acuracidade do Inventário. - Reforço do alinhamento interdepartamental (Armazenagem, Suprimentos, Contabilidade e Auditoria).	Scavarda et al. (2012)

5.7

Projeto Técnico-propositivo Integrado de Otimização Logística (P-TIOL)

Diante das disfunções operacionais evidenciadas no Capítulo 4, torna-se necessária a formulação de um Projeto Técnico-propositivo Integrado de Otimização Logística (P-TIOL), estruturado para subsidiar, com base em fundamentos teóricos e técnicos, a transformação das práticas adotadas no armazém de MRO analisado. Observa-se que os critérios de alocação atualmente praticados, embora existentes, não contemplam segmentação estratégica fundamentada em valor, previsibilidade de demanda ou criticidade operacional. Como resultado, há elevada dispersão de materiais, sobreposição de múltiplos SKUs em uma mesma posição e comprometimento da rastreabilidade, o que reduz a eficiência do *picking* e aumenta a ocorrência de erros sistêmicos.

Ainda que as soluções tenham sido identificadas, a implementação imediata encontra barreiras relacionadas a fatores Humanos, Tecnológicos e Organizacionais (HTO) e financeiras, havendo necessidade de projetos em muitos casos, que precisariam ser avaliados, priorizados e incluídos no orçamento da companhia para execução ao longo tempo, conforme os recursos que possam ser alocados. Tais restrições estão vinculadas à rigidez procedimental, às dependências intersetoriais, às limitações do SAP EWM e às barreiras culturais à mudança, elementos que configuram entraves relevantes à transformação das rotinas. Como destacam Scavarda et al. (2012), a flexibilidade operacional é um diferencial competitivo em ambientes desafiadores, mas depende de integração estratégica e governança eficiente.

Nesse contexto, propõe-se o P-TIOL como instrumento conceitual, analítico e aplicado, orientado à sistematização de diretrizes operacionais para a reestruturação logística do armazém. O modelo articula seis eixos interdependentes da classificação estratégica dos materiais à governança por microrresponsabilidade com o objetivo de fornecer referência técnica e metodológica para intervenções futuras, apoiar decisões gerenciais e sustentar processos de melhoria contínua, à medida que os condicionantes do HTO evoluam e viabilizem sua aplicação. A Tabela 2 apresenta os 5 eixos estratégicos do P-TIOL.

Tabela 2: Pilares do P-TIOL.

Eixo Estratégico	Finalidade Técnica
1. Classificação ABC+XYZ	Agrupar materiais com base em valor e previsibilidade para orientar todas as ações.
2. Layout Proporcional	Alocar fisicamente os itens conforme a matriz ABC/XYZ para reduzir deslocamentos.
3. Governança "Dono de Rua"	Microgerenciar blocos do armazém com responsáveis por arrumação e acuracidade.
4. Inventário Rotativo	Contagem cíclica inteligente baseada em risco, criticidade e curva ABC/XYZ.
5. Controle Digital Integrado	Uso de PDA, QR Codes e etiquetas para garantir rastreabilidade e evitar erros.

5.7.1

Classificação Integrada ABC e XYZ com Giro de estoque

A gestão estratégica de estoques em ambientes industriais complexos, como os armazéns de Manutenção, Reparo e Operação, exige abordagens analíticas que integrem múltiplas dimensões do comportamento dos materiais. A simples classificação por valor ou frequência de uso não é suficiente para capturar a complexidade dos fluxos logísticos. Diante disso, propõe-se uma metodologia de segmentação baseada na integração das curvas ABC e XYZ com o Giro de Estoque, formando uma estrutura tripartite de análise orientada à ação logística.

Conforme Ballou (2006), a Curva ABC classifica os itens com base em sua contribuição econômica, assumindo que uma pequena parcela do estoque representa a maior parte do valor total movimentado. Já a Curva XYZ, de acordo com Scholz-Reiter et al. (2012), categoriza os itens com base na previsibilidade da demanda, aferida estatisticamente por meio do coeficiente de variação do consumo histórico. Essa última dimensão é crítica em ambientes como o MRO, onde materiais de baixa previsibilidade podem provocar rupturas severas, especialmente quando relacionados à manutenção corretiva ou paradas emergenciais de ativos.

De acordo com Rouwenhorst et al. (2000), o zoneamento ABC é um dos métodos mais eficazes para priorizar itens de acordo com sua relevância operacional, permitindo reduzir deslocamentos e elevar a eficiência do *picking*. Complementarmente, Van den Berg et al. (1999) apontam que esse modelo fortalece a rastreabilidade e organiza o estoque segundo critérios de criticidade.

A essa análise bidimensional soma-se agora o índice de giro de estoque, que expressa o ritmo de movimentação física dos itens no armazém, permitindo diferenciar materiais de mesmo valor e previsibilidade, mas com dinâmicas operacionais distintas. Assim, ao associar o giro às curvas ABC e XYZ, torna-se possível identificar, por exemplo, itens A/X de baixo giro, que indicam superdimensionamento, e itens C/Y de alto giro, que exigem destaque no *layout* pela sua movimentação constante.

Essa modelagem permite decisões logísticas mais granulares, com precisão na definição das zonas de armazenagem, roteirização, frequência de inventário e políticas de controle sistêmico. Em ambientes dinâmicos, conforme Perkumienė et al. (2022), a utilização de classificações multivariadas assegura maior acuracidade no inventário e promove rastreabilidade dos itens. A Tabela 3 reflete a proposta metodológica, incorporando o giro como eixo decisório adicional.

A aplicação conjunta dessas três dimensões – valor (ABC), previsibilidade (XYZ) e giro (G) – fornece uma plataforma decisória robusta e alinhada às práticas logísticas mais modernas. A matriz resultante orienta com precisão:

- A alocação física dos materiais no *layout*, definida para materiais de alto giro e criticidade (zona quente), médio giro (zona morna) e baixo giro (zona fria) com base em critérios compostos pelas curvas ABC, XYZ e Giro;
- A frequência e o tipo de inventário rotativo, calibrando a periodicidade com base na classe de risco;
- A priorização das rotas de *picking*, ajustando-as conforme a dinâmica de movimentação e a relevância operacional;
- A configuração de alertas sistêmicos no SAP EWM para reabastecimento, bloqueios e rotinas de conferência.

Tabela 3: Matriz ABC/XYZ com Interpretação Tática por Giro de Estoque.

Classe ABC/XYZ	Baixo Giro	Giro Médio	Alto Giro
A/X	Armazenar em local seguro, com backup físico; foco em rastreabilidade e redundância.	Zona quente, mas com controle de movimentação e reabastecimento automático.	Zona frontal, separação prioritária, reabastecimento contínuo.
A/Y	Estoque amortecedor em blocados. Inventário com maior frequência.	Layout dinâmico; inventário quinzenal.	Separação por lotes; controle automatizado via SAP EWM.
A/Z	Estoque de segurança, múltiplas localizações; monitoramento de criticidade.	Endereçamento flexível com validação periódica.	Exige buffer operacional e etiquetagem robusta no recebimento.
B/X	Posição secundária, reabastecimento sob demanda.	Picking agrupado com rotas otimizadas.	Acesso intermediário, separação batelada ¹ .
B/Y	Agrupamento por similaridade; inventário mensal.	Picking alternado; registro por PDA.	Priorização logística e reforço de controle na expedição.
B/Z	Armazenagem passiva; foco em acuracidade.	Zona fria com rastreabilidade mínima.	Controle sob demanda, envio com lead time estendido.
C/X	Zona densa e remota; inventário trimestral.	Separação eventual.	Destinar área secundária com fluxo simplificado.
C/Y	Estoque agrupado por categoria.	Controle mínimo com registro manual.	Avaliar reclassificação de layout.
C/Z	Armazenagem profunda, inspeção eventual.	Estoque passivo.	Observar padrão de consumo para redirecionamento.

