U.PORTO

FEP FACULDADE DE ECONOMIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS 5G E VISÃO ARTIFICIAL EM AMBIENTES DE INTRALOGÍSTICA: DESAFIOS E OPORTUNIDADES

Inês Sofia Alves Miranda

Dissertação

Mestrado em Economia e Administração de Empresas

Orientado por
Doutor Pedro Pinho Senna
Professora Maria do Rosário Moreira

2025

Resumo

A transformação digital e a Indústria 4.0 têm vindo a redefinir os processos intralogísticos, tornando a adoção de tecnologias emergentes como o 5G e a visão artificial uma prioridade estratégica para empresas que procuram aumentar a sua eficiência, flexibilidade e competitividade. Contudo, a integração destas soluções enfrenta ainda barreiras significativas que condicionam a sua difusão em larga escala.

Este estudo, baseado em cinco casos de estudo e em entrevistas com especialistas de diferentes setores, identifica e analisa os principais desafios técnicos, organizacionais, culturais, legais e económicos que limitam a adoção destas tecnologias. Foram evidenciadas limitações como a latência e a cobertura de redes 5G, a complexidade da integração com sistemas legados, as restrições impostas pelo RGPD, a escassez de competências digitais, a resistência organizacional e os elevados custos iniciais. Em contrapartida, os resultados também destacam oportunidades relevantes, incluindo ganhos de eficiência operacional, maior rastreabilidade, aumento da segurança no trabalho, formação em contexto real através de realidade aumentada e transformação dos modelos de negócio através da servitização digital.

O estudo contribui de forma prática para orientar gestores na adoção de tecnologias emergentes em intralogística e, do ponto de vista académico, amplia o estado da arte ao introduzir novas dimensões de análise como a literacia digital da gestão e a responsabilidade em decisões automatizadas.

Palavras-chave: Intralogística; 5G; Visão Artificial; Indústria 4.0; Barreiras à Adoção; Oportunidades; Literacia Digital; Automação.

Abstract

Digital transformation and Industry 4.0 are reshaping intralogistics processes, making the adoption of emerging technologies such as 5G and computer vision a strategic priority for companies seeking greater efficiency, flexibility, and competitiveness. However, the integration of these solutions still faces significant barriers that hinder their large-scale deployment.

This study, based on five case studies and expert interviews across different industries, identifies and analyzes the main technical, organizational, cultural, legal, and economic challenges associated with the adoption of these technologies. Findings reveal limitations such as 5G network latency and coverage, legacy system integration complexity, GDPR restrictions, shortage of digital skills, organizational resistance, and high upfront costs. Conversely, the study also highlights relevant opportunities, including operational efficiency gains, enhanced traceability, improved workplace safety, immersive training through augmented reality, and business model transformation enabled by digital servitization.

The study provides practical guidance for managers adopting emerging intralogistics technologies and, from an academic perspective, extends the state of the art by introducing new analytical dimensions such as management digital literacy and accountability in automated decision-making.

Keywords: Intralogistics; 5G; Computer Vision; Automation; Digital Servitization; Management Digital Literacy; Automated Decision-Making.

Índice

Resumo i
Abstract i
1. Introdução 1
2. Revisão de literatura 3
2.1. Ambiente Intralogístico 3
2.2. Tecnologias da Indústria 4.0 3
2.3. Tecnologias Avançadas na Intralogística 5
2.3.1. Desafios e Barreiras à Adoção 5
2.3.2. Oportunidades e Benefícios da Adoção 8
2.3.3. Aplicações 10
3. Metodologia 12
3.1. Métodos de estudos similares 12
3.2. Seleção da metodologia 13
4. Resultados 18
4.1. Descrição dos Casos de Estudo 18
4.1.1. Caso de Estudo 1 18
4.1.2. Caso de Estudo 2 19
4.1.3. Caso de Estudo 3 19
4.1.4. Caso de Estudo 4 20
4.1.5. Caso de Estudo 5 20
4.2. Análise Conjunta dos Casos 21
4.2.1. Visão Artificial 21
4.2.2. 5G e Conetividade 22
4.2.3. Automação e Robótica 23
4.2.4. Formação e Gestão da Mudança 24
5. Discussão 25
5.1. Barreiras 25
5.1.1. Barreiras Técnicas 25
5.1.2. Barreiras legais e de Privacidade 26
5.1.3. Barreiras Culturais e Organizacionais 27
5.1.4. Barreiras Económicas 28
5.2. Oportunidades 29

5.2.1. Oportunidades Técnicas e Operacionais 29
5.2.2. Oportunidades em Conetividade e Flexibilidade 29
5.2.3. Oportunidades em Segurança e Condições de Trabalho 30
5.2.4. Oportunidades em Formação e Requalificação 30
5.2.5. Oportunidades em Modelos de Negócio 31
5.3. Síntese das Barreiras e Oportunidades 32
5.4. Melhoria dos Processos Intralogísticos 34
6. Conclusão 36
Referências 40
7. Anexos 45
7.1. Anexo A: Guião da Entrevista 45
7.2. Anexo B: Entrevistas 44

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Descrições de 5G e de Visão Artificial 3
Tabela 2 - Barreiras identificadas na literatura 7
Tabela 3 - Oportunidades identificadas na literatura 11
Tabela 4 - Metodologias aplicadas em estudos similares 12
Tabela 5 - Perfis dos Entrevistados por Caso de Estudo 14
Tabela 6 - Casos de Estudo 15
Tabela 7 - Árvore de Códigos 17
Tabela 8 - Barreiras observadas nos Casos de Estudo 33
Tabela 9 - Oportunidades observadas nos Casos de Estudo 34

Lista de Acrónimos

5G - Quinta Geração de redes móveis

AGV - *Automated Guided Vehicle* (Veículo Guiado Automático)

AMR - *Autonomous Mobile Robot* (Robô Móvel Autónomo)

AUT - Automação (código temático para processos automatizados em armazéns e intralogística)

CE - Caso de Estudo

DES - Barreiras (Desafios à adoção tecnológica)

ERP - *Enterprise Resource Planning* (Planeamento de Recursos Empresariais)

E1–E8 - Entrevistados (códigos atribuídos aos participantes nas entrevistas)

FOR - Formação Tecnológica (código temático relativo à capacitação de trabalhadores)

IA - Inteligência Artificial

IIoT - *Industrial Internet of things*

IoT - *Internet of Things* (Internet das Coisas)

MOD - Impacto no Modelo de Negócio (código temático relativo a mudanças organizacionais)

RA - Realidade Aumentada

RGPD - Regulamento Geral sobre a Proteção de Dados

RoI - *Return on Investment* (Retorno sobre o Investimento)

RV - Realidade Virtual

SUS - Sustentabilidade (código temático relativo a impactos ambientais/energéticos)

VA - Visão Artificial

WMS - *Warehouse Management System* (Sistema de Gestão de Armazéns)

1. Introdução

A globalização acelerada da economia, impulsionada pela redução de barreiras comerciais, dos custos de transporte e comunicação, e pela fragmentação da produção em diversos países, tem vindo a promover um crescimento significativo dos sistemas logísticos e de transporte (Cuturela & Manole, 2013). Estes sistemas desempenham um papel crucial na eficiência do fluxo comercial e na interconexão dos mercados globais (Cuturela & Manole, 2013).

Ambientes intralogísticos modernizados não melhoram apenas a eficiência das operações internas, indispensável para acompanhar essa evolução, como também contribuem para a redução de custos e para o aumento da competitividade empresarial (Pereira & Pereira, 2020). A relevância do tema evidencia-se perante o impacto crescente da transformação digital, e da expansão do *e-commerce*, uma das consequências da pandemia de Covid-19, que obrigou as organizações a acelerar as suas estratégias de digitalização (Zimmermann et al., 2023). Portanto, mais do que reagir às mudanças impostas pela pandemia, torna-se fundamental antecipar os avanços futuros e acompanhar a evolução de um mercado cada vez mais competitivo (Fathi et al., 2021).

Todos estes fatores impõem novas exigências às operações intralogística, que podem ser sustentadas pela adoção de tecnologias avançadas de produção e de integração de sistemas, nomeadamente através da combinação de soluções de realidade aumentada (RA) com inteligência artificial (IA) e redes de conetividade 5G (Li et al., 2023).

Ainda existem diversas lacunas relevantes no que respeita à adoção de tecnologias 5G e de visão artificial em intralogística. Os estudos existentes sobre as aplicações do 5G em logística permanecem limitados e predominantemente de carácter teórico (Lagorio et al., 2023), exigindo análises mais amplas e a realização de casos práticos que permitam compreender plenamente os seus benefícios. Torna-se igualmente necessário investigar a interoperabilidade entre o 5G e os protocolos existentes, avaliando a fiabilidade, a latência e o alcance em ambientes fabris (O'Connell et al., 2020). Para além disso, tecnologias como Veículos Guiados Automatizados (AGVs) e Robôs Móveis Autónomos (AMRs) carecem ainda de investigação que maximize o seu potencial em manufaturas inteligentes, particularmente no uso de redes 5G e de recursos como a Internet tátil e a realidade virtual (RV) (Oyekanlu et al., 2020). A maioria das pesquisas centra-se no setor da manufatura e não considera setores de serviços ou o impacto de eventos disruptivos, como a COVID-19.

Impõe-se, assim, o desenvolvimento de metodologias que permitam aprofundar a compreensão das relações causais entre os diversos fatores envolvidos e monitorizar de forma contínua a evolução tecnológica em contextos industriais distintos (Senna et al., 2022).

O presente estudo tem como objetivo central explorar de que forma a integração das tecnologias 5G e de visão artificial pode potenciar a eficiência, a automação e a segurança nos processos intralogísticos. De forma complementar, procura-se identificar as principais barreiras técnicas, organizacionais e culturais que dificultam a sua adoção e avaliar as oportunidades que estas tecnologias oferecem em termos operacionais e estratégicos. Para tal, desenvolve-se uma revisão da literatura sobre a integração de 5G e visão artificial, a qual serve de base para a condução de casos de estudo com *stakeholders* relevantes, através de entrevistas semiestruturadas e da análise de documentos relacionados com soluções tecnológicas em utilização ou desenvolvimento. Esta metodologia permite captar algumas perceções práticas sobre as barreiras e as oportunidades associadas à adoção destas tecnologias.

Para além de responder às questões de investigação, a investigação visa gerar implicações práticas, fornecendo recomendações úteis para gestores de sistemas intralogísticos no desenho de estratégias de implementação tecnológica, e implicações teóricas, contribuindo para o aprofundamento do estado da arte sobre a adoção de tecnologias avançadas em operações intralogísticas, no âmbito da Indústria 4.0.

Para além deste capítulo, o estudo está estruturado da seguinte forma: no capítulo 2 apresenta-se a revisão da literatura, onde são abordados os principais conceitos teóricos e estudos prévios relacionados com o tema. No capítulo 3, descreve-se a metodologia adotada, incluindo os métodos de recolha e análise de dados. O capítulo 4 expõe os resultados obtidos a partir dos casos de estudo, enquanto o capítulo 5 apresenta a discussão, articulando as evidências empíricas com a literatura. Por fim, no capítulo 6 são sintetizadas as conclusões, as limitações do estudo e as propostas para investigações futuras.

2. Revisão de literatura

2.1. Ambiente Intralogístico

O termo "Intralogística" refere-se à organização, controlo, execução e otimização do fluxo de materiais e informação dentro da fábrica, bem como o transbordo de mercadorias em instalações industriais e de distribuição (Hompel & Heidenblut, 2008, citado por Pawlewski, 2021). Uma instalação moderna de intralogística é um sistema no qual humanos, dispositivos de manuseio automatizados ou autónomos, sistemas de informação, sensores, redes, emissores e transmissores de RF interagem entre si em tempo real (Venkatadri & Murrenhoff, 2024). A Intralogística envolve a organização, o controlo, a execução e a otimização dos fluxos internos de materiais e de informação em ambientes complexos e dinâmicos, tais como fábricas, armazéns e centros de distribuição e terminais (Richard et al., 2024).

2.2. Tecnologias da Indústria 4.0

A Indústria 4.0 é um sistema complexo e flexível que integra tecnologias de manufatura digital, comunicação em rede, computação, automação e diversas outras áreas (Zhou et al., 2015). Este novo paradigma industrial engloba um conjunto de avanços tecnológicos, como CPS[1], Internet das Coisas (IoT), Robótica, *Big Data*, Manufatura em Nuvem e RA, que influenciam tanto os produtos quanto os processos, promovendo melhorias na eficiência e na produtividade das empresas que as adotam (Schmidt et al., 2015). Nesta investigação, aprofundaremos sobretudo as tecnologias 5G e visão artificial, e de seguida, são apresentadas diferentes descrições e caraterísticas das mesmas, tal como destacadas na literatura (Tabela 1).

Tabela 1 - Descrições de 5G e de Visão Artificial

Tecnologia	Definição	Autores
5G - Características Gerais	O 5G é uma tecnologia de comunicação sem fios de quinta geração, projetada para oferecer alta velocidade, baixa latência, conetividade massiva e elevada fiabilidade, capacitando aplicações avançadas como a IoT e cenários industriais.	Adebusola et al. (2020); Painuly et al. (2020)

[1] *Cyber-Physical Systems*, sistemas que integram componentes físicos e digitais em rede.

5G - Avanços Tecnológicos	O 5G integra tecnologias avançadas como MIMO[2] massivo, ondas milimétricas e computação na borda para suportar comunicação de alta velocidade e automação industrial.	Gupta & Jha (2015); Al-Falahy & Alani (2017)
5G - Aplicações Emergentes	O 5G é concebido para integrar novos avanços, como redes sensoriais, inteligência de borda e comunicações holográficas, permitindo inovações significativas em áreas como cidades inteligentes e automação industrial.	Yuan et al. (2023); Chen et al. (2023); Yang et al. (2022)
Visão Artificial - Finalidade	A visão artificial é uma área da inteligência artificial que tem um papel importante no processamento, na análise e na compreensão de recursos visuais para derivar decisões significativas e tomar ações.	Nalbant & Uyanık (2021); Wiley & Lucas (2018)
Visão Artificial - Métodos	É um campo da inteligência artificial que trata de resolver problemas de processamento visual, como reconhecimento de imagens, deteção de objetos, segmentação de objetos e leitura de texto em imagens.	Rosenfeld (1988); Alshammari et al. (2022)
Visão Artificial - Representação	Campo da inteligência artificial que procura gerar uma descrição simbólica de uma cena a partir de imagens, permitindo a compreensão do ambiente visual.	Zhou et al. (2022)

Para o presente estudo, definimos Tecnologias 5G como tecnologia de comunicação sem fios de quinta geração, desenvolvida para proporcionar alta velocidade, baixa latência, conetividade massiva e confiabilidade, permitindo a implementação de aplicações avançadas como a IoT e aplicações industriais (Adebusola et al., 2020; Painuly et al., 2020).

No caso da Visão Artificial, a definição adotada refere uma área da inteligência artificial que procura resolver problemas de processamento visual, tais como reconhecimento e segmentação de imagens e deteção de objetos (Alshammari et al., 2022; Rosenfeld, 1988), e promove a compreensão do ambiente visual (Zhou et al., 2022).

Embora a Indústria 4.0 tenha marcado um avanço significativo ao integrar tecnologias digitais, automação e conetividade em rede, a sua ênfase na eficiência e na substituição de

[2] *Multiple Input Multiple Output*, técnica de transmissão múltipla usada em redes sem fios.

tarefas humanas levou a que os trabalhadores fossem muitas vezes encarados como o "elo fraco" dos sistemas produtivos (Alves et al., 2023). Neste contexto emergiu o conceito de Indústria 5.0, que procura recentrar o papel do ser humano como supervisor e tomador de decisão final (Pereira et al., 2020). Assim, enquanto a Indústria 4.0 se foca na digitalização, automação e integração de sistemas inteligentes, a Indústria 5.0 acrescenta uma dimensão humano-cêntrica, ao destacar a colaboração entre pessoas e máquinas como elemento essencial da transformação digital (Nahavandi, 2019).

2.3. Tecnologias Avançadas na Intralogística

O avanço tecnológico tem impulsionado a integração de soluções inovadoras na intralogística, tais como sistemas de planeamento de recursos empresariais (ERP), IA, IoT, veículos autónomos e drones (Roshid et al., 2024). A adoção de tecnologias avançadas como estas tem sido motivada pela necessidade de aumentar a eficiência operacional, reduzir custos, e melhorar a segurança nas operações de armazenagem e movimentação de mercadorias (Agarwal & Goel, 2025). Em simultâneo, a sua aplicação abre espaço a diversas oportunidades que podem traduzir-se em vantagens competitivas significativas para as organizações (Apruzzese et al., 2023). No entanto, a integração dessas tecnologias enfrenta desafios e barreiras que podem limitar a sua implementação em larga escala (Agarwal & Goel, 2025). Nesta seção, são discutidos as barreiras associadas à adoção destas tecnologias, bem como as suas oportunidades e exemplos de aplicação.

