

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EM GESTÃO E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO

Nayra Vasiulis Ferreira Rodrigues

**LOGÍSTICA 4.0 E SUSTENTABILIDADE: ANÁLISE DAS PRÁTICAS,
BENEFÍCIOS E DESAFIOS EM PRESTADORES DE SERVIÇOS LOGÍSTICOS**

Sorocaba

2023

Nayra Vasiulis Ferreira Rodrigues

**LOGÍSTICA 4.0 E SUSTENTABILIDADE: ANÁLISE DAS PRÁTICAS,
BENEFÍCIOS E DESAFIOS EM PRESTADORES DE SERVIÇOS LOGÍSTICOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração para obtenção do título de Mestre em Administração.

Orientação: Prof.^a. Dra. Paula de Camargo Fiorini

Sorocaba

2023

Vasiulis Ferreira Rodrigues, Nayra

Logística 4.0 e sustentabilidade: análise das práticas, benefícios e desafios em prestadores de serviços logísticos / Nayra Vasiulis Ferreira Rodrigues -- 2023. 176f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus Sorocaba, Sorocaba
Orientador (a): Paula de Camargo Fiorini
Banca Examinadora: Éderson Luiz Piato, Barbara Stolte Bezerra
Bibliografia

1. Logística 4.0. 2. Sustentabilidade Corporativa. 3. Inovações digitais na logística.. I. Vasiulis Ferreira Rodrigues, Nayra. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática (SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Maria Aparecida de Lourdes Mariano -
CRB/8 6979



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Administração

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Nayra Vasiulis Ferreira Rodrigues, realizada em 31/05/2023.

Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Paula de Camargo Fiorini (UFSCar)

Prof. Dr. Éderson Luiz Piato (UFSCar)

Profa. Dra. Barbara Stolte Bezerra (UNESP)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Administração.

DEDICATÓRIA

Ao Lelo. Que mesmo no momento em que não conseguia andar, acreditou que eu poderia voar.

AGRADECIMENTOS

A conclusão desta dissertação é a realização de um sonho que permaneceu guardado por muito tempo. Depois de concluir minha primeira graduação, encontrei minha vocação como pessoa e profissional ao exercer a prática de ensino. No entanto, a vida me levou por outros caminhos e somente após mais de uma década pude retornar a esse caminho tão desejado desde então.

Por isso, agradeço primeiramente ao meu marido Lelo, que foi o maior incentivador para que eu iniciasse e me mantivesse nesta jornada. Agradeço por ser meu refúgio há mais de 15 anos, pelo cuidado, compreensão, paciência e amor incondicional a mim dedicados.

Também agradeço a minha família. À minha mãe que me ensinou que com muita dedicação e esforço é possível chegar a lugares que parecem inatingíveis. Aos meus irmãos Guilherme, Júlia e Manu que sempre foram meus amigos, apoiadores e parceiros durante as conquistas e desafios que vivemos juntos. E as minhas avós, de sangue e de coração, por serem minha inspiração e exemplo do que é ser mulher.

Agradeço aos meus amigos, principalmente Natália e Leonardo que nunca deixaram de confiar e acreditar em mim, mesmo quando dividi alegrias, medos e inseguranças que vivenciei durante esse processo.

Agradeço a cada um dos participantes dessa pesquisa, por dividirem suas experiências e ajudarem na construção desta pesquisa. Agradeço a Jéssica, por me abrir portas, me conectar com pessoas e acreditar nessa pesquisa.

Agradeço a todos os professores do Programa de Pós de Graduação de Administração da UFSCar Sorocaba, por compartilharem seus ensinamentos e dedicarem seu tempo à minha formação. Também agradeço aos meus colegas pela parceria e troca de conhecimentos.

E por fim, agradeço principalmente a minha orientadora professora Dra. Paula, por ter sido uma ilustre conselheira e mentora que me incentivou, inspirou, acalmou e direcionou nessa caminhada. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

“Não há nada fixo, nem nada permanente. Tudo é transitório, o que era ontem, pode não ser hoje.”

Moja Coen

RESUMO

A Logística 4.0 consiste na otimização das atividades logísticas por meio do uso de sistemas inteligentes, aprimorando as capacidades analíticas e operacionais e fornecendo soluções sustentáveis. O objetivo geral desta pesquisa é analisar como a adoção da Logística 4.0 pode promover a sustentabilidade das atividades dos Prestadores de Serviço Logístico (PSL). Para isso, foi realizada uma revisão sistemática de literatura (RSL), um estudo de casos múltiplos com cinco PSL do Brasil e entrevistas complementares com sete especialistas das áreas de logística e sustentabilidade aplicada aos serviços logísticos. Os dados foram analisados utilizando a técnica de análise de conteúdo de dados, com apoio do software NVivo. Os principais achados desta pesquisa demonstraram que a Logística 4.0 é capaz de apoiar os PSL na construção de processos e modelos de negócios sustentáveis, através da automação de processos, monitoramento em tempo real e integração de sistemas. Na área de transporte, as tecnologias da Logística 4.0 estão sendo utilizadas para o planejamento de rotas, monitoramento dos parâmetros dos veículos e acompanhamento das cargas durante todo o processo de transporte. Já na intralogística, as tecnologias da Logística 4.0 são aplicadas no gerenciamento e monitoramento da movimentação de materiais e dos parâmetros de estoque em tempo real, além da automação de tarefas repetitivas, gerando maior eficiência e redução de erros. Dessa forma, verificou-se que as tecnologias geram benefícios sociais, ambientais e econômicos como a ampliação da eficiência energética, da satisfação do cliente e da segurança, a redução da emissão de gases do efeito estufa (GHG), de custos logísticos, dos erros e tarefas repetitivas. Este estudo contribui com o campo de Administração, ao desenvolver uma reflexão crítica sobre como a aplicação de inovações tecnológicas pode contribuir com os PSL no desenvolvimento de uma estratégia sustentável, considerando a complexidade, desafios e características dessas empresas. Para a prática, esta pesquisa fornece informações valiosas para gestores e líderes de empresas de logística que desejam implementar tecnologias da Logística 4.0 e alcançar benefícios sustentáveis. Ressalta-se que a originalidade deste estudo consiste no desenvolvimento de um framework com base em dados empíricos que revela as aplicações, benefícios e desafios na adoção da Logística 4.0 para criar valor sustentável nos PSL.

Palavras-Chave: Logística inteligente; Inovações digitais; Prestadores de Serviços Logísticos; Indústria 4.0; Cadeia de Suprimentos Sustentáveis; Desenvolvimento Sustentável.

ABSTRACT

Logistics 4.0 involves optimizing logistical activities through the use of intelligent systems, enhancing analytical and operational capabilities, and providing sustainable solutions. The overall objective of this research is to analyze how the adoption of Logistics 4.0 can promote sustainability in the activities of Logistics Service Providers (PSL). To achieve this, a systematic literature review (SLR), a multiple case study with five Brazilian PSLs, and complementary interviews with seven experts in logistics and sustainability applied to logistics services were conducted. The data were analyzed using content analysis with NVivo software support. The main findings of this study demonstrate that Logistics 4.0 can support PSLs in developing sustainable processes and business models through process automation, real-time monitoring, and system integration. In the transportation sector, Logistics 4.0 technologies are being utilized for route planning, vehicle parameter monitoring, and cargo tracking throughout the transportation process. Additionally, in intralogistics, Logistics 4.0 technologies are applied in managing and monitoring material movement and real-time inventory parameters, as well as automating repetitive tasks, resulting in increased efficiency and error reduction. It was observed that these technologies generate social, environmental, and economic benefits, including improved energy efficiency, customer satisfaction, and safety, as well as reduced greenhouse gas emissions, logistics costs, errors, and repetitive tasks. This study contributes to the field of Administration by critically reflecting on how the application of technological innovations can contribute to PSLs in developing a sustainable strategy, considering the complexity, challenges, and characteristics of these companies. For practical applications, this research provides valuable information for logistics managers and leaders who wish to implement Logistics 4.0 technologies and achieve sustainable benefits. It is worth highlighting that the originality of this study lies in the development of a framework based on empirical data that reveals the applications, benefits, and challenges in adopting Logistics 4.0 to create sustainable value in PSLs.

Keywords: Smart logistics; Digital innovations; Logistics Service Providers; Industry 4.0; Sustainable Supply Chain; Sustainable Development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Contribuições da pesquisa para os Stakeholder	22
Figura 2 - Estrutura e conteúdo da dissertação.....	23
Figura 3 - Relações entre as atividades	25
Figura 4 - Evolução da Logística.....	25
Figura 5 - Estrutura da Cadeia de Suprimentos	28
Figura 6 - Evolução da Gestão da Cadeia de Suprimentos	29
Figura 7 - Integração e gerenciamento de processos de negócios em toda a CS	30
Figura 8 - Estágios de evolução tecnológica da logística.....	37
Figura 9 - Linha do tempo dos principais eventos sobre questões climáticas, sustentabilidade e desenvolvimento sustentável	45
Figura 10 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável	48
Figura 11 - Triple Bottom Line (TBL)	50
Figura 12 - Cadeias de Suprimentos Sustentáveis (CSS).....	53
Figura 13 - Práticas Sustentáveis na CS	54
Figura 14 - A relação dos conceitos de logística e sustentabilidade	57
Figura 15 - <i>Framework</i> da pesquisa	75
Figura 16 - Etapas da Análise de conteúdo	87
Figura 17 - Análise de dados e codificação no software Nvivo.	88
Figura 18 - Etapas da pesquisa	91
Figura 19 - Nuvem de palavras da análise textual das entrevistas com os representantes das empresas investigadas e especialistas.....	92
Figura 20 - Principais benefícios sustentáveis da Logística 4.0	131
Figura 21 - Framework: Logística 4.0 para a sustentabilidade dos PSL.....	141

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Sistemas de informações logísticos.....	32
Quadro 2 - Tecnologias da Indústria 4.0	34
Quadro 3 - Estudos mais citados na Scopus sobre Logística 4.0	38
Quadro 4 - Estudos mais citados na Scopus sobre práticas sustentáveis nas atividades logísticas	58
Quadro 5 - KPIs do desempenho sustentável nas operações logísticas.....	63
Quadro 6 - Protocolo de Pesquisa – Revisão Sistemática de Literatura.....	66
Quadro 7 - Artigos x Grupo de Tarefas logísticas estudados x Dimensão da SC	70
Quadro 8 - Principais conceitos que norteiam a pesquisa	76
Quadro 9 - Protocolo de estudo de caso	78
Quadro 10 - Critérios para seleção das organizações participantes do estudo	79
Quadro 11 - Caracterização das empresas dos casos investigados.....	80
Quadro 12 - Caracterização dos entrevistados dos casos analisados.....	82
Quadro 13 - Critérios para seleção dos especialistas.....	83
Quadro 14 - Caracterização dos especialistas entrevistados no estudo	84
Quadro 15 - Matriz de amarração.....	89
Quadro 16 - Análise cruzada das atividades logísticas, sistemas logísticos e tecnologias da Logística 4.0	116
Quadro 17 - Certificações e Programas sustentáveis adotadas pelas empresas	118
Quadro 18 - Análise comparativa das práticas sustentáveis gerais adotadas nas empresas.....	118
Quadro 19 - Práticas sustentáveis adotadas na Intralogística - Gerenciamento de Estoques e movimentação de materiais	119
Quadro 20 - Práticas sustentáveis adotadas no transporte e gestão do transporte.....	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Aplicações e principais benefícios das tecnologias de Logística 4.0 nas atividades de intralogística	39
Tabela 2 - Aplicações e principais benefícios das tecnologias de Logística 4.0 nas atividades de transporte	42
Tabela 3 - Principais práticas sustentáveis aplicadas no transporte e gestão do transporte	59
Tabela 4 - Principais práticas sustentáveis aplicadas na intralogística.....	61
Tabela 5 - Triagem dos documentos.....	67
Tabela 6 - Distribuição cronológica das pesquisas e método de pesquisa.	68
Tabela 7 - Estudos mais citados (Scopus)	68
Tabela 8 - Aplicações e principais benefícios das tecnologias de Logística 4.0 nas atividades de intralogística	133
Tabela 9 - Aplicações e principais benefícios das tecnologias de Logística 4.0 nas atividades de transporte	136

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABOL	Associação Brasileira de Operadores Logísticos
AGV	Veículos Automaticamente Guiados
AI	Inteligência Artificial
AMR	Robôs Móveis Autônomos
AR	Realidade Aumentada
BDA	<i>Big Data Analytics</i>
BI	Inteligência de Negócios
CC	Computação em Nuvem
CEP	Comitê de Ética em Pesquisas
COVID-19	Coronavírus
CPS	Sistemas Ciber-físicos
CS	Cadeia de Suprimentos
CSS	Cadeia de Suprimentos Sustentável
CNPq	Conselho Nacional de Pesquisas
COP	Conferências das Partes
EDI	Intercâmbio Eletrônico de dados
E-Digital	Estratégia brasileira para a transformação digital
EPI	Equipamento de proteção individual
ERP	Sistemas para Planejamento de Recursos
ESG	<i>Environmental, social, and corporate governance</i>
GCS	Gestão da Cadeia de Suprimentos
GEE	Gases de Efeito Estufa
GPS	Sistema de Posicionamento Geográfico
GRI	<i>Global Reporting Initiative</i>
IoT	Internet das Coisas
KPI	<i>Key Performance Indicators</i>
ODS	Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PSL	Prestadores de Serviços Logísticos
RFID	Identificação por radiofrequência

RH	Recursos Humanos
RSL	Revisão Sistemática de Literatura
SC	Sustentabilidade Corporativa
SDG	<i>Sustainable Development Goals</i>
SLA	<i>Service Level Agreement</i>
TI	Tecnologia da Informação
TRC	Transporte Rodoviário de Cargas
TMS	Sistemas de gerenciamento de transporte
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
UFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
UNESP	Universidade Estadual Paulista
VMI	Estoque Gerenciado pelo Fornecedor
WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i>
WMS	Sistemas de Gerenciamento de Armazém
WOS	Web of Science

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	17
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA	17
1.2 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DA PESQUISA	19
1.3 QUESTÃO DE PESQUISA	21
1.4 OBJETIVOS DE PESQUISA	21
1.5 CONTRIBUIÇÕES PARA OS <i>STAKEHOLDERS</i>	22
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	23
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	24
2.1 LOGÍSTICA EMPRESARIAL	24
2.1.1 <i>Conceitos e evolução histórica.....</i>	<i>24</i>
2.1.2 <i>Logística e cadeia de suprimentos</i>	<i>28</i>
2.2 INDÚSTRIA 4.0 E TECNOLOGIAS.....	31
2.2.1 <i>Logística e tecnologia da informação</i>	<i>31</i>
2.2.2 <i>Indústria 4.0</i>	<i>32</i>
2.2.3. <i>Logística 4.0</i>	<i>36</i>
2.3 SUSTENTABILIDADE CORPORATIVA	44
2.3.1 <i>Conceito e evolução histórica</i>	<i>44</i>
2.4 SUSTENTABILIDADE E CADEIAS DE SUPRIMENTOS.....	52
2.4.1 <i>Práticas logísticas sustentáveis e desempenho sustentável.....</i>	<i>56</i>
3 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	65
3.1 ANÁLISE DESCRITIVA	67
3.2 CONTRIBUIÇÕES DA LOGÍSTICA 4.0 PARA SUSTENTABILIDADE CORPORATIVA	69
3.3 FRAMEWORK DE PESQUISA	74
4 METODOLOGIA DE PESQUISA	77
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA.....	77
4.2 ESTUDO DE CASOS MÚLTIPLOS	78
4.2.1 <i>Planejamento das entrevistas</i>	<i>78</i>
4.2.2 <i>Caracterização das empresas e dos entrevistados.....</i>	<i>80</i>
4.3 OPINIÃO DOS ESPECIALISTAS	83
4.3.1 <i>Planejamento das entrevistas</i>	<i>83</i>
4.3.2 <i>Caracterização dos especialistas</i>	<i>84</i>
4.4 PROCESSO DE COLETA DOS DADOS	85
4.5 DESAFIOS NA COLETA DE DADOS	86

4.6 ANÁLISE DOS DADOS	87
4.7 MATRIZ DE AMARRAÇÃO	89
5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	92
5.1 ESTUDO DE CASOS MÚLTIPLOS	93
5.1.1 Caso 1	93
5.1.2 Caso 2	98
5.1.3 Caso 3	103
5.1.4 Caso 4	107
5.1.5 Caso 5	111
5.1.6 Análise geral dos casos	114
5.2 OPINIÃO DE ESPECIALISTAS	124
5.3 CONTRIBUIÇÕES DA LOGÍSTICA 4.0 PARA A SUSTENTABILIDADE DOS PSL	130
5.3.1 Logística 4.0 e sustentabilidade nas atividades de intralogística	132
5.3.2 Logística 4.0 e sustentabilidade nas atividades de transporte	135
5.3.3 Desafios para adoção da Logística 4.0	138
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	142
6.1 PRINCIPAIS ACHADOS	142
6.2 CONTRIBUIÇÕES PARA A TEORIA E PRÁTICA	143
6.3 LIMITAÇÕES DA PESQUISA E DIREÇÕES DE PESQUISA FUTURA	145
REFERÊNCIAS	146
APÊNDICE A - ROTEIRO DE ENTREVISTA DO ESTUDO DE CASO	171
APÊNDICE B - ROTEIRO DE ENTREVISTA COM OS ESPECIALISTAS	173
APÊNDICE C – FOLDER DE DIVULGAÇÃO DA PESQUISA	174
ANEXO A – PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP	176

1 INTRODUÇÃO

Este capítulo concentra-se na apresentação dos pontos centrais que definem a pesquisa: a contextualização da temática do estudo, a questão norteadora, objetivos e relevância da pesquisa, bem como suas contribuições práticas e teóricas para o campo da Administração. Por fim, é explanada a estrutura do trabalho que será encontrada nos próximos capítulos.

1.1 Contextualização da pesquisa

Nos últimos anos, a complexidade, o dinamismo e os requisitos do mercado têm aumentado constantemente. Para atender as necessidades futuras da economia e da sociedade, a evolução tecnológica tem impulsionado o desenvolvimento de novos paradigmas, ferramentas e modelos de negócios que impactam diretamente na produção, armazenamento e distribuição dos produtos (BAG; GUPTA; KUMAR, 2021; BARRETO; AMARAL; PEREIRA, 2017; HOFMANN; RÜSCH, 2017; STRANDHAGEN et al., 2017a).

A logística diz respeito à gestão do fluxo de materiais e de informação e engloba as atividades de distribuição, gestão de armazém, gestão de inventário e logística reversa (AGUEZZOUL, 2014). O objetivo da logística é contribuir para a criação de valor para o cliente e tornar os processos mais eficientes, a partir da aquisição dos produtos; da movimentação de materiais; da gestão de armazéns e controle do estoque; do transporte de materiais e entrega de bens e produtos (PARHI et al., 2022).

Com o aumento da complexidade das Cadeias de Suprimentos (CS) e a terceirização de várias atividades, ampliam-se os esforços necessários para a gestão e coordenação das operações logísticas (CHEN; LIU, 2021; STRANDHAGEN et al., 2017a). Adicionalmente, recente digitalização dos processos e a expansão da integração dos Sistemas Ciber-físicos (CPS) e Internet das Coisas (IoT) têm provocado mudanças profundas na logística (HOFMANN; RÜSCH, 2017; WINKELHAUS; GROSSE, 2020).

O surgimento do fenômeno da Indústria 4.0 (ou quarta revolução industrial), culminou na recente introdução do termo “Logística 4.0” ou “*Smart Logistics*” (BARRETO; AMARAL; PEREIRA, 2017; HOFMANN; RÜSCH, 2017). A Logística 4.0 consiste em um sistema logístico que permite o atendimento sustentável das demandas individualizadas dos clientes e no desenvolvimento da indústria, por meio do uso de tecnologias digitais (WINKELHAUS; GROSSE, 2020).

As tecnologias da Logística 4.0 podem ser empregadas nas atividades de transporte e distribuição de produtos, por meio do uso de sensores, componentes e dispositivos de comunicação (como dispositivos móveis, GPS e computadores embutidos), que controlam e monitoram parâmetros do veículo e apoiam a seleção das melhores rotas (DINTÉN; GARCÍA; ZORRILLA, 2023). Ainda, as atividades de movimentação interna de materiais, também chamadas de intralogística, podem ser aprimoradas pelo uso de tecnologias como a identificação por radiofrequência (RFID), em combinação com a computação em nuvem (CC), robôs, dispositivos móveis e IoT, sendo possível rastrear os produtos, paletes e embalagens em tempo real, e automatizar os processos de entrada, conferência, armazenamento, expedição e controle de inventário (PARHI et al., 2022).

A implementação da Logística 4.0 pode proporcionar vários benefícios para os membros das CS e para a sociedade, tais como a ampliação da transparência, da capacidade de inovação, da eficiência da rede de logística, além de melhorar a experiência dos clientes e remover as fronteiras logísticas tradicionais por meio da troca de informações em tempo real entre diferentes elos da cadeia (KUCUKALTAN et al., 2022).

No Brasil, a Indústria 4.0, até este momento, se desenha como uma temática em estágio inicial de implantação, não havendo um programa unificado que visa a digitalização de empresas brasileiras (OECD, 2020). Contudo, com o lançamento da Estratégia Brasileira para a Transformação Digital (E-Digital), uma iniciativa do governo federal, controlada pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, diversos programas foram lançados com o intuito de aumentar a difusão da Indústria 4.0 nos setores industrial, de saúde, turismo, educação, e logística e transportes, tal como um subcomitê de *e-commerce* e exportações e o Programa Cidades Inteligentes (BRASIL, 2018).

Modelos de negócios aprimorados com base nas tendências da Logística 4.0 podem permitir uma maior escalabilidade das iniciativas sustentáveis, uma vez que a tecnologia permite o consumo colaborativo, ampliação da produtividade, eficiência no uso de recursos e energia, redução de desperdícios e a criação de valor para o cliente (STRANDHAGEN et al., 2017a). Dessa forma, as três dimensões sustentáveis (social, ambiental e econômica) impulsionam novas tendências em logística e, nessa relação circular, as novas tendências de logística, impulsionam o desenvolvimento de novos modelos de negócios que incorporam os princípios da sustentabilidade (STRANDHAGEN et al., 2017a).

O comprometimento do governo brasileiro e das organizações com a Agenda 2030 e os concernentes Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) tem impulsionado a investigação e construção de novos processos e modelos de negócios que integrem as

tecnologias da Indústria 4.0 e a sustentabilidade (STOCK; SELIGER, 2016; BONILLA et al., 2018). A ampliação da geração de energia sustentável e a redução do consumo energético, de matérias primas, assim como diminuição da geração de resíduos e de gases poluentes proporcionados pela adoção de tecnologias da Indústria 4.0 podem impactar diretamente no alcance dos ODS 7 (energia limpa e acessível), 9 (indústria, inovação e infraestrutura), 12 (consumo e produção responsável) e 13 (mudanças climáticas) (BONILLA et al., 2018).

Adicionalmente, a exigência do mercado para que as operações sejam seguras, eficientes e rentáveis faz com que muitas organizações transfiram suas atividades logísticas para empresas especializadas conhecidas como Prestadores de Serviços Logísticos (PSL). Na era digital, os PSL são cruciais para a disseminação de estratégias eficazes na CS, uma vez que estes são a ponte entre vários agentes da CS (FABBE-COSTES; ROUSSAT, 2011; KUCUKALTAN, et al., 2020). Além do mais, em um cenário em que a pandemia do COVID-19 acelerou o processo de transformação digital e ampliou a pressão por operações logísticas sustentáveis, os PSL têm buscado ferramentas que apoiem a definição e modificação dos seus modelos de negócios, estratégias e cultura (CICHOSZ; WALLENBURG; KNEMEYER, 2020; FACCHINI et al., 2019).

Contudo, existem diversos fatores que influenciam no sucesso das iniciativas de Logística 4.0 dentro dos PSL, dentre eles o apoio da alta direção, o alinhamento com a estratégia organizacional, a infraestrutura tecnológica, a disposição para investir nas tecnologias, a existência de um ambiente de pesquisa e inovação, e o desenvolvimento e aplicação de treinamentos (KHAN et al. 2022).