Notas: ¹ Nesta tabela, “coleta batelada” é um método em que o operador do armazém reúne, em um único percurso, itens de vários pedidos ao mesmo tempo. Em vez de andar várias vezes para separar cada pedido individualmente, ele segue uma única rota, coletando todos os itens de uma só vez.

A complexidade operacional, a diversidade de SKUs e a imprevisibilidade de demandas exigem abordagens multivariadas de categorização capazes de embasar decisões logísticas com maior grau de sensibilidade estratégica. Nesse contexto, propõem-se dois artefatos analíticos complementares: a Matriz Tridimensional ABC/XYZ/Giro e a Matriz ABC/XYZ/Giro, ambas derivadas da integração conceitual entre as curvas de valor, previsibilidade e frequência de movimentação.

A Matriz Tridimensional ABC/XYZ/Giro constitui um modelo de visualização estratégica que posiciona cada SKU em um espaço tridimensional definido por três eixos:

- Eixo ABC, que representa a relevância econômica acumulada do item, com base na curva de Pareto (Ballou, 2006);
- Eixo XYZ, que reflete a previsibilidade da demanda, medida pelo coeficiente de variação ou desvio-padrão de consumo (Scholz-Reiter et al., 2012);

Eixo Giro, que representa o número de vezes que o item foi movimentado (entradas/saídas) em um intervalo temporal padrão (mensal, bimestral ou anual), traduzindo a intensidade operacional do SKU.

Este modelo permite mapear 27 possíveis combinações logísticas, como A/X/Alto ou C/Z/Baixo, viabilizando uma leitura profunda da dinâmica dos estoques, e revelando situações frequentemente invisíveis nos modelos bidimensionais. Por exemplo, um item classificado como A/X pode aparentar prioridade máxima, mas se o giro for baixo, pode indicar um superdimensionamento de estoque. Da mesma forma, um item C/Y com alto giro merece atenção tática para evitar rupturas, mesmo que sua relevância econômica seja marginal.

Trata-se, portanto, de uma ferramenta de análise diagnóstica e visual, essencial para a construção de estratégias logísticas mais refinadas, especialmente em projetos de redesenho de *layout*, roteirização e priorização de inventários rotativos. A Figura 11 apresenta uma matriz tridimensional das curvas ABC/XYZ e giro.

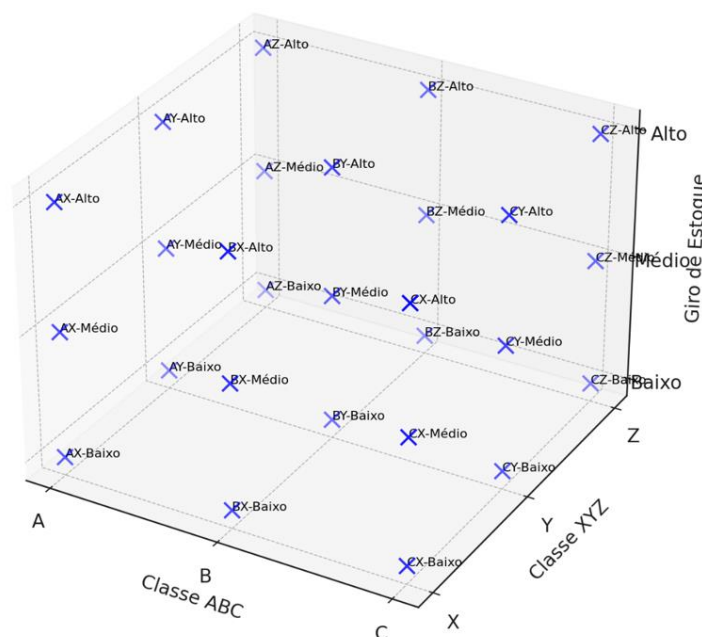


Figura 11: Matriz tridimensional ABC/XYZ/Giro.
Fonte: Autor.

Complementar à representação tridimensional, a Matriz ABC/XYZ/Giro é a versão tática e operacional do modelo tripartido, estruturada como uma tabela de decisão que detalha, para cada combinação de classes, as ações logísticas recomendadas. Essa matriz incorpora recomendações como:

- Alocação espacial no *layout* (zona quente, morna ou fria);
- Frequência de inventário rotativo (diária, quinzenal, trimestral);
- Métodos de *picking* (agrupado, sob demanda, “batelado”);
- Nível de controle digital e uso de tecnologias de apoio (como PDA, RFID, SAP EWM).

Diferentemente da matriz tridimensional, que tem caráter estratégico e exploratório, a Matriz ABC/XYZ/Giro atua como guia normativo e prescritivo, sendo essencial para padronizar condutas operacionais em um armazém que lida com milhares de SKUs com comportamentos divergentes. Ela torna o modelo analítico executável, ao indicar o “como fazer” a partir do “o que é”. A Tabela 4 apresenta o conjunto entre a correlação das curvas ABC/XYZ e giro com a combinação de que tipo de *layout* a frequência do inventário e estratégia de *picking*.

Tabela 4: Matriz ABC/XYZ/Giro.

Classe ABC/XYZ/Giro	Recomendação de Layout	Frequência de Inventário	Estratégia de Picking e Controle
A/X/Baixo	Zona fria - menor frequência de acesso	Inventário trimestral	Separação batelada
A/X/Médio	Zona morna - acesso moderado	Inventário quinzenal	Separação alternada com amortecimento
A/X/Alto	Zona quente - acesso prioritário	Inventário diário	Picking direcionado com PDA
A/Y/Baixo	Zona fria - menor frequência de acesso	Inventário trimestral	Separação batelada
A/Y/Médio	Zona morna - acesso moderado	Inventário quinzenal	Separação alternada com amortecimento
A/Y/Alto	Zona quente - próxima à expedição	Inventário semanal	Picking agrupado
A/Z/Baixo	Zona fria - menor frequência de acesso	Inventário trimestral	Separação batelada
A/Z/Médio	Zona morna - acesso moderado	Inventário quinzenal	Separação alternada com amortecimento
A/Z/Alto	Zona quente - próxima à expedição	Inventário semanal	Picking agrupado
B/X/Baixo	Zona fria - menor frequência de acesso	Inventário trimestral	Separação batelada
B/X/Médio	Zona morna - acesso moderado	Inventário quinzenal	Separação alternada com amortecimento
B/X/Alto	Zona quente - próxima à expedição	Inventário semanal	Picking agrupado
B/Y/Baixo	Zona fria - menor frequência de acesso	Inventário trimestral	Separação batelada
B/Y/Médio	Zona morna - acesso moderado	Inventário quinzenal	Separação alternada com amortecimento
B/Y/Alto	Zona quente - próxima à expedição	Inventário semanal	Picking agrupado
B/Z/Baixo	Zona fria - menor frequência de acesso	Inventário trimestral	Separação batelada
B/Z/Médio	Zona morna - acesso moderado	Inventário quinzenal	Separação alternada com amortecimento
B/Z/Alto	Zona quente - próxima à expedição	Inventário semanal	Picking agrupado
C/X/Baixo	Zona fria - menor frequência de acesso	Inventário trimestral	Separação batelada
C/X/Médio	Zona morna - acesso moderado	Inventário quinzenal	Separação alternada com amortecimento
C/X/Alto	Zona quente - próxima à expedição	Inventário semanal	Picking agrupado
C/Y/Baixo	Zona fria - menor frequência de acesso	Inventário trimestral	Separação batelada
C/Y/Médio	Zona morna - acesso moderado	Inventário quinzenal	Separação alternada com amortecimento
C/Y/Alto	Zona quente - próxima à expedição	Inventário semanal	Picking agrupado
C/Z/Baixo	Zona fria - bloqueio/mezanino	Auditoria trimestral	Separação sob demanda
C/Z/Médio	Zona morna - acesso moderado	Inventário quinzenal	Separação alternada com amortecimento
C/Z/Alto	Zona quente - próxima à expedição	Inventário semanal	Picking agrupado