2.3.1. Desafios e Barreiras à Adoção

Como ponto de partida, destacam-se as barreiras identificadas no âmbito da Indústria 4.0, que incluem a necessidade de elevados níveis de investimento, adaptações significativas nos processos organizacionais e transformação das estruturas de trabalho (Senna et al., 2022). A estes somam-se a escassez de mão de obra qualificada, a ausência de padrões de integração e a complexidade envolvida no *retrofitting* de equipamentos existentes, todos eles obstáculos relevantes à plena adoção das tecnologias avançadas de produção (Senna et al., 2022). Considerando que as tecnologias avançadas de produção fazem parte do paradigma da I4.0, é expectável que as mesmas barreiras se reflitam quando aplicadas em contextos específicos, como o da intralogística.

No caso da tecnologia 5G, essencial para a expansão da IoT, as barreiras mais relevantes prendem-se com os elevados custos de infraestrutura, os investimentos necessários em

estações-base, antenas e fibra ótica, bem como os encargos com a formação da mão de obra (Çıkmak, 2024; Lagorio et al., 2023). Persistem igualmente desafios de cobertura total do sinal, sobretudo em locais remotos (Lagorio et al., 2023). Acrescem preocupações críticas sobre a segurança da informação e a integridade dos dados, aspetos particularmente sensíveis em redes privadas industriais (Kadena & Rajnai, 2024). Por fim, a sua adoção implica também custos adicionais associados à aquisição de espetro licenciado, condição necessária para garantir maior fiabilidade e segurança, mas que representa um encargo financeiro significativo (O'Connell et al., 2020).

No contexto da visão artificial, os obstáculos mais frequentemente destacados prendem-se com a complexidade do processamento de grandes volumes de dados e a necessidade de calibração dos sistemas para diferentes ambientes operacionais (Aldoseri et al., 2023). A estes fatores acrescem os elevados custos iniciais, que representam uma barreira particularmente crítica para as PMEs (Agarwal & Goel, 2025).

Para além das barreiras técnicas e económicas, destaca-se a escassez de mão de obra qualificada para operar e manter sistemas de inteligência artificial (Ilin et al., 2019). No ambiente intralogístico, a eficiência das operações internas depende em grande medida do aumento da automatização, com recurso a elementos fundamentais como esteiras e robôs autónomos (Matt et al., 2020). Contudo, o fator humano continua a ter importância, e é expectável que os trabalhadores desenvolvam novas competências digitais e operacionais, face aos avanços tecnológicos, e à complexidade acrescida dos processos que estes exigem (Parham & Tamminga, 2018). A título de exemplo, em vez da movimentação manual de cargas, existe a possibilidade de controlo remoto de veículos autónomos com a mesma finalidade, através da implementação de tecnologias como visão artificial combinada às comunicações móveis 5G (O'Connell et al., 2020). Este desenvolvimento representa um desafio, já que exige que os colaboradores adquiram novas competências para operar e interagir eficazmente com essas tecnologias emergentes (Sodiya et al., 2024). Neste âmbito, a literacia digital assume-se como condição essencial para a adoção tecnológica, englobando não apenas aptidões técnicas, mas também capacidades cognitivas e sociais, como a resolução de problemas e o pensamento crítico (Van Laar et al., 2017).

A crescente interação entre humanos e robôs levanta preocupações sérias em matéria de segurança no trabalho, incluindo riscos de colisão, aprisionamento de membros e falhas técnicas (Gualtieri et al., 2022). Paralelamente, emergem dilemas éticos relacionados com a

tomada de decisão automatizada e com o impacto destas tecnologias na empregabilidade, num contexto de crescente dependência tecnológica (Boršoša & Koman, 2025).

A Tabela 2 sistematiza as principais barreiras identificadas na literatura para a adoção das tecnologias 5G e de visão artificial em contextos intralogísticos.

Tabela 2 - Barreiras identificadas na literatura

Tipo de Barreira	**Característica**	**Definição**	**Referências**
Barreira Técnica	Elevados custos de infraestrutura	Implementação de 5G exige investimentos significativos em estações-base, fibra ótica e equipamentos especializados, o que limita empresas com menos recursos.	Çıkmak (2024); Lagorio et al. (2023)
Barreira Técnica	Custos de espetro licenciado	Redes privadas 5G implicam custos elevados na aquisição de espetro licenciado; alternativas não licenciadas são mais baratas, mas menos fiáveis e seguras.	O'Connell et al. (2020)
Barreira Organizacional	Escassez de mão de obra qualificada	Falta de engenheiros e técnicos especializados em IA, telecomunicações e visão computacional, dificultando a adoção.	Ilin et al. (2019)
Barreira Técnica/Operacional	Complexidade de integração tecnológica	Ausência de padrões universais de interoperabilidade e dificuldade de integração com sistemas legados.	Senna et al. (2022)
Barreira Legal	Questões legais e de privacidade	O Regulamento Geral sobre Proteção de Dados (RGPD) limita a recolha e uso de dados visuais de trabalhadores em contexto logístico.	Gualtieri et al. (2022); Boršoša & Koman (2025)
Barreira Técnica	Latência e largura de banda variáveis	A rede 5G ainda apresenta instabilidades que podem comprometer aplicações críticas em tempo real.	O'Connell et al. (2020)
Barreira Cultural/Económica	Resistência organizacional e cultural	Relutância em investir, especialmente em mercados com custos de mão de obra baixos e visão estratégica limitada.	Parham & Tamminga (2018)

2.3.2. Oportunidades e Benefícios da Adoção

Apesar dos desafios, a integração de tecnologias avançadas na intralogística apresenta benefícios significativos. No contexto das operações em armazéns, a integração do 5G apresenta um potencial transformador (Çıkmak, 2024). Esta tecnologia permite a comunicação em tempo real entre sensores, câmaras e dispositivos IoT, viabilizando a criação de um ecossistema responsivo e interconectado (Oyeniran et al., 2023). Com velocidades de transmissão elevadas e baixa latência, as redes 5G permitem que as indústrias de armazenagem implementem soluções como robótica, sistemas automatizados e controlos baseados em sensores de forma mais eficaz (Çıkmak, 2024). Adicionalmente, permitem otimizar a gestão dinâmica do inventário, o rastreio de ativos e a segurança operacional (George et al., 2023). A automação suportada por 5G possibilita ainda o uso de sistemas baseados em inteligência artificial para o controlo em tempo real de veículos autónomos e dispositivos inteligentes (George et al., 2023). De forma geral, a adoção do 5G na logística melhora a monitorização e o controlo de materiais, veículos, pessoal e rotas, de modo a otimizar a utilização dos armazéns, o roteamento interno, a supervisão da cadeia de abastecimento, a previsão de falhas em AGVs e a eficiência nas entregas (Lagorio et al., 2023). Além disso, garante um acompanhamento rigoroso da qualidade dos produtos, e, a longo prazo, permite reduzir os custos com a mão de obra e transporte através da automação (Lagorio et al., 2023). A adoção do 5G e da automação na gestão de armazéns contribui também para a sustentabilidade, uma vez que a sua evolução e implementação em larga escala promovem melhorias progressivas na eficiência energética e na redução de custos operacionais (Lagorio et al., 2023; Çıkmak, 2024).

A literatura evidencia ainda que o 5G amplia a flexibilidade estrutural das operações industriais (O'Connell et al., 2020). Ao eliminar as limitações impostas pelas cablagens *ethernet* e permitir a ligação sem fios das máquinas à *cloud*, aumenta-se a mobilidade dos equipamentos (O'Connell et al., 2020). Estudos com fabricantes apontam que a reconfiguração de linhas de produção é uma das áreas que mais beneficiará com esta tecnologia, proporcionando ganhos relevantes em eficiência e flexibilidade (Manufacturing Institute, 2021).

A IA tem vindo a melhorar significativamente a eficiência logística, ao otimizar processos operacionais e o planeamento de armazéns através da análise de *big data* e *machine learning* (Zhang, 2019). Esta tecnologia permite aperfeiçoar o roteamento de veículos, reduzir custos, prever a procura, agilizar decisões e personalizar serviços logísticos para uma maior satisfação

do cliente (Ilin et al., 2019). Simultaneamente, constitui a base para o desenvolvimento de sistemas de visão artificial, cuja função principal é a deteção de objetos e o processamento de imagens (Zhang et al., 2022). A adoção destas tecnologias nas operações de armazém representa, assim, um grande avanço para a melhoria da eficiência operacional, a otimização de processos, o aumento da produtividade e segurança, ao mesmo tempo que proporciona uma experiência superior ao cliente num mercado cada vez mais digital e interconectado (Kosmidis et al., 2024).

Para alcançar a total automação e digitalização dos armazéns, tecnologias como AGVs, AMRs, robôs colaborativos e empilhadores autónomos desempenham papéis cruciais (Çıkmak, 2024). As redes de conetividade 5G, associadas a inovações tecnológicas como a RV, possibilitam, entre outras aplicações, a utilização de veículos autónomos (Hakak et al., 2023; Nascimento et al., 2019). Estes operam de forma coordenada na movimentação de mercadorias e desempenham um papel determinante na ampliação da automação (Dhaliwal, 2020). Apesar dos desafios relacionados com a interação entre humanos e robôs, a integração destas tecnologias tem resultado num aumento da produtividade e na mitigação de lesões laborais devido à minimização do esforço físico (Dabic-Miletic, 2024). Além disso, as próprias tecnologias também podem ser aliadas no processo de capacitação, como no caso da RA, que permite criar ambientes imersivos onde objetos virtuais - como instruções, guias visuais e componentes industriais - coexistem e interagem com os elementos reais, tornando possível melhorar a eficiência operacional, reduzir erros e otimizar processos (Wang et al., 2016). Da mesma forma, a realidade virtual (RV) oferece aos funcionários a oportunidade de praticar tarefas complexas e procedimentos de emergência num ambiente seguro e controlado, antes de enfrentá-los no mundo real (Firu et al., 2021). Esta abordagem não só acelera o desenvolvimento de competências, como também melhora a conformidade com normas de segurança e reduz o tempo de treino, aumentando a preparação geral da força de trabalho (Kosmidis et al., 2024).

Para além dos benefícios operacionais, a literatura recente tem enfatizado que a digitalização gera igualmente oportunidades estratégicas, ao transformar os modelos de negócio das empresas (Favoretto et al., 2022). Neste contexto, ganha destaque o conceito de servitização digital, definido como o processo de transformação pelo qual uma empresa orientada a produtos altera o seu modelo de negócio centrado no produto para um modelo de negócio centrado no serviço com o apoio de tecnologias digitais, permitindo a

reconfiguração dos seus processos, capacidades, produtos e serviços de modo a melhorar o valor para os clientes e aumentar o desempenho da empresa (Favoretto et al., 2022). Essa transformação é particularmente visível em contextos logísticos, nos quais o *Industrial Internet of thing* (IIoT) desempenha um papel central, ao permitir a recolha e análise contínua de dados, a monitorização e a otimização em tempo real, suportando serviços digitais como contratos baseados em desempenho, manutenção preditiva e suporte remoto (Flores-García et al., 2023). Neste contexto, alguns autores introduzem o conceito de *smart production logistics*, para designar ecossistemas logísticos que, apoiados em IIoT e servitização digital, são capazes de se autoajustar em tempo real, criar valor em toda a cadeia de abastecimento e reforçar a competitividade organizacional (Flores-García et al., 2023).

2.3.3. Aplicações

Diversos setores têm explorado a aplicação das tecnologias avançadas para aprimorar a intralogística. Nos armazéns, a combinação do 5G com dispositivos IoT possibilita soluções automatizadas, como prateleiras inteligentes que atualizam inventários em tempo real e sistemas de rastreamento de mercadorias (Brown et al., 2024). Neste contexto, a adoção de sistemas de gestão (WMS) aprimora a rastreabilidade de mercadorias através de tecnologias como RFID, códigos de barras e análise preditiva, reduzindo erros e aumentando a produtividade (Roshid et al., 2024).

A robótica desempenha um papel essencial, com a implementação de AGVs e AMRs, que melhoram a eficiência da movimentação de mercadorias e reduzem a necessidade de operações manuais (Dhaliwal, 2020). Neste contexto, torna-se necessário distinguir entre AGVs e AMRs: os primeiros seguem rotas predefinidas por marcadores ou fios no chão, enquanto os AMRs, utilizam sensores e inteligência artificial para navegar de forma dinâmica e adaptativa (Dhaliwal, 2020). Veículos autônomos, habilitados pelo 5G, oferecem maior precisão e segurança em comparação com empilhadores convencionais, proporcionando uma gestão logística mais eficiente (Gu et al., 2007, citado por Ilin et al., 2019).

No setor manufatureiro, a RA tem sido utilizada para otimizar a formação de operadores e melhorar a precisão na execução de tarefas complexas, ao projetar instruções diretamente no ambiente de trabalho (Bosch et al., 2020). Isso resultou numa maior precisão e menor taxa de erros, embora desafios como altos custos e necessidade de especialistas tenham limitado sua adoção (Bosch et al., 2020). Um exemplo relevante é a aplicação da visão artificial na monitorização da segurança em ambientes industriais, permitindo o rastreamento

de equipamentos e a prevenção de incidentes (Khanh, 2024). Além disso, a implementação de armazéns 5G, como o caso da Zuellig Pharma, demonstrou a redução de custos operacionais e o aumento da eficiência por meio do uso de óculos de RA e drones para controlo de inventário (Accenture, 2024).

A Tabela 3 apresenta uma síntese das oportunidades mais relevantes destacadas na literatura, resultantes da integração do 5G e da visão artificial em ambientes intralogísticos.

Tabela 3 - Oportunidades identificadas na literatura

Tipo de Oportunidade	Característica	Definição	Referências
Oportunidade Operacional	Eficiência operacional	Integração de 5G e visão artificial melhora produtividade, reduz custos e otimiza processos.	Zhang (2019); George et al. (2023)
Oportunidade Operacional	Maior rastreabilidade e controlo em tempo real	Comunicação contínua entre sensores, IoT e sistemas de visão garante gestão dinâmica e precisa.	Lagorio et al. (2023); Oyeniran et al. (2023)
Oportunidade Organizacional	Aumento da segurança no trabalho	Automação e colaboração homem-robô reduzem riscos de acidentes em operações intralogísticas.	Gualtieri et al. (2022)
Oportunidade Ambiental/ Económica	Sustentabilidade	Maior eficiência energética e redução de custos operacionais em operações logísticas.	Çıkmak (2024); Kosmidis et al. (2024)
Oportunidade Técnica/ Operacional	Flexibilidade estrutural	O 5G elimina cablagem física, permitindo maior adaptabilidade e reconfiguração rápida de layouts.	O'Connell et al. (2020); Manufacturing Institute (2021)
Oportunidade Organizacional	Formação e capacitação digital	RA/RV permitem treino imersivo e aprendizagem em contexto de trabalho, acelerando qualificação.	Wang et al. (2016); Kosmidis et al. (2024)
Oportunidade Estratégica	Servitização digital	Transição de fornecedores de produtos para prestadores de serviços digitais contínuos (monitorização, manutenção preditiva, contratos de desempenho).	Favoretto et al. (2022); Flores-García et al. (2023)

3. Metodologia

Esta investigação tem o objetivo de explorar os desafios e oportunidades relacionados à adoção de tecnologias 5G e de visão artificial em ambientes intralogísticos. Para isso, são abordadas as seguintes perguntas de investigação:

1. Quais são as principais barreiras técnicas, organizacionais, culturais e legais que limitam a adoção de tecnologias 5G e de visão artificial em ambientes intralogísticos, e como é que estas barreiras se manifestam na prática?
2. De que forma a integração das tecnologias 5G e visão artificial contribui para ganhos de eficiência, de automação e de segurança em processos intralogísticos, em diferentes setores de atividade?
3. Que implicações têm estas tecnologias para a transformação dos modelos de negócio, de práticas de gestão e da qualificação da força de trabalho?

3.1. Métodos de estudos similares

Nesta secção, passa-se a apresentar uma tabela com os métodos utilizados em estudos semelhantes relacionados com a adoção de tecnologias da Indústria 4.0, incluindo a tecnologia 5G e outras inovações no contexto industrial. A Tabela 4 resume a metodologia, o objetivo da investigação e as contribuições de cada estudo, oferecendo uma visão geral das abordagens e das descobertas relevantes para a investigação.

Tabela 4 - Metodologias aplicadas em estudos similares

Estudos	Metodologia utilizada	Objetivo do Estudo	Contribuições
Lagorio et al. (2023)	Revisão sistemática da literatura	Identificar as principais áreas e atividades logísticas onde o 5G pode ser implementado, destacando os benefícios esperados e as tecnologias relacionadas que podem impulsionar sua adoção em larga escala.	Identifica desafios que atualmente impedem a adoção do 5G em processos logísticos e sugere direções para pesquisas futuras.
O'Connell et al. (2020)	Análise descritiva técnica	Investigar os requisitos técnicos, normativos e de segurança para a implementação eficaz do 5G na manufatura.	Identifica barreiras técnicas e normativas, analisa o impacto do 5G na manufatura, propõe requisitos técnicos para a sua implementação e oferece contributos úteis para stakeholders interessados na adoção do 5G.