1.2 Justificativa e importância da pesquisa

Os debates que emergem dos trabalhos de Ejsmont, Gladysz e Kluczek (2020), Ghobakhloo et al. (2021), Kucukaltan et al. (2020) e Strandhagen et al. (2017a) destacam as consequências e contribuições da Indústria 4.0 para o setor de logística, as quais podem provocar mudanças sociais, econômicas e políticas significativas, impactando nos processos, modelos de negócios e força de trabalho que atuam no setor.

A pandemia de COVID-19 colocou em foco vários desafios para a o gerenciamento da CS e das empresas, acelerando as discussões e ações para o desenvolvimento e execução de um capitalismo mais responsável, envolvendo questões como a resiliência, a sustentabilidade e a digitalização dos processos (IVANOV, 2020; SILVA, 2022).

Os estudos sobre as implicações da Logística 4.0 para a sustentabilidade das operações logísticas têm se dedicado a investigar como essas tecnologias afetam as atividades de transporte de cargas (HEINBACH; MEIER; THOMAS, 2022), gestão de armazém (NANTEE; SUREEYATANAPAS, 2021), apoio à construção de transporte sustentável (SU; FAN, 2020) e armazém sustentável (CASTILLO et al., 2022), modificando o modelo de negócios das operações logísticas (STRANDHAGEN et al., 2017a) e melhorando as capacidades dinâmicas das organizações (BAG; GUPTA; LUO, 2020).

Embora as pesquisas sobre esse tema estejam evoluindo, pode-se considerar esse avanço da literatura como incipiente, quando comparado com outros pilares da logística, o que evidencia a existência de lacunas neste campo de pesquisa que podem ser exploradas (GHOBAKHLOO et al. 2021, KUCUKALTAN et al., 2020). Por exemplo, a investigação conduzida por Ghobakhloo et al. (2021) sugere que, apesar das tecnologias da Indústria 4.0 habilitarem a construção de um ecossistema “verde”, sua adoção pode piorar a polarização da renda e a desigualdade econômica do mundo. Diante disso, os autores ressaltam a importância do desenvolvimento de estudos empíricos que analisem como a Indústria 4.0 pode contribuir para a sustentabilidade das empresas. Complementarmente, Kucukaltan et al. (2020) salientam que há uma lacuna na literatura no desenvolvimento de pesquisas sobre Logística 4.0 que tratem de forma abrangente questões multidimensionais, ou seja, que se concentrem não apenas nos aspectos técnicos e tecnológicos, mas também explorem o capital humano e o papel dos Prestadores de Serviços Logísticos (PSL).

Além do mais, o recorte quanto ao PSL justifica-se pelo fato de que as atividades logísticas constituem o principal produto destas empresas e, muitas das demandas por ações responsáveis e sustentáveis exigidas das organizações, passam por sua cadeia de suprimentos e podem ser atendidas por estes agentes (VIVALDINI, 2012). Atualmente, existem aproximadamente 1 mil operadores logísticos no Brasil, que são responsáveis por uma receita bruta anual de R\$ 166 bilhões de reais, correspondendo à 2% do PIB brasileiro, e geram mais de 2 milhões de empregos diretos, indiretos e em cadeias periféricas (ABOL, 2022). Problemas comuns do setor de PSL como o aumento dos preços, a falta de transparência, a racionalização de documentos e necessidade de aumento ou diminuição da escala produtiva conforme necessário, refletem diretamente na definição das estratégias e modelos de negócio destas organizações, demonstrando assim, a importância de estudos que explorem a aplicação de ferramentas da Indústria 4.0 nestas empresas (RAJ et al., 2022).

Considerando a relevância econômica dos Operadores Logísticos, estudos desta natureza são importantes para entendimento das dinâmicas internas, barreiras, tendências e

ferramentas que auxiliem no fortalecimento das empresas do ramo, uma vez que esse setor vem se consolidando nos últimos 30 anos, com crescimento contínuo e alta concentração de mão de obra e capital (ABOL, 2022). Posto isto, no que se refere à relevância prática, a pesquisa visa estimular e embasar as organizações do setor de logística no desenvolvimento de estratégias, projeções e planos de ação para a adoção de iniciativas de Logística 4.0 e sustentabilidade.

Diante do contexto atual, a relevância acadêmica desta pesquisa reside na busca por fomentar e incentivar o debate e o desenvolvimento de estudos que analisem como a Logística 4.0 pode contribuir para o desenvolvimento sustentável de empresas terceirizadas, principalmente no âmbito de economias em desenvolvimento, como o Brasil. O estudo proposto também se justifica por agrupar conceitos relevantes como a Logística 4.0 e Sustentabilidade Corporativa, fornecendo uma contribuição teórica ao estudá-los sob a ótica dos PSL.

1.3 Questão de pesquisa

Diante da contextualização apresentada, o tema de pesquisa desta dissertação está situado no entendimento de como a Logística 4.0 pode contribuir para o desempenho sustentável dos PSL, a partir da investigação da aplicação destas tecnologias nas atividades de intralogística, transporte rodoviário de cargas (TRC) e distribuição física de produtos (ou *last mile*).

A questão de pesquisa, norteadora deste estudo: Como a Logística 4.0 contribui para que as atividades dos Prestadores de Serviço Logístico sejam sustentáveis? O estudo busca compreender as motivações, benefícios e desafios para a adoção das tecnologias da Logística 4.0, assim como suas contribuições para a sustentabilidade das operações logísticas.

1.4 Objetivos de pesquisa

O objetivo geral dessa pesquisa é analisar como a adoção da Logística 4.0 pode promover a sustentabilidade das atividades dos Prestadores de Serviço Logístico. Para isso, os objetivos específicos da pesquisa são:

- Identificar as principais inovações digitais e práticas de sustentabilidade adotadas em PSL;
- Compreender como as inovações digitais da Indústria 4.0 podem auxiliar no desempenho sustentável dos PSL e da CS;

- Analisar os principais benefícios e desafios na adoção de inovações digitais para SC dos PSL.

1.5 Contribuições para os *stakeholders*

Este estudo contribuí para o campo da Administração por meio de uma investigação sistemática e aplicada que visa apoiar gestores e pesquisadores na aplicação de inovações tecnológicas considerando seus benefícios para a sustentabilidade. Outra contribuição relevante situa-se na reflexão crítica que o estudo busca empreender sobre a importância, complexidade e características das iniciativas sustentáveis em empresas terceirizadas.

Como contrapartida, após a conclusão geral deste projeto, foi enviado um resumo gerencial com os principais achados e resultados do estudo aos participantes da pesquisa. Dessa forma, o estudo poderá fomentar o desenvolvimento de estratégias e planos de ação para as organizações estudadas, a partir do mapeamento de oportunidades de melhoria em relação ao foco da pesquisa.

Ressalta-se ainda que o grande benefício social relacionado a este projeto está na ampliação do conhecimento científico na área de Administração e na abordagem de tópicos estratégicos para o desenvolvimento do país, como os aspectos tecnológicos e sustentáveis, atualmente estabelecidos como prioritários pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

Além dos participantes da pesquisa, o estudo contribuí com o desenvolvimento sustentável das empresas PSL que desejam adotar tecnologias da Logística 4.0 e práticas sustentáveis, a partir do fornecimento de *insights* e *benchmarking*. A Figura 1 resume as principais contribuições para os *stakeholders* deste estudo.

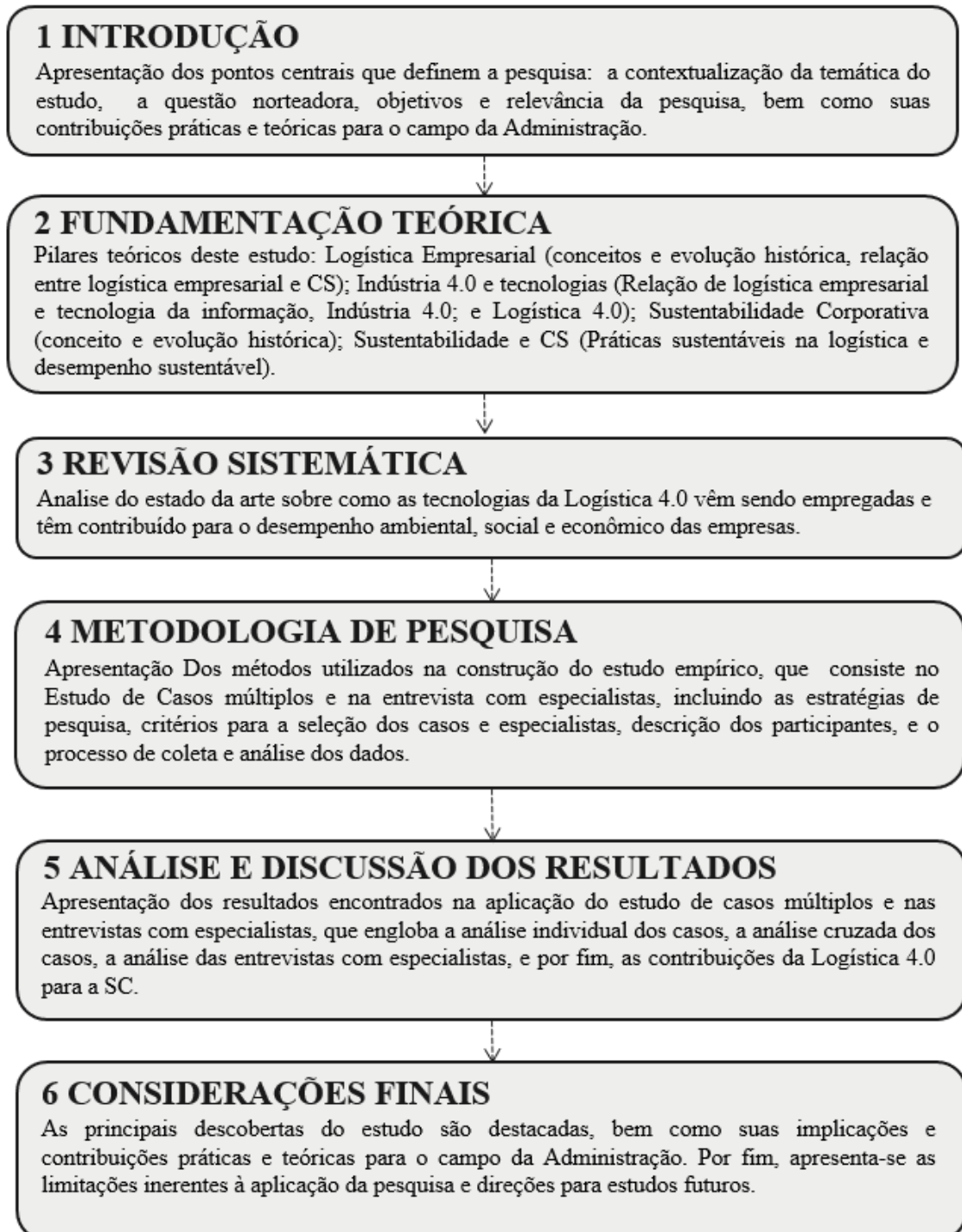
Figura 1 - Contribuições da pesquisa para os *Stakeholder*



1.6 Estrutura do trabalho

O presente estudo foi organizado em seis capítulos: introdução, fundamentação teórica, revisão sistemática de literatura, metodologia de pesquisa, análise e discussão dos resultados e considerações finais. A sequência e um breve resumo de cada capítulo são descritos na Figura 2.

Figura 2 - Estrutura e conteúdo da dissertação



2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esse capítulo reúne os pilares teóricos deste estudo, a partir do qual o estudo de casos múltiplos e a entrevista com especialistas estão fundamentados. A seção 2.1 apresenta os principais conceitos, evolução histórica e a relação do conceito de logística com a cadeia de suprimentos. A seção 2.2 aborda como as Tecnologias 4.0 podem ser aplicadas nas atividades logísticas, bem como o conceito e principais características da Logística 4.0. Já a seção 2.3 expõe as definições e evolução histórica do conceito de Sustentabilidade Corporativa. Por fim, a seção 2.4 elenca as principais práticas sustentáveis e indicadores do desempenho sustentável adotados na CS e na logística.

2.1 Logística empresarial

2.1.1 Conceitos e evolução histórica

Compreende-se como logística a função responsável pela armazenagem e movimentação de materiais, bem como a gestão do fluxo dos produtos e informações dentro das empresas (BALLOU, 2010) e entre os agentes da cadeia de suprimentos (CS) (MENTZER; MIN; BOBBITT, 2004).

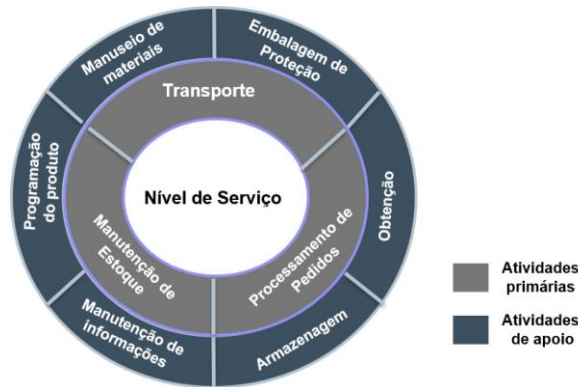
Segundo o Conselho de Profissionais de Gestão da Cadeia de Suprimentos, a logística pode ser definida como:

A parcela do processo da cadeia de suprimentos que planeja, implanta e controla o fluxo eficiente e eficaz de matérias primas, estoque em processos, produtos acabados e informações, relacionadas, desde de seu ponto de origem até o ponto de consumo, com o propósito de atender aos requisitos dos clientes (CSCMP, 2021, p. 1).

A logística envolve o gerenciamento de instalações, transporte, distribuição, estoque, materiais, atendimento de pedidos, comunicações, fornecedores terceirizados e informações dentro da organização, de uma forma que contribua para a criação de valor para o cliente (NOVACK; RINEHART; WELLS, 1992).

Conforme apresentado na Figura 3, as atividades logísticas podem ser divididas entre atividades primárias e atividades de apoio (BALLOU, 2010). O transporte de materiais, manutenção de estoques e processamento de pedidos, são as atividades de importância primária para o alcance dos objetivos logísticos de custo e nível de serviço. Já as atividades de armazenagem, obtenção e programação de produtos, manuseio de materiais, embalagem de proteção e manutenção de informações; apoiam as atividades primárias e contribuem para a disponibilidade e as condições dos bens e serviços (BALLOU, 2010).

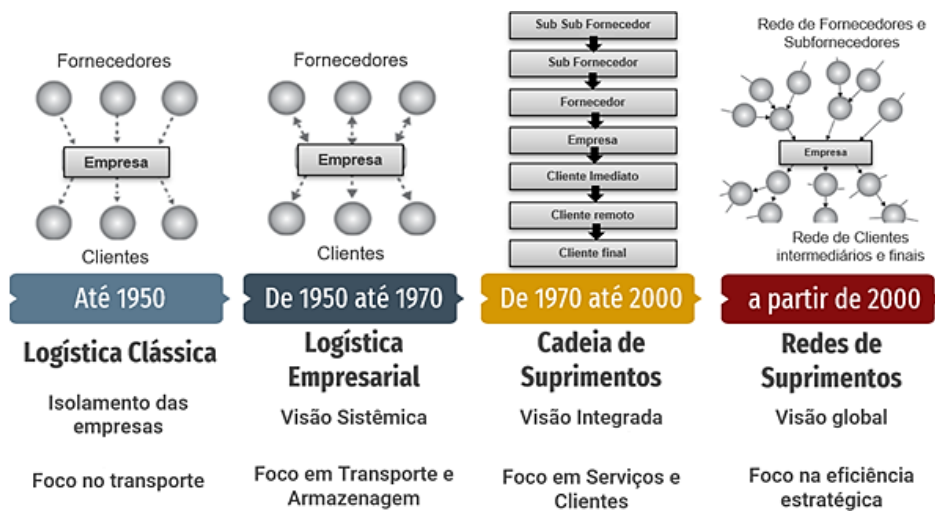
Figura 3 - Relações entre as atividades



Fonte: Ballou (2010).

O conceito de logística passou por diversas transformações, conforme apresentado na Figura 4. Segundo Schrijver (2002), o primeiro estudo sobre logística e transportes foi desenvolvido por Tolstoy em 1930, no qual o autor apresenta um modelo para a solução de um problema prático relacionado ao transporte de sal, cimento e outras cargas entre origens e destinos ao longo da malha ferroviária da União Soviética.

Figura 4 - Evolução da Logística



Fonte: Adaptado de MACHLINE (2011).

Antes da década de 1950, não havia um conceito formal ou teoria sobre logística integrada, uma vez que a logística era pensada em termos militares, e designava os processos de aquisição, manutenção e transporte de instalações militares, material e pessoal (BALLOU, 2007). No que diz respeito à logística nas organizações, nesse período, a logística era

considerada uma função de apoio ou suporte, e as atividades estavam fragmentadas, o que gerava vários conflitos entre os responsáveis por essas atividades (BALLOU, 2007).

O conceito de logística desdobra-se em quatro estágios evolutivos diferentes: Estágio 1 - até a década de 70, no qual concentrava-se na distribuição física, controle e armazenagem dos produtos; Estágio 2 - a partir dos anos 80, buscava-se integrar as funções de logística; Estágio 3 - nos anos 90 as atividades logísticas já eram vistas como parte importante da CS, e buscava-se a otimização dos processos e ampliação da competitividade, a partir do aumento dos instrumentos de controle de qualidade, do foco na melhoria dos serviços, do atendimento das necessidades dos clientes e da formulação de equipes internas interfuncionais; Estágio 4 - a partir dos anos 2000, as organizações começaram ampliar a cooperação e integração entre todos os agentes da CS, focando no aprimoramento da previsão de demanda e no planejamento colaborativo (BOYSON et al., 1999).

As relações entre os membros da CS foi se transformando com o decorrer dos anos (MACHLINE, 2011). Com a evolução da indústria, no cenário pós-guerra, o transporte de matéria prima e produtos acabados dos fornecedores até as fábricas era o principal tópico da administração da produção (MACHLINE, 2011). O nascimento da Logística Empresarial ocorreu, quando se percebeu que o processo de entregar os materiais na quantidade certa, no local certo, na hora certa, englobava não somente o transporte, mas o armazenamento, compras, gestão de estoque e informações (MACHLINE, 2011).

A partir dos anos 90, houve um novo salto conceitual, no qual a visão da CS prevaleceu, instaurando uma visão panorâmica, que engloba os agentes do início ao final da cadeia, provocando um alargamento e alongamento da noção de logística empresarial (MACHLINE, 2011). Com a globalização e o advento da internet, a partir dos anos 2000, a gestão da CS passou a ser vista de forma global, e as organizações buscavam ferramentas que pudessem reduzir o tempo de resposta às mudanças ambientais; de forma que fosse possível que elas se adequassem às necessidades dos clientes; e ampliassem o compartilhamento de informações, a colaboração entre as pessoas e a coordenação dos processos (BALLOU, 2007; MACHLINE, 2011).

Dentro deste panorama, emerge o conceito de logística reversa, que é a área da logística empresarial responsável pelo planejamento, operação e controle dos fluxos e das informações logísticas associadas ao retorno ao ciclo produtivo dos bens de pós-venda e de pós-consumo, por meio dos canais de distribuição reversos (LEITE, 2003; AGUEZZOUL, 2014).

Diante disso, é possível observar que o sistema logístico compreende as atividades de

logística interna (ou intralogística) e logística externa, e envolve o processo de seleção e planejamento dos modais de transporte (rodoviário, ferroviário, aeroviário, aquaviário e dutoviário); dos equipamentos de movimentação de materiais (empilhadeiras, paleteiras, guindastes, esteiras, transportador de roletes, transelevadores etc.); e dos equipamentos e objetos de armazenagem (caixas, paletes, prateleiras, estruturas porta paletes, estantes, contêineres etc.) (BALLOU, 2007).

A intralogística ou logística interna (também conhecida como logística *in house*) corresponde a um conjunto de atividades necessárias para movimentar materiais, produtos acabados e matérias-primas dentro do armazém, englobando o planejamento, execução, otimização e automatização de todo o fluxo de recebimento, conferência, armazenagem, expedição e gestão de informações, sendo uma das atividades logísticas que será investigada neste estudo (FERNANDES et al., 2019).

Na CS, existe um longo percurso pelo qual os produtos passam para que cheguem do ponto de origem da produção até o consumidor final, e segundo Ballou (2007), existem 5 modais de transporte: o ferroviário, o aeroviário, o aquaviário, o dutoviário e o rodoviário.

O transporte rodoviário de cargas (TRC), que será o foco deste estudo, é o transporte de produtos semiprontos ou acabados, como produtos a granel (sólido ou líquido), carga seca ou produtos com exigência de tratamentos especiais (carga fracionada, carga frigorificada, químicos ou perigosos e veículos), através de ruas, rodovias, estradas pavimentadas ou não, área urbana ou rural (CNI, 2016). O TRC é o modal mais utilizado no Brasil e pode ser executado pelo proprietário da carga (embarcador) ou por terceiros, sendo assim realizado por motoristas autônomos (também chamados de agregados ou freteiros), por empresas transportadoras, por operadores logísticos e por cooperativas de transporte (ABOL, 2022).

Dentro do TRC, denomina-se distribuição física, a última etapa pela qual o produto percorre (BALLOU, 2010). Na logística de *e-commerce*, a distribuição física também pode ser denominada *Last Mile* (logística de última milha) sendo esta, a última etapa no transporte e entrega, e contempla todas as atividades logísticas relacionadas à entrega de remessas para seu destino final, sendo direcionadas para pessoas físicas ou para pessoas jurídicas (BOYSEN; FEDTKE; SCHWERDFEGGER, 2021).

Logo, a logística moderna diz respeito à gestão de materiais e do fluxo de informações nas empresas, e engloba os processos de transporte, distribuição, armazenamento, desembaraço aduaneiro, embalagem, que vão desde a primeira etapa da produção até o momento em que o produto é entregue ao consumidor final (YALCIN; DAIM, 2022). A logística é o cerne da

gestão da CS, pois conecta todos os agentes da CS, que estão distribuídos do ponto de origem ao ponto de consumo (CHONG et al., 2018).

2.1.2 Logística e cadeia de suprimentos

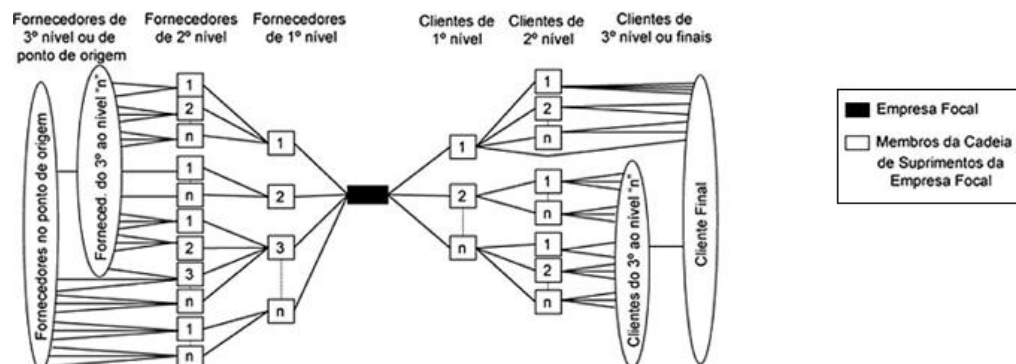
Entende-se neste estudo que a Logística é um processo da CS, sendo esse processo responsável pela coordenação do fluxo de mercadorias, serviços e informações desde o ponto em que existem como matérias-primas até aquele em são descartadas, para que os bens e serviços sejam disponibilizados aos consumidores quando e onde estes quiserem adquiri-los (BALLOU, 2009).

Segundo o *Global Supply Chain Forum*, a CS corresponde ao conjunto das organizações, recursos e atividades interligadas e comprometidas com a produção, distribuição e comercialização de produtos acabados e serviços para o consumidor final (LAMBERT; COOPER; PAGH, 1998).

Lambert, Cooper e Pagh (1998) elencam três dimensões estruturais da CS: estrutura horizontal (extensão de níveis da CS), estrutura vertical (número de empresas em cada nível) e posição horizontal da empresa focal dentro da CS. As empresas que compõe a CS, contribuem de alguma forma, na entrega do valor para o cliente, tais como varejistas, indústrias, fornecedores de matéria-prima, centros de distribuição, estoque em trânsito e produtos acabados (LAMBERT; COOPER; PAGH, 1998).