5.7.2

Redesenho do *Layout* com Proporcionalidade Operacional

O *layout* físico de um armazém é um dos elementos mais determinantes para o desempenho logístico, pois influencia diretamente os tempos de deslocamento, a eficiência das rotinas de separação, a segurança operacional e a acuracidade do estoque. No caso analisado, conforme exposto no Capítulo 4, o *layout* atual não possui critérios técnicos de distribuição espacial, o que resulta em sobreposição de classes logísticas, alocação aleatória de itens com diferentes níveis de criticidade e ausência de zonas de controle tático.

Segundo Jermstipparsert et al. (2019), o *layout* impacta de forma decisiva a produtividade e a utilização do espaço, devendo ser planejado para reduzir deslocamentos e gargalos, ao mesmo tempo em que oferece flexibilidade para demandas variáveis. Já Frazelle (2002) destaca que o projeto de *layout* deve ser compreendido como uma estrutura integrada, que combina *benchmarking* de boas práticas, automação quando há viabilidade econômica e racionalização de processos.

Nos armazéns, a organização física dos materiais é frequentemente estruturada por meio do zoneamento, que consiste na divisão do espaço em áreas específicas conforme critérios técnicos e logísticos, como giro, criticidade, volumetria ou similaridade de processos. Essa abordagem busca reduzir deslocamentos, facilitar a localização e aumentar a eficiência das operações de *picking* e inventário. Segundo De Koster et al. (2007), o zoneamento possibilita maior flexibilidade ao agrupar itens com características semelhantes em áreas delimitadas, otimizando a movimentação interna e o uso do espaço. Calzavara et al. (2017) complementam que a definição de zonas específicas favorece a organização do armazém e a padronização dos fluxos, contribuindo para ganhos em tempo de coleta e maior confiabilidade nos registros de estoque. Nesse sentido, o zoneamento assemelha-se, em termos conceituais, ao princípio do *layout* celular da produção, na medida em que ambos partem da lógica de agrupar entidades com características semelhantes; entretanto, no contexto logístico, a terminologia de zonas é a mais adequada por refletir a teoria própria de armazenagem.

Em complemento, Finnsgård et al. (2013) evidenciam que a ergonomia do acesso, especialmente a chamada “zona dourada”, impacta diretamente na produtividade dos operadores.

Modelos inovadores também merecem destaque. Öztürkoğlu et al. (2019) demonstraram que *layouts* em túneis (*discrete cross aisle design*) podem reduzir em até 7% as distâncias percorridas, trazendo ganhos expressivos na eficiência. Já Dukic et al. (2012) verificaram que formatos alternativos como *Fishbone* e *Chevron* não alcançam o mesmo desempenho do *layout* tradicional de corredores retos, especialmente em operações de separação de pedidos complexos.

Com base nessas evidências, propõe-se que o redesenho do *layout* do armazém deva adotar uma lógica de proporcionalidade funcional, orientada pela matriz ABC/XYZ/Giro. Propõe-se a distribuição percentual do espaço em três zonas:

- Zona Quente (60%): próxima às docas, destinada a itens A/X, A/Y e B/X de alto e médio giro, que exigem acesso prioritário;
- Zona Morna (25%): destinada a itens de giro moderado e previsibilidade intermediária, equipada com estoques de amortecimento e reabastecimento automático;
- Zona Fria (15%): localizada em áreas periféricas ou bloqueadas, destinada a SKUs de baixo valor e baixa previsibilidade, com inventário sob demanda.

O percentuais indicados são orientativos, definidos a partir de prática aplicada em projetos de armazéns (*benchmarks* corporativos), e deveriam ser calibrados na prática, considerando os SKUs existentes, quando a proposta fosse colocada em prática com o rearranjo do *layout* do armazém. A Tabela 5 apresenta a lógica da proporcionalidade operacional por zonas (quente, morna e fria) articulada de forma orgânica ao conceito de *layout* celular orientado por comportamento de material, onde cada célula corresponde a um agrupamento funcional baseado na classificação ABC/XYZ/Giro.

Tabela 5: Zoneamento Operacional.

Zona	Composição Típica (Classes ABC/XYZ/Giro)	Características Operacionais
Zona Quente	A/X/Alto, A/Y/Alto, B/X/Alto e Médio	Próxima à expedição, picking prioritário, alta rotatividade, inventário frequente e controle intensivo via PDA
Zona Morna	A/Z/Médio, B/Y/Médio, B/X/Baixo, A/X/Baixo	Acesso moderado, estoque amortecedor, separação semiagrupada, inventário quinzenal
Zona Fria	B/Z, C/X, C/Y, C/Z (independentemente do giro)	Área periférica, blocados, mezaninos, inventário trimestral ou sob demanda, auditoria amostral

A proposição do *layout* deve ser parametrizada no SAP *Extended Warehouse Management*, de modo a criar um vínculo lógico entre a classificação do material (ABC/XYZ/Giro) e sua posição física de armazenagem. Essa integração permite que o sistema:

- Sugira automaticamente localizações com base na classificação hierárquica;
- Otimize o endereçamento dinâmico com base em regras de substituição e proximidade;
- Habilite alertas operacionais em caso de alocação incoerente ou saturação de zonas críticas;
- Orquestre a roteirização do *picking* com base em clusters operacionais definidos pelo *layout*.

Essa lógica deve ser parametrizada no SAP EWM para que o sistema sugira endereços de forma automatizada, otimize o *picking* e emita alertas em casos de alocação incoerente. Além disso, a estrutura é compatível com o modelo de governança “Dono de Rua”, que se apoia em segmentação celular para fortalecer a microrresponsabilidade operacional.

Para a efetiva implementação do redesenho proporcional por zonas, faz-se necessária a mobilização de recursos distribuídos nos três pilares HTO. No pilar humano, destacam-se a capacitação contínua da equipe nas classificações ABC/XYZ/Giro e no uso do SAP EWM, a adoção de modelos de governança como o “Dono de Rua” e a formalização de políticas institucionais acompanhadas de

auditorias internas para assegurar a aderência às práticas estabelecidas. No pilar tecnológico, os requisitos incluem a parametrização avançada do SAP EWM com regras de endereçamento dinâmico e emissão de alertas, o saneamento dos dados mestres (MM/EWM), a padronização de etiquetas com expansão do uso de QR *Code* e RFID, além da incorporação de ferramentas analíticas de simulação e *Business Intelligence* (BI) para validação de cenários. Já no pilar organizacional, os recursos envolvem a redefinição física das zonas quente, morna e fria, a adequação das estruturas de armazenagem conforme o perfil dos materiais, a instalação de sinalizações e marcadores visuais, bem como a preparação de áreas específicas para SKUs volumosos e itens de pequeno porte.