Zhou et al. (2015)	Análise de Conteúdo	Explorar as oportunidades e os desafios associados à adoção de tecnologias da Indústria 4.0 no futuro industrial.	Oferece uma visão abrangente sobre as transformações da Indústria 4.0, destacando tendências tecnológicas e desafios globais.
Senna et al. (2022)	Modelo analítico	Identificar e priorizar as principais barreiras que dificultam a adoção de tecnologias da Indústria 4.0.	Proporciona uma visão clara das dificuldades enfrentadas pelas empresas ao adotar tecnologias emergentes e oferece recomendações para superar esses obstáculos.
Malinen et al. (2022)	Revisão sistemática da literatura	Explorar as oportunidades tecnológicas da Indústria 4.0 e os seus benefícios e impactos na intralogística, com foco na transformação digital dos processos logísticos.	Apresenta as tecnologias-chave da Indústria 4.0 aplicáveis à intralogística, destacando como elas podem melhorar a eficiência, flexibilidade e rastreabilidade na cadeia de suprimentos.
Mulroy et al. (2017)	Revisão sistemática da literatura	Examinar os avanços recentes nas tecnologias de veículos guiados automatizados (AGVs) e os desafios de integração para aplicações de manufatura inteligente baseadas em 5G.	Identifica áreas-chave de pesquisa e desafios na implementação de AGVs e 5G na manufatura inteligente, oferecendo direções para futuras inovações tecnológicas.
Li et al. (2023)	Revisão sistemática da literatura	Demonstrar a transformação prevista no setor logístico com a implementação da tecnologia 5G, analisando seus impactos e benefícios para a logística 4.0.	Evidencia os avanços proporcionados pela tecnologia 5G na conetividade, automação e eficiência logística, destacando suas aplicações práticas e as mudanças que trarão para as cadeias de abastecimento e os centros de distribuição.

3.2. Seleção da metodologia

A presente investigação adota a metodologia de estudo de caso, inserida no paradigma de pesquisa qualitativa. Esta abordagem é especialmente adequada para explorar questões complexas e contemporâneas em contextos reais, permitindo um entendimento aprofundado dos fenómenos em estudo (Voss et al., 2002).

Os casos de estudo foram definidos de forma estratégica, com base na diversidade de setores de atuação e características organizacionais, de modo a maximizar a relevância e a variedade dos contributos gerados. Essa abordagem reflete o uso de "múltiplos casos", que aumenta a robustez do estudo por permitir a análise comparativa e a identificação de padrões consistentes (Voss et al., 2002). Os critérios de seleção consideraram a variedade de setores (retalho, indústria pesada e fornecedores de tecnologia), diferentes níveis de maturidade digital e a viabilidade de acesso a dados empíricos. Esta abordagem assegurou a inclusão de

empresas tanto utilizadoras finais como fornecedoras de tecnologia, reforçando a validade externa e a aplicabilidade dos resultados obtidos.

A investigação utiliza múltiplas fontes de dados, incluindo análise documental e entrevistas semi-estruturadas com *stakeholders* de empresas portuguesas, seguindo o princípio da triangulação, que visa assegurar a validade e a confiabilidade dos resultados (Yin, 2009). A combinação dessas fontes permite captar uma visão holística dos desafios e oportunidades enfrentados pelas organizações na adoção de tecnologias avançadas. O guião de entrevista encontra-se disponível no Anexo A.

A seleção dos entrevistados seguiu critérios de inclusão baseados na experiência direta com tecnologias 5G e visão artificial e na sua responsabilidade em processos de decisão ou implementação. Foram excluídos perfis sem ligação prática ou estratégica ao tema, garantindo foco nos *stakeholders* mais relevantes. A amostra incluiu gestores de inovação e de logística ligados ao retalho, uma gestora de projetos do setor da pasta e papel e um gestor de operações do setor aeronáutico, que representam os casos de demonstração. Foram igualmente incluídos entrevistados de empresas fornecedoras de tecnologia, nomeadamente um engenheiro de telecomunicações, um *program manager* e um diretor executivo com experiência em visão artificial e *digital twin*, bem como uma *data scientist* especializada em visão artificial. Por fim, participaram representantes de um instituto de investigação, incluindo investigadores e um coordenador de centro com experiência em robótica móvel.

A Tabela 5 apresenta uma síntese dos perfis dos entrevistados, indicando a respetiva área de especialização e a ligação a cada caso de estudo considerado nesta investigação.

Tabela 5 - Perfis dos Entrevistados por Caso de Estudo

ID	Função	Área de Especialização	Caso(s) de Estudo Associado(s)
E1	Investigador	Telecomunicações	CE 2 / CE 4 / CE 5
E2	Coordenador de Centro	Robótica Móvel	CE 1 / CE 5
E3	Investigador	Robótica Móvel	CE1 / CE 4 / CE 5
E4	Gestor de Programas	Visão Artificial	CE 3
E5	*Data Scientist*	Visão Artificial	CE 4
E6	Diretor Executivo	Visão Artificial / *Digital Twin*	CE 1 / CE 5

E7	Gestora de Projetos	Papel e Celulose	CE 2
E8	Gestor de Inovação	Retalho / Automação	CE 1

A Tabela 6 resume as principais características das empresas selecionadas, abrangendo diferentes indústrias, tipologias de negócio, níveis de faturação e dimensões da força de trabalho.

Tabela 6 - Casos de Estudo

Caso de Estudo	**Indústria**	**Participação/ Tipologia de Negócio**	**Nível de Faturação (€)**	**Força de Trabalho (colaboradores)**	**Tamanho**
Caso de Estudo 1	Retalho Alimentar	Empresa Demonstradora Supermercados/ Hipermercados	175,4 milhões	47.000	Grande
Caso de Estudo 2	Papel e Celulose	Empresa Demonstradora Produção de Papel	241,4 milhões	3.500	Grande
Caso de Estudo 3	Tecnologias de Visão Artificial	Provedor de Tecnologias Soluções de RA para Indústria	< 2 milhões	<50 pessoas	Pequena
Caso de Estudo 4	Sistemas Inteligentes e Visão Computacional	Provedor de Tecnologia Soluções de Visão Computacional e IA para Indústria	< 2 milhões	< 50 pessoas	Pequena
Caso de Estudo 5	Tecnologias Digitais Avançadas	Provedor de Tecnologia Soluções de Digital Twin para Indústria	< 2 milhões	< 50 pessoas	Pequena

O objetivo central consistiu em captar perceções sobre as barreiras à adoção de tecnologias avançadas e em identificar de que forma estas podem contribuir para a eficiência dos processos intralogísticos. Para tal, foram realizadas entrevistas com duração média entre 45 e 60 minutos, que foram gravadas e integralmente transcritas. A saturação teórica foi alcançada após a oitava entrevista, momento em que deixaram de emergir novos temas relevantes, o que confirma a suficiência da amostra para os objetivos do estudo.

Com vista a reforçar a validade dos resultados, recorreram-se a estratégias complementares de garantia de qualidade, nomeadamente a revisão cruzada da codificação por dois investigadores independentes e o envio de resumos das entrevistas a alguns participantes (*member checking*), permitindo confirmar a consistência e a fiabilidade das interpretações.

3.3. Estratégia de Análise de Dados

A análise dos dados empíricos obtidos através das entrevistas será realizada com base na técnica de codificação temática. A codificação é o processo de atribuir palavras-chave (códigos) a segmentos de texto que representem conceitos, ideias ou padrões relevantes para os objetivos da investigação (Saldaña, 2016).

A construção da árvore de códigos (Tabela 7) foi iniciada a partir da revisão da literatura, onde foram identificados os principais temas relacionados à adoção de tecnologias 5G e visão artificial em ambientes de intralogística. Cada código é composto por um identificador, uma palavra-chave, uma definição e as respetivas referências teóricas.

Durante a análise das entrevistas, as transcrições serão lidas e segmentadas em unidades significativas, às quais serão atribuídos os códigos da árvore previamente definida. Adicionalmente, novos códigos poderão emergir da análise empírica, especialmente quando temas relevantes forem identificados em mais de um entrevistado, mas não estavam presentes na literatura.

O uso da codificação temática assegura o rigor na organização dos dados qualitativos e facilita a identificação de padrões, relações e implicações práticas no contexto estudado.

Tabela 7 - Árvore de Códigos

Código ID	Código	Definição	Referências
VA1	Visão artificial	Área da IA que analisa e interpreta imagens ou vídeos digitais para tomar decisões automatizadas.	Alshammari et al. (2022), Zhou et al. (2022)
VA2	Reconhecimento de imagem	Deteção automática de objetos ou padrões visuais em imagens, como códigos de barras ou produtos fora do lugar.	Rosenfeld (1988), Zhang et al. (2022)
VA3	Controlo de qualidade	Uso de câmaras para inspecionar visualmente produtos e identificar defeitos ou inconformidades.	Khanh (2024), Bosch et al. (2020)
5G1	Comunicação 5G	Tecnologia de rede móvel com alta velocidade, baixa latência e confiabilidade para aplicações industriais e IoT.	Adebusola et al. (2020), Lagorio et al. (2023)
5G2	Latência reduzida	Capacidade do 5G de reduzir o tempo de resposta da rede, essencial para comandos em tempo real em ambientes logísticos.	Yang et al. (2022), Çıkmak (2024)
5G3	Conetividade massiva	Suporte do 5G à comunicação simultânea entre milhares de dispositivos (IoT, sensores, câmaras, etc.).	Painuly et al. (2020), Oyeniran et al. (2023)
AUT1	Veículos autónomos	Robôs móveis (AGVs/AMRs) que usam IA e câmaras para navegação e transporte de mercadorias.	Dhaliwal (2020), Ilin et al. (2019)
AUT2	Automação de armazém	Integração de tecnologia para executar tarefas logísticas sem intervenção humana, como separação, *picking* e reposição automática.	Lagorio et al. (2023), Roshid et al. (2024)
FOR1	Formação tecnológica	Estratégias de capacitação dos trabalhadores para operar novas tecnologias, como RA ou plataformas digitais.	Kosmidis et al. (2024), Wang et al. (2016)
DES1	Barreiras técnicas 5G	Dificuldades como cobertura limitada, custos elevados de infraestrutura e falta de interoperabilidade.	Çıkmak (2024), O'Connell et al. (2020)
DES2	Barreiras técnicas visão artificial	Limitações relacionadas ao processamento de dados, calibração de câmaras e escassez de mão-de-obra qualificada.	Aldoseri et al. (2023), Ilin et al. (2019)
MOD1	Impacto no modelo de negócio	Mudanças nos processos operacionais, estrutura organizacional e estratégia competitiva em função da adoção de 5G e visão artificial.	George et al. (2023), Accenture (2024)

4. Resultados

4.1. Descrição dos Casos de Estudo

Nesta subseção apresentam-se os resultados obtidos a partir da análise dos cinco casos de estudo, cada um representando diferentes setores de atividade. O objetivo é descrever, de forma sintética, as soluções implementadas ou em fase de prova de conceito, destacando a relação destas com as tecnologias de visão artificial, o 5G e a automação intralogística, bem como os principais desafios e benefícios observados.

A descrição de cada caso baseia-se na informação recolhida durante as entrevistas semiestruturadas, complementada com a perspetiva dos investigadores envolvidos, e está estruturada em torno dos códigos temáticos identificados na revisão da literatura. Sempre que pertinente, são apresentados excertos das entrevistas.

4.1.1. Caso de Estudo 1

Este caso centra-se na adoção de tecnologias de automação e visão artificial, ainda em fase de provas de conceito, para otimizar processos de intralogística, como análise de fluxos e reorganização de *layouts*. Entre as iniciativas relatadas por um dos entrevistados (E6), destaca-se a instalação de câmaras para estudar os percursos realizados pelos colaboradores e pelos AMRs e, assim, conceber *layouts* mais eficientes, bem como a integração progressiva desses veículos autónomos para sincronizar as operações com a equipa humana.

A visão artificial, apesar de promissora, ainda não está completamente ajustada ao ambiente dinâmico. Como relata E8, "estamos a fazer provas de conceito em ambiente real destas tecnologias, mas ainda não estão adequadas à nossa realidade". A par dessa dificuldade, também o cumprimento do RGPD surge como uma das maiores barreiras na análise de imagens (E3).

No domínio da conetividade, alguns entrevistados reconheceram o potencial do 5G para reduzir os tempos de latência, embora um dos participantes (E8) salientasse que, até ao momento, a tecnologia não foi testada em operação por não se ter verificado ainda uma necessidade concreta. O mesmo participante acrescentou que, no caso da robótica, o processamento de imagens e decisões é frequentemente realizado localmente nos próprios robôs, dispensando comunicação constante com a *cloud*, e que o 4G tem sido suficiente para as necessidades atuais.

A automação é vista como essencial para colmatar a escassez de mão-de-obra, "uma vez que há pouca mão de obra e cada vez menos pessoas a querer trabalhar em armazéns" (E2), e melhorar as condições de trabalho, sobretudo em tarefas fisicamente exigentes (E6). Quanto ao impacto social da automação, foram identificados receios pontuais de substituição de postos de trabalho, mas a estratégia adotada passa por envolver os colaboradores durante a implementação, recolhendo sugestões e promovendo a apropriação das novas soluções (E8).

4.1.2. Caso de Estudo 2

Este caso centra-se na implementação de um protótipo de um AMR para operações logísticas numa empresa do setor da pasta e papel, atuando como demonstradora. O objetivo é automatizar o carregamento de camiões e de contentores com base em dados recebidos do sistema de gestão de armazém, otimizando o planeamento das rotas de entrega e a disposição das cargas. Como foi descrito, "o AMR vai receber a informação do armazém (…) e vai carregar os camiões de acordo com a rota estabelecida" (E7), considerando as diferenças no tamanho das paletes e a sequência de entregas. No plano técnico, destacou-se que o sistema integra algoritmos para calcular a melhor configuração de carga e sensores para verificar a conformidade dos volumes a transportar, rejeitando automaticamente paletes danificadas ou leituras não fiáveis antes da expedição.

Esta automação é, contudo, condicionada pelos limites da conetividade em ambientes industriais complexos, uma vez que "o desafio não é só pôr o AMR a funcionar, é garantir que a rede consegue suportar a comunicação em tempo real" (E1). Foi ainda referido que a propagação do sinal em contentores metálicos constitui um problema prático. Como refere um dos entrevistados (E7), "dentro de um contentor todo fechado como é que vamos transmitir os dados?".

4.1.3. Caso de Estudo 3

Este caso foca o uso de RA para substituir processos físicos de orientação (*picking by light*) por soluções digitais adaptativas. O sistema fornece instruções visuais diretamente ao operador e regista métricas operacionais, permitindo análises detalhadas de eficiência. Como discorre do estudo, durante a utilização do sistema, a taxa de não qualidade baixou de 10% para cerca de 1% e voltou aos 10% quando a ferramenta foi retirada, ilustrando o seu impacto (E4).

Entre os desafios, destacam-se a integração com sistemas legados e a limitação de precisão em determinadas tarefas, uma vez que "os tempos de ciclo são agressivos, e este é um sistema que pode tornar as coisas um pouco mais lentas" (E4). Em termos de formação, a RA possibilita a aprendizagem direta em contexto de trabalho, dispensando conhecimentos prévios, já que o colaborador "coloca os óculos e não precisa de conhecimento especial (…) faz a formação já em produção". Foi ainda sublinhado que a fiabilidade da rede é crítica para manter a assistência ao operador, e que falhas de ligação aumentam o risco de erro.

4.1.4. Caso de Estudo 4

Este caso centra-se na aplicação de visão artificial para controlo de qualidade e deteção de anomalias em linhas de produção. Um dos exemplos relatados descreve o desenvolvimento de um projeto que, ao identificar uma anomalia num tapete transportador, enviava automaticamente um alerta, ilustrando o potencial desta tecnologia (E5).

Entre os principais desafios técnicos estão a variabilidade do ambiente, como iluminação e diversidade de objetos, e a necessidade de integração com sistemas já existentes, dado que "cada cliente tem uma arquitetura diferente (…) às vezes o maior trabalho nem é a visão em si, é fazê-la comunicar com o que já lá está" (E5).

Foi igualmente observado que, mesmo quando os algoritmos de visão artificial são eficazes, o desempenho global depende da qualidade da rede, havendo períodos do dia em que a latência é muito baixa e outros em que aumenta consideravelmente, comprometendo a fiabilidade do sistema (E3). Assim, a inspeção automática exige não apenas robustez nos modelos de visão, mas também uma infraestrutura de comunicação que assegure resposta em tempo real.

4.1.5. Caso de Estudo 5

Este caso de estudo combina gémeos digitais com robótica móvel e visão artificial para otimizar operações de armazém e gestão de fluxos. Como relatado, e a título de exemplo da utilização de algoritmos de visão para tarefas como *picking* e controlo de qualidade, "o robô faz uma avaliação de qualidade e, se não estiver dentro dos parâmetros, reporta e não pega na caixa" (E6).

O 5G foi descrito como essencial para a localização e para a coordenação de robôs móveis, funcionando como um "*Google Maps interno*" e eliminando a necessidade de cabeamento físico (E6). Neste sentido, foi igualmente sublinhado que a orquestração

desempenha um papel crítico, e que "o integrar visão artifical e gémeos digitais, conseguimos coordenar percursos e tarefas dos robôs em tempo real" (E3). Para além destes aspetos de conetividade e coordenação, salientou-se ainda a importância da manutenção regular, já que "se os sensores não forem limpos, a qualidade da leitura degrada-se e todo o processo perde fiabilidade" (E1).

Entre as barreiras, destacou-se a relutância de alguns clientes em investir devido ao baixo custo da mão-de-obra (E6), mas também a falta de literacia digital ao nível da gestão, considerada determinante para a tomada de decisão estratégica (E6).