Conforme apresentado na Figura 5, empresa focal é a organização a partir da qual a CS é analisada, observando-se as suas conexões com fornecedores e clientes de primeiro nível, que estão em contato direto na organização, quanto com os demais membros anteriores e posteriores a ela (LAMBERT; COOPER; PAGH, 1998). Logo, cada organização que compõe a CS pode fazer parte de várias redes, com dimensões estruturais específicas.

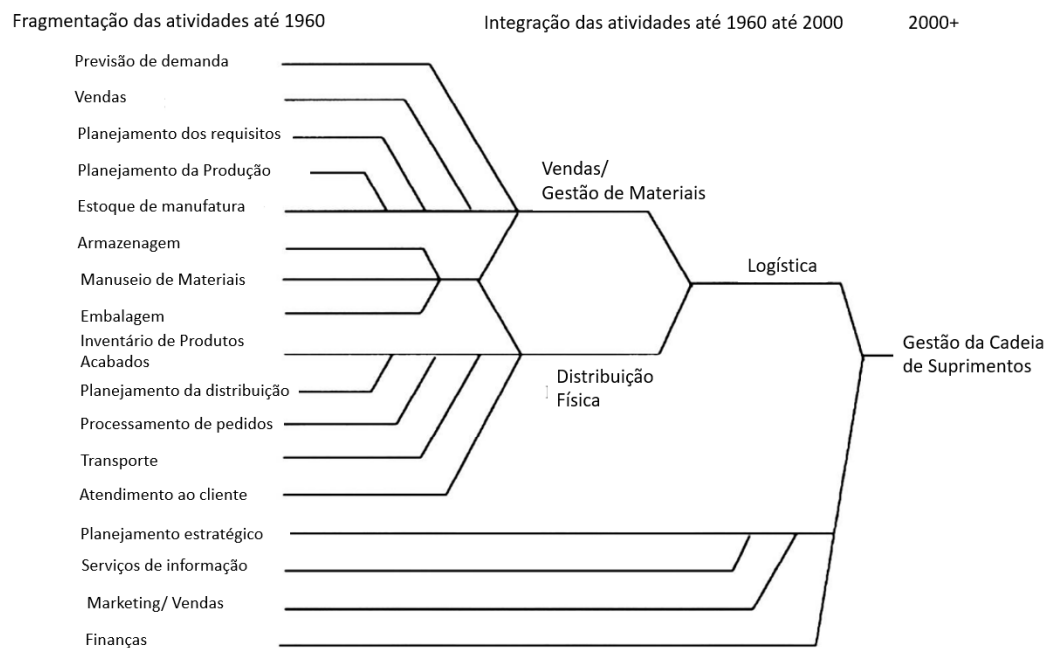
Figura 5 - Estrutura da Cadeia de Suprimentos



Fonte: Lambert, Cooper e Pagh (1998).

A gestão da CS teve sua origem na década de 80, e o avanço das tecnologias-chave da informação, transporte e manufatura, vinculados ao marketing, à satisfação do consumidor, à customização e à logística, possibilitou seu desenvolvimento (METZ, 1998). Com a evolução da gestão CS (Figura 6), a logística é vista como um subconjunto da CS, ou seja, o escopo da logística está limitado a gestão de atividades, enquanto a gestão interfuncional e inter organizacional está dentro da alçada da gestão CS (BALLOU, 2007).

Figura 6 - Evolução da Gestão da Cadeia de Suprimentos

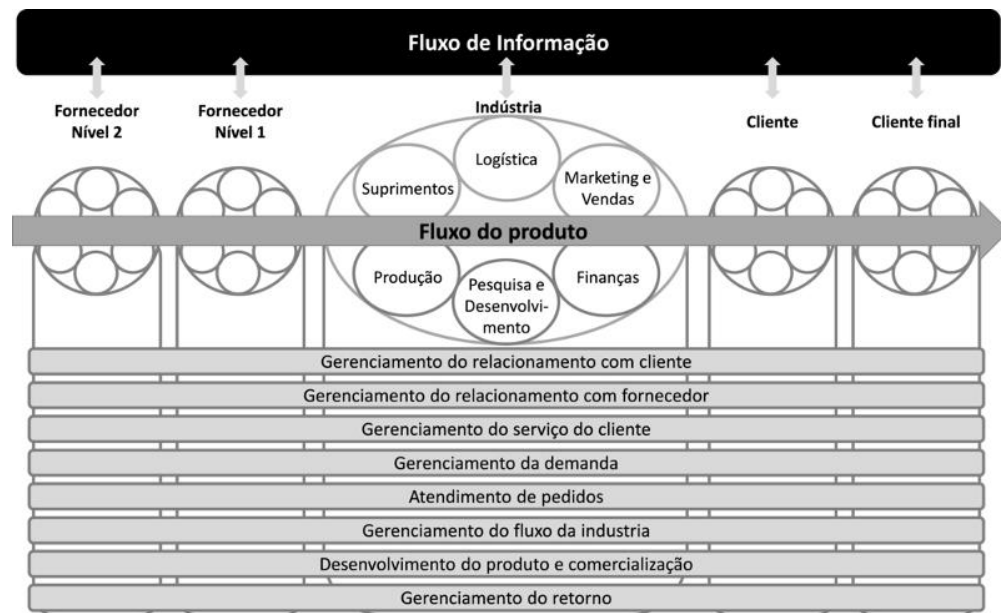


Fonte: Ballou (2007).

A GCS corresponde a sistemática de coordenação estratégica de um conjunto de entidades (organizações ou indivíduos) envolvidas diretamente nos fluxos de produtos, serviços, finanças e informações, desde o primeiro fornecedor até o cliente final, com o propósito de melhorar o desempenho das empresas individuais e da CS como um todo (MENTZER et al., 2001).

O modelo teórico da gestão da CS, desenvolvido por Lambert, Cooper e Pagh (1998), demonstra oito processos-chave que são o alicerce para a gestão da CS (Figura 7). Para os autores, a execução eficaz desses processos exige a transposição das fronteiras organizacionais e integração das informações e áreas funcionais (marketing e vendas, logística, compras, produção, pesquisa e desenvolvimento, e finanças). O modelo propõe o desdobramento dos processos-chave em processos estratégicos e operacionais, que possam ser implementados por meio da interligação de suas atividades.

Figura 7 - Integração e gerenciamento de processos de negócios em toda a CS



Fonte: Lambert, Cooper e Pagh (1998).

Neste panorama da CS, emerge a visão de logística integrada que corresponde à competência que atrela a empresa aos seus clientes e fornecedores, a partir da gestão dos fluxos de informação e materiais, com propósito de ampliar a eficiência CS (BOWERSOX, 2020). Além disso, a complexidade da CS, a terceirização de várias atividades logísticas e o aumento do nível de exigência dos *stakeholders*, ampliam os esforços necessários para a gestão e coordenação das operações logísticas (STRANDHAGEN et al., 2017a).

Além disso, a logística reversa está intimamente conectada com a visão de logística integrada, uma vez que esta pode proporcionar diversos benefícios econômicos e ambientais para a os membros da CS, apoiar o mercado pós-venda e explorar novas oportunidades de negócios para melhorar a produtividade das operações logísticas (BAG et al., 2020; LEE; LAN, 2012).

Em relação às tendências para a logística e para a gestão da CS, Speranza (2018) destaca sete pontos principais:

- Foco sistêmico: otimização de toda a rede da cadeia de suprimentos e cocriação de valor para o cliente, a partir da visão holística dos processos, sistemas e organizações.
- Síntese da informação: a informação é compartilhada holisticamente e os dados são interpretados de forma conjunta, a fim melhorar o desempenho da CS como um todo.

- c) Relações colaborativas: compartilhamento das responsabilidades e recompensas, o que proporciona a criação de valor para a CS.
- d) Modelagem de demanda: adoção de estratégias para influenciar proativamente a demanda.
- e) Agilidade transformacional: alta responsividade e adaptabilidade às mudanças, causadas pela transformação contínua do fluxo de dados sobre clientes, compras, entregas, locais e estoques.
- f) Seleção dinâmica de parceiros a jusante (fluxo no sentido do cliente) e a montante (fluxo no sentido do fornecedor).
- g) Otimização global da CS: possibilitada pela colaboração, apoiada pelo uso de tecnologias e estimulada pelo aumento da concorrência e benefícios esperados.

A sustentabilidade é outra tendência que vem recebendo destaque no contexto da CS. Diante da ampliação da conscientização e do nível de exigência dos *stakeholders* (clientes, órgãos reguladores, organizações não governamentais e funcionários), as organizações e as CS tendem a buscarem formas para minimizar ou eliminar eventuais impactos negativos de suas atividades (GRUŽAUSKAS; BASKUTIS; NAVICKAS, 2018; STRANDHAGEN et al., 2017a; TRAN et al., 2019; VIVALDINI, 2012).

Além disso, a gestão do fluxo de informações é um fator de grande relevância nas operações logísticas e na CS, sendo necessário o uso de ferramentas que possam apoiar esse processo. Nesta conjuntura, a logística moderna transformou a forma com que as empresas recebem, carregam e transportam seus produtos, uma vez que a tecnologia da informação possibilitou a integração de todo o fluxo de materiais e informações na CS, otimizando a coleta, manutenção e processamento dos dados logísticos e, conseqüentemente, o processo decisório e a definição de estratégias organizacionais (ZHANG et al., 2020).

2.2 Indústria 4.0 e tecnologias

2.2.1 Logística e tecnologia da informação

A tecnologia da informação (TI) proporciona maior eficiência para as operações logísticas e permite que as organizações colaborem de forma segura com os integrantes da CS, impactando na geração de valor para as empresas (BANDEIRA; MAÇADA, 2008). Desse modo, as ferramentas de TI podem reduzir os riscos e incertezas nas operações logísticas, pois auxiliam na transmissão e processamento das informações da CS (BAG et al., 2020).

O uso de inovações digitais tem mudado drasticamente a maneira como as cadeias de suprimento operam, e podem auxiliar na redução de erros e problemas logísticos recorrentes, como níveis de inventário inadequados, ordens de entrega não cumpridas, tempo de entrega muito alto e problemas na transmissão de informações (GHIASSI; SPERA, 2003). Existem diversas soluções tecnológicas que são aplicadas na área da logística, sendo que as mais comuns são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Sistemas de informações logísticos

Sistema de Informação	Definição
<i>Sistemas de gerenciamento de armazém (WMS)</i>	Sistema empregado na automação e gerenciamento de depósitos, armazéns e linhas de produção, que proporciona o controle e monitoramento dos produtos nos estoques, desde sua entrada até a sua expedição (BOWERSOX et al., 2020).
<i>Sistemas de gerenciamento de transporte (TMS)</i>	Sistema utilizado no controle e gestão da operação do transporte e distribuição de forma integrada, apoiando o planejamento, coordenação, execução e monitoramento destas atividades (BALLOU, 2010; BOWERSOX et al., 2020).
<i>Sistema de Posicionamento Geográfico (GPS)</i>	Sistema de posicionamento global formado por vários satélites que identificam a posição de qualquer corpo sobre a superfície, e possibilita o monitoramento em tempo real das informações (MUNSAMY; TELUKDARIE; DHAMIJA, 2020).
<i>Sistemas para Planejamento de Recursos (ERP)</i>	Sistema que mantém uma base de dados unificada, para apoiar a gestão organizacional, através da integração dos processos e operações da empresa (BOWERSOX et al., 2020).
<i>Intercâmbio Eletrônico de dados (EDI)</i>	Sistemas para intercâmbio de dados por tecnologia eletrônica, que possibilita a otimização da comunicação e transmissões de dados entre parceiros da CS (BOWERSOX et al., 2020).
<i>Estoque Gerenciado pelo Fornecedor (VMI)</i>	Sistema que possibilita que os fornecedores acessem a dados relativos a vendas e movimentação do estoque, verificando a necessidade de reabastecimentos. O VMI possibilita o desenvolvimento de CS flexíveis, uma vez que o estoque de varejo seja continuamente reabastecido (BOWERSOX et al., 2020)

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os avanços tecnológicos geram novas oportunidades para estratégias e operações da CS e logística, pois a conectividade, colaboração e integração entre organizações empresariais podem impulsionar o desenvolvimento de novos processos, sistemas, estratégias e modelos de negócios (BOWERSOX et al., 2020, STRANDHAGEN et al., 2017a). Nesse ponto, as tecnologias da Indústria 4.0 podem ser ferramentas impulsionadoras de inovações na indústria e, conseqüentemente, na logística.

2.2.2 Indústria 4.0

Baseado nas tendências de digitalização dos processos das organizações e no uso de alta tecnologia, o termo Indústria 4.0 foi introduzido na Alemanha em 2011 (DRATH; HORCH, 2014). O termo que faz referência à Quarta Revolução Industrial, abrange o desenvolvimento e

integração de informações e comunicação em tempo real, a partir do uso de tecnologias inovadoras (BARRETO; AMARAL; PEREIRA, 2017).

A Indústria 4.0 diz respeito a uma ampla gama de conceitos atuais que é impulsionada pelas inovações tecnológicas e por gatilhos sociais, econômicos e políticos (LASI et al., 2014). Esses gatilhos podem se configurar como a necessidade redução do tempo para o desenvolvimento de inovações, customização da demanda, necessidade de produtos e processos flexíveis, otimização dos recursos e rápida tomada de decisão (LASI et al., 2014).

Lasi et al. (2014), Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) descrevem que o começo da Indústria 4.0 é marcado pelo surgimento da manufatura digital, também conhecida como fábricas inteligentes (*smart factory*, em inglês), que são indústrias que possuem sistemas flexíveis, que se integram verticalmente e horizontalmente, a partir do uso dos Sistemas Ciberfísicos (CPS). Os CPS são descritos como sistemas automatizados que promovem a integração, coordenação, monitoramento e controle das operações através de sistemas, computadores, sensores e atuadores (BARRETO; AMARAL; PEREIRA, 2017; LASI et al., 2014).

Os conceitos fundamentais da Indústria 4.0 incluem: a existência das fábricas inteligentes; a adoção de CPS; a descentralização e auto-organização dos sistemas de produção; a introdução de novos sistemas e processos de distribuição e aquisição de materiais; o desenvolvimento de sistemas de produção que atendem às necessidades humanas; e a adoção de práticas de responsabilidade social corporativa, a partir da implantação de processos industriais que proporcionem eficiência de recursos (LASI et al., 2014).

Hermann, Pentek e Otto (2016) apontam seis princípios observados pelas empresas que adotaram tecnologias da Indústria 4.0:

- a) *Interoperabilidade ou conectividade*: capacidade de promover a conexão, colaboração e compartilhamento de informações entre os sistemas, máquinas e pessoas.
- b) *Virtualização*: a adoção de CPS e sensores permite a compilação das informações, assim como a criação de simulações e cópias de elementos reais.
- c) *Capacidade em tempo real*: diz respeito ao acompanhamento e monitoramento em tempo real dos processos organizacionais, possibilitando a tomada de decisões de reflexo imediato.
- d) *Orientação a serviço*: pressupõe que as inovações adotadas sejam disponibilizadas em formato de serviços, melhorando o atendimento das especificações dos clientes, e facilitando a oferta de bens/serviços personalizados.

- e) *Descentralização*: devido ao compartilhamento das informações, a tomada de decisões passa a ser executada de forma não centralizada e distribuída, ampliando a capacidade de solucionar problemas rapidamente, e conseqüentemente, a flexibilidade organizacional.
- f) *Modularidade*: refere-se à adaptação ao dinamismo do mercado, de forma mais rápida e com redução de impactos para as empresas, o que possibilita a criação de novos mercados e modelos de negócios.

De modo geral, a Indústria 4.0 pode ser considerada como um termo abrangente, que revela tecnologias em rápido desenvolvimento (STRANDHAGEN et al., 2017a). As principais tecnologias que fazem parte deste conceito estão descritas no Quadro 2.

Quadro 2 - Tecnologias da Indústria 4.0

Tecnologias da Indústria 4.0	Descrição
<i>Internet das Coisas (IoT)</i>	A IoT se refere ao uso de <i>softwares</i> , sensores e dispositivos conectados em redes de computadores para permitir a troca de dados com outros dispositivos, sistemas, aplicações e usuários, em tempo real, cujo objetivo é criar uma infraestrutura de rede para facilitar o trânsito de mercadorias, serviços e informações (OPPITZ; TOMSU, 2018).
<i>Big Data Analytics (BDA)</i>	A BDA concerne à capacidade de processar e armazenar rapidamente grandes volumes de dados, de diversas fontes diferentes (5Vs- volume, variedade, veracidade, valor e velocidade), utilizando métodos de análise descritiva, preditiva e prescritiva (WANG et al., 2016).
<i>Computação em Nuvem (CC)</i>	A CC diz respeito ao fornecimento de serviços de computação sob demanda por meio da internet, e inclui o uso de servidores, dispositivos de armazenamento, bancos de dados, rede, <i>softwares</i> (LINDNER et al., 2010).
<i>Sistemas baseados em Dispositivos móveis</i>	Sistemas desenvolvidos para uso em dispositivos móveis, como <i>tablets</i> , <i>smartphones</i> , que utilizam a internet e tecnologias sem fio (<i>WIFI</i>), para gestão e monitoramento das informações (SIAU; SHEN, 2003).
<i>Blockchain</i>	A tecnologia <i>blockchain</i> é caracterizada como um banco de dados distribuído, descentralizado e de código aberto para armazenar informações sobre transações (CORRÊA; SAMPAIO; BARROS, 2020).
<i>Crowdsourcing</i>	<i>Crowdsourcing</i> diz respeito à utilização dos conhecimentos e às habilidades coletivas para fins de produção, inovação e solução de problemas, a partir do uso de inovações digitais (SAXTON; OH; KISHORE, 2013).
<i>Robótica Avançada</i>	São sistemas capazes de replicar as ações humanas, de forma autônoma e inteligente, tendo capacidade de aprender, de se comunicar, e cooperar entre si e com humanos, sendo este último nível chamado de CoBot - robôs colaborativos (KAMBLE; GUNASEKARAN; GAWANKA, 2018; BAI et al., 2020).
<i>Veículos Autônomos (AGV)</i>	Os veículos autônomos (Autonomous Guided Vehicle – AGV) também conhecidos como veículos autoguiados ou veículos guiados automaticamente são robôs móveis utilizados para transportar materiais de forma autônoma, percorrendo trechos pré-definidos (FOTTNER et al., 2021). A navegação dos AGVs é orientada pelo uso de fitas magnéticas instaladas no chão, trilhos, lasers, imãs, câmeras ou ondas de rádio (FOTTNER et al., 2021).
<i>Robôs Móveis Autônomos (AMR)</i>	Os robôs móveis autônomos (<i>Autonomous Mobile Robots</i> - AMR) são dispositivos autônomos que utilizam sensores e processadores integrados para a movimentação de materiais (ALIEV et al., 2021). Diferentemente dos AGVs, os AMRs não necessitam de guias e marcadores físico, pois este dispositivo é capaz reconhecer e desviar de objetos e pessoas devido ao uso da inteligência artificial (AI), algoritmos, redes neurais e visão

Tecnologias da Indústria 4.0	Descrição
	computacional para construção de um mapa digital baseado no ambiente físico (ALIEV et al., 2021).
<i>Realidade Aumentada (AR)</i>	É um tipo de ambiente de exibição interativo baseado em realidade que usa os recursos de exibição, som e outros efeitos gerados por computador para aprimorar a experiência do mundo real, sendo usado para guiar os trabalhadores humanos através de tarefas desconhecidas e visualizar informações diretamente no contexto espacial, apoiando o trabalhador na adaptação às mudanças (KAMBLE; GUNASEKARAN; GAWANKA, 2018; BAI et al. 2020).
<i>Dispositivos móveis</i>	São tecnologias que permitem a mobilidade e estão ligadas à internet, por meio de WIFI, tais como <i>smartphones</i> , videogames, câmeras digitais, notebooks, GPS e computadores portáteis – <i>notebooks</i> (BAI et al., 2020).
<i>Inteligência Artificial (AI)</i>	A IA imita a inteligência natural através de computadores que interpretam dados externos, aprendem com esses dados e usam esses aprendizados para conduzir análises descritivas, preditivas ou prescritivas (TANG; VEELTURF, 2019).
<i>Sistemas de simulação</i>	Simulações e prototipagem utilizam dados reais para espelhar o mundo físico em um modelo virtual, que pode incluir máquinas, produtos e humanos (KAMBLE; GUNASEKARAN; GAWANKA, 2018; BAI et al., 2020).
<i>Segurança Cibernética</i>	Refere-se a métodos preventivos usados para proteger as informações de serem roubadas, comprometidas ou atacadas (BAI et al., 2020).
<i>Impressão 3D</i>	Impressão 3D (ou manufatura aditiva), é uma tecnologia que permite a produção de materiais personalizados, a partir da criação de objetos tridimensionais (3D) (THOMAS, 2016).
<i>Identificação por Radiofrequência (RFID)</i>	RFID é uma tecnologia que utiliza a frequência de rádio para captura de dados, e permite o reconhecimento e o acompanhamento em tempo real de qualquer objeto (ALZHRANI; IRSHAD, 2022).
<i>Inteligência de Negócios (BI)</i>	A BI consiste em uma série de métodos de análise multidimensional de dados (OLSZAK; ZURADA; CETINDAMAR, 2021), por meio de relatórios, análises, processamento analítico online, mineração de dados, <i>benchmarking</i> , e análises preditivas (WANG et al., 2016).

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A Indústria 4.0 pode proporcionar uma maior integração dos recursos organizacionais, uma vez que existem três níveis de integração que são habilitados pelo uso das inovações digitais: a integração vertical (integração de diferentes sistemas de tecnologia da informação, em vários níveis, dentro de uma planta produtiva); integração horizontal (colaboração entre empresas, por meio de redes de valor) e integração de engenharia ponta a ponta (integração entre toda a cadeia de valor, *stakeholders*, produtos e máquinas) (STRANDHAGEN et al., 2017b, WANG et al., 2016).

Diante disso, nota-se que a tecnologia provocará mudanças profundas nas organizações, gerando oportunidades de desenvolver novos negócios e modelos corporativos (STRANDHAGEN et al., 2017b). Neste cenário, Strandhagen et al. (2017a) e Barreto, Amaral e Pereira (2017) ressaltam a importância da concepção de novas soluções logísticas baseadas na Indústria 4.0.

Desde 2017, a automação decorrente da implementação da Indústria 4.0, bem como suas implicações para a sociedade, têm gerado discussões sobre o papel do ser humano neste novo contexto (XU et al., 2021). Diante disso, surge o conceito de Indústria 5.0, resultante de

discussões na Comissão Europeia sobre a necessidade de uma melhor integração dos fatores econômicos e tecnológicos com os aspectos sociais e ambientais, prioridades europeias para a inovação tecnológica (XU et al., 2021).

A Indústria 5.0 propõe uma abordagem sistemática que integra seis categorias principais de tecnologias: eficiência e autonomia energética, energia renovável, interações homem-máquina individualizadas, simulação e gêmeos digitais, tecnologias inspiradas na biologia e análise de dados e inteligência artificial (BREQUE; DE NUL; PETRIDIS, 2021). A Indústria 5.0 reforça a importância da criação de valor compartilhado, ou seja, a geração de valor econômico, social e ambiental simultaneamente, beneficiando não apenas as empresas, mas também a sociedade e o meio ambiente. Esse novo conceito representa uma mudança de foco em relação ao uso das tecnologias, que agora devem ser aplicadas de forma integrada e sustentável, visando o bem-estar coletivo (XU et al., 2021).

2.2.3. Logística 4.0

A evolução tecnológica proporciona uma otimização da colaboração, integração, conectividade e compartilhamento das informações para a CS, provocando mudanças no conceito e no escopo da logística. Para Wang et al. (2016), houve três mudanças revolucionárias na logística: a Logística 1.0, a Logística 2.0 e a Logística 3.0.