5.7.3

Governança Operacional com o Modelo “Dono de Rua”: microgerenciamento Logístico para Eficiência Sistêmica

Em armazéns de alta complexidade, como os destinados a materiais MRO, a governança logística não pode se restringir a instrumentos centralizados e controles genéricos. A análise crítica realizada no Capítulo 4 evidenciou falhas recorrentes, tais como desorganização de posições, múltiplos SKUs em endereçamentos únicos, rotulagem precária e ausência de responsabilidade direta sobre áreas específicas.

A governança operacional descentralizada denominado “Dono de Rua”, inspirado em práticas de microgerenciamento local e nos princípios do 5S (Da Silva Lima et al., 2022). Esse modelo pressupõe que cada operador seja responsável exclusivo por uma zona física do armazém, como corredores ou blocos, garantindo tanto a execução operacional quanto a manutenção da conformidade sistêmica e física.

Segundo Scavarda et al. (2012), a governança em ambientes logísticos deve ser sustentada por fluxos padronizados e programas de melhoria contínua, capazes de integrar múltiplos setores. Já Frazelle (2002) observa que estruturas de responsabilidade operacional descentralizadas aumentam o engajamento dos operadores e reduzem falhas sistêmicas.

No modelo proposto, o operador passa de executor passivo a gestor local do seu espaço, atuando na manutenção do 5S, atualização de endereços, verificação de

rotulagem e execução de inventários cíclicos. Essa lógica gera um efeito de micropropriedade funcional, fortalecendo a confiabilidade dos dados e a padronização visual.

De acordo com Gu et al. (2007), a organização celular de armazéns favorece ganhos de rastreabilidade e eficiência, especialmente em operações de *picking*. Complementarmente, Ballou (2006) destaca que a acuracidade de estoques depende da qualidade da estocagem física e da frequência das contagens.

Assim, o modelo “Dono de Rua” contribui diretamente para dois pilares do P-TIOL:

- Com a Matriz ABC/XYZ/Giro: assegura que os SKUs estejam armazenados conforme a classificação prevista;
- Com o Redesenho do *Layout*: reforça a correta segmentação espacial por criticidade;

O “Dono de Rua” é um operador logístico com atribuição exclusiva sobre um conjunto físico específico do armazém – um corredor, rua, bloco ou célula de armazenagem. Trata-se de uma figura responsável não apenas pela execução operacional, mas também pela manutenção da conformidade visual, sistêmica e física da área sob sua custódia. A Tabela 6 demonstra a matriz de responsabilidade.

Tabela 6: Matriz de responsabilidade.

Dimensão	Atribuições específicas
Organização física	Manutenção do 5S, limpeza, sinalização e acessibilidade.
Integridade sistêmica	Verificação de rotulagem, atualização de endereços, consistência entre físico e sistema.
Controle de inventário	Realização de contagens cíclicas conforme plano de rotatividade e análise de anomalias.
Apoio técnico	Suporte a auditorias, apontamento de inconsistências e treinamentos operacionais locais.
Indicadores visuais	Acompanhamento de desempenho por painel, checklist e meta por rua.

Do ponto de vista científico, Ballou (2006) destaca que a acuracidade de estoques está diretamente associada à qualidade da estocagem física e do inventário cíclico. Já Frazelle (2002) e Gu et al. (2007) apontam que estruturas celulares de responsabilidade operacional promovem maior engajamento e controle local, reduzindo erros sistêmicos e otimizando os tempos de *picking* e estocagem.

Portanto, o modelo “Dono de Rua” consolida-se como elemento de microexecução gerencial, essencial para assegurar estabilidade operacional em armazéns com milhares de SKUs e elevada dispersão material.

5.7.4

Inventário Rotativo Inteligente

A gestão de estoques em ambientes de elevada complexidade operacional, como armazéns MRO, exige mais do que acurácia pontual obtida em inventários anuais. A detecção precoce de desvios, a confiabilidade dos dados e a redução das paradas sistêmicas estão diretamente relacionadas à aplicação de inventários cíclicos inteligentes, estruturados de acordo com critérios técnicos e operacionais (Kłodawski et al., 2017).

Com base nas falhas identificadas no Capítulo 4 – especialmente aquelas relativas à dispersão de SKUs, posições inconsistentes e lacunas na rastreabilidade sistêmica, propõe-se a implantação de um modelo de Inventário Rotativo Inteligente, orientado pela Matriz Tridimensional ABC/XYZ/Giro, pelo *layout* funcional por zonas, e sustentado pelo modelo de “Dono de Rua”.

Tradicionalmente, o inventário rotativo é utilizado como uma técnica de contagem contínua, substituindo a necessidade de paralisações completas da operação. No entanto, sua eficácia depende da correta segmentação dos itens, da periodicidade proporcional à criticidade, e da unidade de contagem centrada na posição de armazenagem, e não apenas no SKU. Ballou (2006) enfatiza que a classificação ABC permite priorizar materiais segundo impacto econômico. Wanke (2011) complementa que a contagem contínua eleva a confiabilidade dos registros de estoque ao longo do tempo.

No presente modelo, a proposta é elevar o inventário rotativo a uma ferramenta estratégica de controle sistêmico, associando:

- Criticidade do material (ABC): representa o impacto econômico;
- Previsibilidade da demanda (XYZ): reflete o risco de ruptura (Scholz-Reiter et al., 2012);
- Giro operacional: indica a frequência de movimentação do SKU (De Koster et al., 2007).

Com isso, a frequência e a granularidade da contagem são moduladas por inteligência analítica, com base nas classificações já discutidas e parametrizadas no SAP através de desenvolvimento sistêmico. A Tabela 7 demonstra a frequência recomendada por classificação.

Tabela 7: Frequência Recomendada por Classificação.

Classe ABC/XYZ/Giro	Zona Operacional	Frequência de Contagem	Justificativa Operacional
'Alto	Zona Quente	Semanal (obrigatória)	Alto valor + alta demanda = risco operacional elevado
A/Y/Alto ou B/X/Alto	Zona Quente	Quinzenal	Risco relevante com variações moderadas
B/Y, B/Z	Zona Morna	Mensal	Itens médios com menor volatilidade
	Zona Fria	Trimestral	Baixo impacto econômico e giro reduzido

Há de se observar que as Classes com Giro “Alto” podem ter incremento de uma categoria de prioridade.

A principal inovação deste modelo está na ênfase da contagem por posição física, e não apenas por SKU. Essa prática permite:

- Detecção de alocações duplicadas;
- Identificação de SKUs alocados fora da zona correta;
- Registro de materiais não sistemicamente previstos;
- Validação da configuração de endereçamento lógico (SAP EWM).

Esse enfoque se alinha à proposta do *layout* que é amarrado ao sistema com base nas zonas de criticidade. Jermisittiparsert et al. (2019) destacam que a integração entre *layout* e processos é fundamental para a eficiência logística. Além disso, a contagem por posição é facilitada pelo modelo de “Dono de Rua”, que atua como executor e verificador da integridade local (Scavarda et al., 2012).

Para maximizar a eficácia do modelo, propõe-se:

- Integração direta do plano de contagem ao SAP EWM, com programação cíclica automatizada (Carter, 2010);
- Registro de divergências por posição, SKU e operador;
- Indicadores de desempenho como:

- % de posições divergentes: percentual de endereços que apresentaram diferença entre saldo físico e saldo sistêmico, indicando a acuracidade do inventário.
- Tempo médio desde a última contagem: mede o intervalo entre a primeira abertura de documento de inventário e as contagens subsequentes realizadas para a mesma posição, permitindo identificar o tempo necessário para concluir e consolidar a contagem de um item ou endereço.
- Índice de reincidência por rua: representa o número de vezes que uma mesma posição de armazenagem precisa ser recontada para ratificar a quantidade registrada, servindo como métrica de confiabilidade da primeira contagem e de consistência operacional por corredor ou área.