4.2. Análise Conjunta dos Casos

4.2.1. Visão Artificial

A visão artificial surge de forma transversal nos cinco casos analisados, embora em níveis distintos de maturidade. Nos casos CE1 e CE2 (empresas demonstradoras), a aplicação ainda se encontra em fase de testes ou validação. No CE1, a utilização de câmaras foca-se na análise de fluxos internos e otimização de *layouts*: "estamos a instalar câmaras (…) para estudar os percursos feitos pelos colaboradores e AMRs (…) e criar melhores layouts" (E6-CE1). Importa notar que em alguns contextos reutilizam-se câmaras de segurança para alimentar sistemas de análise e gémeos digitais. No CE2, os sensores e câmaras permitem verificar o estado das cargas antes do carregamento automático de camiões, evitando expedições de paletes não conformes: "Se detetar que uma palete está danificada ou a leitura não é fiável, rejeita automaticamente antes da expedição" (E7-CE2).

Nos casos CE3, CE4 e CE5 (fornecedores de tecnologia), a visão artificial encontra-se operacionalizada em contextos industriais. No CE3, está integrada com RA para orientar operadores e recolher métricas operacionais: "mostramos com setas e indicações de texto o que fazer" (E4-CE3). No CE4, foi aplicada para inspeção automática e deteção de anomalias em linhas de produção: "ao identificar uma anomalia, enviava automaticamente um alerta" (E5-CE4). O CE5 combina visão artificial com robótica móvel e gémeos digitais, utilizando algoritmos de deteção para tarefas de *picking* e controlo de qualidade: "o robô faz uma avaliação de qualidade e, se não estiver dentro dos parâmetros, reporta e não pega na caixa" (E6-CE5).

Nos demonstradores (CE1 e CE2), o RGPD limita diretamente a utilização de imagens para monitorização de produtividade, reduzindo o alcance da tecnologia. Além disso, foram

reportados problemas de fiabilidade: "se ele não consegue ler bem, pode rejeitar, mesmo que esteja tudo certo" (E7-CE2). Nos fornecedores (CE3–CE5), a variabilidade do ambiente (iluminação, reflexos, diversidade de objetos) exige constantes ajustes e recalibração, e a integração com sistemas legados foi apontada como um entrave crítico: "o maior trabalho nem é a visão em si, é fazê-la comunicar com o que já lá está" (E5-CE4).

Apesar das limitações, os casos demonstram ganhos significativos. O CE3 reportou redução de erros: "a taxa de não qualidade baixou de 10% para cerca de 1% (…) quando o retirámos, voltou aos 10%" (E4-CE3). O mesmo caso observou melhoria na rastreabilidade e menor necessidade de supervisão. No CE4 e no CE5, a automação de inspeções visuais libertou operadores de tarefas repetitivas, permitindo realocá-los para funções de maior valor acrescentado, como análise de dados e planeamento. Em todos os casos, a visão artificial trouxe maior rastreabilidade, melhoria da qualidade e possibilidade de aumentar a confiança dos clientes. Estes efeitos representam também oportunidades a nível de modelo de negócio, pois permitem aumentar a competitividade, reduzir custos de não qualidade e reposicionar a força de trabalho em atividades estratégicas.

4.2.2. 5G e Conetividade

O papel do 5G varia entre os casos. No CE1 e no CE4, o 5G ainda não foi implementado. O CE1 refere que o 4G tem sido suficiente, dado que muitas decisões são tomadas localmente pelos robôs: "não existiu tecnologia que nos obrigasse a isso, embora o 5G seja muito importante para reduzir os tempos de latência" (E8-CE1). Já no CE2, a preocupação recai sobre a propagação do sinal em contentores metálicos: "dentro de um contentor todo fechado como é que vamos transmitir os dados?" (E7-CE2).

Nos restantes casos, o 5G é visto como essencial. No CE3, a fiabilidade da rede é crítica para cumprir tempos de ciclo agressivos: "se a rede falhar, o risco de erro aumenta" (E4-CE3). O CE5 descreve o 5G como um "*Google Maps interno*", permitindo localizar e coordenar robôs móveis sem necessidade de cabeamento físico (E6-CE5). Um dos entrevistados sublinhou a importância do 5G na substituição de ligações por cabos, destacando que "o 5G é importante, porque estamos a falar de sistemas móveis, onde usar o cabos não é possível, porque estamos a falar de sistemas que andam a deslocar-se de A para B. Comparado ao *Wi-Fi*, o 5G oferece cobertura mais fiável, especialmente quando se utilizam redes privadas com antenas dedicadas ao armazém, que têm menos falhas que as antenas públicas" (E2-CE5).

Os entrevistados apontaram a variabilidade de desempenho da rede como uma barreira importante: "há períodos do dia em que a latência é muito baixa e outros em que aumenta bastante" (E3-CE4). Também foram referidos os elevados custos de instalação de redes privadas e a dificuldade de integração com infraestruturas de clientes que ainda nem dispõem de *Wi-Fi* estável.

As principais oportunidades associadas ao 5G incluem a criação de redes privadas com qualidade de serviço garantida, maior fiabilidade para operações críticas e eliminação de cablagens físicas, aumentando a flexibilidade dos *layouts* industriais. O CE2 prevê ganhos em segurança e confiabilidade no processo de carregamento. Como referiu o entrevistado, "com este sistema, esperamos reduzir as falhas no carregamento e aumentar a rastreabilidade" (E7-CE2). O CE5 destacou ainda a capacidade de recolher dados massivos em tempo real para gerir sazonalidade e variabilidade de produtos (E6-C5).

4.2.3. Automação e Robótica

A automação está presente em todos os casos, mas em diferentes estágios de maturidade. No CE1, testes com AMR´s procuram sincronizar operações com colaboradores humanos, enquanto que no CE2 o protótipo de AMR visa automatizar o carregamento de camiões: "o AMR vai receber a informação do armazém (…) e vai carregar os camiões de acordo com a rota estabelecida" (E7-CE2).

Nos fornecedores, a automação está consolidada. No CE3, a RA é utilizada para automatizar parcialmente tarefas de *picking*, mantendo o operador como executor. No CE4, robôs são usados para inspeção automática em linhas de produção, e no CE5 a robótica móvel é coordenada por gémeos digitais, orquestrando tarefas de forma integrada: "Os gémeos permitem ter a informação em contínuo, e orquestrar tarefas entre pessoas, sensores e robôs em tempo real" (E6-CE5).

Nos demonstradores, destacam-se barreiras culturais e sociais. No CE1, foi mencionado receio de substituição de postos de trabalho: *"existe aquele medo que o robô lhes pode roubar o posto de emprego"* (E8-CE1). Do lado técnico, o CE2 destacou riscos de interrupções por falhas de leitura e a rigidez algorítmica (E7-CE2). Nos fornecedores, limites técnicos também foram reportados, como no CE3: "foi recusado um projeto porque era necessário mostrar aos 0,01 mm onde colocar uma peça" (E4-CE3).

Um dos entrevistados destacou que os impactos da adoção tecnológica não se limitam à esfera operacional, mas estendem-se também ao plano cultural, salientando que "as grandes vantagens são evitar acidentes, evitar erros, aumentar a satisfação do cliente, criar uma mentalidade de transformação digital dentro da empresa (…) e colocar as pessoas a fazer outras tarefas" (E7-CE2). A automação revelou-se igualmente crítica para reduzir esforços físicos e aumentar a eficiência. No CE1, foi sublinhada a possibilidade de substituir tarefas exigentes, como o descarregamento de contentores a 50ºC, por robôs. No CE2, a automatização do carregamento aumenta a rastreabilidade e a confiabilidade. Já no CE5, a automação integrada com gémeos digitais permitiu aumentar a capacidade sem contratar mais pessoas: "a mesma equipa consegue produzir mais, com menos erro" (E6-CE5). No mesmo caso, a manutenção diária das tecnologias, como a limpeza de sensores, foi referida como essencial para garantir fiabilidade a longo prazo (E1-CE5).

4.2.4. Formação e Gestão da Mudança

As estratégias de formação e gestão da mudança diferem consoante o contexto. Nos demonstradores (CE1, CE2), verificou-se resistência inicial, sobretudo por receio de substituição laboral. No CE1, a estratégia passa por envolver os colaboradores a meio do processo de implementação, e recolher contributos. No CE2, os operadores "tiveram formação técnica para lidar com os AMRs, nomeadamente como reagir a falhas e interpretar os sinais do sistema" (E7-CE2).

Nos fornecedores, a abordagem é distinta. No CE3, a RA é utilizada como ferramenta de formação "*on the job*": "a pessoa coloca os óculos e não precisa de conhecimento especial (…) faz a formação já em produção" (E4-CE3). No CE4 e CE5, os perfis exigidos são mais técnicos (engenharia, informática), com formação avançada em IA e telecomunicações.

As principais barreiras prendem-se com a resistência cultural e receios de perda de postos de trabalho, ainda que atenuados pela comunicação transparente. No CE5, foi destacada a lacuna de literacia digital da gestão, considerada determinante para as decisões estratégicas de investimento: "a maior lacuna está na gestão, cuja literacia digital é determinante" (E6-CE5).

Os casos mostram que a formação e gestão da mudança são oportunidades críticas para acelerar a adoção tecnológica. No CE3, a formação com RA reduziu tempo de treino e erros operacionais. No CE5, o envolvimento participativo dos colaboradores aumentou a

aceitação da tecnologia, e refere que "os mais jovens adaptam-se facilmente e até sugerem melhorias" (E6-CE5).

5. Discussão

A presente secção discute os resultados dos cinco casos de estudo, relacionando-os com a literatura existente. A análise organiza-se em torno das barreiras e oportunidades associadas à adoção de tecnologias como visão artificial, 5G e automação em ambientes de intralogística. É também analisado o modo como estas tecnologias podem contribuir para a melhoria da eficiência, da automação e da segurança nos processos intralogísticos, consolidando as evidências empíricas com a literatura. Sempre que relevante, são evidenciadas observações individuais dos casos (CE1–CE5) e comparações cruzadas, de modo a identificar padrões comuns e diferenças setoriais.

5.1. Barreiras

A adoção de tecnologias avançadas em intralogística enfrenta barreiras técnicas, legais, culturais e económicas, que confirmam e, em alguns casos, expandem as limitações já assinaladas pela literatura.

5.1.1. Barreiras Técnicas

Nos casos analisados, verificou-se que limitações de desempenho, integração e fiabilidade são entraves críticos. No CE2, a propagação do sinal revelou-se problemática em contextos específicos: "dentro de um contentor todo fechado como é que vamos transmitir os dados?" (E7-CE2). Este desafio está em linha com estudos que apontam a cobertura limitada e os custos elevados de infraestrutura como obstáculos à adoção do 5G (Çıkmak, 2024; O'Connell et al., 2020).

Do lado da visão artificial, surgem limitações relacionadas com iluminação, reflexos e diversidade de objetos, exigindo constantes ajustes e recalibração: "cada cliente tem a sua arquitetura diferente (…) às vezes o maior trabalho nem é a visão em si, é fazê-la comunicar com o que já lá está" (E5-CE4). Estes resultados confirmam que a visão artificial, embora promissora, ainda enfrenta dificuldades técnicas de processamento de dados e integração com sistemas legados (Aldoseri et al., 2023; Ilin et al., 2019). A nossa evidência acrescenta a dimensão prática da variabilidade temporal da latência das redes (picos ao longo do dia), o que exige avaliações contínuas de performance.

Outro ponto levantado foi a insuficiência técnica em tarefas que exigem elevada precisão. O CE4 relatou ter recusado projetos porque a visão artificial não conseguia garantir o nível de detalhe necessário: "foi recusado um projeto porque era necessário mostrar aos 0,01 mm onde colocar uma peça" (E4-CE3). Tal evidencia que, apesar de progressos, a robustez tecnológica ainda não cobre cenários altamente exigentes (Zhou et al., 2022).

Também no CE3 surgiram limitações operacionais, entre elas o facto de a dependência de redes estáveis levar a falhas quando a infraestrutura local não suporta os volumes de dados da RA. Um entrevistado destacou: *"há empresas que ainda nem Wi-Fi fiável têm"* (E3-CE4). Este exemplo evidencia que a ausência de conetividade robusta pode inviabilizar operações, mesmo quando a tecnologia já se encontra suficientemente madura. Os resultados corroboram a análise de Senna et al. (2022) sobre as dificuldades de integração com sistemas legados na Indústria 4.0, acrescentando, contudo, a dimensão prática da variabilidade das arquiteturas entre clientes, um aspeto ainda pouco explorado na literatura.

Os resultados mostram também que, apesar dos avanços em automação, os robôs ainda não conseguem replicar integralmente a agilidade e a velocidade humanas em tarefas manuais, sendo mais lentos e menos flexíveis em certas operações. Esta limitação, raramente abordada na literatura, surge como uma barreira prática à integração em larga escala, uma vez que obriga as empresas a equilibrar ganhos de consistência com eventuais perdas de velocidade.

Outro desafio identificado é a evolução rápida das próprias tecnologias, uma vez que os investimentos feitos em soluções de automação podem tornar-se obsoletos em poucos anos, exigindo novas adaptações. Este cenário pode criar um ciclo de hesitação, em que muitas organizações preferem aguardar em vez de investir, por temer que a tecnologia adquirida se torne rapidamente ultrapassada. Este fator de incerteza tecnológica agrava os custos de integração já apontados por autores como Senna et al. (2022).

5.1.2. Barreiras legais e de Privacidade

Em vários casos, a regulação europeia sobre proteção de dados (RGPD) foi citada como um entrave importante. No CE1, destacou-se que "o objetivo não é medir a produtividade, até porque não pode ser feito" (E8-CE1). A restrição na recolha e utilização de imagens para fins de monitorização individual confirma que barreiras regulatórias podem ser tão condicionantes quanto limitações técnicas, tal como referem Gualtieri et al. (2022) ao discutir

riscos de utilização de dados visuais em contextos industriais. Como resposta prática, emergiram soluções operacionais, como por exemplo extração e processamento de metadados em vez de armazenamento de imagens, que permitem manter funcionalidades analíticas minimizando riscos legais (E1-C4).

Além disso, no CE2 foi levantada a questão da responsabilidade em decisões automatizadas: "se o sistema rejeitar uma palete boa, quem é responsabilizado?" (E7-CE2). Esta preocupação mostra que, para além da legislação, existem tensões relacionadas com a autonomia da máquina e a supervisão humana. Tal constatação contrasta com os princípios defendidos no âmbito da Indústria 5.0, que enfatiza o ser humano como tomador de decisão final e supervisor da tecnologia (Nahavandi, 2019; Pereira et al., 2020). Sob esta ótica, caberia ao responsável pela execução justificar o rejeite, mas o ónus financeiro deveria ser assumido pela própria organização no momento da decisão de adotar soluções colaborativas.

5.1.3. Barreiras Culturais e Organizacionais

A resistência interna à adoção tecnológica foi mencionada em mais de um caso. No CE1, foi salientado o receio dos colaboradores: "existe aquele medo que o robô lhes pode roubar o posto de emprego" (E8-CE1). Essa barreira cultural encontra paralelo na literatura, que identifica a resistência à mudança e o medo de substituição como fatores críticos na adoção de tecnologias da Indústria 4.0 (Parham & Tamminga, 2018).

Nos demonstradores (CE1, CE2), embora o receio seja real, os entrevistados indicaram que os trabalhadores se adaptam melhor quando envolvidos desde o início e informados sobre os objetivos da implementação. Isto confirma que a gestão participativa pode atenuar a resistência, validando o que a literatura sobre gestão da mudança já defende.

No CE5, a barreira organizacional não se manifestou ao nível dos operadores, mas sim da gestão, sobretudo em contextos onde o baixo custo da mão-de-obra leva à manutenção de processos manuais. Foi mencionada a falta de literacia digital por parte das chefias, o que compromete a tomada de decisão estratégica em relação à adoção tecnológica: "a maior lacuna está na gestão, cuja literacia digital é determinante" (E6-CE5). É salientado que, na prática, os financiamentos e incentivos existem, mas o bloqueio reside na ausência de visão estratégica e capacidade de liderança para conduzir a transformação, reforçando a ideia de que devem ser combinados incentivos financeiros com programas de literacia digital para gestores (E6). Esta observação acrescenta nuance à literatura, mostrando que a resistência

não se restringe aos trabalhadores de linha, mas também pode emergir nos níveis decisórios. A ausência de literacia digital em diferentes níveis da organização, nomeadamente na gestão, constitui uma barreira significativa à transformação digital, comprometendo a integração de tecnologias como o 5G e a visão artificial. Este resultado está em linha com estudos que identificam a falta de competências digitais de gestores como uma das barreiras centrais à adoção tecnológica (Senna et al., 2022) e reforça ainda as implicações em termos de políticas públicas, que apontam para a necessidade de programas de capacitação digital mais abrangentes como condição para a difusão das tecnologias emergentes (Senna et al., 2023).

5.1.4. Barreiras Económicas

Alguns entrevistados apontaram que, mesmo quando a tecnologia já se encontra madura, barreiras económicas condicionam a sua adoção. No CE5, o entrevistado destacou: "muitas empresas preferem manter processos manuais (…) devido ao custo da mão-de-obra" (E6-CE5). Essa relutância em investir, especialmente em contextos com mão-de-obra barata, confirma que o custo relativo da tecnologia versus o trabalho humano continua a ser um fator determinante (Lagorio et al., 2023).