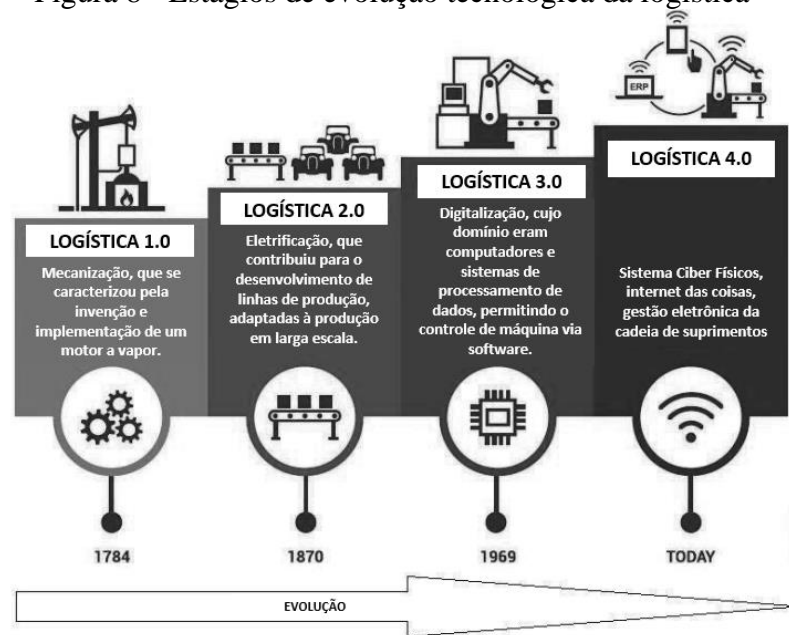
Paralela à Primeira Revolução Industrial, a Logística 1.0, ocorreu entre o final do século XIX e início do século XX, e diz respeito ao período no qual houve a introdução da mecanização a vapor em navios e trens, substituindo homens e a tração animal como meio de transporte (WANG et al., 2016). Neste período, a logística empresarial estava preocupada apenas com a distribuição física de produtos (AMR, EZZAT; KASSEM, 2019).

Na Segunda Revolução Industrial, período entre meados do início do século XX até o final da Segunda Guerra Mundial, ocorreu a descoberta da energia elétrica e a introdução da produção em massa (WANG et al., 2016). A produção em massa exigiu que os processos de logística evoluíssem, resultando na Logística 2.0, por meio da automação dos sistemas de manuseio, planejamento de recursos, gerenciamento de fornecedores, e desenvolvimento de métodos de transporte centralizados (AMR; EZZAR; KASSEM, 2019; GÖÇMEN; RIZVAN, 2018). O terceiro período de revolução na indústria foi decorrente da sistematização da gestão logística e a introdução da microinformática e das tecnologias de comunicação nos anos 1980 (WANG et al., 2016). Neste panorama, a Logística 3.0 emerge a partir do amadurecimento da integração logística, apoiada pelo uso da tecnologia, principalmente pelo uso dos *softwares* de

gestão de armazéns (*warehouse management systems* - WMS) e gestão de transporte (*transportation management systems* - TMS) (GÖÇMEN; RIZVAN, 2018; WANG et al., 2016).

A Logística 4.0 surge como consequência dos avanços recentes da tecnologia da informação e das comunicações, que estão ligados com a necessidade de maior digitalização e automação de operações de manufatura, e afetam atividades-chave de logística, como transporte, gestão de estoque, manuseio de materiais e gestão do fluxo de informações (STRANDHAGEN et al., 2017a). Barreto, Amaral e Pereira (2017) consideram que o termo Logística 4.0 refere-se à combinação de tecnologias disruptivas aplicadas nos processos logísticos. Já Timm e Lorig (2015) descreveram a Logística 4.0 como a transformação da logística orientada ao *hardware* para a logística orientada ao *software*. A Figura 8 apresenta os estágios da evolução tecnológica da logística.

Figura 8 - Estágios de evolução tecnológica da logística



Fonte: Dembińska (2018).

Alguns autores já explanaram as contribuições, os desafios e as tendências da implantação das tecnologias da Indústria 4.0 para as operações logísticas. O Quadro 3 apresenta os principais artigos citados sobre o tema na base de dados acadêmica Scopus. Como o tema encontra-se em fase inicial, a maioria dos artigos citados são trabalhos teóricos ou conceituais, que buscam explorar como ocorre o desdobramento do tema, a fim de se desenvolver uma visão mais abrangente sobre este fenômeno (EDMONDSON; MCMANUS, 2007).

Quadro 3 - Estudos mais citados na Scopus sobre Logística 4.0¹

Autor (es)	Citações Scopus	Método de Pesquisa	Objetivo
Barreto, Amaral e Pereira (2017)	356	Teórico/ Conceitual	Analisar os requisitos para adoção da Logística 4.0 para as organizações, e suas principais aplicações nas tarefas logísticas.
Winkelhaus e Grosse (2020)	259	Revisão de Literatura	Revisão da literatura de Logística 4,0, que busca analisar as características que englobam esse conceito, quais as aplicações e benefícios já estudados na literatura, e quais são as potenciais aplicações e tendências que poderão ser estudadas no futuro.
Esmaelian et al. (2020)	191	Revisão de Literatura	Fornecer uma visão geral do impacto da Indústria 4.0, mais especificamente da tecnologia <i>Blockchain</i> , para o avanço das CS na questão de sustentabilidade
Ranieri et al. (2018)	178	Revisão de Literatura	Revisão de literatura sobre as principais inovações tecnológicas que estão sendo aplicadas à logística com foco na redução de custos e de externalidades.
Lee et al. (2018)	176	Simulação/ Modelagem	Propor um sistema de gerenciamento de armazém, baseado na IoT, a partir de uma abordagem analítica de dados avançada, usando técnicas de inteligência computacional.
Qiu et al. (2020)	162	Teórico/ Conceitual	Descrever o progresso da pesquisa e as aplicações de <i>edge computing</i> (computação de borda) e IoT, nas áreas da saúde, redes inteligentes, manufatura, veículos inteligentes e <i>logística inteligente</i> .
Lom, Pribyl e Svitek (2016)	158	Teórico/ Conceitual	Propor uma união dos conceitos de Indústria 4.0 e da <i>smart city</i> (cidades inteligentes), ancorados nos conceitos de <i>Smart People, Smart Economy, Smart Living, Smart Governance, Smart Mobility e Smart Environment</i>
Bag et al. (2018)	144	Revisão de Literatura	Identificar os fatores que facilitam a adoção da Indústria 4.0, e que desempenham um papel importante na sustentabilidade da cadeia de suprimentos.
Strandhagen et al. (2017a)	143	Teórico/ Conceitual	Analisar quais são os desafios em relação à sustentabilidade nas operações logísticas, os impactos da Logística 4.0 nesse contexto, e mapear quais modelos de negócios podem surgir dessa relação.
Prause (2015)	106	Teórico/ Conceitual	Analisar como novos modelos de negócio, estruturas e processos sustentáveis podem despontar a partir do uso da indústria 4.0.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Como um termo de guarda-chuva, que engloba diferentes tecnologias, a Logística 4.0 se mostra como um elemento potencial na CS, visto que ela pode mitigar problemas associado ao transporte, ao gerenciamento de inventário, ao manuseio de mercadorias, a troca de informações, principalmente em uma conjuntura de ampliação da terceirização dessas atividades (STRANDHAGEN et al.,2017a).

A gestão do armazém e a intralogística envolve um grande número de atividades destinadas a satisfazer as exigências das partes interessadas e que são diretamente impactadas pelo uso das tecnologias de Logística 4.0 (BUNTAK; KOVAČIĆ; MUTAVDŽIJA, 2019). Nesse cenário, a Logística 4.0 amplia as oportunidades para o desenvolvimento de soluções de armazenamento inteligentes (*smart warehouse* ou armazém 4.0) e sustentáveis (TRAB et al.

¹ Pesquisa realizada no janeiro de janeiro de 2023, na base de dados Scopus, utilizando os termos “*smart logistics*” ou “*logistics 4.0*” nos títulos, palavras-chave ou resumo dos estudos.

2017). A Tabela 1 apresenta um resumo sobre como as tecnologias de Logística 4.0 podem ser aplicadas nas atividades de intralogística, bem como os benefícios oriundos dessas aplicações.

Tabela 1 - Aplicações e principais benefícios das tecnologias de Logística 4.0 nas atividades de intralogística²

		Ferramentas da Logística 4.0											
		IoT	RFID e Sensores	BDA	CC	Dispositivos móveis	Blockchain	Robótica Avançada	AR	BI	AI	Sistemas de simulação	Drones
Autores	Corrêa, Sampaio e Barros (2020) ¹	SIM	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM	N/A	N/A	SIM	N/A	N/A	N/A
	Buntak, Kovačić e Mutavdžija (2019) ²	SIM	SIM	N/A	N/A	SIM	N/A	SIM	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Lee et al (2018) ³	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Munsamy, Telukdarie e Dhamija (2020) ⁴	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM	SIM	N/A	N/A	SIM	N/A
	Winkelhaus e Grosse (2020) ⁵	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	N/A	N/A	SIM	SIM
	Ghadge et al. (2020) ⁶	SIM	SIM	N/A	N/A	N/A	N/A	SIM	NÃO	SIM	SIM	N/A	SIM
Aplicações da Logística 4.0 nas atividades de intralogística	Rastreamento de matérias primas, produtos acabados e semiacabado	2;3;4;5	1;2;3;5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Gerenciamento do inventário	2;3;5	1;2;3;5	5	5	4	N/A	N/A	N/A	N/A	6	N/A	5
	Gestão dos equipamentos e da frota	2;4;5	4;5	5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Controle de parâmetros que afetam a integridade dos materiais	2;5	1;2	N/A	N/A	N/A	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Previsão do estoque	2	1;2	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Controle dos níveis de estoque	2;5	1;2;5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Conexão entre os diferentes equipamentos	1;2;3;5	2;3;5	N/A	N/A	3;5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Programação e gestão de tarefas	1;5	N/A	5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Conferência e inspeção de mercadorias	4	5	N/A	4	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Envio das informações de posição e movimentação	1;2;3;5	1;2;3;5	5	5	3;5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Identificação dos produtos	1;2;3;5	1;2;3;5	N/A	N/A	3	N/A	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Monitoramento das atividades em tempo real	3;5	1;2;3	N/A	5	3;5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Realização de treinamentos e simulações	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5	N/A	N/A	5;6	N/A	
Movimentação de materiais	5	4;5	N/A	5	3	N/A	2;4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Benefícios para a Sustentabilidade	Redução de custos	2;3	2;3	N/A	1	3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Ampliação da segurança	2;3;5	2;3;5	5	N/A	N/A	1	2;5;6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Redução do lead time dos processos	1;3;4	1;3;4	1	N/A	3;4	1	4	N/A	N/A	N/A	N/A	5
	Aumento da flexibilidade	3	3	5;6	1;4;5	3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Ampliação da vantagem competitiva	2	2	5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Redução do número de erros	3;4;5	3;4;5	3	3	4;5	1	4	5	N/A	N/A	6	5
	Redução do volume de estoques	5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Apoio à tomada de decisões	3;4	3;4	4;5;6	4;5	5	N/A	N/A	6	6	2	N/A	N/A
Prevenção de perda e avarias dos estoques	2;3	2;3	N/A	3	N/A	N/A	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	

² A numeração que correlaciona as aplicações da Logística 4.0 as atividades de intralogística e aos benefícios sustentáveis corresponde à: 1- Corrêa, Sampaio e Barros (2020) | 2 -Buntak, Kovačić e Mutavdžija (2019) | 3-Lee et al (2018) | 4- Munsamy, Telukdarie e Dhamija (2020) | 5-Winkelhaus e Grosse (2020) | 6-Ghadge et al. (2020) | N/A – Não aplicável: Tecnologia ou benefício sustentável não citado pelos autores analisados.

	Ferramentas da Logística 4.0											
	IoT	RFID e Sensores	BDA	CC	Dispositivos móveis	Blockchain	Robótica Avançada	AR	BI	AI	Sistemas de simulação	Drones
Aumento da eficiência e produtividade	2;3	2;3	6	1;5	3	N/A	5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Aumento da visibilidade e rastreabilidade	1;2;5;6	1;2;6	N/A	5	N/A	N/A	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Melhora do nível de serviço	4	4	4	1;4;5	5	N/A		N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Melhora da previsão de demanda	2	2	1;2;7	1	N/A	N/A	2	N/A	N/A	2	N/A	N/A
Redução da fadiga, esforço físico e/ou deslocamento dos funcionários	N/A	4	N/A	N/A	4	N/A	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Melhora do fluxo de produtos e pessoas	4	4	N/A	4	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Redução da emissão de gases do efeito estufa (GEE)	4	4	N/A	4	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Redução do consumo de energia.	2;4	2;4	N/A	4	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Melhora dos relacionamentos e comunicação da CS	2	2	N/A	6	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A utilização de tecnologias como a IoT e a CC, em conjunto com o WMS e o RFID, é capaz de conectar paletes, coletores RFID, dispositivos móveis, empilhadeiras e robôs, além de controlar e rastrear os materiais e equipamentos do armazém, em tempo real, ampliando a segurança, e melhorando a precisão e agilidade das empresas (BUNTAK; KOVAČIĆ; MUTAVDŽIJA, 2019).

Além disso, a adoção de IoT, *blockchain*, AI e BDA proporciona a construção de um sistema de armazenagem inteligente e produtivo, uma vez que garante que os produtos estão sendo armazenados nos locais mais próximos dos pontos de consumo, fazendo com que os funcionários se desloquem menos no armazém, mitigando a fadiga na realização das tarefas (CORRÊA; SAMPAIO; BARROS, 2020).

Outros exemplos da adoção das ferramentas da Logística 4.0 nas atividades de intralogística são: o uso de drones na realização de inventários cíclicos (FERNÁNDEZ-CARAMÉS et al., 2019); a adoção de robôs como AMR e AGV na movimentação de materiais no armazém (JAGTAP et al., 2020); o uso de BDA e BI para apoiar a previsão de demanda e monitorar as sazonalidades dos pedidos e estoques (BUNTAK; KOVAČIĆ; MUTAVDŽIJA, 2019); a utilização de AR e sistemas de simulação para realização de treinamentos (LIU; ZHANG; WANG, 2018); e a adoção de IoT, sensores e RFID para acompanhar e controlar parâmetros que afetam a integridade dos produtos e mercadorias (WINKELHAUS; GROSSE, 2020).

No que se refere à gestão do transporte e distribuição dos produtos, as tecnologias da Logística 4.0 podem minimizar e eliminar problemas inerentes às tendências do segmento,

como o aumento das frotas de veículos, da complexidade das redes de transporte, do *e-commerce* e da variedade nas exigências de entrega (LEE; KANG; PRABHU, 2016). O transporte inteligente (*smart Transportation*, em inglês) ou transporte 4.0 é marcado pela utilização de tecnologias que proporcionam a digitalização e automação das atividades de transporte e distribuição ao mesmo tempo em busca reduzir os impactos negativos causados ao meio ambiente (GAŚIOREK, 2022). As tecnologias da Logística 4.0 pode proporcionar vários benefícios para o transporte de cargas, conforme apresentado no Tabela 2.

Por exemplo, a gestão da frota e o planejamento e monitoramento das entregas, pode ser otimizado pelo uso da AI, uma vez que esta tecnologia consegue gerar melhores rotas a partir dos dados disponíveis em um BDA (GAŚIOREK, 2022). Com o uso da IoT e da telemetria veicular é possível existir uma gestão da frota em tempo real, no qual são acompanhados diversos dados do veículo (localização do veículo, consumo de combustível, problemas de manutenção, etc.) e do comportamento do motorista (velocidade, aceleração, freadas, etc.) (HEINBACH; KAMMLER; THOMAS, 2022).

Além disso, as ferramentas de Logísticas 4.0 também podem ser aplicadas no transporte e distribuição de cargas através do uso de veículos autônomos equipados com AI, que permitem que eles se comunicam entre si (WINKELHAUS; GROSSE, 2020); o uso de drones para entregas de curta distância (WINKELHAUS; GROSSE, 2020); a adoção do RFID e IoT embarcada nos pneus, para acompanhar os seus parâmetros em tempo real (DONNY et al., 2019); o uso de veículos elétricos, híbridos e com combustíveis alternativos (WINKELHAUS; GROSSE, 2020); e o uso BDA, sensores e RFID para monitorar o abastecimento e consumo de combustível (FARZANA et al., 2020).

Além das atividades de intralogística, transporte e distribuição de materiais, o uso das tecnologias impacta diretamente o nível de serviço das organizações, ajudando a garantir o atendimento da demanda. Por exemplo, o BDA mapeia padrões de consumo, a CC armazena dados relativos as operações logísticas, a IoT reconhece insumos e produtos, o *blockchain* assegura a validade das transações comerciais e o *crowdsourcing* reduz o tempo de entrega dos produtos, a partir do compartilhamento de ativos rodoviários (CORRÊA; SAMPAIO; BARROS, 2020).

Tabela 2 - Aplicações e principais benefícios das tecnologias de Logística 4.0 nas atividades de transporte³

		Ferramentas da Logística 4.0											
		IoT	RFID e Sensores	BDA e BI	CC	Dispositivos móveis	Blockchain	Crowdsourcing	Robótica Avançada	AR/	AI	Sistemas de simulação	Drones e Veículos Autônomos
Autores	Corrêa, Sampaio e Barros (2020) ¹	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
	Gąsiorek (2022) ²	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	SIM	NÃO
	Heinbach, Kammler e Thomas (2022) ³	SIM	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO	NÃO
	Jagtap et al. (2020) ⁴	SIM	NÃO	SIM	SIM	NÃO	SIM	NÃO	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
	Winkelhaus e Grosse (2020) ⁵	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	NÃO	NÃO	NÃO	SIM	SIM
Aplicações da Logística 4.0 no transporte	Gestão das entregas	2;3;4	2;3;5	3;5	3	3	4	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A
	Gestão da frota	2;3;4	2;3;4;5	3;2	2;3	3;2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2	N/A
	Controle da integridade dos produtos	2;3;4	3;4	2	2;3	3	N/A	N/A	N/A	4	N/A	N/A	N/A
	Medição do desempenho do condutor	N/A	N/A	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Acompanhamento da disponibilidade e utilização dos pontos de entrega	N/A	5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Conectividade dos dispositivos e equipamentos	1;2;3;5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Manuseio de materiais	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A	N/A	N/A	N/A
	Realização do transporte de materiais	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1/5	4;5	N/A	N/A	N/A	4;5
	Treinamento e reciclagem dos funcionários	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4	2	4	N/A
	Monitoramento e rastreamento dos veículos	1;2;3	3;5	1;3;5	N/A	3	1;4	1	N/A	N/A	N/A	2	N/A
	Planejamento e otimização das rotas	4	N/A	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2	2;4	N/A
Comunicação com os clientes e parceiros logísticos	N/A	N/A	4	2;3;4	2;4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Seleção de veículos para as entregas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	N/A	N/A	2	4	N/A	
Benefícios para a Sustentabilidade	Redução de custos	4	N/A	N/A	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4	2	N/A
	Ampliação da visibilidade e rastreabilidade	1;2;3;4;5	2;3	N/A	N/A	2;3	4	N/A	4	N/A	N/A	N/A	N/A
	Ampliação da segurança	3;4	3	5;3	N/A	N/A	4	N/A	4	4	N/A	4	N/A
	Redução do lead time dos processos	1;3	3	1	3	3	N/A	1	4	4	N/A	N/A	4;5
	Redução de perdas, desperdícios e erros	3;4	3	3	N/A	2;3	4	N/A	N/A	4	4	2	N/A
	Aumento da flexibilidade	N/A	N/A	4	2;3;4	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A	N/A	N/A
	Previsão de demandas e de riscos nas entregas	N/A	5	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A	N/A
	Apoio a tomada de decisões	1;3;4	3	3;4;7	3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4	2	N/A
	Melhora do nível de serviços	4	N/A	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Aumento da eficiência e produtividade	4	2	2;4	N/A	N/A	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4;5
	Redução das entregas não realizadas	2	2	4	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2	4;5

³ A numeração que correlaciona as aplicações da Logística 4.0 as atividades de transporte e aos benefícios sustentáveis corresponde à: 1-Corrêa, Sampaio e Barros (2020) | 2- Gąsiorek (2022) | 3- Heinbach, Kammler e Thomas (2022) | 4- Jagtap et al. (2020) | 5-Winkelhaus e Grosse (2020) | N/A – Não aplicável: Tecnologia ou benefício sustentável não citado pelos autores analisados.

	Ferramentas da Logística 4.0											
	IoT	RFID e Sensores	BDA e BI	CC	Dispositivos móveis	Blockchain	Crowdsourcing	Robótica Avançada	AR/	AI	Sistemas de simulação	Drones e Veículos Autônomos
Redução do deslocamento dos veículos	3	3	3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2	N/A	N/A
Desenvolvimento de habilidades	N/A	N/A	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A	N/A	N/A
Aumento da eficiência, visibilidade e integração entre os membros da CS	N/A	N/A	4	4	N/A	4	N/A	N/A	N/A	4	N/A	N/A
Redução da fadiga, esforço físico e/ou deslocamento dos funcionários	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5	N/A	N/A	N/A	N/A
Mitigação ou eliminação de tarefas repetitivas ou perigosas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5	N/A	N/A	N/A	N/A
Redução do consumo de energia.	4	N/A	N/A	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4	4	N/A
Redução da poluição atmosférica	4	N/A	N/A	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4	N/A
Redução do consumo de combustível	4	N/A	N/A	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Outro ponto relevante é que a aplicação de BI e BDA pode gerar resultados positivos para a o sistema de tomada de decisão empresa, fortalecer a gestão corporativa e ampliar o valor do negócio, uma vez que fornecem informações valiosas que podem resultar em ideias inovadoras para novos produtos e serviços, melhorando o gerenciamento das atividades de armazenagem e transportes e aumentando o nível de serviço e a satisfação do cliente (JIN; KIN, 2018).

A Logística 4.0 pode trazer diversos benefícios, porém existem algumas barreiras para a sua implementação. A falta de uma estratégia digital clara nos processos de criação de valor (produção e logística), a falta de apoio da liderança, o alto investimento inicial, as incertezas sobre custos e retorno financeiro, a complexidade organizacional e interorganizacional, a complexidade das redes logísticas, a disponibilidade de tecnologia, o grau de digitalização das organizações e de seus parceiros logísticos, as habilidades e conhecimento dos funcionários, e a infraestrutura educacional das organizações, são algumas barreiras já identificadas na literatura (NAGY et al., 2018; HOFMANN; RÜSCH, 2017; STRANDHAGEN et al., 2017a).

Por fim, vale ressaltar que as questões ambientais e sociais afetam diretamente a Logística 4.0, uma vez que as mudanças das necessidades ou requisitos de sustentabilidade podem motivar o desenvolvimento de novas soluções logísticas (STRANDHAGEN et al., 2017a). A pressão para que a indústria se adeque as práticas de Sustentabilidade Corporativa; a criação de novos requisitos relacionados à logística dos clientes finais; novas diretrizes e acordos governamentais; e a competitividade podem impulsionar o desenvolvimento de novas

tecnologias ou modelos de negócios (STRANDHAGEN et al., 2017a). Logo, as novas tendências em Logística 4.0 e a Sustentabilidade Corporativa afetam um ao outro, provocando mudanças constantes nessa relação.