Esses dados alimentam painéis de controle e contribuem para auditorias internas e externas, servindo como base para ações corretivas e preventivas (Sarac et al., 2010).

A proposição do Inventário Rotativo Inteligente, estruturado com base nas curvas ABC/XYZ/Giro, representa maturidade técnica para o controle contínuo de estoques. Sua adoção não visa apenas mitigar os principais erros identificados na análise empírica, mas também fortalecer a governança, sustentar a confiabilidade sistêmica e promover a excelência operacional em ambientes logísticos de missão crítica como os armazéns MRO (Ioannidis, 2024).

5.7.5

Rotulagem e Controle com PDA: Rastreabilidade Sistêmica e Precisão Operacional

Em ambientes logísticos de alta complexidade e criticidade, como os armazéns voltados para materiais de Manutenção, Reparo e Operação (MRO), a rastreabilidade de ponta a ponta e o controle sistêmico de cada movimentação são requisitos importantes para a acuracidade dos estoques e a confiabilidade operacional, conforme se depreende por todo o contexto apresentado. A análise das falhas descritas no Capítulo 4, especialmente aquelas ligadas à estocagem incorreta, erros de separação e ausência de padronização na identificação dos materiais,

evidencia a necessidade de uma infraestrutura digital pois, conforme opina Sarac et al. (2010), ela serve de sustentação para execução controlada dos processos logísticos em tempo real e reduz a margem de erro humano.

Nesse contexto, propõe-se a adoção de um modelo integrado de rotulagem automatizada no recebimento e controle operacional por meio de coletores de dados móveis (PDA), com plena integração ao sistema SAP EWM. O modelo parte do princípio de que cada item deve ser identificado desde sua entrada física no armazém por meio de etiquetas padronizadas contendo código bidimensional (2D, formato *DataMatrix*), com informações essenciais como número do material, lote, proprietário e posição de armazenagem sugerida com base na matriz combinada ABC/XYZ/Giro. Essa rotulagem automatizada não apenas confere maior agilidade e padronização ao processo de recebimento, mas também atua como ponto de partida para a rastreabilidade contínua de todo o ciclo do material (Shiau et al., 2010).

Uma vez etiquetado, o material passa a ser acompanhado em suas fases críticas – armazenagem, separação e inventário – por meio de coletores de dados portáteis. Cada movimentação é validada digitalmente em tempo real, garantindo a aderência entre o processo físico e o registro sistêmico. Ao chegar à etapa de armazenagem, por exemplo, o operador realiza a leitura do código 2D, e o sistema confirma se a posição de destino corresponde àquela previamente determinada pela lógica de criticidade e *layout* proporcional, conforme discutido no item 5.4. Na separação, o PDA permite a verificação precisa do SKU, lote e quantidade, assegurando que o *picking* ocorra na localização correta e evitando trocas ou faltas não detectadas. Da mesma forma, nas atividades de inventário rotativo, o uso do PDA possibilita contagens mais rápidas, precisas e auditáveis, com registros cruzados entre posição física e dados do SAP EWM (Andiyappillai, 2020).

A efetividade desse processo amplia-se ao ser articulada com o modelo de governança descentralizada apresentado no conceito de “Dono de Rua” atribui a um operador a responsabilidade por zelar pela ordem, rotulagem e conformidade dos materiais sob sua custódia. O uso do PDA fortalece esse papel, permitindo ao operador registrar inconformidades, validar etiquetas e gerar evidências de inconsistência, criando um canal de auditoria contínua. Além disso, essa sistemática garante o funcionamento adequado da roteirização otimizada por criticidade, pois a

integridade da informação de localização é condição *sine qua non* para o sucesso da lógica heurística baseada no TSP ponderado (Gu et al., 2007).

Outro fator crítico reside na integração entre o SAP EWM e os coletores de dados. Toda movimentação realizada deve estar parametrizada para bloqueio automático em caso de ausência de validação por leitura ótica. Segundo Carter (2010), a integração do EWM com tecnologias digitais eleva a confiabilidade do sistema e assegura maior governança.

A proposta de rotulagem e controle com PDA, ao ser incorporada ao P-TIOL, não apenas fecha o ciclo de rastreabilidade sistêmica, como também potencializa todos os demais eixos operacionais. Ela permite o funcionamento eficaz do inventário rotativo inteligente, fortalece a acuracidade dos registros sistêmicos, alinha o *layout* físico à lógica digital e reduz significativamente o impacto dos erros humanos. Ao proporcionar uma leitura unificada e automática da cadeia física-logística, este modelo representa um avanço em direção à excelência operacional esperada para armazéns MRO de classe mundial (Ioannidis, 2024).

5.8

Consolidação do Projeto Técnico-propositivo Integrado de Otimização Logística

A presente seção sintetiza as soluções operacionais propostas ao longo do Capítulo 5, articulando-as como componentes de um sistema integrado voltado à excelência logística em ambientes MRO. Cada item desenvolvido não deve ser interpretado isoladamente, mas sim como parte indissociável de um Projeto Técnico-propositivo Integrado de Otimização Logística, o P-TIOL, cuja lógica reside na interdependência entre classificação estratégica, *layout* proporcional, roteirização inteligente, governança local, inventário rotativo e controle digital em tempo real (Scavarda et al., 2012).

A matriz ABC/XYZ/Giro constitui o eixo central da racionalidade operacional, sendo a base para decisões relativas à estocagem, separação e contagem. Seu desdobramento em um modelo tridimensional e uma matriz prescritiva permite granularidade tática na segmentação dos materiais, viabilizando, por exemplo, a definição das zonas de armazenagem conforme o comportamento logístico dos SKUs. Ballou (2006) destaca que a classificação ABC é essencial para

priorizar itens de maior impacto econômico. Scholz-Reiter et al. (2012) reforçam que a classificação XYZ acrescenta previsibilidade à gestão de demanda, fundamental em ambientes complexos.

Esse critério alimenta diretamente o redesenho do *layout*, que abandona a lógica genérica e aleatória em favor de uma configuração proporcional, racional e orientada à criticidade dos itens. Jermisittiparsert et al. (2019) apontam que o *layout* impacta diretamente a produtividade e a competitividade logística. Frazelle (2002) complementa que o projeto de *layout* deve combinar boas práticas, automação e racionalização de processos.

O modelo de governança com o “Dono de Rua” cumpre o papel de sustentação local desse ecossistema logístico, conferindo ao operador a responsabilidade sobre uma célula de armazenagem e tornando-o agente ativo na manutenção da conformidade visual, física e sistêmica. Scavarda et al. (2012) destacam que práticas descentralizadas de gestão fortalecem a flexibilidade e a confiabilidade dos processos.

Sua atuação reforça a aplicação das classificações, facilita a execução do inventário rotativo por posição e permite a correção tempestiva de inconformidades. Em paralelo, o Inventário Rotativo Inteligente, estruturado com base em frequência variável por classe e centrado na posição física, viabiliza a auditoria contínua e alimenta indicadores de rastreabilidade em tempo real, essenciais para a confiabilidade sistêmica (Wanke, 2011).