Embora no CE2 os custos não tenham sido apontados como barreira central, foi reconhecido que a expansão da adoção dependerá de comprovar RoI (*Return on Investment*) (C7-CE2). Esta visão é consistente com a literatura que identifica a viabilidade económica como elemento crucial para a transição de fases piloto para implementações plenas (Senna et al., 2022).

No CE5, os entrevistados salientaram que a adoção de redes privadas 5G implica investimentos iniciais elevados, embora com potencial de retorno significativo a longo prazo: "investe-se 1 milhão numa tecnologia 5G e *Data Center*, mas poupa-se 50 milhões" (E6-CE5). Contudo, também existiu um alerta para promessas excessivamente otimistas por parte de operadores, o que exige análises económicas cautelosas e pilotos independentes antes de comprometer grandes somas (E2-C5). Esta perceção confirma o que a literatura descreve como uma das principais barreiras económicas associadas ao 5G, relacionada com a aquisição de espetro licenciado e com os custos de implementação da infraestrutura (O'Connell et al., 2020). O testemunho empírico acrescenta, contudo, que a avaliação destes custos não pode ser isolada, mas deve ser considerada no quadro de uma estratégia de investimento de médio e longo prazo, em que o retorno potencial compensa o esforço inicial.

5.2. Oportunidades

Apesar das barreiras, os casos de estudo evidenciam múltiplas oportunidades que confirmam o potencial das tecnologias avançadas em intralogística, tanto a nível operacional como estratégico.

5.2.1. Oportunidades Técnicas e Operacionais

A integração da visão artificial com processos de automação demonstrou gerar melhorias mensuráveis de desempenho. No CE3, registou-se uma redução expressiva de erros operacionais: "a taxa de não qualidade baixou de 10% para cerca de 1% (…) quando o retirámos, voltou aos 10%" (E4-CE3). Este resultado evidencia o potencial da visão artificial como mecanismo de controlo de qualidade em tempo real, capaz de reduzir falhas e retrabalho (Khanh, 2024; Bosch et al., 2020). Tal constatação vai ao encontro do que Zhang (2019) antecipava relativamente ao papel da inteligência artificial na mitigação de falhas logísticas, reforçando empiricamente a associação entre visão artificial e ganhos de qualidade operacional.

No CE4, a aplicação da visão artificial em linhas de produção reduziu a necessidade de supervisão manual e aumentou a rastreabilidade (E5-CE4). No CE5, a combinação de visão artificial, gémeos digitais e robótica móvel permitiu não apenas maior precisão na execução de tarefas, mas também ganhos de capacidade produtiva: "conseguimos aumentar a capacidade sem contratar mais pessoas (…) a mesma equipa consegue produzir mais, com menos erro" (E6-CE5). Estes resultados alinham-se com a literatura sobre automação de armazéns, que destaca ganhos de eficiência, produtividade e redução de custos operacionais (Dhaliwal, 2020; Roshid et al., 2024). Adicionalmente, a reutilização de infraestruturas (ex.: câmaras de segurança) para alimentar novos sistemas digitais mostrou-se uma estratégia eficaz para reduzir custos de arranque e acelerar provas de conceito (E3-C5).

5.2.2. Oportunidades em Conetividade e Flexibilidade

As redes 5G foram destacadas pela maioria dos entrevistados como elemento central para viabilizar soluções em tempo real e aumentar a flexibilidade estrutural. No CE5, o 5G foi associado à eliminação de limitações físicas, como a dependência de cablagem, o que reforça o seu papel na mobilidade de equipamentos (E3-CE5). A literatura confirma esta perspetiva ao sublinhar que as redes privadas permitem ligar máquinas de forma *wireless* à *cloud*, aumentando a flexibilidade estrutural (O'Connell et al., 2020).

No CE2, ainda antes da implementação plena do 5G, o entrevistado salientou a expectativa de ganhos de segurança e confiabilidade: "com esse sistema, esperamos reduzir as falhas no carregamento e aumentar a rastreabilidade" (E7-CE2). Tais evidências confirmam o que refere a literatura sobre o potencial do 5G em fornecer comunicação de baixa latência e alta confiabilidade em ambientes industriais (Çıkmak, 2024; George et al., 2023).

No CE5, evidencia-se que o 5G não só suporta comunicações fiáveis e de baixa latência, como também "acrescenta uma camada de inteligência e flexibilidade na gestão dos fluxos logísticos" (E6-CE5). Neste sentido, os resultados sugerem implicações diretas ao nível do modelo de negócio: gerir capacidade sem construir novos armazéns, reduzir investimentos físicos e abrir espaço a novos serviços digitais baseados em conetividade estável.

5.2.3. Oportunidades em Segurança e Condições de Trabalho

Um benefício repetidamente mencionado foi o contributo destas tecnologias para a segurança no trabalho e melhoria das condições operacionais. No CE1, a automação foi vista como alternativa para eliminar tarefas de elevado risco físico, como descarregar contentores sob temperaturas extremas: "estamos a acabar com a possibilidade de acabar com o trabalho (…) das pessoas que têm de tirar carga dentro de um contentor, sendo que dentro dos mesmos costumam estar cerca de 50 graus" (E8-CE1). Foi ainda referido que o telecontrolo reduz riscos legais e acidentes, permitindo retirar os operadores de ambientes agressivos ou perigosos. A literatura confirma que a colaboração homem-robô pode reduzir riscos ocupacionais e mitigar lesões relacionadas a esforços físicos (Gualtieri et al., 2022).

5.2.4. Oportunidades em Formação e Requalificação

Em termos de capital humano, a adoção tecnológica demonstrou abrir espaço para novas abordagens de formação. No CE3, a utilização de RA permitiu treino direto no ambiente de trabalho: "a pessoa coloca os óculos e não precisa de conhecimento especial (…) faz a formação já em produção" (E4-CE3). Este exemplo ilustra como tecnologias imersivas aceleram o processo de aprendizagem e reduzem erros, em linha com Wang et al. (2016) e Kosmidis et al. (2024), que destacam o potencial da RA e RV em capacitar operadores com menor investimento inicial em formação tradicional.

Além disso, a automação e a visão artificial possibilitaram a realocação de trabalhadores para funções de maior valor acrescentado. No CE4, a automação de inspeções visuais

libertou operadores de tarefas repetitivas, permitindo-lhes assumir funções de análise e planeamento (E5-CE4). Estes resultados confirmam as oportunidades identificadas por Ilin et al. (2019) e Zhang (2019), que apontam para a criação de novos perfis profissionais centrados na gestão e análise de dados.

Os casos também sugerem que a resistência inicial dos operadores tende a diminuir quando o seu *feedback* é valorizado e incorporado nas soluções (E8-CE1;E7-CE2), dado que estes se encontram mais próximos da realidade operacional e muitas vezes oferecem contributos relevantes para otimizar processos. Neste sentido, tais práticas não só potenciam uma implementação tecnológica mais eficiente, como também fortalecem o modelo de negócio, promovendo uma cultura de inovação e assegurando maior alinhamento entre a decisão estratégica e as operações diárias.

5.2.5. Oportunidades em Modelos de Negócio

Os impactos observados nos cinco casos vão além do nível operacional, traduzindo-se em mudanças no modelo de negócio das empresas. No CE1, ainda em fase exploratória, espera-se melhorar a fluidez dos fluxos internos com base nos dados recolhidos (E8-CE1). No CE2, o carregamento automático foi associado à eliminação de tarefas de baixo valor e aumento da segurança: "ninguém precisa estar à frente de um camião às 6 da manhã" (E7-CE2).

Nos fornecedores (CE3, CE4 e CE5), os efeitos já são tangíveis. O CE3 exemplifica a transição do produto para o serviço, integrando formação, métricas e suporte contínuo (E4-CE3). O CE4 mostrou ganhos de rastreabilidade e menor necessidade de supervisão (E4-CE3). O CE5 destacou ganhos de produtividade sem expandir a equipa: "conseguimos aumentar a capacidade sem contratar mais pessoas" (E6-CE5). No mesmo caso, a manutenção diária (ex.: limpeza de sensores) foi referida como essencial para garantir fiabilidade a longo prazo (E3-CE5). Acresce ainda a oportunidade de reduzir a dependência de operadores em funções repetitivas, como a condução de empilhadores, através da utilização de veículos autónomos, o que gera poupanças diretas em custos de operação. Estes ganhos têm impacto direto nos modelos de negócio, ao permitir maior produtividade com os mesmos recursos e reposicionamento estratégico da força de trabalho. Um entrevistado referiu que estas soluções podem mesmo duplicar a faturação mantendo os mesmos custos, uma vez que aumentam a produtividade e a capacidade de internacionalização. Este resultado

empírico alinha-se com estudos que apontam a Indústria 4.0 como motor de competitividade global (Lagorio et al., 2023).

Para além destes impactos, emergiu em particular nos casos CE3 e CE5 o fenómeno da servitização digital, entendido como a transição de uma lógica de fornecimento de produto para a oferta de soluções enquanto serviço, suportadas por tecnologias digitais (Favoretto et al., 2022). No CE3, a realidade aumentada não foi disponibilizada apenas como equipamento ou *software*, mas como um serviço contínuo de apoio ao operador, integrando formação em contexto real e recolha de métricas de desempenho (E4-CE3). De forma semelhante, no CE5, a integração entre robótica móvel, visão artificial e gémeos digitais resultou num serviço de orquestração digital permanente, que assegura a coordenação e monitorização das operações logísticas (E6-CE5; E2-CE5).

Estes exemplos mostram que as oportunidades identificadas, as quais compreendem, aumento da eficiência, rastreabilidade, segurança e requalificação do trabalho humano, traduzem-se em vantagens estratégicas que fortalecem os modelos de negócio, conforme já antecipado por estudos sobre Indústria 4.0 e logística interna (Lagorio et al., 2023; Kosmidis et al., 2024).

Para além disso, destacou-se que a adoção tecnológica não só aumenta a eficiência e reduz erros, como também cria uma mentalidade de transformação digital dentro das empresas. Ao constatar resultados concretos, os colaboradores ficam mais predispostos à inovação, o que enriquece a cultura organizacional e abre caminho para novas estratégias digitais.

5.3. Síntese das Barreiras e Oportunidades

Para complementar a discussão apresentada nas secções anteriores, as Tabelas 8 e 9 sistematizam as barreiras e oportunidades identificadas nos cinco casos de estudo. Cada linha corresponde a uma barreira ou oportunidade, e cada coluna a um caso (CE1–CE5). A última coluna ("Nova") assinala se essa barreira ou oportunidade surgiu como contribuição adicional, não identificada na revisão de literatura inicial, mas emergente do trabalho empírico.

Tabela 8 – Barreiras observadas nos Casos de Estudo

Barreiras	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	Nova
RGPD / privacidade	X					
Resistência cultural dos operadores	X					
Integração com sistemas legados			X	X		
Precisão / Calibração da visão artificial				X	X	
Conetividade / Latência (Wi-Fi/4G/5G)			X	X	X	
Propagação 5G em contentores metálicos		X				
Responsabilidade em decisões automatizadas		X				X
Custos / RoI	X					
Relutância em investir (mão-de-obra barata)					X	
Literacia digital da gestão				X	X	
Discrepância entre promessas comerciais (operadores) e performance real		X				X
Dificuldade de orquestração de múltiplos fornecedores / interoperabilidade				X	X	X

Tabela 9 - Oportunidades observadas nos Casos de Estudo

Oportunidades	CE1	CE2	CE3	CE4	CE5	Nova
Redução de erros / não qualidade			X			
Aumento de rastreabilidade		X		X		
Ganho de capacidade com a mesma equipa					X	
Segurança / redução de esforço físico	X	X				
Formação *on-the-job* (RA)			X			
Flexibilidade de *layout* (menos cablagem)					X	
Coordenação/navegação de robôs (5G)					X	
Melhoria da fluidez dos fluxos internos	X					
Telecontrolo (redução de paragens)		X				
Transição produto → serviço (servitização)			X			X
Melhoria da cultura de inovação						X

5.4. Melhoria dos Processos Intralogísticos

Os resultados dos casos de estudo mostram que estas tecnologias, quando integradas entre si e com outras soluções como gémeos digitais e robótica móvel, constituem alavancas para transformações profundas na operação dos armazéns e fábricas.

Em termos de eficiência, a visão artificial permite uma monitorização contínua e detalhada dos fluxos internos, detetando anomalias e ajustando processos em tempo real, enquanto o 5G assegura comunicações rápidas e fiáveis entre sistemas e dispositivos. Casos

analisados evidenciaram ganhos claros, como a reorganização dinâmica de *layouts* e o ajuste imediato de rotas de veículos autónomos. Estes resultados estão alinhados com a literatura, que destaca o potencial do 5G e da visão artificial para reduzir desperdícios, aumentar a rastreabilidade e acelerar a tomada de decisão (Çıkmak, 2024; Zhang et al., 2022).

No domínio da automação, a visão artificial fornece aos robôs capacidade de perceção do ambiente, permitindo-lhes executar tarefas repetitivas com maior precisão, enquanto o 5G elimina constrangimentos de conetividade, assegurando uma coordenação mais ágil entre robôs móveis, câmaras e sensores. Um dos casos descreveu esta integração como um "*Google Maps* interno" (E6-CE5), ilustrando como a combinação destas tecnologias facilita a orquestração de operações complexas. A literatura reforça que a baixa latência do 5G, em conjunto com algoritmos de visão artificial, é condição crítica para o avanço da automação em ambientes logísticos (George et al., 2023).

Quanto à segurança, observou-se que a visão artificial potencia a deteção precoce de falhas ou situações de risco, enquanto o 5G garante que as respostas automatizadas ocorram sem atrasos críticos. Em operações de maior risco físico, como ilustrado no CE2, esta integração possibilitou que robôs móveis interrompessem tarefas de forma imediata, prevenindo acidentes (E7-CE2). Estudos recentes apontam no mesmo sentido, destacando que a união entre visão artificial e 5G contribui não só para reduzir riscos operacionais, mas também para melhorar as condições de trabalho (Gualtieri et al., 2022; O'Connell et al., 2020).

Em síntese, os casos analisados demonstram que o 5G e a visão artificial não devem ser entendidos apenas como tecnologias complementares, mas como elementos estruturantes para a evolução da intralogística. A sua integração potencia operações mais eficientes, seguras e automatizadas, promovendo ecossistemas logísticos adaptativos e sustentáveis, em linha com o paradigma da Indústria 4.0.

6. Conclusão

A presente dissertação teve como objetivo analisar a adoção das tecnologias 5G e de visão artificial em contextos de intralogística, explorando tanto as barreiras como as oportunidades que estas oferecem. Os resultados mostraram que a integração destas soluções, ainda que promissora, permanece marcada por desafios técnicos, legais, culturais e económicos, mas também por oportunidades que apontam para transformações operacionais e estratégicas profundas nas organizações.

Verificou-se que os obstáculos à adoção destas tecnologias vão muito além das limitações técnicas tradicionalmente destacadas pela literatura. A integração com sistemas legados, a variabilidade de desempenho das redes e a necessidade de calibração frequente da visão artificial representam entraves relevantes em cenários industriais reais. Acrescem ainda barreiras legais, nomeadamente as restrições impostas pelo RGPD, que limitam a utilização da visão artificial para monitorização da produtividade. Foram também identificadas barreiras culturais e organizacionais, ligadas ao receio de substituição laboral e, sobretudo, à falta de literacia digital ao nível da gestão, fator crítico para a tomada de decisão estratégica. Os entrevistados salientaram ainda que a resistência decorre, em parte, de fatores estruturais próprios do contexto português, onde os baixos custos de mão de obra reduzem os incentivos à automação e reforçam uma mentalidade conservadora nas empresas. Surgiu igualmente um desafio emergente associado à responsabilidade em decisões automatizadas, pouco explorado na literatura, mas que levanta dilemas éticos e organizacionais relevantes. Neste contexto, destacou-se ainda o dilema entre recorrer a redes públicas de 5G, as quais são mais acessíveis, mas com menor controlo, ou a redes privadas, que oferecem maior fiabilidade, mas implicam custos acrescidos, nomeadamente de espetro licenciado. Finalmente, foi identificada a barreira relativa à escassez de engenheiros qualificados e à elevada rotatividade destes profissionais, o que limita a capacidade de internalizar conhecimento técnico e aumenta a dependência de fornecedores externos.

Paralelamente, os casos analisados demonstraram que a integração do 5G com outras tecnologias, em particular a visão artificial, a automação e os gémeos digitais, tem potencial para reconfigurar profundamente as operações internas das empresas. Do ponto de vista da eficiência, o 5G permite comunicações mais rápidas e fiáveis entre sistemas e dispositivos, possibilitando a recolha e o processamento de grandes volumes de dados em tempo real. Ao nível da automação, a eliminação da necessidade de cablagens físicas e a redução da latência

abrem caminho a uma coordenação mais ágil de veículos autónomos e robótica móvel, como ilustrado em casos em que o 5G possibilitou orquestrar operações de forma semelhante a um "*Google Maps* interno". Já em termos de segurança, os contributos do 5G passam pela maior rastreabilidade de produtos, que reduz falhas antes da expedição, e pela substituição de tarefas de elevado risco físico, melhorando as condições de trabalho dos operadores. Os entrevistados referiram exemplos concretos, como o telecontrolo de robôs em situações de bloqueio, que permite resolver incidentes sem expor operadores a ambientes de risco e reduzir tempos mortos, e a utilização de visão artificial para apoiar a inspeção visual e gestão de *stocks*, substituindo tarefas manuais repetitivas. Estes resultados confirmam as antecipações feitas pela literatura, mas demonstram empiricamente como essas oportunidades se materializam em ambientes industriais reais, evidenciando ganhos de eficiência, maior grau de automação e reforço da segurança.