2.3 Sustentabilidade corporativa

2.3.1 Conceito e evolução histórica

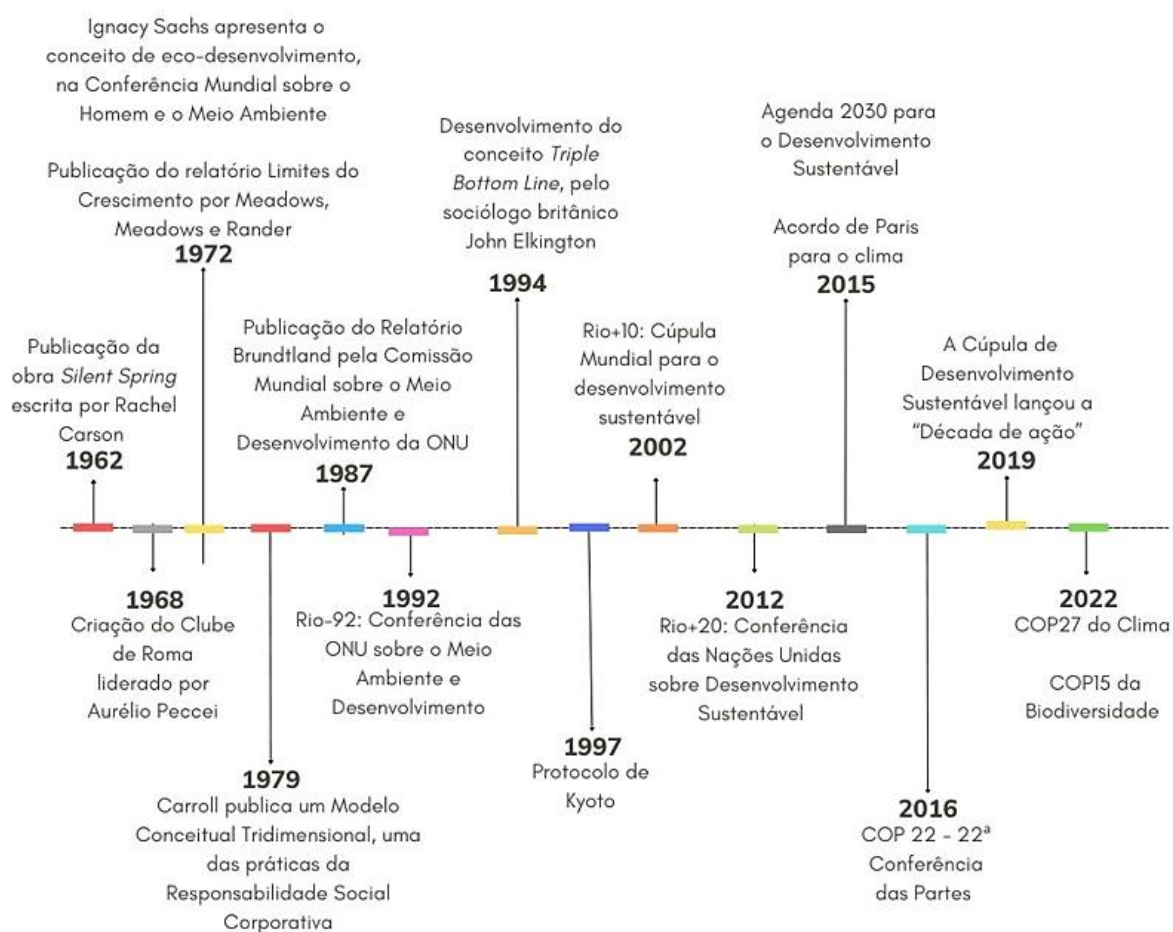
O debate sobre consumo racional de recursos e compensação da poluição gerada por emissões de gases poluentes e geração de resíduos, desencadeou discussões acerca do desenvolvimento sustentável e, conseqüentemente, como este poderia ser aplicado no contexto das organizações (DYLLICK; HOCKERTS, 2002, ELKIGHNTON, 1998a). Segundo o documento intitulado *Our Common Future*, também conhecido como Relatório *Brundtland*, o conceito de desenvolvimento sustentável diz respeito a “aquele que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades” (CMMAD, 1991, p. 46).

Apesar desta definição ser amplamente aceita no ambiente acadêmico e empresarial, os termos “Desenvolvimento Sustentável” e “Sustentabilidade” muitas vezes são utilizados como sinônimos, e podem causar confusão. Para Amador e Oliveira (2013), o termo Desenvolvimento Sustentável é um processo dinâmico de transformação que promove o crescimento econômico, em conjunto com o desenvolvimento humano e manutenção da qualidade ambiental, enquanto a “Sustentabilidade” corresponde a um objetivo do Desenvolvimento Sustentável. Já Barton e Gutiérrez-Antinopai (2020) afirmam que os conceitos de sustentabilidade e desenvolvimento sustentável podem ser entendidos com base em diferentes ângulos e abordagens, uma vez que muitos autores e organizações exploram esses conceitos, com base em suas disciplinas e teorias, como a ecologia, a ecologia industrial e a economia ecológica.

O pensamento das organizações quanto à questão sustentável passou por diversas transformações, e várias teorias foram propostas a fim de explorar as complexas interrelações entre sustentabilidade e empresas. O livro *Responsibilities of the Businessman*, escrito por Howard Bowen em 1953, foi um dos primeiros marcos na exploração dos efeitos das atividades organizacionais para a sociedade. A obra de Bowen, fomentou o debate sobre como as atribuições dos empresários poderiam ser expandidas para além das fronteiras organizacionais (CHANG et al., 2017).

As preocupações das consequências das atividades humanas para o ambiente despontaram a partir da década de 60 e 70, gerando discussões quanto à necessidade de uma transformação no modelo de desenvolvimento das sociedades modernas. Neste contexto, foram realizadas conferências e fóruns mundiais para desenvolver iniciativas e planos para mitigação da degradação climática e ambiental (SVARTZMAN et al., 2021). As reuniões e convenções anuais, como as Conferências das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano e as Conferências das Partes (COPs), são eventos internacionais que reúnem os principais líderes mundiais, no qual diversas negociações culminaram em decisões multilaterais e estabeleceram políticas globais em torno das questões relativas às mudanças climáticas, promoção do desenvolvimento sustentável, erradicação da pobreza, promoção da paz e prosperidade (CHANG et al., 2017; SVARTZMAN et al., 2021). A Figura 9 apresenta um resumo dos principais eventos ambientais globais realizados para discutir essas questões.

Figura 9 - Linha do tempo dos principais eventos sobre questões climáticas, sustentabilidade e desenvolvimento sustentável



Fonte: Adaptado de Dias (2011), Meadows, Randers e Meadows (2013), Faustino e Amador (2016), Chang et al., (2017), ONU (2016), PNUMA (2020), PNUMA (2022) e UNFCCC (2023).

- 1962: Publicação da obra *Silent Spring* escrita por Rachel Carson, que explora os efeitos do uso do pesticida diclorodifeniltricloroetano para as pessoas e meio ambiente (SVARTZMAN et al., 2021).
- 1968: Criação do Clube de Roma, uma Organização informal liderada pelo economista italiano Aurélio Peccei, com o propósito de compreender os componentes variados e independentes que formavam o sistema global, e como esses se relacionavam com a expansão urbana, a deterioração econômica e os danos ambientais (MEADOWS; RANDERS; MEADOWS, 2013).
- 1972: Ignacy Sachs apresenta o conceito de eco-desenvolvimento, na Conferência Mundial sobre o Homem e o Meio Ambiente, realizada em Estocolmo (FAUSTINO; AMADOR, 2016).
- 1982: Publicação do relatório *Limites do Crescimento* por Meadows, Meadows e Randers, que utilizava simulação computacional para investigar as consequências da ação do homem para o planeta, considerando o crescimento mundial, a industrialização, a poluição, a produção de alimentos e o esgotamento de recurso (MEADOWS; RANDERS; MEADOWS, 2013).
- 1979: Carroll publica um Modelo Conceitual Tridimensional, uma das práticas da Responsabilidade Social Corporativa, que subdivide a responsabilidade das organizações em quatro categorias: econômica (ser lucrativa); legal (obedecer à legislação, regras e regimentos); ética (fazer o que é certo e evitar causar danos); e discricionária (filantropia) (CARROLL, 1979).
- 1987: Publicação do Relatório *Brundtland*, pela Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento da ONU. Este documento apresentava a definição “Desenvolvimento Sustentável” e explanava a incompatibilidade entre os padrões de manufatura, consumo e o desenvolvimento sustentável, além de apresentar um modelo para crescimento em consonância com a preservação ambiental (CMMAD, 1991).
- 1992: Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, fórum mundial realizado no Rio de Janeiro (Rio-92) que aprofundou o debate sobre o modelo sustentável (FAUSTINO; AMADOR, 2016).

- 1994: Definição do conceito *Triple Bottom Line*, criado pelo sociólogo britânico John Elkington, que consiste em um modelo de geração de valor que considera as dimensões econômico-financeira, ambiental e social (ELKINGTON, 1998a).
- 1997: Estabelecimento do Protocolo de Kyoto, que é um acordo mundial entre 38 países, para combate ao aquecimento global e mudanças climáticas (FAUSTINO; AMADOR, 2016).
- 2002: Cúpula Mundial para o desenvolvimento sustentável (Rio +10). Análise sobre as metas estabelecidas em 1992 e reiteração do compromisso ambiental (FAUSTINO; AMADOR, 2016).
- 2012: Realização da Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio+20), que contribuiu no estabelecimento da agenda do desenvolvimento sustentável para as próximas décadas (PNUMA, 2020).
- 2015: 193 países de Estados-membros da ONU se reuniram em Nova York e aderiram ao documento “Transformando o Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável” (PNUMA, 2020).
- 2015: 21ª Conferência das Partes (COP-21), em Paris (França). A Agenda 2030 é complementada pelo Acordo de Paris para o clima, que tem como ponto principal manter a elevação da temperatura média global abaixo dos 2°C (PNUMA, 2020).
- 2016: 22ª Conferência das Partes (COP-22), em Marrakech (Marrocos). Divulgação de projetos que visavam manter a elevação da temperatura média global abaixo dos 1°C e o uso de 100% de energias renováveis até o período de 2030 a 2050 (PNUMA, 2020).
- 2019: A Cúpula de Desenvolvimento Sustentável lançou a “Década de ação” a fim de acelerar o alcance dos ODS no mundo, a partir do estabelecimento de planos de ação concretos (UNFCCC, 2023).
- 2022: 27ª Conferência das Partes (COP-27), em Sharm El-Sheikh, no Egito. Renovação e análise do cumprimento dos compromissos fixados anteriormente, e criação de um fundo para países vulneráveis atingidos por desastres climático do (*Loss and Damage Fund*) (UNFCCC, 2023).
- 2022: 15ª Conferência das Nações Unidas sobre Biodiversidade (COP15), em Montreal, no Canadá. Estabelecimento do acordo “Kunming-Montreal” que visa proteger 30% das áreas terrestres e das águas continentais, costeiras e marinhas até 2030 e

desbloquear US\$ 30 bilhões de ajuda anual para a conservação da biodiversidade de países em desenvolvimento (PNUMA, 2022).

Um dos grandes marcos que influenciou a percepção sobre a responsabilidade das empresas privadas perante o desenvolvimento sustentável da sociedade, aconteceu em 2015 com a definição da Agenda 2030 (TSALIS et al., 2020). A agenda 2030 é um plano de ação que contempla 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (*Sustainable Development Goals* – SDG, em inglês) e 169 metas que abrangem as dimensões ambiental, social e econômica do desenvolvimento sustentável de forma integrada e interdependente, que visam acabar com a pobreza extrema, combater a desigualdade e a injustiça e conter as mudanças climáticas (ONU, 2016), conforme Figura 10.

Figura 10 - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável



Fonte: ONU (2016)

- ODS 1. Erradicação da pobreza - Acabar com a pobreza em todas as suas formas, em todos os lugares.
- ODS 2. Erradicação da fome - Acabar com a fome e a inanição, alcançar a segurança alimentar, melhorar a nutrição e promover a agricultura sustentável.
- ODS 3. Saúde e Bem-Estar - Assegurar uma vida saudável e promover o bem-estar para todos, em todas as idades.
- ODS 4. Educação de qualidade - Assegurar a educação inclusiva e equitativa de qualidade, e promover oportunidades de aprendizagem ao longo da vida para todos.

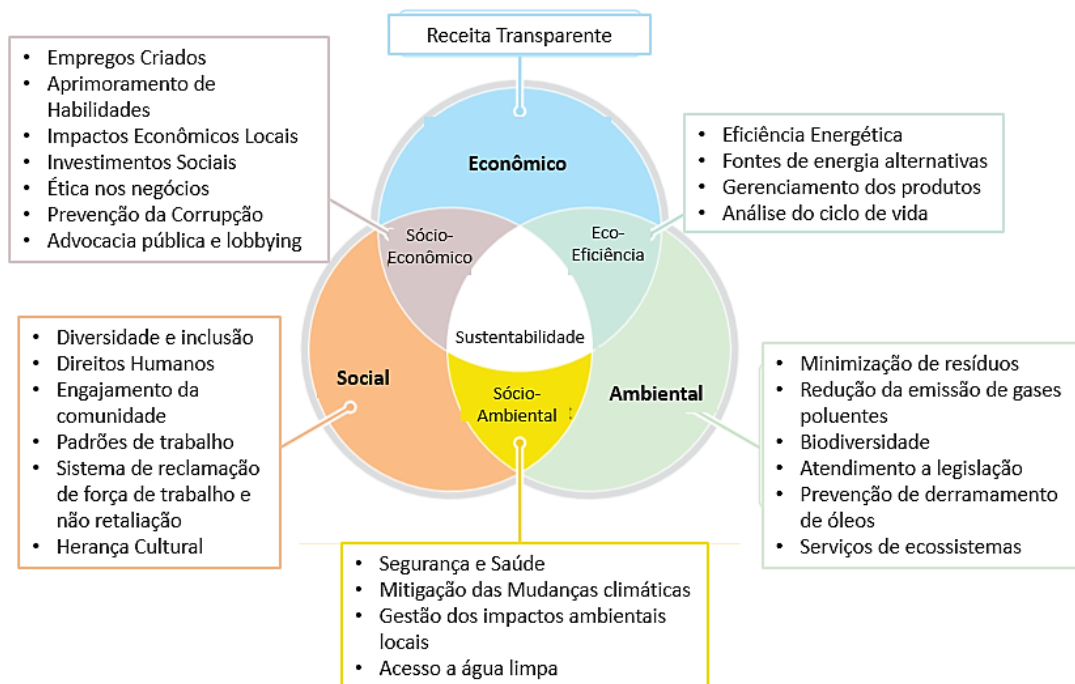
- ODS 5. Igualdade de gênero - Alcançar a igualdade de gênero e empoderar todas as mulheres e meninas.
- ODS 6. Água Potável e Saneamento - Assegurar a disponibilidade e a gestão sustentável da água e saneamento para todos.
- ODS 7. Energia acessível e limpa - Assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos.
- ODS 8. Trabalho decente e crescimento econômico - Promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, o emprego pleno e produtivo e o trabalho decente para todos.
- ODS 9. Inovação e infraestrutura - Construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação.
- ODS 10. Redução das desigualdades - Reduzir a desigualdade dentro dos países e entre eles.
- ODS 11. Cidades e comunidades sustentáveis - Tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis.
- ODS 12. Consumo e produção responsáveis - Assegurar padrões de produção e de consumo sustentáveis.
- ODS 13. Ação contra a Mudança Global do Clima - Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos.
- ODS 14. Vida na Água - Conservar e promover o uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.
- ODS 15. Vida Terrestre - Proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e deter a perda.
- ODS 16. Paz, Justiça e Instituições Eficazes - Promover sociedades pacíficas e inclusivas para o desenvolvimento sustentável, proporcionar o acesso à justiça para todos e construir instituições eficazes, responsáveis e inclusivas em todos os níveis.
- ODS 17. Parcerias e Meios de Implementação - Fortalecer os meios de implementação e revitalizar a parceria global para o desenvolvimento sustentável.

Segundo Chang et al. (2017), três aspectos são fundamentais para a sustentabilidade: a erradicação da pobreza, modificação nos padrões insustentáveis de produção e consumo e a proteção do meio ambiente. Para que se alcance os ODS, a participação das empresas é fundamental, e nesta esfera surge o conceito de Sustentabilidade Corporativa (SC).

Para Dyllick e Hockerts (2002) e Veleva e Ellenbecker (2001), a SC pode ser definida como a obtenção da prosperidade econômica através do desenvolvimento de produtos e serviços lucrativos, sem que estes gerem impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade. Van Marrewijk (2003) considera que a SC diz respeito à integração e incorporação da responsabilidade econômica, ambiental e social na organização, uma vez que estas possuem uma responsabilidade universal de garantia da vida humana. A SC diz respeito a um processo corporativo e requer uma visão de longo prazo, sendo necessário sua incorporação na estratégica, na cultura e nos valores da organização (DERQUI, 2020).

Existem diversas definições e correntes de pensamento quanto às perspectivas da Sustentabilidade Corporativa, contudo a maioria delas estão ancoradas no chamado *triple bottom line* (Figura 11), cujos pilares correspondem as dimensões econômico-financeira, ambiental e social (ELKINGTON, 1998a).

Figura 11 - *Triple Bottom Line* (TBL)



Fonte: IPIECA (2015).

A dimensão social inclui a preocupação com os impactos das atividades produtivas para as pessoas de dentro e de fora das organizações, tais como aspectos como a satisfação no trabalho, saúde, segurança, qualidade de vida, integração social nas comunidades, solidariedade, equidade, comportamento ético, justiça na distribuição de bens e serviços, e igualdade de oportunidades na educação (ELKINGTON, 1998a; SINGH; CHAKRABORTY; ROY, 2016; BAUMGARTNER; EBNER, 2010). Essa dimensão contempla ações que buscam

melhorar a vida dos empregados das empresas, dos *stakeholders* externos, tais como os clientes e a comunidade em que estas estão inseridas (SINGH; CHAKRABORTY; ROY, 2016).

Bansal (2005) define a dimensão econômico-financeira como a prosperidade econômica atingida por meio da criação de valor, através da produção de bens e fornecimento de serviços. Segundo Dyllick e Hockerts (2002), uma empresa é economicamente sustentável, quando esta garante em qualquer período, fluxo de caixa suficiente para assegurar uma liquidez necessária, enquanto participa de um processo de produção, que proporciona uma taxa de retorno diferenciada aos investidores da empresa.

A dimensão ambiental se refere ao consumo racional de recursos e pela redução e compensação da poluição gerada por emissões de efluentes e geração de resíduos (ELKINGTON, 1998b). Para isso, as empresas têm buscado desenvolver e implementar práticas sustentáveis e políticas que possam melhorar o desempenho ambiental de suas atividades, como por exemplo a implementação da certificação ISO14001; de programas de formação ambiental para funcionários e gestores; de projetos de eficiência, reutilização, reciclagem de produtos; da aquisição de tecnologias ambientais; do controle e redução das emissões gases poluentes, e da produção de resíduos (SELES et al., 2019).

Para Elkington (2018), o termo *triple bottom line* foi desenvolvido com o propósito de estimular as empresas a mapear e gerenciar o valor econômico, social e ambiental e, dessa forma, contribuir no desenvolvimento de uma conscientização mais profunda sobre as relação e impactos do capitalismo para o futuro da sociedade, mas muitas empresas que aderiram os conceitos de SC entenderam somente como forma de buscar ações para equilibrar esse tripé. Adicionalmente, o autor reforça que a dimensão econômica do tripé precisa contemplar toda a estrutura de governança da empresa (ELKINGTON, 2020).

Outro conceito relevante para o campo de SC é o termo ESG, que remete à sigla de “*environmental, social, and governance*”, que foi abordado inicialmente em 2004 pelas Nações Unidas no relatório “*Who Cares Wins*” (SENADHEERA et al., 2022). Esse termo tem ganhado grande destaque no âmbito mundial, principalmente para as empresas avaliadas pelo mercado financeiro (SENADHEERA et al., 2022), e muitas vezes é empregado como um sinônimo da SC. Contudo, o termo ESG diz respeito à mensuração do desempenho das empresas quanto às suas práticas ambientais, sociais e de governança, sendo um conceito mais específico, que agrupa critérios para que as organizações alcancem esses pilares, enquanto o conceito de SC é mais abrangente, e envolve a visão estratégica da empresa quanto ao seu modelo de negócios, buscando contribuir positivamente para a sociedade e para o meio ambiente (SENADHEERA et al., 2022; SILVA, 2022).

O desenvolvimento da SC pode ser considerado uma capacidade transversal para organizações, uma vez que exige que toda a empresa mude a forma de pensar (STRANDHAGEN et al., 2017a). Para que uma estratégia de sustentabilidade seja bem-sucedida, ela precisa ser incorporada e integrada tanto no modelo de negócios, quanto no desenvolvimento de ações, internas e externas as organizações, buscando a integração com os parceiros das CS (VIVALDINI, 2012, STRANDHAGEN et al., 2017a).

O mercado financeiro, acionistas, funcionários, clientes, seguidores da marca, fornecedores, parceiros logísticos, comunidade e os governos, estão mais atentos aos impactos negativos e positivos que as organizações têm gerado para a sociedade e para o meio ambiente (NYBERG, 2021), exigindo que as empresas assumam compromissos com o desenvolvimento sustentável e adotem indicadores para mensurar a eficiência de suas práticas sustentáveis (PEDOL; BIFFI; MELZI, 2021). Nesta esfera, as organizações internacionais, como a *Global Reporting Initiative* (GRI), Pacto Global da ONU e o *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD), destacam-se como grandes aliadas das empresas e governos que desejam incorporar os ODS em sua gestão estratégica, bem como comunicar e divulgar as contribuições de suas ações e negócios através dos relatórios de sustentabilidade (TSALIS, et al., 2020).

Por fim, com a pandemia do coronavírus (COVID-19) em 2020, o tema de SC e ESG ganharam destaque no mundo corporativo, uma vez que ocorreram rupturas no fornecimento de bens e serviços (IVANOV, 2020), resultando em um colapso do mercado, que foi materializado por um desequilíbrio entre os sistemas econômicos, sociais e ambientais (SILVA, 2022). Isso tem impulsionado as empresas a desenvolverem estratégias (a nível organizacional, tecnológico e social) e buscarem soluções que possam promover a resiliência e a sustentabilidade de seus negócios e da CS (GUPTA; SINGH, 2021; IVANOV, 2020).

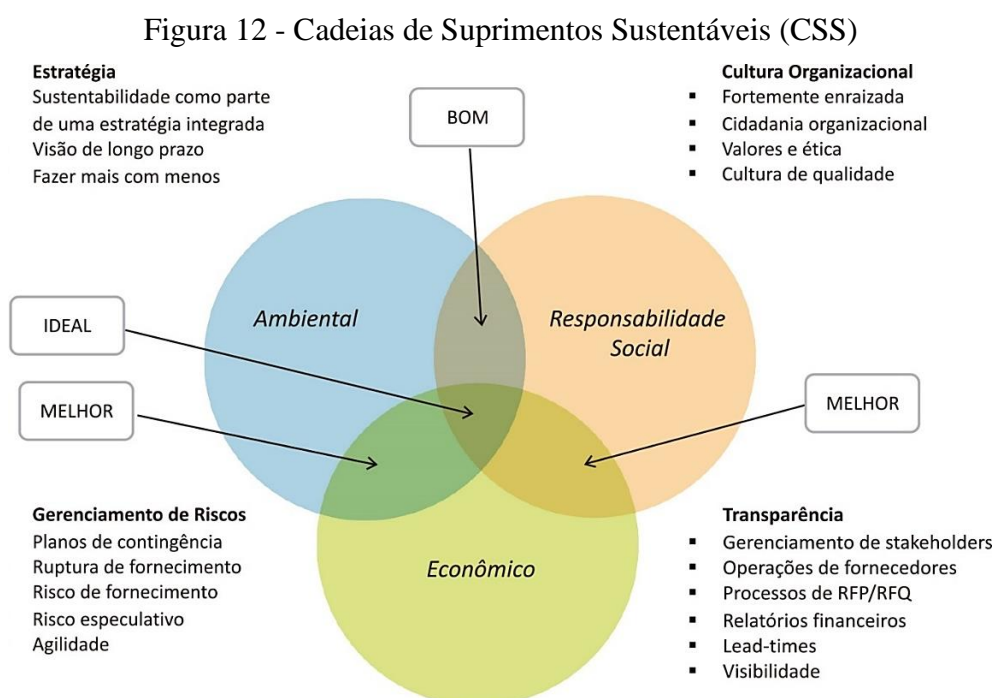
2.4 Sustentabilidade e cadeias de suprimentos

Para que os países desenvolvam iniciativas e ações sustentáveis, é fundamental o alinhamento estratégico com as organizações (GUPTA; SINGH, 2021). Diante disso, o desenvolvimento sustentável só será possível se as organizações atingirem um desempenho sustentável. O desempenho sustentável, é uma estratégia multidimensional, que se traduz na *performance* organizacional em todas as dimensões estabelecidas no TBL: gerar o mínimo de danos ao ambiente natural, suprir as necessidades sociais ao mesmo tempo em que atinge seus objetivos financeiros (SAPUKOTANAGE; WARNAKULASURIYA; YAPA, 2018).

As pressões para as empresas incorporem as questões sustentáveis em suas operações se difundem por toda a CS, de maneira que os desafios devem ser discutidos em esforços conjuntos (SEURING; GOLD, 2013). Neste campo, surge o conceito de Cadeia de Suprimentos Sustentável (CSS). Seuring e Müller (2008, p.1700) apontam que a gestão das CSS, corresponde a “gestão de material, informações e fluxo de capital, bem como a cooperação entre as empresas ao longo da CS, enquanto atende todas as dimensões da sustentabilidade, considerando as necessidades dos consumidores e demais partes interessadas”.