Por fim, o modelo de rotulagem e controle com PDA fecha o ciclo de rastreabilidade, permitindo que cada movimentação, desde o recebimento até a separação e contagem, seja digitalmente validada, eliminando lacunas de registro e reforçando a acuracidade dos dados operacionais. Ioannidis (2024) afirma que o uso do EWM em conjunto com tecnologias digitais contribui para a sustentabilidade e a confiabilidade dos processos.

Assim, o conjunto de ações propostas configura um sistema de múltiplos níveis – estratégico, tático e operacional – articulado de forma coerente e cientificamente fundamentada. A integração entre esses elementos forma um modelo de referência para a transformação logística do armazém MRO analisado, apto a elevar o grau de maturidade operacional, reduzir ineficiências e sustentar práticas de classe mundial.

Conclusão

Esta dissertação teve como objetivo analisar os processos logísticos de um armazém destinado ao suporte de materiais de Manutenção, Reparo e Operação (MRO) no setor de petróleo e gás, a fim de propor melhorias que elevassem a eficiência operacional, a acuracidade dos estoques e a qualidade dos serviços prestados. Para isso, foi utilizado o SAP *Extended Warehouse Management* (EWM) como ferramenta estruturante do estudo.

O diagnóstico realizado no Capítulo 4 evidenciou fragilidades significativas, como a baixa acuracidade dos inventários, a ausência de critérios padronizados de armazenagem, a ocorrência de posições com múltiplos SKUs, falhas na rastreabilidade dos fluxos e a subutilização de funcionalidades do EWM. Esses achados confirmaram a necessidade de intervenções sistêmicas e metodologicamente fundamentadas.

No Capítulo 5, foram desenvolvidas propostas estruturantes organizadas sob o modelo HTO, contemplando aspectos humanos, tecnológicos e organizacionais. Em complemento, foi formulado o Projeto Técnico-propositivo Integrado de Otimização Logística (P-TIOL), que articula ações em seis eixos: classificação estratégica de materiais por meio da integração ABC/XYZ/Giro, redesenho do *layout* proporcional às zonas de criticidade, roteirização inteligente do *order picking*, governança descentralizada com o modelo “Dono de Rua”, inventário rotativo por posição e reforço do controle digital em tempo real com coletores de dados móveis integrados ao SAP EWM.

As análises realizadas com base em observação da operação *in loco* e estudo de boas práticas da literatura sugerem que a adoção dessas medidas pode gerar ganhos expressivos em eficiência, redução de erros sistêmicos, maior rastreabilidade e integração entre lógica de endereçamento e comportamento físico dos estoques. A convergência entre diagnóstico empírico, fundamentos teóricos e recursos tecnológicos disponíveis representa um avanço para a gestão logística em ambientes de alta complexidade, como os armazéns voltados ao suporte *offshore*. A

Tabela 8 apresenta o resumo dos objetivos específicos do estudo, relacionando-os aos principais resultados obtidos e ao status de atendimento de cada um deles.

Tabela 8: Resumo dos objetivos específicos.

Objetivos específicos (do estudo)	O que a conclusão entrega/responde	Status
Analisar os processos de recebimento, armazenagem, separação, expedição e inventário em um armazém MRO, usando o SAP EWM como base.	Diagnóstico do Cap. 4 evidencia baixa acuracidade, ausência de critérios padronizados, múltiplos SKUs por endereço, falhas de rastreabilidade e	Atendido (diagnóstico completo).
Propor melhorias que elevem eficiência operacional, acuracidade dos estoques e qualidade do serviço.	Cap. 5 apresenta propostas HTO (Humano, Tecnológico e Organizacional) + P-TIOL com seis eixos práticos.	Atendido (propostas detalhadas).
Estruturar um projeto integrado para viabilizar a transformação operacional.	Entrega do P-TIOL : (1) ABC/XYZ/Giro; (2) redesenho de layout por zonas; (3) roteirização do picking; (4) governança “ Dono de Rua ”; (5) inventário rotativo por	Atendido (modelo integrado).
Demonstrar a coerência entre diagnóstico, teoria e soluções propostas.	Conclusão aponta convergência entre achados empíricos (Cap. 4), fundamentos teóricos (Cap. 2) e recursos tecnológicos (EWM, PDA), indicando ganhos esperados em	Atendido (coerência explicitada).
Indicar ganhos esperados e impactos operacionais.	Associa adoção das medidas a ganhos expressivos de eficiência, redução de erros sistêmicos, maior rastreabilidade e integração entre	Atendido (impactos previstos).
Reconhecer limitações do estudo.	Declara que a aplicação foi analítica/simulada, sem validação em	Atendido (limitações claras).
Sugerir agenda de trabalhos futuros.	Recomenda experimentação prática do P-TIOL, testes de integrações tecnológicas (RFID, IoT, LoRa, NB-IoT) e avaliação em outros contextos	Atendido (futuros trabalhos).

Reconhece-se, contudo, que esta pesquisa apresenta limitações. A aplicação das propostas foi conduzida em ambiente analítico, sem validação em operação real. Além disso, a incorporação de tecnologias emergentes, como RFID, sensores IoT e redes de comunicação (LoRa, NB-IoT), permanece como campo promissor para ampliar a rastreabilidade e a capacidade preditiva dos sistemas logísticos.

Assim, recomenda-se que estudos futuros avancem na experimentação prática do P-TIOL, testem integrações tecnológicas complementares e avaliem a aplicabilidade das propostas em outros contextos industriais. O presente trabalho, portanto, contribui ao demonstrar que a análise crítica de processos aliada ao uso do SAP EWM e a metodologias de otimização pode constituir um caminho viável para a excelência operacional em armazéns MRO, oferecendo uma base teórica e aplicada para transformações sustentáveis e duradouras.

Referências Bibliográficas

AL JABERI, A.F. Modeling the Tradeoffs of Chaotic Storage in Warehouse Management. 2023. Tese de Doutorado. Khalifa University of Science.

ALFIAN, A.; PRATAMA, S. Perancangan Tata Letak Warehouse Produk Menggunakan Metode Dedicated Storage di Pt. Nutrifood Indonesia. **Jurnal Ilmiah Teknik Industri Untar**, v. 10, n. 1, p. 77-85, 2022.

ANDIYAPPILLAI, N. Factors influencing the successful implementation of the warehouse management system (WMS). **International Journal of Computer Applications**, v. 177, n. 32, p. 21-25, 2020.

ANJOS, S.M.C.; SOMBRA, C.L.; SPADINI, A.R. Petroleum exploration and production in Brazil: From onshore to ultra-deepwaters. **Petroleum Exploration and Development**, v. 51, n. 4, p. 912-924, 2024.

BALLOU, R.H. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: planejamento, organização e logística empresarial. **Bookman**, 2001.

BERGLUND, M.; KARLTUN, J. Human, technological and organizational aspects influencing the production scheduling process. **International Journal of Production Economics**, v. 110, n. 1-2, p. 160-174, 2007.

BAKER, P.; CANESSA, M. Warehouse design: A structured approach. **European journal of operational research**, v. 193, n. 2, p. 425-436, 2009.

BATTINI, D.; CALZAVARA, M.; PERSONA, A.; SGARBOSSA, F. A method to choose between carton from rack picking or carton from pallet picking. **Computers & Industrial Engineering**, v. 126, p. 88-98, 2018.

BONASSA, A.C.; CUNHA, C.B. da. Sistema de apoio à decisão para a otimização da roteirização da separação manual de peças em armazém utilizando planilhas eletrônicas. **Gestão & Produção**, v. 18, p. 105-118, 2011.

BRASIL, C.; PANSONATO, R. Logística dos canais de distribuição. Editora Intersaberes, 2018.