De forma transversal, a investigação mostrou que as barreiras e as oportunidades não podem ser entendidas de forma isolada. Muitas vezes, os obstáculos técnicos ou culturais funcionam como contraponto aos benefícios potenciais, exigindo um processo de mudança gradual, apoiado por estratégias de comunicação, formação e envolvimento dos colaboradores. Por outro lado, as oportunidades identificadas não se restringem ao nível operacional, mas traduzem-se em impactos estratégicos nos modelos de negócio, abrindo caminho para a servitização, para novos serviços digitais e para a requalificação da força de trabalho. Os casos analisados ofereceram evidências de servitização digital e de *smart production logistics*, reforçando que o impacto do 5G e da visão artificial vai além da otimização de processos, permitindo a criação de serviços digitais contínuos e ecossistemas logísticos autoajustáveis. Foi também destacado que estas soluções têm impacto cultural, na medida em que a introdução da automação contribui para criar uma mentalidade mais aberta à transformação digital, colocando antigos operadores em funções de maior valor acrescentado.

No plano académico, as implicações teóricas desta dissertação passam, não apenas pela confirmação de barreiras e de oportunidades já discutidas na literatura, mas sobretudo pela introdução de novas dimensões analíticas relevantes para o estudo da Indústria 4.0 no contexto intralogístico. Destaca-se, em particular, a introdução das dimensões "literacia digital da gestão" e "responsabilidade em decisões automatizadas" como contributos originais para o aprofundamento do estudo da Indústria 4.0 em contextos intralogísticos.

Para além disso, a análise dos casos revelou oportunidades estratégicas emergentes, como a criação de serviços digitais contínuos baseados em 5G e visão artificial, que ampliam o escopo das investigações futuras. A constatação de que a tecnologia precisa adaptar-se às práticas dos colaboradores, e não o contrário, também acrescenta uma perspetiva teórica relevante sobre a forma como se devem estudar os processos de adoção tecnológica. Assim, esta dissertação contribui para enriquecer o estado da arte ao propor novas barreiras e oportunidades teóricas que devem ser consideradas por investigadores e empresas no aprofundamento do estudo da transformação digital em intralogística.

No plano organizacional, as implicações práticas revelam-se particularmente relevantes. Os resultados permitem às empresas antecipar desafios que frequentemente não são considerados nas fases iniciais de adoção tecnológica, evitando erros decorrentes de barreiras técnicas, culturais ou legais subestimadas. Paralelamente, oferecem orientações para a preparação da organização para a mudança, destacando-se a importância de investir em literacia digital ao nível da gestão de topo, envolver ativamente os trabalhadores no processo de implementação, definir estratégias claras de formação e avaliar criteriosamente a escolha entre redes públicas e privadas de 5G. A investigação fornece ainda recomendações concretas a gestores de logística interna, nomeadamente quanto à avaliação das opções de conetividade, ao desenvolvimento da literacia digital da gestão e à adoção de estratégias participativas de formação e envolvimento dos colaboradores. Assim, este estudo constitui um guia útil para empresas que pretendem adotar 5G e visão artificial, ao contribuir para reduzir riscos, acelerar a transformação digital e maximizar os benefícios das tecnologias.

Em suma, as respostas às questões de investigação demonstram que, apesar das barreiras ainda existentes, as tecnologias 5G e de visão artificial constituem alavancas decisivas para a transformação da intralogística. O seu impacto ultrapassa a eficiência operacional, representando uma mudança estratégica capaz de redefinir modelos de negócio, reforçar a competitividade e promover uma cultura organizacional mais digital e inovadora. Deste modo, através desta dissertação, foi possível discutir o tema numa vertente não apenas tecnológica, mas também organizacional, sublinhando que a transformação digital depende tanto de decisões de gestão, competências humanas e modelos de negócio quanto do avanço técnico das soluções.

Apesar da relevância dos contributos, é necessário reconhecer as limitações deste estudo. O número restrito de casos analisados, o facto de alguns se encontrarem ainda em fase de

prova de conceito e o escopo geográfico limitado a Portugal condicionam a generalização dos resultados. Estas limitações abrem espaço para futuras investigações. Sugere-se a realização de estudos longitudinais, que permitam acompanhar a evolução da adoção destas tecnologias, bem como a aplicação de metodologias quantitativas que ajudem a medir de forma objetiva os ganhos em eficiência, segurança e sustentabilidade. Para além disso, os entrevistados salientaram possibilidades de aplicação ainda pouco exploradas, mas com elevado potencial transformador, como a automatização completa da carga e descarga de camiões, o desenvolvimento de *Mizusumashi* automáticos, o uso de drones em operações de *picking* em altura dentro de armazéns e a introdução de robôs humanoides em tarefas repetitivas ou fisicamente exigentes, como o transporte de garrafões de água. Embora ainda incipientes, estas ideias reforçam a necessidade de novas investigações sobre a viabilidade técnica, económica e social dessas soluções e apontam para linhas de evolução futuras da intralogística suportada por 5G e visão artificial. Adicionalmente, o caráter dinâmico da própria tecnologia – com soluções que evoluem rapidamente e obrigam as empresas a adaptar-se constantemente – constitui uma limitação metodológica, mas também um convite à realização de estudos que acompanhem estas mudanças de forma contínua.

Referências

Adebusola, J. A., Ariyo, A. A., Elisha, O. A., Olubunmi, A. M., & Julius, O. O. (2020). An overview of 5G technology. 2020 international conference in mathematics, computer engineering and computer science (ICMCECS) (pp. 1-4). IEEE.

Agarwal, N., & Goel, O. (2025). Transforming Warehouse Operations through Emerging Technologies: A Framework for Innovation. *INTERNATIONAL JOURNAL OF RESEARCH AND ANALYTICAL REVIEWS*, *12*, 22.

Aldoseri, A., Al-Khalifa, K. N., & Hamouda, A. M. (2023). Re-thinking data strategy and integration for artificial intelligence: concepts, opportunities, and challenges. *Applied Sciences*, *13*(12), 7082.

Alshammari, R. F. N., Arshad, H., Abd Rahman, A. H., & Albahri, O. S. (2022). Robotics utilization in automatic vision-based assessment systems from artificial intelligence perspective: A systematic review. *IEEE access*, *10*, 77537-77570.

Alves, J., Lima, T. M., & Gaspar, P. D. (2023). Is industry 5.0 a human-centred approach? A systematic review. *Processes*, *11*(1), 193.

Apruzzese, M., Bruni, M. E., Musso, S., & Perboli, G. (2023). 5G and companion technologies as a boost in new business models for logistics and supply chain. *Sustainability*, *15*(15), 11846.

Boršoša, P., & Koman, G. (2025). Overview of Current Research on Artificial Intelligence in Logistics. *LOGI: Scientific Journal on Transport and Logistics*, *16*(1), 13-24.

Bosch, T., Van Rhijn, G., Krause, F., Könemann, R., Wilschut, E. S., & de Looze, M. (2020). Spatial augmented reality: a tool for operator guidance and training evaluated in five industrial case studies. Proceedings of the 13th ACM International Conference on PErvasive technologies related to assistive environments (pp. 1-7).

Brown, W., Johnson, O., & Wilson, G. (2024). The Impact of 5G Technology on Retail Marketing and Supply Chain Operations.

Çıkmak, S. (2024). Exploring the Role of 5G Technology. *Revolutionizing Supply Chains Through Digital Transformation*, 319.

Cuturela, S. C., & Manole, A. (2013). A Short Historical Perspective on the Evolution of Logistics and its Implications for Globalization. *Romanian Statistical Review*.

Dabic-Miletic, S. (2024). The challenges of integrating AI and robotics in sustainable WMS to improve supply chain economic resilience. *J. Ind Intell*, *2*(2), 119-131.

Dhaliwal, A. (2020). The rise of automation and robotics in warehouse management. In

Transforming Management Using Artificial Intelligence Techniques (pp. 63-72). CRC Press.

Fathi, M., Yousefi, N., Vatanpour, H., & Peiravian, F. (2021). The effect of organizational resilience and strategic foresight on firm performance: competitive advantage as mediating variable. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research: IJPR*, *20*(4), 497.

Favoretto, C., Mendes, G. H., Oliveira, M. G., Cauchick-Miguel, P. A., & Coreynen, W. (2022). From servitization to digital servitization: How digitalization transforms companies' transition towards services. *Industrial marketing management*, *102*, 104-121.

Firu, A. C., Tapîrdea, A. I., Feier, A. I., & Drăghici, G. (2021). Virtual reality in the automotive field in industry 4.0. *Materials Today: Proceedings*, *45*, 4177-4182.

Flores-García, E., Jeong, Y., Liu, S., Wiktorsson, M., & Wang, L. (2023). Enabling industrial internet of things-based digital servitization in smart production logistics. *International journal of production research*, *61*(12), 3884-3909.

George, R., Cherbaka, N. S., & Ellis, K. (2023). 5G opportunities in Warehousing.

Gualtieri, L., Rauch, E., & Vidoni, R. (2022). Development and validation of guidelines for safety in human-robot collaborative assembly systems. *Computers & Industrial Engineering*, *163*, 107801.

Hakak, S., Gadekallu, T. R., Maddikunta, P. K. R., Ramu, S. P., Parimala, M., De Alwis, C., & Liyanage, M. (2023). Autonomous Vehicles in 5G and beyond: A Survey. *Vehicular Communications*, *39*, 100551.

Ilin, V., Simić, D., & Saulić, N. (2019). Logistics industry 4.0: challenges and opportunities. Ilin, V. Simić, D., Saulić, N.(eds.) *LOGIC: 4th Logistics International Conference.*

Kadena, E., & Rajnai, Z. (2024). 5G Supply Chain: An overview of applications and challenges. 2024 IEEE 22nd World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics (SAMI) (pp. 000157-000162). IEEE.

Kosmidis, M., Antoniou, S., Balaska, V., Kansizoglou, I., & Gasteratos, A. (2024). Towards Warehouse 5.0: A Framework of Human-Centered Technologies. 2024 IEEE International Conference on Imaging Systems and Techniques (IST) (pp. 1-6). IEEE.

Lagorio, A., Cimini, C., Pinto, R., & Cavalieri, S. (2023). 5G in Logistics 4.0: potential applications and challenges. *Procedia Computer Science*, *217*, 650-659.

Li, J., Zhang, S., Wang, J., & Xiao, H. (2023). Application and Development of 5G Technology in Smart Logistics Industry. 2023 9th International Conference on Computer and Communications (ICCC) (pp. 1329-1333). IEEE.

Manufacturing Institute. (2021). *5G smart manufacturing: How 5G is transforming the manufacturing*

landscape. T. M. Institute.

Matt, D. T., Modrák, V., & Zsifkovits, H. (2020). Industry 4.0 for SMEs: Challenges, opportunities and requirements.

Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0—A human-centric solution. *Sustainability*, *11*(16), 4371.

Nascimento, A. M., Queiroz, A. C. M., Vismari, L. F., Bailenson, J. N., Cugnasca, P. S., Junior, J. B. C., & de Almeida, J. R. (2019). The role of virtual reality in autonomous vehicles' safety. 2019 IEEE International Conference on Artificial Intelligence and Virtual Reality (AIVR) (pp. 50-507). IEEE.

O'Connell, E., Moore, D., & Newe, T. (2020). Challenges associated with implementing 5G in manufacturing. In Telecom (Vol. 1, No. 1, p. 5). MDPI.

Oyekanlu, E. A., Smith, A. C., Thomas, W. P., Mulroy, G., Hitesh, D., Ramsey, M., Kuhn, D. J., Mcghinnis, J. D., Buonavita, S. C., & Looper, N. A. (2020). A review of recent advances in automated guided vehicle technologies: Integration challenges and research areas for 5G-based smart manufacturing applications. *IEEE access*, *8*, 202312-202353.

Oyeniran, C., Adewusi, A. O., Adeleke, A. G., Akwawa, L. A., & Azubuko, C. F. (2023). 5G technology and its impact on software engineering: New opportunities for mobile applications. *Computer Science & IT Research Journal*, *4*(3), 562-576.

Painuly, S., Kohli, P., Matta, P., & Sharma, S. (2020). Advance applications and future challenges of 5G IoT. 2020 3rd International Conference on Intelligent Sustainable Systems (ICISS) (pp. 1381-1384). IEEE.

Parham, S., & Tamminga, H.-J. (2018). The adaptation of the logistic industry to the fourth industrial revolution: The role of human resource management. *Journal of Business Management & Social Science Research*, *7*(9), 179-191.

Pawlewski, P. (2021). Customized lean 3D simulation environment for intralogistics. *European Research Studies*, *24*, 658-669.

Pereira, A. G., Lima, T. M., & Santos, F. C. (2020). Industry 4.0 and Society 5.0: opportunities and threats.

Pereira, B. A., & Pereira, J. M. (2020). A importância da logística no e-commerce. *XI FATECLOG*.

Richard, P., Blumhofer, B., Ritter, A., & Ruskowski, M. (2024). Enhancing Intralogistics 4.0: Integrating Asset Administration Shell for Improved Navigation, Safety, and Risk Management across Stationary and Mobile Transport Systems. 2024 IEEE 29th

International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA) (pp. 01-08). IEEE.

Rosenfeld, A. (1988). Computer vision: basic principles. *Proceedings of the IEEE*, *76*(8), 863-868.

Roshid, M. M., Waaje, A., Meem, T. N., & Sarkar, A. (2024). Logistics 4.0: A Comprehensive Literature Review of Technological Integration, Challenges, and Future Prospects of Implementation of Industry 4.0 Technologies. *International Journal of Technology, Knowledge and Society*, *20*(1), 65.

Saldaña, J. (2016). The coding manual for qualitative researchers. *London, England: SAGE*.

Senna, P. P., Ferreira, L. M. D., Barros, A. C., Roca, J. B., & Magalhães, V. (2022). Prioritizing barriers for the adoption of Industry 4.0 technologies. *Computers & Industrial Engineering*, *171*, 108428.

Sodiya, E. O., Umoga, U. J., Amoo, O. O., & Atadoga, A. (2024). AI-driven warehouse automation: A comprehensive review of systems. *GSC Advanced Research and Reviews*, *18*(2), 272-282.

Van Laar, E., Van Deursen, A. J., Van Dijk, J. A., & De Haan, J. (2017). The relation between 21st-century skills and digital skills: A systematic literature review. *Computers in human behavior*, *72*, 577-588.

Venkatadri, U., & Murrenhoff, A. (2024). Towards a Framework for AI Applications in Intralogistics. *IFAC-PapersOnLine*, *58*(19), 37-42.

Voss, C., Tsikriktsis, N., & Frohlich, M. (2002). Case Research in operation management. *International Journal of Operations & Production Management*, *22*, 195-219.

Wang, X., Ong, S. K., & Nee, A. Y. (2016). A comprehensive survey of augmented reality assembly research. *Advances in Manufacturing*, *4*, 1-22.

Yin, R. K. (2009). *Case study research: Design and methods* (Vol. 5). sage.

Zhang, Y. (2019). The application of artificial intelligence in logistics and express delivery. Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing, 2019. p. 012085.

Zhang, Z., Wen, F., Sun, Z., Guo, X., He, T., & Lee, C. (2022). Artificial intelligence-enabled sensing technologies in the 5G/internet of things era: from virtual reality/augmented reality to the digital twin. *Advanced Intelligent Systems*, *4*(7), 2100228.

Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2015). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. 2015 12th International conference on fuzzy systems and knowledge discovery (FSKD) (pp. 2147-2152). IEEE.

Zhou, L., Zhang, L., & Konz, N. (2022). Computer vision techniques in manufacturing. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, *53*(1), 105-117.

Zimmermann, R., Senna, P., & Cardoso, D. (2023). How the COVID-19 Pandemic Has Affected Digital Transformation and Its Relationship to Supply Chain Resilience. Working Conference on Virtual Enterprises (pp. 55-67). Cham: Springer Nature Switzerland.

7. Anexos

7.1. Anexo A: Guião da Entrevista

Introdução

Apresentação do entrevistador e contextualização da entrevista.

Explicação breve do objetivo do estudo: analisar as barreiras e oportunidades associadas à adoção de tecnologias 5G e de visão artificial em intralogística.

Parte 1: Perfil do Entrevistado e da Organização

1. Qual o grau de familiaridade com tecnologias de automação e digitalização na logística interna?

a. Nenhuma experiência

b. Pouca experiência

c. Conhecimento básico

d. Experiência moderada

e. Elevada experiência

2. Na sua organização, quais tecnologias são atualmente utilizadas para o controlo, monitorização e operação da logística interna?

a. Sensores IoT

b. Sistemas ERP/WMS

c. Redes 5G/4G

d. Visão artificial

e. Outras

Parte 2: Visão Artificial em Intralogística

3. Quais tecnologias de visão artificial são utilizadas na sua empresa para otimizar operações logísticas?

a. Nenhuma tecnologia de visão artificial é utilizada

b. Sistemas de reconhecimento de imagens

c. Veículos autónomos com câmaras de IA

d. Controlo de qualidade automatizado

e. Outra (por favor especifique)

4. Se aplicável, pode descrever um caso de uso específico de utilização de tecnologias de visão artificial para auxiliar e/ou otimizar as operações logísticas?