O estudo desenvolvido por Carter e Rogers (2008, p.368) definiu que a CSS consiste na “integração transparente e estratégica e a relação de metas econômicas, sociais e ambientais de organizações na coordenação sistêmica de processos chaves de negócios interorganizacionais para melhorar o desempenho econômico ao longo prazo da empresa individual e sua CS”. Segundo os autores, o engajamento das partes interessadas é um dos requisitos fundamentais para que as iniciativas de sustentabilidade na CS tenham sucesso.

Apoiado no modelo TBL, Carter e Rogers (2008) desenvolveram um modelo teórico que apresenta quatro características da CSS, conforme apresentado na Figura 12. De acordo com os autores, a construção de valor numa CSS depende da definição de uma estratégia orientada a sustentabilidade; do gerenciamento de risco da CS como um todo; de uma cultura organizacional forte e abrangente, que inclui altos padrões éticos e respeito pela sociedade (dentro e fora da organização); e da transparência, que engloba visibilidade e rastreabilidade das operações, comunicação proativa e envolvimento entre partes interessadas.

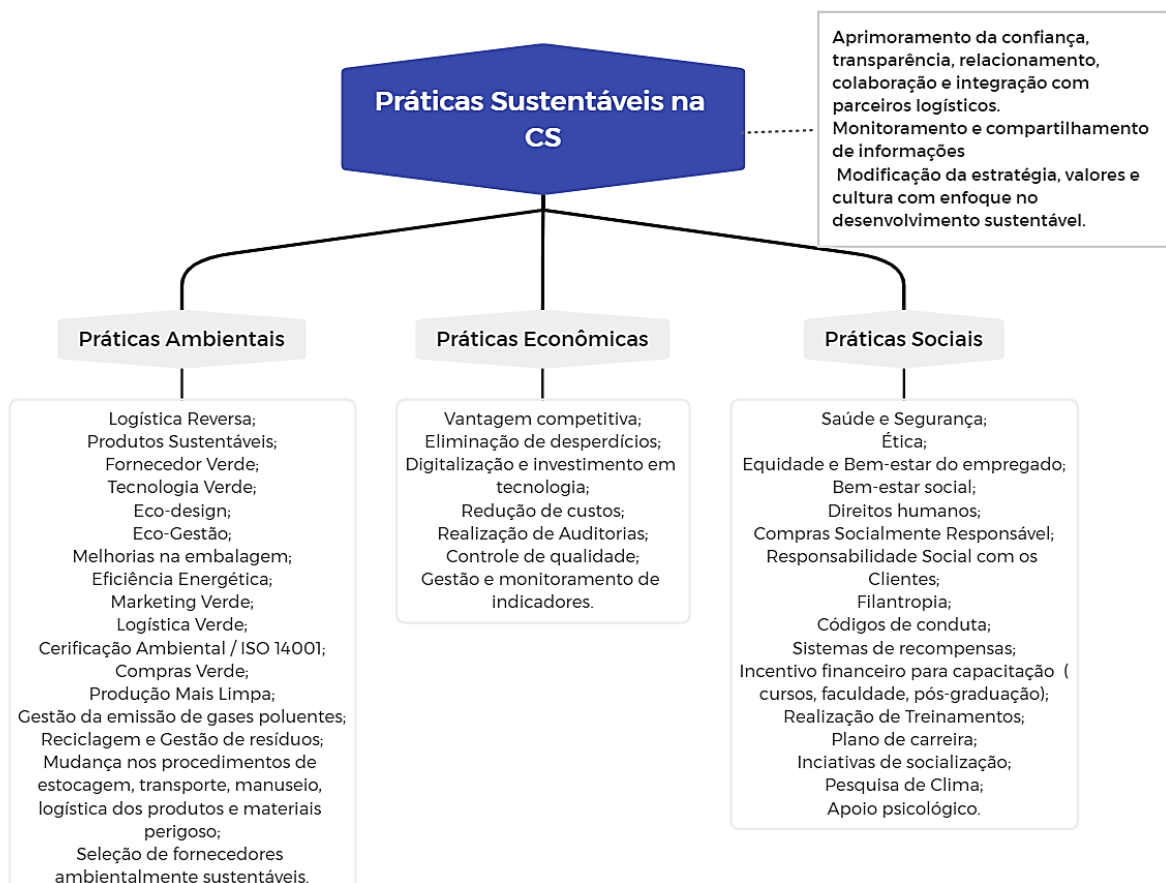


Fonte: Carter e Rogers (2008).

O desempenho das CSS será influenciado pelo nível de adoção e combinação de práticas sustentáveis nas empresas a jusante e a montante. Kleindorfer, Singhal e Wassenhove (2005) destacam as quatro estratégias principais utilizadas na adoção de práticas sustentáveis e construção de CSS: estratégias internas atuais (aprimoramento dos processos organizacionais internos), estratégias externas atuais (otimização dos processos ao longo da CS, a partir de fortalecimento dos relacionamentos, colaboração e transparência), estratégias internas voltadas para o futuro (investimentos na capacidade de recuperação de materiais poluentes e criação de substitutos para matéria-prima não renovável, desenvolvimento de novos produtos), estratégias externas voltadas para o futuro (desenvolvimento de habilidades organizacionais e capacidades dinâmicas e criação de processos sustentáveis com retorno de longo prazo).

Vários autores avaliaram as práticas estabelecidas entre as organizações e seus fornecedores, distribuidores e consumidores, que visavam o desempenho sustentável ao longo da CS. As principais práticas sustentáveis na CS identificadas na literatura estão descritas na Figura 13.

Figura 13 - Práticas Sustentáveis na CS



Fonte: Adaptado de Baliga, Raut e Kamble (2019), De Sousa Jabbour, Arantes e Jabbour (2013), Sánchez-Flores et al. (2020).

As organizações podem mensurar as implicações das práticas sustentáveis, a partir da adoção de indicadores de desempenho. A revisão sistemática realizada por Tundys e Fernando (2020) apresentou indicadores utilizados para mensurar e gerenciar a sustentabilidade na CS:

- (a) *Ambiental* – Eficiência energética (consumo total e específico de energia), eficiência material (classifica a entrada de todos os materiais), consumo e reuso da água, gestão de resíduos (quantifica os resíduos produzido e reciclado), emissões de gases poluentes, área utilizada, conformidade ambiental (como o número acidentes ambientais e certificados implantados) e avaliação da fornecedores (indicadores do desempenho sustentável e práticas sustentáveis).
- (a) *Social* - Direitos humanos (violação dos direitos básicos), corrupção, recursos humanos (dados sobre gênero, diversidade, equidade, criação de empregos, *turnover*, absenteísmo, benefícios, satisfação e performance dos funcionários), segurança (acidentes, incidentes e medidas preventivas), treinamentos, consumidores (reclamações, devoluções de produtos e incidentes de informações enganosas ou fraudulentas), conformidades com as normas sociais.
- (b) *Econômica* - Saúde financeira (lucro, vendas, receita, fluxo de caixa e produtividade), distribuição de renda (impostos, salários e benefícios dos funcionários, investimentos na comunidade e custos operacionais), competitividade (participação no mercado, preço da ação e fornecimento de salários competitivos) e iniciativas sustentáveis (compras locais, pesquisa e desenvolvimento).

Segundo Bai e Sarkis (2014), os indicadores de performance (*Key Performance Indicator* - KPIs, em inglês) devem ser adaptados considerando a especificidade da CS e devem englobar os principais elementos que afetam a eficiência da CS. De forma geral, os KPIs utilizados em CSS, mensuram aspectos como qualidade, custos, tempo, flexibilidade, inovação, recursos no nível estratégico, tático e operacional.

Bonilla et al. (2018) reforçam que as tecnologias da Indústria 4.0 podem proporcionar o desenvolvimento de novas oportunidades para atingir os ODS 7 (energia limpa e acessível), 9 (indústria, inovação e infraestrutura), 12 (consumo e produção responsável) e 13 (mudanças climáticas). Para os autores, a digitalização, a capacidade de processamento em tempo real, a customização, a orientação a serviços, e o compartilhamento de informações podem promover a modificação dos padrões de produção e distribuição e viabilizar a construção de redes sustentáveis, quando adequadamente planejadas.

A construção de CSS é um processo complexo, que vai além da modificação de processos organizacionais. Para que as iniciativas sustentáveis sejam bem-sucedidas, a cultura e valores organizacionais precisam estar direcionados para o desenvolvimento sustentável. Estudos demonstram que muitas organizações não enxergam o benefício de se tornarem sustentáveis, pois existe a necessidade de realizar altos níveis de investimento, alto esforço para mudança e uma falta de retorno imediato (STRANDHAGEN et al., 2017a; GRUŽAUSKAS; BASKUTIS; NAVICKAS, 2018).

2.4.1 Práticas logísticas sustentáveis e desempenho sustentável

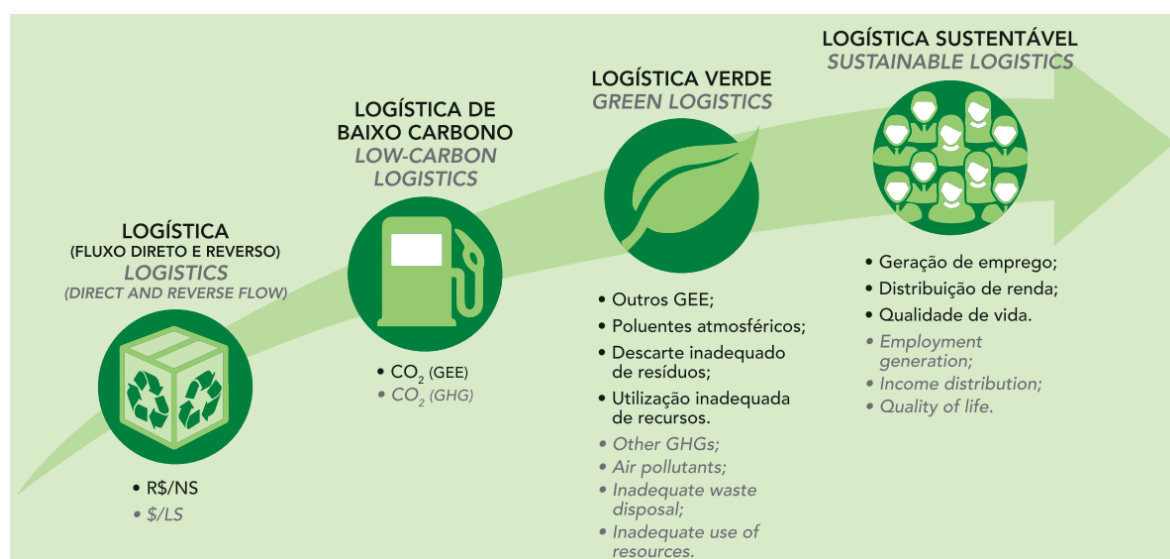
A tomada de consciência global sobre as questões socioambientais culminou no desenvolvimento de normas, diretrizes e orientações sobre melhores práticas para que as empresas pudessem contribuir para o desenvolvimento sustentável (LIMA; GONÇAVES, 2017). Dentre essas normas, destacam-se a ISO 9000, que enfoca a gestão da qualidade, ISO 14001 que engloba diretrizes para implantação de um sistema de gestão ambiental, as normas SA 8000 e NBR 16001 que estabelecem um sistema de gestão de responsabilidade social corporativa, OHSAS 18001 que aborda riscos e acidentes de trabalho e a norma AA1000 que trata sobre prestação de contas/transparência (LIMA; GONÇAVES, 2017; ZIMON; MADZIK; SROUFE, 2019).

Além das normas internacionais, diversas organizações desenvolvem sistemas de gestão, manuais operacionais e diretrizes próprias, que visam a padronização e monitoramento de seus processos de gestão ambiental, qualidade, produtividade, saúde ocupacional e responsabilidade social. Para que a estratégia sustentável seja implantada de forma holística, é necessário que práticas sustentáveis sejam incorporadas nas operações logísticas, uma vez que estas são responsáveis pela gestão integrada de todas as atividades necessárias para mover os produtos através da CS (DEY; LAGUARDIA; SRINIVASAN, 2011). As práticas sustentáveis são estratégias empresariais que contribuem para a implantação da SC, como medidas econômicas, investimentos, ações institucionais, modificações de processos e procedimentos jurídicos (HEIZMANN; CAMPOS; LERÍPIO, 2002).

Neste campo, despontam termos como logística de baixo carbono, logística verde e logística sustentável, que se referem a um conjunto de políticas sustentáveis e medidas que buscam reduzir o impacto ambiental causado pelas atividades do setor logístico, conforme destacado na Figura 14. A logística de baixo carbono está pautada na eficiência no uso de recursos, na redução do uso de combustíveis fósseis e da emissão de gases do efeito estufa

(GEE); enquanto que a logística verde (ou eco-logística) amplia a perspectiva e contempla outras variáveis inerentes ao meio ambiente, como a produção de resíduos sólidos e líquidos, geração de ruídos e vibração, emissão de poluentes atmosféricos, tendo por objetivo, tornar a produção mais limpa (DE OLIVEIRA; D'AGOSTO, 2017). Já o conceito de logística sustentável é a mais abrangente e engloba a dimensão social na avaliação do desempenho logístico.

Figura 14 - A relação dos conceitos de logística e sustentabilidade



Fonte: De Oliveira e D'Agosto (2018).

A sustentabilidade aplicada às tarefas logísticas engloba as compras sustentáveis, o transporte sustentável, a embalagem sustentável, a distribuição sustentável, a logística reversa, design e o controle das atividades sustentáveis da CS (MARTINS et al., 2019). A adoção de práticas sustentáveis nas tarefas logísticas e a medição do desempenho dessas iniciativas pode contribuir para o alcance dos ODS propostos pela ONU (BANDEIRA et al., 2018).

Alguns autores já explanaram as principais práticas sustentáveis nas operações logísticas. O Quadro 4 apresenta os principais artigos citados sobre o tema na base de dados Scopus. De modo geral, as principais pesquisas têm buscado compreender o estado atual do tema sustentabilidade na logística (métricas, benefícios e desafios) e desenvolver simulações e modelos matemáticos que analisam a construção de processos, operações logísticas e CSS.

Quadro 4 - Estudos mais citados na Scopus sobre práticas sustentáveis nas atividades logísticas⁴

Autor(es)	Nº de Citações	Método de Pesquisa	Objetivo
Khan et al. (2019a)	179	Modelagem/Simulação	Investigar a relação entre o desempenho operacional logístico dos países e indicadores sociais, econômicos e ambientais, a partir da análise de um painel de dados de economias emergentes asiáticas.
Khan et al. (2018)	171	Modelagem/Simulação	Examinar a relação entre logística verde, demanda energética, crescimento econômico e sustentabilidade ambiental, a partir da análise de um painel de dados de 43 países.
Dey, Laguardia e Srinivasan (2011)	162	Revisão de Literatura	Examinar o estado atual dos esforços dentro do campo da gestão da cadeia de suprimento, com foco em operações de logística, no que diz respeito à sustentabilidade das operações.
Khan et al. (2020)	155	Modelagem/Simulação	Propor um modelo matemático integrado para criar uma cadeia de suprimentos que minimize o custo total do bioetanol à base de <i>switchgrass</i> (SBSC), considerando as restrições existentes.
Kayikci (2018)	146	Estudo de Caso	Examinar o impacto sustentável da digitalização em logística, mapear quais são as características da digitalização e das tecnologias na rede logística, compreender as mudanças e benefícios da digitalização para os processos logísticos.
Zhang et al. (2013)	142	Modelagem/Simulação	Analisar a relação entre gastos públicos com saúde, índices de desempenho logístico, energia renovável e ecologia sustentável nos países membros da Associação das Nações do Sudeste Asiático.
Van Bommel (2011)	130	Survey	Apresentar uma nova estrutura conceitual para analisar e compreender como o processo de implementação de sustentabilidade nas redes de abastecimento industrial ocorre.
Khan et al. (2019b)	115	Modelagem/Simulação	Observar a correlação entre as operações logísticas e os indicadores sociais, ambientais e econômicos, sob um nível macro, considerando dados de estados membros da SAARC de 2001 a 2016.
Mangiaracina et al. (2015)	114	Revisão de Literatura	Revisar a literatura sobre o tema da sustentabilidade ambiental do comércio eletrônico <i>business to consumer</i> , especificamente sob a perspectiva de logística.
Sarkar, Ullah e Kim (2017)	102	Modelagem/Simulação	O objetivo principal deste artigo é projetar um modelo de Cadeia de Suprimentos Verde (GSC – <i>Green Supply Chain</i>) que reduza o uso de recursos naturais, melhore a utilização de recursos, reduza a geração de resíduos e reduza os efeitos adversos ao meio ambiente.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

As iniciativas sustentáveis empregues nas operações logísticas podem trazer diversos ganhos para as empresas como a redução de custos operacionais, eficiência energética, ampliação da segurança das operações, eliminação de atividades que não agregam valor e aumento da produtividade, da eficiência operacional, da resiliência da CS, da colaboração e da confiança.

A Tabela 3 resume as principais práticas sustentáveis no transporte e gestão dos transportes, citadas pelos autores De Assis et al. (2021), De Oliveira e D'Agosto (2018), Dey e Laguardia, Srinivasan (2011), El Baz e Laguir (2017) e Martins et al. (2019).

⁴ Pesquisa realizada no mês de janeiro de 2023, na base de dados Scopus, utilizando os termos “*sustainability*” e “*logistics process*” ou “*logistics operations*” ou “*logistics tasks*”, nos títulos, palavras-chave ou resumo dos estudos.

Tabela 3 - Principais práticas sustentáveis aplicadas no transporte e gestão do transporte⁵

Práticas sustentáveis no Transporte e Gestão do transporte	Benefícios para a Sustentabilidade													
	Redução de custos	Ampliação da segurança	Aumento da Confiabilidade	Aumento da flexibilidade	Otimização da capacidade operacional	Redução do consumo de energia.	Redução da emissão de GEE	Redução da poluição atmosférica	Redução do consumo de combustível	Redução das entregas não realizadas	Redução deslocamento	Redução do n° de viagens	Pontualidade entrega	Gestão dos motoristas
Promoção de melhoria da aerodinâmica dos veículos	1	1	1	N/A	N/A	1	1	1	N/A	N/A	1	N/A	N/A	N/A
Manutenção preventiva da frota	1/2/5	1	1	N/A	N/A	1/2	1/2/3/5	1/2/5	2/5	N/A	1/2	2	2	N/A
Utilização de fontes de energia mais limpas, veículos elétricos e híbridos	2	N/A	N/A	N/A	N/A	1/2	1/2	1/2	2	N/A	2	2	2	N/A
Implantação de equipamento de controle das emissões dos veículos	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Realização de transferência do transporte de carga para modos mais limpos (transferência modal)	1/2	N/A	N/A	1	N/A	1/2	1/2	1/2	2	N/A	2	2	2	N/A
Redução do peso e controle da sobrecarga dos veículos	1/2/5	N/A	5	N/A	N/A	1/2	1/2/5	1/2/5	2/5	N/A	2	2/5	2/5	N/A
Gestão da ocupação do veículo	1/2/5	N/A	5	1/5	N/A	1/2	1/2/5	1/2/5	1/2	N/A	2	2/5	2/5	N/A
Otimização da utilização da frota	5	N/A	5	N/A	5	N/A	5	5	N/A	N/A	5	N/A	N/A	N/A
Reutilização de água da chuva	7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Renovação e modernização da frota	1/2/5	1	1	N/A	N/A	1/2	1/2/5	1/2/5	2	N/A	1/2	2	2	N/A
Sistemas de rastreamento e monitoramento da frota	1/2/5	1	1	N/A	N/A	1/2/5	1/2/3/5	1/2/5	2/5	N/A	1/2/5	2	2	5
Centros de consolidação de carga	1/2	1	1	1/2	1	1/2	1/2	1/2	N/A	2	1/2	2	N/A	N/A
Uso de sistemas "Click e Recolha" - cliente compra um produto online e retira na estação de recolha	2	N/A	N/A	2	N/A	2	2	2	N/A	2	2	2	N/A	N/A
Centro de distribuição de carga próximos à fábrica	1,2,3,5	1	1	1	1	1	1	1	N/A	N/A	1/5	N/A	N/A	N/A
Equipamento para auxiliar de geração de energia para a frota	1	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	1	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Otimização da operação de carga e descarga com utilização de equipamentos motorizados	2	N/A	N/A	N/A	N/A	1/2	1/2	1/2	2	N/A	1/2	2	2	N/A
Otimização das rotas	1/2	N/A	N/A	N/A	N/A	1/2	1/2	1/2	2	N/A	1/2	2	2	N/A
Coleta e distribuição noturna	1/2	N/A	N/A	1	1	1/2	1/2	1/2	2	N/A	1/2	2	2	N/A
Redução da velocidade de deslocamento	1	1	1	N/A	N/A	1	1	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Treinamento dos motoristas	1/2	1	1	N/A	N/A	1/2	1/2	1/2	2	N/A	2	2	2	N/A
Aditivos para melhorar a eficiência energética dos combustíveis	1/2	N/A	N/A	N/A	N/A	1/2	1/2	1/2	2	N/A	2	2	2	N/A
Intermodalidade	2	N/A	N/A	1	1	1/2	1/2	1/2	2	N/A	1/2	2	2	N/A
Pneus de baixa resistência ao rolamento	1	1	N/A	N/A	N/A	1	1	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Sistemas de propulsão alternativos	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Veículos com maior eficiência energética	1;2	N/A	N/A	N/A	N/A	1;2	1;2	1;2	2	N/A	2	2	2	N/A
Benefícios fiscais e subsídios governamentais	2	N/A	N/A	N/A	N/A	2	2	2	2	N/A	2	2	2	N/A

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

⁵ Autores que analisaram as práticas sustentáveis no transporte e gestão do transporte e seus benefícios para a sustentabilidade: 1- De Assis et al. (2021) | 2-De Oliveira e D'Agosto (2018) | 3-Dey, Laguardia e Srinivasan (2011) | 4-El Baz e Laguir (2017) | 5-Martins et al. (2019) | N/A – Não Aplicável: Benefício associado a prática sustentável não citado por nenhum dos autores.

Como a atividade de transporte de cargas é uma das principais atividades logísticas e possui grande dependência do uso de combustíveis fósseis, o que acarreta na emissão global de dióxido de carbono, a literatura tem se concentrado na criação e investigação de ferramentas que otimizem a gestão da frota, ampliem a eficiência operacional e reduzam os impactos gerados por essa atividade.

No que se refere às modificações nos veículos, os autores têm investigado a utilização de veículos elétricos, que têm como fonte de energia uma bateria; e veículos híbridos, que combinam mais de uma fonte energética (DE OLIVEIRA; D'AGOSTO, 2018). Esses veículos reduzem consideravelmente a emissão de GEE em relação aos motores de combustão convencionais (DE OLIVEIRA; D'AGOSTO, 2018), contudo, existem barreiras que impedem a utilização em larga escala dessa ferramenta, tais como o ciclo de vida e forma de descarte da bateria e o alto custo de aquisição desses veículos (DE ASSIS et al., 2021). Além disso, práticas como a instalação de defletores para melhorar a aerodinâmica dos veículos e a implantação de equipamento de controle das emissões dos veículos, são utilizadas para minimizar os impactos ambientais e reduzir custos operacionais nas empresas.

Considerando a gestão da frota, a utilização de sistemas que auxiliem a gestão da manutenção dos veículos (DE ASSIS et al., 2021), a realização da renovação da frota (EL BAZ; LAGUIR, 2017), e a instauração de políticas para destinação correta de pneus, peças e sucata de veículos (DE OLIVEIRA; D'AGOSTO, 2018) podem proporcionar uma redução no consumo de combustível, na emissão de GEE e no número de acidentes e paradas indesejadas nos veículos.

Outros exemplos de práticas sustentáveis aplicadas no transporte e gestão do transporte são a transferência do transporte de carga para modos mais limpos (DE OLIVEIRA; D'AGOSTO, 2018), a intermodalidade (DE OLIVEIRA; D'AGOSTO, 2018), a redução do peso e controle da sobrecarga dos veículos (MARTINS et al., 2019), a gestão da ocupação do veículo (DE ASSIS et al., 2021), a otimização da utilização da frota (MARTINS et al., 2019), otimização das rotas (DE ASSIS et al., 2021), a coleta e distribuição noturna (DE ASSIS et al., 2021) e uso de sistemas de rastreamento e monitoramento da frota (DEY; LAGUARDIA; SRINIVASAN, 2011).