CALZAVARA, M. et al. Analysis of economic and ergonomic performance measures of different rack layouts in an order picking warehouse. **Computers & Industrial Engineering**, v. 111, p. 527-536, 2017.

CALZAVARA, M. et al. An integrated storage assignment method for manual order picking warehouses considering cost, workload and posture. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 8, p. 2392-2408, 2019.

CALDAS, M.A.F.; DE ASSIS MEDEIROS, F. Gestão de estoques de materiais e equipamentos para manutenção, reparo e operações—mro—na indústria intensiva em capital: um estudo de caso. XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Goiânia, p. 975-983, 2006.

CARTER, M.B.; LANGE, J.; BAUER, F.P.; PERSICH, C.; DALM, T. SAP Extended Warehouse Management: processes, functionality, and configuration. [S.l.]: SAP Press, 2010.

CHAN, F.T.S.; CHAN, H.K. Improving the productivity of order picking of a manual-pick and multi-level rack distribution warehouse through the implementation of class-based storage. **Expert systems with applications**, v. 38, n. 3, p. 2686-2700, 2011.

CLAURE, M.A.T.; OVALLE, T.R.C. Network Design in MRO Inventory for Oil & Gas Company. **Signature**, 2023.

CRESWELL, J.W. Investigação Qualitativa e Projeto de Pesquisa-: Escolhendo entre Cinco Abordagens. Penso Editora, 2014.

SILVA LIMA, A.; SILVA, V.F.T.; MELO BONINI, L.M.; NUNES, S.F. Aplicação da ferramenta de qualidade 5S em uma empresa de médio porte do ramo de logística. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 8, n. 4, p. 205-222, 2022.

DE KOSTER, R.; LE-DUC, T.; ROODBERGEN, K.J. Design and control of warehouse order picking: A literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 182, n. 2, p. 481-501, 2007.

DOS SANTOS, F.A.N.; MUNARI, P. Otimização do agrupamento de ordens e roteirização de coleta: um estudo de caso em um armazém de e-commerce. **Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, v. 9, n. 2, p. 62-81, 2017.

DOS SANTOS PEREIRA, J.C.; BERTEGES, L.F.C. Análise de curva ABC: revisão de estudos de casos. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 8, n. 6, p. 385-399, 2022.

DUKIC, G.; OPETUK, T. Warehouse *layouts*. Warehousing in the Global Supply Chain: Advanced Models. **Tools and Applications for Storage Systems**, p. 55-69, 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. Balanço Energético Nacional 2024: relatório síntese/ano base 2023. Brasília: EPE, 2024.

ESPINAL, A.A.C.; MONTROYA, R.A.G.; ARENAS, J.A.C. Gestión de almacenes y tecnologías de la información y comunicación (TIC). **Estudios gerenciales**, v. 26, n. 117, p. 145-171, 2010.

FABRI, M.; RAMALHINHO, H. Assessing the In-house Logistics flows in the automotive industry. **International Transactions in Operational Research**, v. 30, n. 2, p. 1144-1168, 2023.

FRAZELLE, E.; FRAZELLE Ed. World-class warehousing and material handling. New York: McGraw-Hill, 2002.

FINNSGÅRD, C.; WÄNSTRÖM, C. Factors impacting manual picking on assembly lines: an experiment in the automotive industry. **International Journal of Production Research**, v. 51, n. 6, p. 1789-1798, 2013.

GIL, A.C. Métodos e técnicas de pesquisa social. 6. ed. Editora Atlas SA, 2008.

GU, J.; GOETSCHALCKX, M.; MCGINNIS, L.F. Pesquisa sobre operação de armazém: uma revisão abrangente. **Revista Europeia de Pesquisa Operacional**, v. 177, n. 1, p. 1-21, 2007.

GUE, K.R.; MELLER, R.D.; SKUFCA, J.D. The effects of pick density on order picking areas with narrow aisles. **IIE Transactions**, v. 38, n. 10, p. 859-868, 2006.

HERLAMBANG, C.A.; PARUNG, J. Information system design and inventory management on pharmacy business within ABC-XYZ analysis method. **Airlangga Journal of Innovation Management**, v. 2, n. 2, p. 194-205, 2021.

HIRSCHMAN, A.O. A generalized linkage approach to development, with special reference to staples. **Economic development and cultural change**, v. 25, p. 67, 1977.

HIRSCHMAN, A. O. The strategy of economic development. **Trimestre Econômico**, v. 50, n. 199, p. 1331-1424, 1983.

IGNACIO, A.A.V. Análise e melhoria de processos em empresa de montagem de plataformas offshore. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO E GÁS. Panorama geral do setor de petróleo e gás: uma agenda para o futuro. 2023. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/personalizado/uploads/2023/02/panorama-setor-og-ibp-2023.pdf>. Acesso em: 28 set. 2024.

IOANNIDIS, M. Reducing waste in warehouse operations through EWM system optimization: A case study of SAP-enabled solutions. 2024. Dissertação de Mestrado. Πανεπιστήμιο Πειραιώς.

JEMELKA, M.; CHRAMCOV, B.; KŘÍŽ, P.; BATA, T. ABC analyses with recursive method for warehouse. In: 2017 4th International Conference on Control, Decision and Information Technologies (CoDIT). **IEEE**, 2017. p. 0960-0963.

JERMSITTIPARSERT, K.; SUTDUEAN, J.; SRIYAKUL, T. Role of warehouse attributes in supply chain warehouse efficiency in Indonesia. **International Journal of Innovation, Creativity and Change**, v. 5, n. 2, p. 786-802, 2019.

JULIANA, H.; HANDAYANI, Naniek Utami. Peningkatan kapasitas gudang dengan perancangan layout menggunakan metode class-based storage. **J@ ti Undip: Jurnal Teknik Industri**, v. 11, n. 2, p. 113-122, 2016.

KHAN, Syed Abdul Rehman; DONG, Qian Li; YU, Zhang. Role of ABC Analysis in the process of efficient order fulfillment: Case study. In: Advanced Engineering Forum. **Trans Tech Publications Ltd**, 2017. p. 114-121.

KAPOU, V.; PONIS, S.T.; PLAKAS, G.; ARETOULAKI, E. An innovative layout design and storage assignment method for manual order picking with respect to ergonomic criteria. **Logistics**, v. 6, n. 4, e83, 2022.

KASEMSET, C.; RINKHAM, C. Improvement of shipping process in warehouse operations management: a case study. In: Proceedings of the 17th Asia Pacific Decision Sciences Institute Conference. 2012. p. 22-26.