5. Quais as vantagens que podem existir com o uso dessas tecnologias de visão artificial em ambientes de intralogística?

6. Quais têm sido, na sua experiência ou análise, os principais desafios enfrentados na aplicação de tecnologias de visão artificial em ambientes intralogísticos?

Parte 3: Telecomunicações e 5G

7. Qual o nível de impacto que as tecnologias de telecomunicações (ex.: 5G) têm nas operações de logística interna?

a. Nenhum impacto
b. Pouco impacto
c. Médio impacto
d. Alto impacto
e. Impacto muito alto

8. Na sua experiência, quais são os principais benefícios da adoção da tecnologia 5G para a logística interna? Se possível, pode partilhar exemplos concretos?

9. Em que nível a vossa organização enfrentou desafios técnicos na implementação do 5G?

a. Nenhum desafio enfrentado durante a fase de implementação da tecnologia 5G
b. Desafios pontuais sem grande impacto
c. Alguns desafios, mas foram superados rapidamente
d. Desafios significativos que dificultaram a implementação
e. Desafios muito complexos que inviabilizaram a adoção

10. Pode descrever alguns destes desafios mais significativos enfrentados durante a implementação da tecnologia 5G na vossa organização?

Parte 4: Adoção Organizacional e Gestão da Mudança

11. A adoção dessas tecnologias exigiu formação avançada dos colaboradores? Se sim, qual foi a estratégia da empresa relativamente à formação?

12. Houve resistência por parte dos colaboradores à adoção das tecnologias? Quais foram as principais questões levantadas?

13. Que estratégias de liderança e gestão da mudança foram utilizadas para facilitar a adoção dessas tecnologias?

Parte 5: Impacto e Perspetivas Futuras

14. Na sua opinião, quais processos da logística interna poderiam ser beneficiados pela tecnologia 5G e visão artificial e que ainda não foram explorados?

15. De que forma a adoção dessas tecnologias impactou o modelo de negócio da organização?

16. Acredita que a sua empresa tem atualmente as condições necessárias (infraestrutura, competências, investimento) para a implementação destas novas tecnologias? Justifique.

17. Há alguma outra consideração relevante sobre o uso de 5G e visão artificial que gostaria de partilhar?

Fim da Entrevista

7.2. Anexo B: Entrevistas

Pergunta	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8
1. Grau de familiaridade com tecnologias de automação e digitalização na logística interna	"Tenho elevada experiência."	"Elevada experiência."	"Elevada experiência. Trabalho há bastante tempo na área das redes sem fios e automação, aplicadas a ambientes industriais."	"Experiência moderada. Venho sobretudo do lado da realidade aumentada, em contextos industriais, mas tenho acompanhado a ligação destas tecnologias à intralogística."	"Experiência moderada."	"Elevada experiência."	"Experiência moderada."	"Experiência moderada."
2. Tecnologias atualmente utilizadas (IoT, ERP/WMS, 5G, VA, outras)	"As tecnologias não funcionam isoladas, uma precisa da outra. Por exemplo, sensores IoT precisam de uma rede de comunicações, mas não tem de ser obrigatoriamente 4G ou 5G, pode ser outra tecnologia. O importante é garantir que tudo se conecta."	"Estamos a usar várias ao mesmo tempo: câmaras, sensores IoT, robótica móvel, e 5G quando é necessário transmitir imagens em tempo real. Não dá para dizer que usamos só uma tecnologia, é um ecossistema em conjunto."	"Sistemas ERP/WMS."	"Na minha área trabalhamos sobretudo com realidade aumentada."	"Internamente não tenho conhecimento de como isso é feito. O meu trabalho é criara soluções para outras empresas usando AI, como controlo de qualidade, deteção de anomalias e/ou objetos, monitorização…"	"O nosso foco é a integração. Usamos gémeos digitais em vez de sistemas tradicionais como o WMS. Os gémeos permitem ter a informação em contínuo, e orquestrar tarefas entre pessoas, sensores e robôs em tempo real."	"No caso do protótipo que acompanhámos, temos o AMR ligado ao sistema de gestão de armazém, com sensores e câmaras a validar as paletes antes de serem carregadas. O 5G é importante para garantir a comunicação."	"Sistemas ERP/WMS e *voice picking*, ou seja, os nossos colaboradores que vão buscar caixas ou outras coisas no entreposto têm um dispositivo que comunica com eles. Contudo não é inteligente, tem um conjunto de tarefas sequencial. O sistema permite que o colaborador tenha as duas mãos livres."
3. Tecnologias de visão artificial usadas na organização	"Dependendo do caso, podemos falar em reconhecimento de imagens, veículos autónomos com câmaras de IA ou sistemas de controlo de qualidade	"O mais comum no nosso caso são robôs autónomos equipados com sistemas de visão por computador."	"A mais usada é C – Veículos autónomos com câmaras de IA"	"Do lado da RA, o que temos feito é usar sistemas de visão para apoiar tarefas de *picking*. É diferente do típico reconhecimento de imagens, mas ainda	"Sistemas de reconhecimento de imagens, veículos autónomos com câmaras de IA e controlo de qualidade automatizado"	"Estamos a instalar câmaras (…) para estudar os percursos feitos pelos colaboradores e AMRs (…) e criar melhores *layouts*. Usamos visão	"O AMR que testámos tinha sensores e câmaras que permitiam verificar se a palete estava em boas condições antes de a carregar para o camião."	Estamos a fazer provas de conceito em ambiente real destas tecnologias, mas ainda não estão adequadas à

	automatizado. Diria que usamos todas estas abordagens, mas se tivesse de destacar só uma seria o reconhecimento de imagens, porque é mais genérica e aplicável a vários contextos."			assim é visão aplicada ao operador."		artificial integrada nos gémeos digitais, permitindo acompanhar em tempo real as operações e identificar desvios. Também a usamos que os robôs consigam identificar e manipular caixas, desviando-se de obstáculos. Também é possível que o robô faça uma avaliação de qualidade, se não estiver dentro dos parâmetros, reporta e não pega na caixa"		nossa realidade. Os AMRs estão neste momento no entreposto e estamos a instalar câmaras para poder analisar e melhorar PBL dinâmico."
4. Casos de uso específicos de VA	"Um caso concreto é a utilização de visão para reconhecimento de objetos, como caixas ou matérias-primas, no contexto da gestão de stocks. Tradicionalmente isto é feito por humanos, que têm de registar manualmente. Com visão artificial, conseguimos substituir ou pelo menos apoiar os humanos nessa tarefa de inspeção visual."	"Estamos a trabalhar com veículos autónomos, como empilhadores sem motorista, que são teleoperados através de câmaras. Se houver uma falha ou bloqueio, em vez de o operador se deslocar fisicamente ao local, consegue assumir controlo remoto do robô. Isto evita paragens longas."	"Tem um exemplo de uma empresa que é parceira nossa, que está a trabalhar com o desenvolvimento de gestão de *Twins* no chão de fábrica. Eles instalaram umas câmaras e o objetivo é trabalhar com a imagem das câmaras de segurança para identificar as pessoas, os empilhadores e os robôs a usar IA para alimentar o *digital twin* para que se possa otimizar a trajetória dos robôs móveis. Ou seja, utilização das imagens do circuito de segurança para identificar os objetos/obstáculos dinâmicos no chão de fábrica."	"temos o exemplo de um projeto, em que a empresa usava o *picking by light* com luzes físicas. Nós substituímos isso por realidade aumentada: o operador põe os óculos e vê digitalmente onde ir buscar as peças. Quando o modelo de produto muda, não é preciso alterar as estantes fisicamente. Conseguimos controlar a sequência das ações do operador. Antes, cada operador fazia o *picking* de forma diferente, e entre turnos já se viam processos distintos. Com a tecnologia de realidade	"Recentemente, desenvolvemos um projeto para deteção de anomalias num tapete transportador de peças numa linha de produção. Uma câmara fixa captava imagens em tempo real e, ao identificar uma anomalia, enviava automaticamente um alerta. Isso permitiu otimizar o tempo e reduzir a necessidade de vigilância constante por parte de um operador."	"Combinamos gémeos digitais e visão artificial para coordenar tarefas. Por exemplo, os robôs móveis navegam em tempo real de acordo com o que as câmaras estão a captar, e isso permite ajustar fluxos e sincronizar com operadores humanos. Trabalhamos com câmaras fixas no armazém, que permitem detetar obstáculos e ajustar trajetórias, e com câmaras móveis nos robôs, usadas para análise de qualidade e manipulação de caixas. As fixas podem usar cabo, mas as móveis exigem 5G."	"O protótipo de AMR que acompanhámos recebe a informação do WMS e carrega os camiões conforme a rota estabelecida. A câmara analisa a palete e, se estiver danificada ou com problemas, o robô rejeita-a automaticamente."	Estamos a realizar uma POC num dos entrepostos com instalação de câmaras. O objetivo não é medir a produtividade, até porque não pode ser feito, mas mapear percursos de colaboradores e AMRs para propor *layouts* mais eficientes. Ainda é difícil sincronizar operações humanas e robôs num ambiente tão dinâmico e com grande variedade de produtos. Muitas empresas europeias já

				aumentada, todos seguem a mesma instrução e sequência"				falharam neste ponto. Acreditamos que a IA pode ajudar, ao definir, por exemplo, quais corredores devem ser exclusivos para AMRs em cada momento, ajustando fluxos de forma dinâmica."
5. Vantagens do uso de VA em intralogística	"Permite substituir tarefas manuais de inspeção, que são demoradas e sujeitas a erro humano. A tecnologia não se cansa, consegue processar em contínuo e trazer maior fiabilidade e eficiência."	"O telecontrolo baseado em câmaras permite reduzir tempos mortos e aumenta a segurança, porque o operador não precisa de estar fisicamente em ambientes de risco. Também agiliza a operação em caso de bloqueios."	"O facto de conseguirmos ver em tempo real onde estão os empilhadores, os robôs e até as pessoas, permite ajustar rotas, evitar cruzamentos e otimizar o fluxo. Já tivemos situações em que só com base nessas imagens conseguimos perceber onde estavam os bloqueios e reorganizar o layout do espaço. Dá mais controlo e permite agir antes que o problema fique grande."	"Ganha-se flexibilidade e poupa-se dinheiro O sistema facilita o treino, pois antes era necessário explicar manualmente estantes e peças, enquanto agora basta colocar os óculos e seguir instruções. Não é necessário o mesmo nível de supervisão. Outra vantagem é o reflexo na qualidade: erros ou peças incorretas são registados, o que permite analisar causas de raiz. Além disso, evita falhas comuns, como operadores apagarem luzes antes ou depois de recolher peças, que só eram detetadas no fim da linha, exigindo retrabalho. No conjunto, a tecnologia melhora a	"Reduzimos tempo gasto em inspeção e vigilância manual. Com visão artificial, conseguimos aumentar a eficiência do controlo de qualidade e reduzir erros."	"A grande vantagem é a automatização: tarefas repetitivas devem ser feitas por robôs, enquanto as mais variáveis ficam para os humanos, que interpretam melhor - a mesma equipa consegue produzir mais, com menos erro. Isto não só aumenta a eficiência, como melhora a segurança em ambientes agressivos, reduzem-ser acidentes e riscos legais."	"O AMR não serve apenas para transportar carga: ele recebe informação do armazém, organiza o carregamento dos camiões segundo a rota e calcula a melhor posição das paletes, mesmo quando estas têm tamanhos diferentes. Ninguém precisa estar à frente de um camião às 6 da manhã. Se detetar que uma palete está danificada ou a leitura não é fiável, rejeita automaticamente antes da expedição. Com este sistema, esperamos reduzir as falhas no carregamento e aumentar a rastreabilidade"	"conseguimos otimizar os *layouts* internos e sincronizar o movimento de robôs móveis com os colaboradores, tornando a operação mais fluida."

				performance do operador e a qualidade do processo."				
6. Principais desafios da VA em intralogística	"O maior desafio é a transição. Passar dos métodos tradicionais, muito baseados na intervenção humana, para uma adoção plena destas tecnologias. Existem sempre disrupções e resistência à mudança, sobretudo quando se tenta substituir totalmente práticas antigas. Há casos isolados que funcionam como pilotos, mas ficam limitados. Além disso, temos a questão de que não é só pôr o AMR a funcionar, é garantir que a rede consegue suportar a comunicação em tempo real"	"Um dos grandes desafios é garantir que os sistemas são robustos em ambientes muito dinâmicos. Por exemplo, a iluminação muda, os corredores ficam ocupados, os sensores podem não ler corretamente. Um dos temas que começa a surgir com mais frequência é a segurança na colaboração homem-máquina, e há também um debate ético sobre até que ponto a decisão automatizada deve substituir a humana, especialmente em contextos como armazéns onde podem existir pessoas a circular."	"Um grande desafio é a questão da lei geral de proteção de dados, especialmente no caso da visão artificial, porque os dados recolhidos são dados sensíveis das pessoas que trabalham no chão de fábrica, e usar este tipo de informação é sempre complicado. A segunda questão tem a ver com a segurança das próprias imagens, já que as empresas não gostam que as imagens saiam de dentro das suas instalações para serem processadas na nuvem"	"Um desafio é que a precisão tem de ser muito alta, porque os tempos de ciclo são agressivos, e este é um sistema que pode tornar as coisas um pouco mais lentas. Um dos desafios é que as empresas esperam que o sistema garanta totalmente que o operador fez o *picking*. Mas, tal como no método tradicional, se o operador quiser enganar o sistema, pode fazê-lo. Outro desafio surge em processos que exigem elevada precisão. Por exemplo, uma empresa pediu-nos para indicar ao operador, com exatidão de 0,01 mm, onde colocar uma peça para depois perfurar, mas tivemos de recusar porque a tecnologia de RA ainda não atinge esse nível de precisão. E depois tens de lidar com sistemas legados que não foram feitos para comunicar com estas soluções."	"Variabilidade de ambientes, como iluminação, que afeta a qualidade das imagens adquiridas e consequentemente os modelos. Diversidade de objetos, que requer sistemas genéricos, robustos e adaptáveis. Integração em sistemas já existentes dos clientes. cada cliente tem uma arquitetura diferente (…) às vezes o maior trabalho nem é a visão em si, é fazê-la comunicar com o que já lá está."	"Um dos maiores desafios é estrutural e social: em Portugal, os custos de mão de obra baixos levam muitas empresas a manter processos manuais em vez de investir em tecnologia. Falta visão estratégica de longo prazo. A automação melhora rastreabilidade, qualidade e condições ergonómicas, mas exige investimento inicial e infraestrutura adequada. Os problemas técnicos resolvem-se; os culturais e de mentalidade são os mais difíceis de superar."	"Apesar de tudo o robô demora mais que um humano, porque não processa da mesma maneira que nós, é mais lento, não conversa. Então o maior desafio é esse, como é que vou integrar tantos equipamentos diferentes, sem atrapalhar a produtividade da empresa. E a empresa fez um investimento, portanto ela quer o retorno e vai pensar em quanto tempo isso vai demorar. (…) Além disso, os robôs têm de se manter atualizados e limpos. Se ele não consegue ler bem, pode rejeitar, mesmo que esteja tudo certo."	O principal desafio é legal, porque existe uma diretiva europeia de proteção dos dados, e torna muito difícil este processamento e tratamento de imagens para garantir que todos os dados dos colaboradores sejam devidamente tratados. É um trabalho legal de arquitetura de IT muito complexa. Este é um grande problema."