No que tange as atividades de intralogística, a Tabela 4 sintetiza as principais práticas sustentáveis mencionadas pelos autores Harrison e Amjed (2015), Castillo et al. (2022), De Oliveira e D'Agosto (2018), Dey e Laguardia, Srinivasan (2011), Malinowska, Rzeczycki e Sowa (2018) e Martins et al. (2019).

Tabela 4 - Principais práticas sustentáveis aplicadas na intralogística⁶

Práticas Sustentáveis na Intralogística	Benefícios para a Sustentabilidade													
	Redução de custos	Ampliação da segurança	Redução do lead time	Redução dos estoques	Prevenção de perdas, avarias	Melhora a capacidade de resposta aos clientes	Aumento da eficiência	Melhora das condições de trabalho	Redução da fadiga e dos funcionários	Melhora do fluxo de produtos e pessoas no armazém	Redução da emissão de GEE	Redução do consumo de água	Redução do consumo de energia.	Redução da produção de resíduos
Otimização do <i>layout</i> do armazém	1/4	1/2	1/2	2/4	N/A	1	5	1/2	1/2	1/2	2/4	N/A	2	N/A
Armazém com tecnologias sustentáveis	1/2/3/5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5	N/A	N/A	1	N/A	1/2/3/5	N/A
Utilização de dispositivos para controle da temperatura do armazém	1/2/3/4/5	N/A	N/A	N/A	2/5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1/2/3/4/5	N/A
Gestão eficiente da iluminação artificial do armazém	1/2/4/5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6	N/A	N/A	5	6	N/A	1/2/4/5/6	N/A
Armazém situado em área industrial ou longe do centro urbano	3	N/A	3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Monitoramento e reuso de água	1/3/5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1/3/5/6	N/A	N/A
Equipamentos com controle de poluentes atmosféricos e de ruídos	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2	N/A	N/A	N/A
Uso de energias renováveis	1/2/5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1/2/3/5	1/2	1/5/6	N/A
Uso de combustíveis menos poluentes nos equipamentos de movimentação	1	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	N/A	1	N/A
Renovação e modernização da frota	2/3	3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3	3	3	N/A
Manutenção preventiva e periódica dos equipamentos	1/2/3	1/3	N/A	N/A	3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1/2/3	N/A	N/A	N/A
Plano de gestão de resíduos	3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3/6	N/A	N/A	6
Controle do consumo de combustível e energia dos veículos	3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3	N/A	N/A	N/A
Gestão do nível, ocupação e utilização dos estoques	1/2	N/A	N/A	1/2	1/2	1/2	5	N/A	N/A	1	N/A	N/A	N/A	N/A
Gestão da acuracidade do inventário	1/2	N/A	N/A	1/2	1/2	1/2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Programas de Cross-docking	1	N/A	N/A	1	1	1	N/A	N/A	N/A	1	N/A	N/A	N/A	N/A
Equipamentos de automação	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5	5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Sistemas para gestão e monitoramento dos estoques	1/3	N/A	3	3	3	N/A	5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Sistemas para previsão da demanda	1/4	N/A	N/A	1	1	1	N/A	N/A	N/A	1	1/4	N/A	N/A	N/A
Uso de embalagens ecológicas, reutilizáveis e retornáveis	5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6	N/A	N/A	5/6
Desenvolvimento de embalagens centradas no seu manuseamento	6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	6
Treinamento dos funcionários	3/5	3	3	N/A	3	3	5	N/A	N/A	N/A	3	N/A	N/A	5
Programas e medidas para otimizar a ergonomia e segurança	2	2/6	2	N/A	N/A	2	6	2/5	N/A	N/A	6	N/A	N/A	N/A
Planejamento das tarefas	1	1	1	1	N/A	1	N/A	1	1	1	N/A	N/A	N/A	N/A
Gestão de indicadores operacionais, sociais, ambientais	1	N/A	N/A	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	1	N/A
Áreas para promover a integração e descanso dos funcionários	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1/2	5	1/2/5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

⁶ A numeração que correlaciona corresponde aos autores que analisaram as práticas sustentáveis na intralogística: 1- Amjed e Harrison (2015) | 2-Castillo et al. (2022) | 3-De Oliveira e D'Agosto (2018) | 4-Dey e Laguardia, Srinivasan (2011) | 5-Malinowska, Rzczycki e Sowa (2018) | 6-Martins et al. (2019)| N/A – Não Aplicável: Benefício associado a prática sustentável não citado por nenhum dos autores.

A utilização de técnicas e tecnologias para manter os níveis de estoque o menor possível pode impactar, não apenas na redução de custos e tempo de entrega, mas a possibilidade de existência de instalações menores, afetando diretamente no consumo energético (DEY; LAGUARDI; SRINIVASAN, 2011). Estratégias de *cross-docking* podem provocar resultados significativos para sustentabilidade, uma vez que, ao acelerar os fluxos de estoques, o tempo de separação e armazenagem é reduzido (MEJÍAS; PAZ; PARDO, 2016). Contudo, a redução de estoques pode aumentar o número de entregas realizadas pelas empresas, e conseqüentemente os custos com transporte e o nível emissão de GEE, sendo necessário avaliar as operações logísticas como um todo e não isoladamente (MEJÍAS; PAZ; PARDO, 2016).

Outras iniciativas sustentáveis têm sido adotadas em armazéns, incluindo a utilização de luz natural, através de janelas ou claraboias maiores, a implantação de painéis solares, a captação e reuso de água e a utilização de lâmpadas fluorescentes (DEY; LAGUARDIA; SRINIVASAN, 2011).

Outro ponto referente às atividades de intralogística analisadas na literatura, refere-se ao processo de seleção de embalagens, pois elas podem influenciar no processo de separação, armazenagem e transporte de produtos, uma vez que a sua padronização pode promover a eliminação de atividades que não agregam valor e melhorar a eficiência do processo de entrega (MEJÍAS; PAZ; PARDO, 2016). Mejías, Paz e Pardo (2016) acrescentam que a utilização de materiais retornáveis e reciclados tem influência direta na gestão de armazéns e transporte, minimizando os custos com descartes.

Em relação ao manuseio de materiais, a adoção de ações como a digitalização dos processos, uso de equipamentos de movimentação com combustíveis menos poluentes, substituição de insumos tóxicos e implantação de um plano de descarte para pneus, baterias, lâmpadas, fluídos, além do desenvolvimento de programas de gestão da saúde e ergonomia dos funcionários, pode acarretar no aumento da produtividade e eficiência operacional, na diminuição dos impactos ambientais e na otimização da segurança e condições de trabalho (MARTINS et al., 2019).

Os sistemas de informação possuem papel fundamental na SC, pois ajudam na otimização da comunicação entre os funcionários, fornecedores e distribuidores. A partir do monitoramento e compartilhamento das informações entre os *stakeholders* internos e externos, é possível ampliar a consciência sobre as dimensões da sustentabilidade nas operações logísticas e aprimorar a eficiência e resiliência operacional (MARTINS et al., 2019; DEY; LAGUARDIA; SRINIVASAN, 2011).

Quanto às práticas sustentáveis adotadas nas compras e vendas de produtos, a seleção de fornecedores considerando suas práticas ambientais, o cumprimento das normas trabalhistas, seu código de conduta, programas anticorrupção e suas certificações e etiquetas sustentáveis, amplia a SC da CS como um todo e fortalece as relações entre os seus agentes, melhorando o relacionamento, colaboração e confiança com os fornecedores e clientes (MARTINS et al., 2019; MEJÍAS; PAZ; PARDO, 2016).

Outro ponto relevante abordado em alguns estudos, refere-se a Logística Reversa, que se destaca como uma importante aliada na promoção do desenvolvimento sustentável, uma vez que seu objetivo está centrado em aproveitar o potencial dos produtos e embalagens que são devolvidos pelo cliente, gerando mais valor para as organizações e para a CS (DEV; SHANKAR; SWAMI, 2020, STRANDHAGEN et al., 2017a).

Para mensurar as ações sustentáveis aplicadas à logística, tal qual a eficiência das estratégias adotadas e seu impacto no desempenho sustentável das organizações, podem ser utilizados diversos tipos de indicadores-chave de desempenho (KPIs). Além disso, a adoção de KPIs que sejam confiáveis, comparáveis e fáceis de serem mensurados, podem apoiar os gestores no aperfeiçoamento ou alteração das práticas sustentáveis, e estabelecimento de estratégias organizacionais. Autores como He et al. (2017) e Torabizadeh et al. (2020) desenvolveram sistemas de medição de desempenho focados em quantificar e monitorar o desempenho sustentável nas operações logísticas. O Quadro 5 reúne alguns dos indicadores utilizados nestes estudos.

Quadro 5 - KPIs do desempenho sustentável nas operações logísticas

KPIs do desempenho sustentável nas operações logísticas	
Emissão média de carbono por veículos em operação	Distância média diária de viagem por veículo
Consumo de energia do processo de embalagem.	Média de consumo por veículos em operação
Giro de estoque	Tempo de carregamento por volume unitário
Consumo médio de energia em armazenamento por unidade de carga	Taxa média de utilização de equipamentos nos processos logísticos
Taxa média de ocupação do armazém	Proporção de veículos sustentáveis
Proporção de equipamentos de carga e descarga sustentáveis	Proporção de entregas no prazo (fretes no prazo x total de fretes)
Proporção da carga transportada em relação à capacidade total de transporte dos veículos em operação (transporte com veículos vazios)	Proporção de transporte multimodal - Proporção de carga transportada por transporte multimodal para toda a carga transportada.
Redução de custo por Unidade de Manutenção de Estoque (SKU)	Taxa de utilização de equipamentos de identificação automática
Taxa média de utilização diária do veículo (tempo total de trabalho dos veículos em operação em relação ao tempo total disponível desses veículos)	Volume médio transportado por veículo (Medir a escala de transporte e carga média de transporte de cada veículo)
Proporção de materiais de embalagem recicláveis (embalagens recicláveis x embalagens comuns)	Taxa de instalação do GPS (Proporção de veículos em operação com sistema de localização)
Investimento para desenvolvimento de baixo carbono (Proporção da despesa total para o	Aplicação de sistema de informação ou digitalização das operações (Proporção do trabalho diário no qual

desenvolvimento da logística de baixa carbonização em relação ao custo logístico total)	existe um sistema de informação implementado versus o trabalho diário total)
Proporção de gastos com fornecedor local para fornecedor não local	Emissões diretas e indiretas e outras emissões relevantes de gases de efeito estufa (GEE)
Média de horas de treinamento por funcionário	Investimento em proteção ambiental por ano
Número de reclamações de clientes (qualidade, garantia e reparo	Número de denúncias de discriminações sexuais e disputas trabalhistas
Porcentagem de funcionários que recebem avaliações regulares de desempenho e desenvolvimento de carreira	Treinamentos e iniciativas para melhorar a conscientização do público sobre economia de energia e redução de emissões
Taxa de acidentes de trabalho, doenças ocupacionais e absenteísmo	Número de projetos de serviços comunitários e seu impacto na comunidade local

Fonte: Baseado nos estudos de He et al. (2017) e Torabizadeh et al. (2020).

A mensuração do desempenho das dimensões da sustentabilidade aplicadas às atividades logísticas vai além dos limites de uma organização, uma vez que as CS estão cada vez mais complexas e integrando vários agentes (JADHAV; RAHMAN; AHSAN, 2022). Posto isso, as tecnologias da Logística 4.0 se consolidam como importantes aliadas das organizações pois auxiliam na captação, visibilidade e análise dos dados e indicadores sustentáveis.

3 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Nesta seção, apresenta-se os resultados da Revisão Sistemática de Literatura (RSL) realizada com o objetivo de analisar o estado da arte sobre como as tecnologias da Logística 4.0 vêm sendo empregadas e têm contribuído para o desempenho ambiental, social e econômico das empresas. A revisão sistemática da literatura consiste em um conjunto de abordagens utilizadas para revisar diferentes estudos sobre um tema ou questão de pesquisa (DENYER; TRANFIELD, 2009). Essa seção engloba o método de pesquisa utilizado para condução da investigação, uma análise descritiva, e uma análise de conteúdo que sintetiza as principais contribuições da Logística 4.0 para SC, citadas nos artigos selecionados.

A RSL foi conduzida no mês de janeiro de 2023 nas bases de dados Scopus e Web of Science (WOS). Esta abordagem foi selecionada porque a RSL é um processo transparente e replicável, que permite aos pesquisadores identificar, avaliar e sintetizar todos os estudos relevantes de um tema e proporciona uma compreensão profunda tanto de questões quantitativas como qualitativas (CENTOBELLI et al., 2020).

Para desenvolver o estudo, foi aplicado o método sugerido por Cerchione e Esposito (2016), o qual demonstra como organizar uma revisão estruturada da literatura. Consequentemente, o estudo foi organizado em quatro fases: (i) pesquisa do material; (ii) seleção dos artigos; (iii) análise descritiva; e (iv) análise de conteúdo.

O primeiro passo da RSL foi identificar os artigos relevantes e elegíveis sobre o tema investigado. Para tal, semelhante à abordagem adotada por Ahmad e Van Looy (2020), a concepção desta investigação parte do desenvolvimento de um protocolo de pesquisa (Quadro 6), que visa minimizar a ocorrência de viés nos resultados da investigação. O protocolo de RSL especifica a questão de pesquisa, as bases de dados e palavras-chave utilizadas, bem como os critérios de inclusão e exclusão para triagem dos estudos levantados.

Em seguida, foi realizada a busca de estudos em dois bancos de dados acadêmicos de grande prestígio na área de Administração, Scopus e WOS, pois consolidam periódicos de alto nível e impacto para a área. Para realizar as buscas, foram estabelecidas combinações de termos relacionados à Logística 4.0 (BARRETO; AMARAL; PEREIRA, 2017; CORRÊA; SAMPAIO; BARROS, 2020) em conjunto com termos associados à Sustentabilidade Corporativa (ELKINGTON, 1997a; NASCIMENTO et al., 2019; NANTEE; SUREEYATANAPAS, 2021). A partir da análise das opções de pesquisa disponíveis nos bancos de dados, optou-se por realizar as buscas por “tópicos”, que contempla a busca dos termos de pesquisa previamente estabelecidos nos títulos, palavras-chave e resumo dos estudos.

Quadro 6 - Protocolo de Pesquisa – Revisão Sistemática de Literatura

Temática	Contribuições da Logística 4.0 na Sustentabilidade Corporativa
Questão de pesquisa	Como a Logística 4.0 contribui para que as atividades logísticas sejam sustentáveis
Objetivo Geral	Fornecer uma visão geral dos artigos que abordam concomitantemente a adoção de Logística 4.0 e a Sustentabilidade Corporativa, buscando compreender os benefícios dessa relação e lacunas de pesquisa.
Base de Dados	Scopus e Web of Science
Estratégias de pesquisa	Combinações de palavras-chave específicas
Campo de pesquisa	Título do artigo, resumo, palavras-chave
Palavras Chaves	("Logistic* 4.0" or "smart logistic*") OR (("digital technolog*" or "industry 4.0" or "fourth industrial revolution") and logistics) AND ("sustainab*" or "green" or "societal" or "ecology" or "environmental")
Crítérios de Inclusão	Artigos, artigos de revisão e materiais de editorial, escritos em inglês, publicados em revistas científicas (<i>Journals</i>) que foram extraídos após a aplicação dos termos e estratégias de pesquisa predefinidas, e pertencentes as áreas de Administração, Ciências Sociais, Engenharia, Ciências da Computação, Ciências Ambientais, Ciências das decisões.
Crítérios de Exclusão	Estudos em discordância com a questão de pesquisa, ou seja, estudos que não evidenciam um ou mais processos logísticos, não abordam uma ou mais perspectiva da sustentabilidade corporativa, não exploram tecnologias emergentes aplicadas à Logística e/ou não analisam a Sustentabilidade e a Logística 4.0 sobre a perspectiva organizacional.
Crítérios de Qualidade	Apenas revistas científicas revisadas por pares - <i>Journals</i>

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Na segunda etapa, que corresponde à seleção dos trabalhos, foram aplicados os critérios descritos no protocolo de pesquisa. A aplicação dos termos de busca retornou um total de 1202 artigos, conforme apresentado na Tabela 5. Após a remoção dos artigos duplicados e não aplicáveis, a amostra foi reduzida a 518 estudos. A seleção subsequente consistiu na análise do "título, palavras-chave e resumo" x "tópico" em uma planilha de Excel, na qual foi verificada a aderência dos estudos à questão da pesquisa, resultando numa amostra de 87 artigos.

Por fim, foi realizada a última etapa de triagem dos estudos. A partir da leitura dos artigos, foram excluídos estudos que não atendiam um ou mais critérios conforme descritos abaixo: evidenciavam um ou mais processos logísticos: transporte, distribuição, gestão de armazém, gestão de inventário e logística reversa (AGUEZZOUL, 2014); abordavam uma ou mais perspectiva de sustentabilidade corporativa: econômica, social e ambiental (ELKINGTON, 1997); exploravam tecnologias emergentes aplicadas à logística (BARRETO; AMARAL; PEREIRA, 2017; CORRÊA; SAMPAIO; BARROS, 2020); analisavam a Sustentabilidade e a Logística 4.0 a partir da perspectiva organizacional. Após a realização da triagem final e aplicação dos critérios exclusão, 43 artigos foram excluídos, resultando em uma amostra final de 44 artigos.

Tabela 5 - Triagem dos documentos

Bases de dados		Scopus	WOS
Total de artigos		474	728
<i>Aplicação dos Critérios de Inclusão</i>	Tipo de documento: artigos, artigo de revisão e material editorial	259	488
	Tipo de fonte: revistas científicas (<i>Journal</i>)	257	481
	Língua: Inglês	252	481
	Áreas: Administração, Ciências Sociais, Engenharia, Ciências da Computação, Ciências Ambientais, Ciências das decisões	240	442
	Duplicados	-164	
Amostra inicial		518	
<i>Aplicação dos Critérios de exclusão</i>	Documentos não aderentes a questão de pesquisa: Análise título	-337	
	Documentos não aderentes a questão de pesquisa: Análise do Resumo e das Palavras-chave	-94	
	Documentos não aderentes a questão de pesquisa: Leitura dos documentos na íntegra.	-43	
Amostra final		44	

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Subsequentemente, foram realizadas as duas últimas etapas da RSL, que são a análise descritiva e a análise de conteúdo (BARDIN, 2008). Para extrair informações dos artigos selecionados, buscou-se analisar os seguintes códigos: o objetivo da pesquisa, o tipo de abordagem e instrumento de coleta de dados, o grupo de tarefas logística analisado, a dimensão da sustentabilidade estudada e lacunas de pesquisa apontadas no trabalho.

A análise descritiva da amostra foi conduzida utilizando-se o *software* Excel. Esta etapa teve como objetivo apresentar a evolução cronológica das publicações, os estudos mais citados e o método de pesquisa utilizado.

A última etapa realizada foi a análise de conteúdo dos artigos da amostra, na qual foi possível identificar as principais contribuições da Logística 4.0 para a SC, citadas na literatura. A análise de conteúdo permitiu a exploração do material, pois auxilia no processo de encontrar divergências e convergências entre os estudos (BARDIN, 2008).

3.1 Análise Descritiva

A primeira publicação que aborda aspectos correlacionados a Logística 4.0 e SC foi em 2013, o que evidencia que as pesquisas sobre o tema se encontram no estágio nascente (EDMONDSON; MCMANUS, 2007). Entretanto, é possível observar uma taxa de crescimento de estudos que abordam essa temática a cada ano, como apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Distribuição cronológica das pesquisas e método de pesquisa.

Método de Pesquisa	2013	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Total Geral
Entrevista com especialistas	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Estudo de caso	0	0	0	0	2	7	1	0	10
Métodos múltiplos	0	0	1	0	1	0	1	0	3
Revisão de Literatura	0	0	0	2	2	1	2	0	7
Simulação/ Modelagem	0	0	1	1	3	5	4	0	14
Survey	0	0	1	0	2	0	0	1	4
Teórico/ Conceitual	1	2	0	1	1	0	0	0	5
Total	1	2	3	4	11	14	8	1	44

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A maioria dos estudos que abordam a temática analisada são qualitativos, uma vez que o fenômeno “Logística 4.0” diz respeito a conceitos teóricos e incipientes, não sendo possível prever eventuais questões que possam surgir dos dados nas pesquisas, logo, a realização de entrevistas, observações, perguntas abertas e investigações longitudinais são métodos mais adequados (EDMONDSON; MCMANUS, 2007).

Muitos dos estudos concentraram-se em nações europeias, fato acentuado por instaurações de políticas governamentais que fomentaram o desenvolvimento da Indústria 4.0, como por exemplo, o governo alemão, que foi precursor no desenvolvimento de parcerias com as universidades e a indústria, com o objetivo de tornar o país um pioneiro na produção e utilização de tecnologia de informação industrial (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013).

Considerando as tecnologias Indústria 4.0 e a SC, os resultados mostraram que a IoT e BDA, bem com a sua combinação com outras ferramentas, são as tecnologias mais estudadas na amostra analisada. Dos artigos selecionados, Nagy et al. (2018), Winkelhaus e Grosse (2020) e Esmailian et al. (2020) receberam o maior número de citações (Tabela 7) no Scopus ou no WOS. Nagy et al. (2018) é um dos primeiros estudos empíricos que investigou o uso de tecnologias da Indústria 4.0 e como estas tecnologias afetam os processos de negócio, dentre eles, os processos e parceiros logísticos.

Tabela 7 - Estudos mais citados (Scopus)

Autores	Citações	Base de Dados
Nagy et al. (2018)	275	Scopus
Winkelhaus e Grosse (2020)	259	Scopus
Esmailian et al. (2020)	196	Scopus
Dev, Shankar e Qaiser (2020)	173	Scopus
Strandhagen et al. (2017a)	143	Scopus
Bag et al. (2020)	69	Scopus

Autores	Citações	Base de Dados
Bányai (2018)	66	Scopus
Gružauskas, Baskutis e Navickas (2018)	61	Scopus
Gupta e Singh (2021)	61	Scopus
Dev, Shankar e Swami (2020)	60	Scopus
Kazancoglu et al. (2021)	48	Scopus
Kodym, Kubáč e Kavka (2020)	48	Scopus
Hilpert, Kranz e Schumann (2013)	41	Scopus
Bag, Gupta e Luo (2020)	40	Scopus
De Vass, Shee e Miah (2020)	38	Scopus
Jagtap et al (2020)	35	WOS
Trab et al. (2017)	29	Scopus
Varriale et al. (2021)	25	Scopus
Nantee, Sureeyatanapas (2021)	23	Scopus
Buntak, Kovačić e Mutavdžija (2019)	18	WOS
Junge (2019)	17	WOS
Su e Fan (2019)	16	Scopus
Jafari, Azarian e Yu (2022)	15	Scopus
Kucukaltan (2020)	14	Scopus
Cimini et al. (2021)	12	Scopus
Dev et al. (2021)	8	Scopus
Bhargava et al. (2022)	7	Scopus
Ghadge et al. (2022)	7	Scopus
Sidiropoulos, Bechtsis e Vlachos (2021)	7	Scopus
Correia, Teixeira e Marques (2021)	6	Scopus
Mahroof, Omar e Kucukaltan (2021)	6	Scopus
Munsamy, Telukdarie e Dhamija (2020)	6	Scopus
Pishdar et al. (2021)	5	Scopus
Sutawijaya e Nawangsari (2020)	5	Scopus
Parhi et al. (2022)	4	Scopus
Nobrega et al. (2021)	3	Scopus
Samir et al. (2019)	3	Scopus
Aravindaraj e Chinna (2022)	2	Scopus
Zhang et al. (2022)	2	Scopus
Liu et al. (2021)	1	Scopus
Sharma et al. (2023)	1	Scopus
Cherrafi et al. (2022)	0	Scopus
Dobos et al. (2021)	0	Scopus
Trstenjak et al. (2022)	0	Scopus

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

3.2 Contribuições da logística 4.0 para sustentabilidade corporativa

O interesse por tecnologias que possam ampliar a SC vem ganhando cada vez mais espaço, principalmente no que tange ao uso das tecnologias da Indústria 4.0 (STRANDHAGEN et al., 2017). As inovações digitais possuem um importante papel na transparência e no

compartilhamento de informações na CS, uma das capacidades essenciais na construção das cadeias sustentáveis (DEV; SHANKAR; SWAMI, 2020). Neste sentido, a criação de valor pode ser amplificada pela existência de informação mais precisa, apoiando a tomada de decisões e a criação de conhecimentos sobre práticas empresariais sustentáveis (HILPERT; KRANZ; SCHUMANN, 2013).