- KASSEM, M.; KHOIRY, M.A.; HAMZAH, N. Assessment of the effect of external risk factors on the success of an oil and gas construction project. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 27, n. 9, p. 2767-2793, 2020.
- KŁODAWSKI, M.; JACYNA, M.; LEWCZUK, K.; WASIAK, M. The issues of selection warehouse process strategies. **Procedia Engineering**, v. 187, p. 451-457, 2017.
- LIU, J.; LIAO, X.; ZHAO, W.; YANG, N. A classification approach based on the outranking model for multiple criteria ABC analysis. **Omega**, v. 61, p. 19-34, 2016.
- MASAE, M.; GLOCK, C.H.; VICHITKUNAKORN, P. A method for efficiently routing order pickers in the leaf warehouse. **International Journal of Production Economics**, v. 234, p. 108069, 2021.
- MOHAMUD, I.H. et al. The Role of Warehouse Layout and Operations in Warehouse Efficiency: A Literature Review. **Journal Européen des Systèmes Automatisés**, v. 56, n. 1, 2023.
- MOHSEN; HASSAN. A framework for the design of warehouse layout. **Facilities**, v. 20, n. 13/14, p. 432-440, 2002.
- MOREIRA, D.L.; DALTO, A.G.; FIGUEIREDO JR, A.G.; VALERIO, A.M.; DETONI, A.; BONECKER, A.C.; SOUSA, S.H. Multidisciplinary scientific cruises for environmental characterization in the Santos Basin – methods and sampling design. **Ocean and Coastal Research**, v. 71, e23022, 2023.
- MUHARNI, Y.; KULSUM; KHOIRUNNISA, M. Warehouse layout designing of slab using dedicated storage and particle swarm optimization. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. **IOP Publishing**, 2019. p. 012003.
- MUPPANI, V.R.; ADIL, G.K. A branch and bound algorithm for class based storage location assignment. **European Journal of Operational Research**, v. 189, n. 2, p. 492-507, 2008.
- MUNYAKA, J.B.; YADAVALLI, V.S. Sarma. Inventory management concepts and implementations: a systematic review. **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 33, n. 2, p. 15-36, 2022.
- PERKUMIENĖ, D.; RATAUTAITĖ, K.; PRANSKŪNIENĖ, R. Innovative solutions and challenges for the improvement of storage processes. **Sustainability**, v. 14, n. 17, p. 10616, 2022.
- PETERSEN, C.G. The impact of routing and storage policies on warehouse efficiency. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 19, n. 10, p. 1053-1064, 1999.
- OZDEN, S.G.; SMITH, A.E.; GUE, K.R. A computational software system to design order picking warehouses. **Computers & Operations Research**, v. 132, p. 105311, 2021.
- ÖZTÜRKOĞLU, Ö.; HOSER, D. A discrete cross aisle design model for order-picking warehouses. **European Journal of Operational Research**, v. 275, n. 2, p. 411-430, 2019.

OZSEN, L.; COULLARD, C.R.; DASKIN, M.S. Capacitated warehouse location model with risk pooling. **Naval Research Logistics (NRL)**, v. 55, n. 4, p. 295-312, 2008.

RAHAYU, A.S.; SUPRAYITNO, D. The Effectiveness of the Dedicated Storage Method on Building Layout at PT Puninar Anji Kyk Logistik Indonesia. **Sinergi International Journal of Logistics**, v. 1, n. 1, p. 1-16, 2023.

RAMAA, A.; SUBRAMANYA, K.N.; RANGASWAMY, T.M. Impact of warehouse management system in a supply chain. **International Journal of Computer Applications**, v. 54, n. 1, 2012.

RAMANATHAN, R. ABC inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization. **Computers & Operations Research**, v. 33, n. 3, p. 695-700, 2006.

ROSENBLATT, M.J.; ROLL, Y. Warehouse design with storage policy considerations. **The International Journal of Production Research**, v. 22, n. 5, p. 809-821, 1984.

ROUWENHORST, B.; REUTER, B.; STOCKRAHM, V.; VAN HOUTUM, G.J.; MANTEL, R.J.; ZIJM, W.H. Warehouse design and control: framework and literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 122, n. 3, p. 515-533, 2000.

SALAS-NAVARRO, K.; CASTRO-GARCÍA, L.; ASSAN-BARRIOS, K.; VERGARA-BUJATO, K.; ZAMORA-MUSA, R. Reverse Logistics and Sustainability: A Bibliometric Analysis. **Sustainability**, v. 16, n. 13, p. 5279, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su16135279>. Acesso em: 26 out. 2025.

SANTOS, J.P. Digitalization and Optimized Inventory Management of a General Warehouse. 2020.

SANTOS, R.N. Os impactos regionais dos royalties do petróleo no Brasil. 2018.

SARAC, A.; ABSI, N.; DAUZÈRE-PÉRÈS, S. A literature review on the impact of RFID technologies on supply chain management. **International Journal of Production Economics**, v. 128, n. 1, p. 77-95, 2010.

SCAVARDA, L.F.; BARROS, M.; SCAVARDA, A.J.; REYES, P.M.; JASKA, P. Warehouse management system implementation in a Brazilian distribution center. **International Journal of Operations Research and Information Systems (IJORIS)**, v. 3, n. 2, p. 64-76, 2012.

SCHOLZ-REITER, B.; HEGER, J.; MEINECKE, C.; BERGMANN, J. Integration of demand forecasts in ABC-XYZ analysis: practical investigation at an industrial company. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 61, n. 4, p. 445-451, 2012.

SEPTIANI, W.; DIVIA, G.A.; ADISUWIRYO, S. Warehouse layout designing of cable manufacturing company using dedicated storage and simulation promodel. In: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. **IOP Publishing**, 2020. p. 012054.

SHIAU, J.-Y.; LEE, M.-C. A warehouse management system with sequential picking for multi-container deliveries. **Computers & Industrial Engineering**, v. 58, n. 3, p. 382-392, 2010.

SHIMAMURA, Y. FPSO/FSO: State of the art. **Journal Of Marine Science And Technology**, v. 7, p. 59-70, 2002.

STOLL, J.; KOPF, R.; SCHNEIDER, J.; LANZA, G. Criticality analysis of spare parts management: a multi-criteria classification regarding a cross-plant central warehouse strategy. **Production Engineering**, v. 9, n. 2, p. 225-235, 2015.

SUDJATMIKO, B.; SAHRONI, T.R. An investigation of optimum safety stock level for maintenance, reliability and operation materials based on criticality of material and equipment. **Int J Sup Chain Mgt.**, v. 7, n. 2, p. 52-61, 2018.

TEUNTER, R.H.; SYNTETOS, A.A.; BABAI, M.Z. Stock keeping unit fill rate specification. **European Journal of Operational Research**, v. 259, n. 3, p. 917-925, 2017.

VAKA, D.K. Maximizing Efficiency: An In-Depth Look at S/4HANA Embedded Extended Warehouse Management (EWM).

VAN DEN BERG, J.P.; ZIJM, W.H.M. Models for warehouse management: Classification and examples. **International Journal of Production Economics**, v. 59, n. 1-3, p. 519-528, 1999.

VAUGHAN, T.S. The effect of warehouse cross aisles on order picking efficiency. **International Journal of Production Research**, v. 37, n. 4, p. 881-897, 1999.

WHITE, J.A.; DEMARS, N.A.; MATSON, J.O. Optimizing storage system selection. In: Proceedings of the 4th International Conference on Automation in Warehousing, Tokyo, Japan. 1981.

YIN, R.K. Estudo de caso: planejamento e métodos. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

ZAMAN, S.I.; KHAN, S.; ZAMAN, S.A.A.; KHAN, S.A. A grey decision-making trial and evaluation laboratory model for digital warehouse management in supply chain networks. **Decision Analytics Journal**, v. 8, p. 100293, 2023.

ZENKOVA, Z.; KABANOVA, T. The ABC-XYZ analysis modified for data with outliers. In: International Conference on Logistics Operations Management, 4., 2018, Le Havre. Proceedings.... Piscataway: IEEE, 2018. p. 1-6.

ZHANG, G.; NISHI, T.; TURNER, S.D.O.; OGA, K.; LI, X. An integrated strategy for a production planning and warehouse layout problem: modeling and solution approaches. **Omega**, v. 68, p. 85-94, 2017.

ZHOU, L.; ZHAO, J.; LIU, H.; WANG, F.; YANG, J.; WANG, S. Stochastic models of routing strategies under the class-based storage policy in fishbone layout warehouses. **Scientific Reports**, v. 12, n. 1, art. 12876, 2022.