7. Nível de impacto do 5G	"Diria alto impacto. Uma tecnologia precisa da outra, e as comunicações são sempre o elo que permite ligar os sensores, os robôs e os sistemas de gestão. O 5G traz baixa latência, mas ainda não é indispensável em todos os casos."	"Alto impacto. A robótica móvel precisa de comunicações fiáveis para não parar. Se não há rede, não há operação."	"Alto impacto."	"Alto impacto."	N/A	"Impacto muito alto."	"Alto impacto."	"Não temos 5G na nossa operação. Tem potencial, mas ainda não o testamos. Ainda não existiu tecnologia que nos obrigasse a isso, embora o 5G seja muito importante para reduzir os tempos de latência"
8. Benefícios do 5G	"uma das grandes vantagens da tecnologia 5G é, por um lado, a grande fiabilidade em relação a outras tecnologias de comunicações, e, por outro lado, a privacidade dos dados onde existe a possibilidade de uma determinada indústria criar a sua rede privada 5G. (…) Associado à fiabilidade também, temos as questões de requisitos de qualidade de serviço garantidos. Esta tecnologia traz velocidade, e por outro lado, a latência na troca de informação diminui, e associado a isso conseguem obter-se resultados mais determinísticos."	"A questão de conseguirmos transmitir maiores quantidades de dados, ou seja, uma largura de banda maior permite-nos transmitir maiores quantidades de dados em intervalos de tempo mais curtos. Portanto, uma latência também mais reduzida. Na prática, o que se nota é que tudo fica mais fluído. Quando temos muitos equipamentos a funcionar ao mesmo tempo — câmaras, sensores, robôs —, a rede aguenta melhor. O5G também é importante, porque como falamos de sistemas móveis, onde usar o cabos não é possível, porque estamos a falar de sistemas que andam a deslocar-se de A para B. Comparado ao *Wi-*	"Um benefício muito claro é que as empresas não precisam construir infraestrutura própria de comunicação. Com IoT, robôs e dispositivos que trocam muitos dados, a transferência interna de dados pode ser onerosa, exigindo recursos humanos que muitas empresas não têm. O uso de redes 5G públicas elimina parte dessa carga. Outra vantagem é não ser necessário cabeamento, o que facilita alterações no chão de fábrica. Em fábricas com mudanças frequentes, não estar preso aos cabos dá muito mais liberdade para mexer nos equipamentos e reorganizar postos."	"O 5G permite termos um sistema mais rápido, capaz de registar e transferir dados de forma muito mais eficiente. Temos, por exemplo, um projeto com uma empresa onde o processo envolve muitos pontos e grande volume de informação. Se o sistema for lento, não conseguimos cumprir os tempos de ciclo exigidos. E se a rede falhar o risco de erro aumenta"	N/A	"O 5G acrescenta inteligência e flexibilidade à logística, permitindo recolher dados em tempo real e otimizar rotas e fluxos em armazéns sazonais. Isso evita decisões 'a olho' e aumenta a capacidade de movimentação sem necessidade de construir novos armazéns. Um investimento de 1 milhão em 5G e Data Center pode significar uma poupança de 50 milhões em infraestruturas. É uma tecnologia que garante uma comunicação estável e constante entre sistemas, operadores e robôs, essencial para evitar acidentes e otimizar operações. É como um "*Google Maps*" interno para a	"Num armazém é crítico integrar tecnologias de diferentes fornecedores, cada uma com métodos e ciclos próprios. A automação crescente exige sistemas capazes de sustentar todos os equipamentos em simultâneo, para evitar acidentes e garantir velocidade e fiabilidade."	"Permite O tempo de latência reduz, o que possibilita que as coisas aconteçam muito mais rápido."

		Fi, o 5G oferece cobertura mais fiável, especialmente quando se utilizam redes privadas com antenas dedicadas ao armazém, que têm menos falhas que as antenas públicas"				logística, com elevada precisão e resiliência"		
9. Desafios técnicos na implementação do 5G	"Nos casos de uso industriais, os requisitos nem sempre estão definidos de forma exata à partida, porque cada ambiente e cada cenário tem as suas particularidades. A definição dos requisitos é sempre um desafio inicial que deve ser tido em conta com cuidado. Esta definição reflete-se no desempenho da rede e, em última instância, na experiência do utilizador. A questão do custo de uma rede privada também pode ser um desafio, assim como a compatibilidade da mesma com sistemas antigos"	"Os principais desafios técnicos que nós enfrentamos aqui resultaram do facto de as promessas que os operadores de telecomunicações fazem ainda não estarem efetivamente a ser cumpridas. portanto, os valores que eles apresentam para valores de banda, latência, tempo de resposta da rede ou número de canais com que podemos trabalhar são apenas publicidade enganosa"	"Há uma variabilidade muito grande nas latências, ou seja, em determinados períodos do dia a latência é muito baixa ou é possível trocar a informação muito rapidamente e outros períodos do dia em que provavelmente existem mais pessoas a usar a mesma infraestrutura de dados e a latência aumenta bastante."	"O maior problema é garantir que a rede não falha. Não é fácil ter cobertura perfeita em ambientes industriais. Quando a rede falha, o sistema de RA perde informação e o operador fica sem instruções"	N/A	"O 5G não pode ser visto isoladamente — depende sempre de *Data Centers* modernos para processar os dados que transporta. Hoje, muitas telecomunicações investiram na rede mas não atualizaram os *Data Centers*, o que compromete o verdadeiro valor do 5G. Além disso, a integração com sistemas legados é um desafio crítico: não se trata só de tecnologia, mas também de cultura, já que muitas empresas resistem a abandonar softwares antigos que já não respondem às necessidades atuais."	"Desafios significativos. A questão do contentor metálico foi mesmo um bloqueio. Como é vamos transmitir dados dentro de um contentor?"	"O custo continua a ser a principal barreira. Muitos parceiros ainda consideram o 4G suficiente para as suas operações. Mesmo na robótica, muitas decisões — como processamento de imagens, definição de rotas ou objetos a manipular — são feitas localmente nos próprios robôs, sem necessidade de comunicação constante com a *cloud*. Assim, o 5G ainda não é visto como imprescindível."
11. Formação exigida	"Sim, é preciso formação. Os robôs e sensores precisam de manutenção e calibração, e os colaboradores têm de estar preparados para isso. Se os sensores não forem limpos, a	"Nós somos um centro de investigação, e, para nós trabalharmos com estas tecnologias e sermos capazes de trabalhar com a rede 5G temos de dar formação aos	"Os quadros com que nós trabalhamos normalmente são quadros de engenharia eletrotécnica e engenharia informática, então são pessoas já com algum conhecimento na área,	A ideia é precisamente não haver necessidade de formação avançada. Temos vários pedidos de empresas que sofrem com a elevada rotatividade	"A formação é essencial, especialmente para quem opera os sistemas de visão artificial. É preciso saber como interpretar os alertas e quando intervir."	"A principal necessidade de formação está na administração, não nos operadores. Os mais jovens adaptam-se facilmente e até sugerem melhorias, porque vivem os	"Os operadores tiveram formação técnica para lidar com os AMRs, nomeadamente como reagir a falhas e interpretar os sinais do sistema."	"Os colaboradores não precisam de formação nenhuma, temos de ter pessoas especializadas nisso, mas o colaborador em

	qualidade da leitura degrada-se e todo o processo perde fiabilidade. Muitas vezes a formação não é só técnica, mas também de boas práticas."	colaboradores, desde logo colaborações desde áreas relacionadas com sensores, com os sistemas de visão por computador, com algoritmos de inteligência artificial…"	mas mesmo assim dependendo do tipo de trabalho que vai ser feito temos recorrido a algumas formações mais especificas na área de inteligência artificial."	de pessoal — investem meses em formação e depois os trabalhadores acabam por sair. O nosso sistema resolve isso porque a pessoa coloca os óculos e pode começar a trabalhar de imediato, seguindo as instruções do sistema. Não precisa de conhecimento especial (…) faz a formação já em produção"		processos no terreno. O problema maior surge na gestão: muitos decisores não compreendem as dificuldades reais das operações e continuam a ver a transformação digital como responsabilidade apenas do departamento de informática. Isso é um erro. A transformação digital é uma mudança organizacional e estratégica, que deve ser liderada pela administração, promovendo a integração entre gestão, engenharia e operação. Só assim é possível garantir valor real para a organização."		si não. A tecnologia é que tem de se adaptar à forma de trabalhar dos colaboradores, e não ao contrário.
12. Resistência dos colaboradores	"Não diria que haja, pelo menos que tenha conhecimento de grande resistência por parte dos colaboradores à utilização dessas tecnologias. Quando se fala em visão computacional, um tema que surge, é a questão da privacidade, porque acaba por haver a captura de imagens, e depois o que é feito com essas imagens… mas hoje em dia também já muitas	"Não, não sinto que exista."	"Houve alguma resistência, mas mais por desconhecimento. Quando se explica bem, as pessoas aceitam."	"Com a RA a resistência é mínima, porque o operador percebe logo que o sistema facilita a vida dele. É diferente de outras tecnologias."	"Não, não senti que houvesse qualquer resistência por parte dos colaboradores"	"Sim, há sempre alguma resistência, mas a maior barreira que vejo não está nos operadores, está na gestão. Muitos decisores ainda não têm literacia digital para compreender estas tecnologias."	"No inicio é normal que as pessoas tenham uma determinada resistência e que pensem que vão ser substituídas pelos robôs, mas a verdade é que ele não vai ser tão rápido como um humano, não tem ainda capacidade para pensar como nós."	"Existe resistência, porque há sempre aquele medo que eles têm de que o robô lhes pode roubar o posto de emprego. Temos sempre de mostrar que a tecnologia vem reduzir os trabalhos com maior valor acrescentado. Por exemplo, estamos a acabar com a

	vezes se extrai a informação útil das imagens em si, metadados, e não se envia as imagens no formato tal como elas são capturadas através da rede, assim como essas imagens, como boa prática, já nem são muitas vezes armazenadas."							possibilidade de acabar com o trabalho por exemplo das pessoas que têm de tirar por exemplo carga dentro de um contentor, sendo que dentro dos mesmos costumam estar cerca de 50 graus, e não queremos ninguém que faça aquele trabalho. Queremos reduzir esse tipo de trabalhos e a automação vai ajudar-nos nisso."
13. Estratégias de liderança e gestão da mudança	"se existir uma apresentação clara do tratamento que é dado às imagens e transparência, acho torna mais fácil a integração dessas tecnologias, e os colaboradores aceitam-nas bem, porque depois têm ganhos no ponto da vista da sua atividade."	N/A	N/A	"Aqui temos de mostrar à empresa o beneficio da tecnologia, porque nem todas as empresas estão dispostas a investir de ânimo leve numa tecnologia. Porque isso é que disse que estávamos a fazer uma prova de conceito, porque temos de provar que a tecnologia é uma vantagem para a empresa, ou seja, o benefício da empresa é suficiente para a empresa fazer um investimento delongo prazo".	N/A	N/A	"A estratégia foi fazer formações curtas e práticas, em vez de longas explicações teóricas. Assim os operadores ganharam confiança mais rápido."	"O segredo é envolver os operadores logo na fase de testes, ouvir as suas sugestões e mostrar que eram valorizadas."

14. Processos beneficiados por 5G/VA ainda não explorados	"Creio que as áreas já estão identificadas, já existem diferentes artigos não só científicos, mas da comunidade em geral, que já apontam quais as áreas principais onde essas tecnologias trarão ganhos"	"Sei que há empresas que procuram soluções para fazer a carga automática de camiões, sem intervenção manual e em curtos espaços de tempo. Também há procura para descarregar paletes de camiões de forma automática. Outro exemplo é o equipamento *Mizusumashi* (alimentador de linha) automático, sem condutor, que transporta caixas para os atrelados. Tudo isto reflete a necessidade de substituir mão de obra em tarefas repetitivas e de pouco valor acrescentado, que não exigem raciocínio complexo. Este é um aspeto cada vez mais importante para as empresas, uma vez que há pouca mão de obra e cada vez menos pessoas a qurer trabalhar em armazéns."	"A maioria das empresas não usa o 5G para fazer a transferência dos dados dos equipamentos IoT que eles têm, e esse seria o maior potencial. A parte da visão artificial em si, há muitos processos de inspeção que podem ser automatizados usando visão artificial e também para já não são muito utilizados."	"Atualmente trabalhamos com o *picking by light*, mas a logística interna tem muitas outras áreas onde o sistema de realidade aumentada pode ser aplicado. Um exemplo são os *milkruns* ou *mizusumashis*, que seguem rotas fixas dentro da empresa. Se integrarmos instruções de *picking* e de entrega através dos óculos, conseguimos reduzir bastante os erros de abastecimento nas linhas de montagem."	"Muitos processos de inspeção em linha de produção ainda são manuais. A visão podia substituir grande parte disso."	"Ainda não temos humanoides, e há muito pouca coisa em termos de drones em armazéns, o que seria muito interessante. Trabalhar em altura num armazém consome tempo; com drones seria possível transportar mercadorias sem depender do solo, aumentando a eficiência e movimentando mais caixas por hora. Da mesma forma, um humanoide poderia realizar tarefas pesadas, como o *picking* de garrafões de água, que são prejudiciais para as costas. Nem seria preciso ter pernas, bastaria ter braços para transportar esses objetos pesados."	"O carregamento automático com AMRs é um exemplo claro de aplicação que pode crescer muito, mas ainda está em fase de teste."	"Vejo a aplicação da IA a médio prazo, sobretudo para coordenar em tempo real os equipamentos e colaboradores no entreposto. Por exemplo, se houver um acidente e um corredor ficar bloqueado, o sistema deve detetar isso e redefinir automaticamente as rotas de pessoas e robôs. Esta capacidade de reação imediata é o que espero ver implementado nos próximos 2 a 3 anos."
15. Impacto no modelo de negócio	"O impacto é direto: maior eficiência, menos erros, melhor qualidade. Mas também implica mudar a forma como as empresas trabalham."	"Essencialmente, o facto de conseguirmos automatizar tarefas repetitivas permite redirecionar as pessoas para funções onde o raciocínio humano é mais valorizado, como por exemplo análise de	"Com gémeos digitais conseguimos gerir layouts e fluxos em tempo real. Isso é um salto enorme para o modelo de negócio."	"Tenho um exemplo de uma empresa, em que quando fizemos a prova de conceito, por exemplo a empresa tinha uma não qualidade de 10%, e como fizemos a prova de conceito, ou seja, conseguimos fazer	"A visão artificial permite oferecer inspeção automática como serviço, não apenas como produto. Isso é um novo modelo de negócio."	"Estas soluções conseguem duplicar a faturação, para o mesmo custo. O negócio melhora, passa a ter uma maior capacidade de expandir, de internacionalizar, entre outras coisas."	"vão haver menos erros, logo a automação também aumenta a satisfação do cliente, porque ninguém quer receber uma coisa danificada. Uma empresa, principalmente uma empresa que produz papel e é uma área de alto risco, precisa de ser muito cautelosa relativamente à segurança e	"Impacta, porque na teoria também existe uma otimização de custos associados. Ou seja, o business case ia ser mais positivo. Na prática, o tema é outro, é que

		dados ou planeamento"		uma integração do nossos sistema no sistema do cliente, e o mesmo usou este processo durante um mês, e constatou-se que baixou de 10% para cerca 1%, porque os operadores adotaram muito bem o sistema, não faziam erros, faziam a sequencia que o próprio sistema mostrava. Quando tiramos o sistema voltamos outra vez aos 10%."			integridade da pessoa, então esse equipamento não pode ser um equipamento que traga mais acidentes do que aqueles que já acontecem. (…) "	temos muitas dificuldades em contratar pessoas para este tipo de trabalhos hoje em dia, e temos de reduzir a pressão dos recursos humanos. Ou seja, temos de reduzir a necessidade de contratar pessoas, logo a automação dos processos logísticos é essencial."
16. Condições atuais para adoção	"Nas indústrias não há, em geral, competências internas para gerir uma rede 5G privada, já que esse conhecimento está sobretudo nos operadores de telecomunicações. As empresas querem usar a rede, não geri-la, e por isso em muitos casos a integração torna-se mais simples.	"Neste momento, em Portugal há uma necessidade grande de recursos humanos qualificados, ou seja, em termos de engenharia, todas as empresas se queixam que é muito difícil recrutar engenheiros, e o tempo que os engenheiros passam nas empresas normalmente é curto. Outro tem a ver com os investimentos que são necessário fazer em muitas destas áreas, são investimentos muito avultados."	"Diria que as condições ainda são limitadas. Faltam redes 5G maduras e competências em algumas empresas para tirar o máximo proveito. Há empresas que nem *wi-fi* estável têm"	"a maioria das empresas já tem condições, porque não falamos de um investimento gigante. É um complemento ao processo, com custos relativamente baixos, mas que traz um grande retorno"	"Há empresas que têm capacidade técnica, mas falta investimento. O custo inicial continua a ser um grande obstáculo, sobretudo em empresas pequenas."	"Acredito que o investimento não seja um problema, porque existe muito dinheiro no mercado, muito financiamento, mesmo a nível europeu para a digitalização. Portanto, novamente, é um problema social. Todos os outros problemas podem ser solucionados. Por mais automatizações, inteligência artificial que exista, vivemos num mundo de pessoas."	"Estamos a dar passos, mas ainda não temos todas as condições. O AMR foi um piloto, e para avançar precisávamos de mais infraestrutura."	"Não, porque temos de mudar o paradigma. Temos muito para melhorar e tempos de "mudar o chip", temos de ser uma empresa Data Driven, uma empresa de IT e que tem muitas pessoas para garantir que isto seja muito mais rápido."
17. Outras considerações	"É preciso pensar em interoperabilidade entre sistemas e protocolos. Cada empresa tem os seus equipamentos, e o 5G	N/A	N/A	"A própria tecnologia está em evolução. Eu tenho poucos meses na empresa e já estou no segundo sistema,	N/A	N/A	"as grandes vantagens são evitar acidentes, evitar erros, aumentar a satisfação do cliente, criar uma mentalidade à transformação digital dentro da empresa,	N/A

	só faz sentido se conseguir ligar tudo.”			já houve uma melhoria e já nos estamos a adaptar a outra tecnologia que, entretanto, surgiu no mercado. Esse é o desafio: o ambiente em si onde estamos a implementar e a própria evolução da tecnologia. Imaginemos que fazemos um investimento numa implementação numa empresa e, ao fim desse investimento em tempo e dinheiro, surge outra tecnologia. Temos de voltar atrás e adaptar essa nova tecnologia ao que já foi feito. Existe este desafio constante.”			porque veem resultado e veem que faz diferença, e colocar as pessoas que faziam isso a fazer outras tarefas. Criar essa mante predisposta para a inovação/modernização também vai enriquecer mais ainda a cultura da empresa.”	