A literatura demonstra que as iniciativas da Logística 4.0 geram benefícios econômicos, sociais e ambientais. O Quadro 7 apresenta os artigos de acordo com o tipo de enfoque logístico analisado, assim como as tecnologias da Logística 4.0 empregadas e dimensão da SC estudada.

Quadro 7 - Artigos x Grupo de Tarefas logísticas estudados x Dimensão da SC

Autores	Tarefas Logísticas	Tecnologias da Logística 4.0	Dimensão da Sustentabilidade
Aravindaraj e Chinna (2022)	Intralogística	IoT, AR, AI, AGV, Blockchain e RFID	Contribuições Gerais
Bag et al. (2020)	Contribuições Gerais	RFID, GPS, IoT, CC e BDA	Contribuições Gerais
Bag, Gupta e Luo (2020)	Transporte e Gestão de Transportes	IoT, BDA e CC	Social e Econômica
Bányai (2018)	Transporte e Gestão de Transportes	TMS, GPS e IoT	Ambiental e Econômica
Bhargava et al. (2022)	Transporte e Gestão de Transportes	IoT e IA	Contribuições Gerais
Buntak, Kovačić e Mutavdžija (2019)	Intralogística	IoT, CPS, RFID, BDA e WMS	Ambiental e Econômica
Cherrafi et al. (2022)	Contribuições Gerais	IoT, BDA, Impressão 3D, AGV e AMR	Contribuições Gerais
Cimini et al. (2021)	Intralogística	WMS, RFID, Drone, Barcodes, CC, ERP, e AI	Social
Correia, Teixeira e Marques (2021)	Transporte e Gestão de Transportes	CPS e Impressão 3D	Ambiental e Econômica
De Vass, Shee e Miah (2020)	Contribuições Gerais	IoT, RFID, Voice-picking, AGV, Barcodes, EDI, e ERP	Contribuições Gerais
Dev et al. (2021)	Transporte e Gestão de Transportes	IoT, CPS, sensores, CC, ERP,	Ambiental e Econômica
Dev, Shankar e Qaiser (2020)	Transporte e Gestão de Transportes	CPS, ERP, RFID, IoT e Impressão 3D	Ambiental e Econômica
Dev, Shankar e Swami (2020)	Intralogística	CPS, RFID, IoT, CC e ERP	Social
Dobos et al. (2021)	Intralogística	BDA	Ambiental e Econômica
Esmailian et al. (2020)	Contribuições Gerais	ERP, Blockchain e IoT	Contribuições Gerais
Ghadge et al. (2022)	Contribuições Gerais	CPS, IoT, AMR, Impressão 3D, CC, BDA e Blockchain	Ambiental e Econômica
Gružauskas, Baskutis e Navickas (2018)	Transporte e Gestão de Transportes	AGV	Ambiental e Econômica
Gupta e Singh (2021)	Contribuições Gerais	IoT, BDA, CC, AR e AGV	Contribuições Gerais
Hilpert, Kranz e Schumann (2013)	Transporte e Gestão de Transportes	TMS, ERP, GPS e Sistemas baseados em Dispositivos móveis	Social e Ambiental
Jafari, Azarian e Yu (2022)	Contribuições Gerais	BDA, IoT, CC, Blockchain, AR, AGV, AMR, RFID e Simulação	Contribuições Gerais
Jagtap et al (2020)	Contribuições Gerais	Robôs, BDA, Simulação, Integração entre Sistemas, IoT, Cibersegurança, CC, AI, AR, Impressão 3D e Blockchain	Contribuições Gerais

Autores	Tarefas Logísticas	Tecnologias da Logística 4.0	Dimensão da Sustentabilidade
Junge (2019)	Contribuições Gerais	CC, CPS, BDA, AGV, AR, Impressão 3D e IoT	Contribuições Gerais
Kazancoglu et al. (2021)	Contribuições Gerais	IoT, BDA, CC, Impressão 3D e CPS	Contribuições Gerais
Kodym, Kubáč e Kavka (2020)	Contribuições Gerais	IoT, BDA, CC IoT, Impressão 3D e Blockchain	Contribuições Gerais
Kucukaltan (2020)	Contribuições Gerais	RFID, sensores, impressora 3D, CC e Drones	Social e Econômica
Liu et al. (2021)	Contribuições Gerais	IoT, BDA, CC, Blockchain, AGV, AR e AI	Contribuições Gerais
Mahroof, Omar e Kucukaltan (2021)	Contribuições Gerais	IoT e BDA	Contribuições Gerais
Munsamy, Telukdarie e Dhamija (2020)	Intralogística	IoT, CPS, sensores e RFID	Ambiental e Econômica
Nagy et al. (2018)	Transporte e Gestão de Transportes	CPS, BDA, CC, sensores, Robôs, RFID, Produtos e Ferramentas inteligentes	Social e Econômica
Nantee, Sureeyatanapas (2021)	Intralogística	WMS, RFID e Armazém Automático	Contribuições Gerais
Nobrega et al. (2021)	Contribuições Gerais	IoT, BDA, CC e Blockchain	Contribuições Gerais
Parhi et al. (2022)	Contribuições Gerais	BDA, AR, AGV, CC, Sensores, RFID, Blockchain e Robôs	Contribuições Gerais
Pishdar et al. (2021)	Transporte e Gestão de Transportes	IOT e BDA	Contribuições Gerais
Samir et al. (2019)	Contribuições Gerais	BDA, IoT, CC, Blockchain e Impressão 3D	Ambiental e Econômica
Sharma et al. (2023)	Contribuições Gerais	IoT, AI, AR e Digital Twins	Contribuições Gerais
Sidiropoulos, Bechtsis e Vlachos (2021)	Intralogística	Sensores, AR e GPS	Contribuições Gerais
Strandhagen et al. (2017a)	Contribuições Gerais	Drones, Impressão 3D, Produtos inteligentes, CC, AGV, AI e IoT	Contribuições Gerais
Su e Fan (2019)	Transporte e Gestão de Transportes	TMS, BDA e AI	Contribuições Gerais
Sutawijaya e Nawangsari (2020)	Contribuições Gerais	IoT e BDA	Contribuições Gerais
Trab et al. (2017)	Intralogística	RFID, WMS, CPS, CC e IoT	Social e Ambiental
Trstenjak et al. (2022)	Contribuições Gerais	IoT, AI, Blockchain, RFID, CC, Sensores e Robôs	Contribuições Gerais
Varriale et al. (2021)	Intralogística	RFID, IoT e Blockchain	Ambiental e Econômica
Winkelhaus e Grosse (2020)	Contribuições Gerais	IoT, RFID, CPS, BDA, CC, WMS, TMS, GPS, VR, Blockchain, Impressão 3D, AR e Sistemas Móveis	Social e Econômica
Zhang et al. (2022)	Contribuições Gerais	5G e IoT	Contribuições Gerais

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Os principais benefícios econômicos do uso das tecnologias da Logística 4.0 descritos pelos autores são a redução de custos internos (operacionais e de mão de obra); o aumento da produtividade, da eficiência, da acuracidade e das receitas; a ampliação da transparência e da troca de informações entre os membros da cadeia; o aumento da satisfação do cliente; a diminuição do *lead time* e do tempo de resposta (NAGY et al., 2018; GROSSE; WINKELHAUS, 2020; LEE; KANG; PRABHU, 2016; ESMAEILIAN et al., 2020; BAG et al., 2020).

O estudo realizado por Buntak, Kovačić e Mutavdžija (2019) demonstrou que a adoção das tecnologias RFID e IoT na gestão do armazém e estoque possibilita o rastreamento da durabilidade dos produtos, uma vez que é possível controlar a temperatura, umidade do ar e outros parâmetros que afetam a integridade dos materiais, resultando na diminuição das perdas de estoques e ampliação da eficiência, precisão e disponibilidade das informações.

Já a investigação conduzida por Munsamy, Telukdarie e Dhamija (2020) revelou que a digitalização habilitada por tecnologias como a IoT e os dispositivos móveis, reduzem o tempo necessário para a realização de tarefas, como por exemplo, a entrada e o armazenamento de produtos, o que acarreta a redução nas horas trabalhadas e no consumo de energia nas instalações das empresas.

Um estudo empírico realizado por Nantee e Sureeyatanapas (2021) evidenciou que o uso do WMS e de sistemas de armazenamento automatizados, pode melhorar a produtividade, a utilização de recursos, a precisão operacional, a capacidade de resposta e os resultados financeiros das operações logísticas.

O uso de tecnologias como TMS, OMS, CPS, IoT e CC podem trazer vários benefícios ambientais, principalmente, em relação aos processos de transporte e distribuição, dentre eles: redução do nível de emissão de GEE; melhoria da eficiência energética e da difusão de produtos verdes; minimização da produção de resíduos; ampliação do sucesso de iniciativas de logística reversa e ampliação da capacidade das empresas em realizar os 10Rs - recusar, repensar, reduzir, reutilizar, reparar, recondicionar, remanufaturar, reaproveitar, reciclar e recuperar (NAGY et al., 2018; LEE; KANG; PABHU, 2016; DEV; QAISER; SHANKAR, 2020; BÁNAY, 2018; DE VASS; SHEE; MIAH, 2020; NANTEE; SUREEVATANAPAS, 2021).

Simulações realizadas por Lee, Kang e Prabhu (2016) e Gružauska, Baskutis e Navickas (2018) demonstraram que o uso da tecnologia pode reduzir os níveis de emissão de GEE, aumentar a produtividade e diminuir os custos com combustíveis. Já o estudo realizado por Dev, Qaiser e Shankar (2020) evidenciou que adoção de um sistema ERP habilitado para RFID, ampliou o sucesso de iniciativas de logística reversa, por proporcionar a ampliação no compartilhamento das informações em tempo real e difusão de “produtos verdes” no mercado.

Para o segmento de transporte e distribuição, Samir et al. (2019) apontaram que a IoT pode aprimorar o monitoramento, a inviolabilidade e a agilidade do transporte, acelerando a logística de entrada e saída. Para os autores, a IoT e BDA também podem garantir que os produtos sejam armazenados em locais mais próximos dos pontos de consumo, otimizando o tempo e custos com a entrega, bem como a emissão de GEE.

No que diz respeito à sustentabilidade social, as principais contribuições da Logística

4.0 apontadas pelos autores foram a otimização das condições de ergonômicas, a ampliação da segurança das operações, a facilitação ou eliminação da execução de tarefas repetitivas, a redução das horas trabalhadas e o desenvolvimento de novas habilidades (CIMINI, 2021; GROSSE; WINKELHAUS, 2020; NAGY et al., 2018; TRAB et al., 2017).

Vários autores exploram a melhoria das tarefas de gerenciamento de estoque e armazém, habilitados pelo uso de RFID, WMS, robôs autônomos, computação em nuvem e IoT. Por exemplo, Trab et al. (2017) propuseram um modelo que utilizou a IoT para viabilizar interações controladas e orientadas para a segurança entre todos os objetos em um armazém, desde produtos, prateleiras e empilhadeiras até funcionários.

O fator humano é um aspecto explorado em alguns dos estudos analisados. Por exemplo, em uma *survey* realizada com 43 empresas pertencentes à Associação Húngara de Logística, Compras e Gestão de Estoque e à Associação Húngara de Manuseio de Embalagens e Materiais, Nagy et al. (2018) identificaram que o uso de tecnologias como CPS, Big Data e IoT trouxeram aumento da produtividade e eficiência dos funcionários das organizações. Isso ocorreu, pois os funcionários passaram a ser monitorados em tempo real, sendo possível reconhecer o desempenho de bons funcionários. Além disso, outra contribuição do estudo é a identificação da possibilidade de aprendizado e enriquecimento no nível e qualidade do trabalho.

Entretanto, Nagy et al. (2018) reforçaram que as tecnologias também podem impactar na redução da motivação dos funcionários, uma vez que muitos destes temem perder seus empregos para a automatização dos processos e robotização. Entretanto, uma pesquisa longitudinal realizada por Cimini et al. (2021), evidenciou que a tecnologia tende a substituir os operadores logísticos, na execução de tarefas físicas perigosas e em tarefas cognitivas estressantes e repetitivas, demonstrando que a evolução da Logística 4.0 tende a se concentrar na assistência do operador, ao invés de substituição.

O uso da tecnologia possui vários benefícios, porém existem diversos riscos associados à sua implementação, conforme apontado por o Kodym, Kubáč e Kavka (2020). Segundo um framework desenvolvido pelo autores, os principais riscos são: econômicos (alto investimento, dependência da tecnologia, necessidade de alterar o modelo de negócios e competitividade, etc.), sociais (perda de empregos, funcionários que não são capazes de se adaptar com rapidez suficiente e atender aos novos requisitos para atividades dentro das tecnologias, etc.), técnicos e tecnológicos (por exemplo, falhas de *softwares*, segurança dos dados,), riscos legais e políticos (como a posse de dados do ponto de vista jurídico) e ecológicos (por exemplo, se o transporte e armazenamento de energia para a implementação e uso de tecnologias de Logística 4.0 consomem mais energia do que os ganhos de eficiência que seriam gerados).

Essas questões têm ampliado as discussões sobre o papel do ser humano na transição tecnológica, fazendo com que o conceito emergente de Logística 5.0 comece a ser debatido pelo mercado e por pesquisadores, uma vez que ele incorpora a centralidade humana, a resiliência e a sustentabilidade na logística inteligente, buscando assegurar o desenvolvimento sustentável nas dimensões econômica, ambiental e social (JAFARI; AZARIAN; YU, 2022). Jafari, Azarian e Yu (2022, p. 18) reforçam que na Indústria 5.0, o equilíbrio é deslocado para a compreensão e incorporação “dos aspectos humano e ambiental, e as novas tecnologias são utilizadas não para substituir os operadores humanos, mas para apoiar as suas operações de forma mais eficaz para melhor alcançar produtos e serviços altamente personalizados”.

Além disso, a pesquisa realizada por Cherrafi et al. (2022) revelou que no contexto da pandemia do COVID-19, em que emergiram desafios como as flutuações e incertezas na oferta e na demanda, a concentração de fornecedores em regiões específicas, a existência das CS globalizadas, a digitalização e aplicação de práticas sustentáveis podem ajudar no aprendizado e reconfiguração das CS, tornando-as mais resilientes, sustentáveis e robustas.

3.3 Framework de pesquisa

A partir da revisão sistemática da literatura apresentada acima, é possível posicionar este trabalho no estado-da-arte. Primeiramente, verificou-se que existem poucos estudos empíricos que analisam as contribuições das tecnologias da Logística 4.0 para as empresas que atuam em nações emergentes. O estudo desenvolvido por Winkelhaus e Grosse (2020) demonstrou que as tecnologias provocaram mudanças significativas nas forças de trabalho e aponta como oportunidade de pesquisa futura a investigação de como as organizações estão atuando na adequação e transformação de suas estratégias e funcionários.

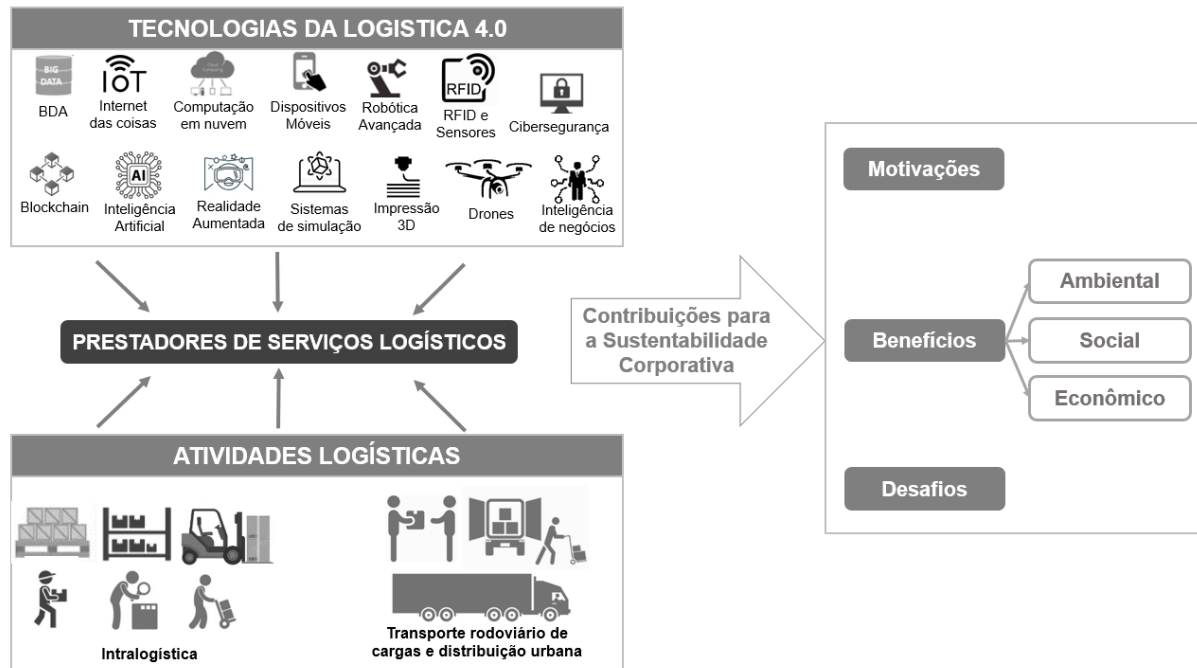
Como a maioria das atividades de logística são terceirizadas (LANGLEY, 2020), uma proporção significativa da transformação digital da logística depende dos PSL. Diante disso, Karia (2018) aponta que é importante o desenvolvimento de pesquisas que analisem como as inovações digitais podem afetar as configurações dos recursos financeiros, físicos, humanos, relacionais e organizacionais dos PSL.

No que tange ao aspecto das consequências da Logística 4.0 para a sustentabilidade, Pishdar et al. (2021) estimulam que estudos futuros analisem como as inovações digitais podem apoiar o monitoramento e avaliação do desempenho sustentável dos PSL, bem como seu alinhamento com outras partes das CS sustentáveis.

Perante o exposto, essa pesquisa se posiciona na investigação de questões complexas

que envolvem o uso das tecnologias da Logística nos PSL, e como elas pode influenciar no desenvolvimento e fortalecimento das práticas sustentáveis na CS. Para isso, a Figura 15 apresenta um *framework* teórico, que sintetiza questões que foram exploradas nesta pesquisa.

Figura 15 - *Framework* da pesquisa



Fonte: Elaborada pela autora (2023).

Os PSL atuam na CS oferecendo uma gama de atividades logísticas, dentre elas a execução e gestão da intralogística, do transporte rodoviário de cargas e da distribuição urbana. Para apoiar esses processos, os PSL utilizam sistemas de informações logísticos e tecnologias da Logística 4.0 que se integram para coordenar o fluxo de informações e materiais na CS, tendo alto potencial para ampliação do desempenho sustentável das organizações através de benefícios ambientais, sociais e econômicos. A seleção das tecnologias ocorre por motivos diferentes e é um processo complexo e desafiador para os PSL.

Para finalizar o capítulo teórico desta dissertação, o Quadro 8 reúne os principais conceitos que norteiam a discussão.

Quadro 8 - Principais conceitos que norteiam a pesquisa

Conceito	Definição	Fonte
Logística empresarial	Logística é um processo da Cadeia de Suprimentos, sendo esse processo responsável pela coordenação do fluxo de mercadorias, serviços e informações desde o ponto em que existem como matérias-primas até aquele em são descartadas, para que os bens e serviços sejam disponibilizados aos consumidores quando e onde estes quiserem adquiri-los.	Ballou (2009)
Cadeia de Suprimentos (CS)	CS corresponde ao conjunto das organizações, recursos e atividades interligadas e comprometidas com a produção, distribuição e comercialização de produtos acabados e serviços para o consumidor final.	Lambert, Cooper e Pagh (1998)
Intralogística	A intralogística ou logística interna (também conhecida como logística <i>in house</i>), compreende a um conjunto de atividades necessárias para movimentar materiais, produtos acabados e matérias-primas dentro do armazém, englobando o planejamento, execução, otimização e automatização de todo o fluxo de recebimento, conferência, armazenagem, expedição e gestão de informações.	Fernandes, et al. (2019)
Transporte rodoviário de cargas (TRC)	É o transporte de produtos semiprontos ou acabados, como produtos a granel (sólido ou líquido), carga seca ou produtos com exigência de tratamentos especiais (carga fracionada, carga frigorificada, químicos ou perigosos e veículos), através de ruas, rodovias, estradas pavimentadas ou não, área urbana ou rural.	CNI (2016)
Logística 4.0	Consiste em um sistema logístico que permite o atendimento sustentável das demandas individualizadas dos clientes e no desenvolvimento da indústria, por meio do uso de tecnologias digitais.	Winkelhaus e Grosse (2020)
Desenvolvimento sustentável	O desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a possibilidade de as gerações futuras atenderem as suas próprias necessidades	CMMAD (1991, p. 46)
Sustentabilidade Corporativa (SC)	A obtenção da prosperidade econômica através do desenvolvimento produtos e serviços lucrativos, sem que estes gerem impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade.	Dyllick e Hockerts (2002) e Veleva e Ellenbecker (2001)
Práticas sustentáveis	Estratégias empresariais que contribuem para a implantação da SC, como medidas econômicas, investimentos, ações institucionais, modificações de processos e procedimentos jurídicos.	Heizmann, Campos e Lerípio (2002)

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A seguir, são descritas as etapas metodológicas desta pesquisa.

4 METODOLOGIA DE PESQUISA

Essa seção engloba os procedimentos metodológicos utilizados para responder à questão de pesquisa e objetivos propostos. A seção 4.1 apresenta a abordagem da pesquisa selecionada para condução deste estudo, bem como as etapas do mesmo; a seção 4.2, as características do estudo de casos múltiplos, enquanto a seção 4.3 apresenta as características das entrevistas conduzidas com especialistas; a seção 4.4 aborda o processo de coleta de dados; a seção 4.5 detalha o processo de análise de dados, e por fim, a seção 4.6 descreve a matriz de amarração.

4.1 Caracterização da pesquisa

Tem-se que a sinergia entre a Logística 4.0 e SC é uma temática recente, em que os estudos estão concentrados em nações desenvolvidas. Sendo assim, devido à natureza do problema de pesquisa, a abordagem selecionada para este estudo é a qualitativa, uma vez que envolve uma perspectiva interpretativa e naturalista do objeto de estudo, com o propósito de compreender e interpretar o fenômeno observado a partir dos significados que as pessoas atribuem a ele (DENZIN; LINCOLN, 2011). Dessa forma, procura-se investigar o assunto em questão de forma profunda e subjetiva, considerando diversos pontos de vista (FLICK, 2009).

No que se refere aos objetivos, esta pesquisa possui caráter exploratório-descritivo, pois sua principal finalidade é proporcionar uma visão do tema (GIL, 2008), que se encontra em estágio nascente (EDMONDSON; MCMANUS, 2007). Como sugerido por Gil (2008), ao examinar um tema com a finalidade de ampliar os conhecimentos, o estudo de caso é um procedimento comumente adotado.

O estudo enquadra-se como uma pesquisa aplicada, visto que sua finalidade reside na geração de conhecimentos sobre as tecnologias da Logística 4.0 empregadas nas atividades logística e suas contribuições para desenvolvimento sustentável dos PSL, tal qual apoiar o desenvolvimento de soluções para problemas associados a essa temática (DA SILVA; MENEZES, 2005).

Considerando que as tecnologias da Indústria 4.0 são tendências com potencial em tornar a sociedade mais sustentável e que, segundo Dubey et al. (2017), a logística representa uma das áreas mais críticas para a Indústria 4.0, em razão da necessidade de atingir um alto nível de integração com a cadeia de suprimentos (KAGERMANN et al., 2013), realizou-se, inicialmente, uma revisão sistemática da literatura, seguida de uma pesquisa de campo a partir

da condução do estudo de casos múltiplos com cinco PSL e entrevistas com sete especialistas da área de logística e sustentabilidade aplicada à logística.

A RSL foi empregada a fim de analisar a produção científica sobre a sinergia dos temas Logística 4.0 e SC, e posicionar as contribuições deste trabalho. A interpretação e a análise das informações mapeadas direcionaram a construção de um referencial teórico sobre os principais conceitos associados ao assunto e na construção do instrumento de coleta de dados utilizado no estudo de casos múltiplos e nas entrevistas com os especialistas (TRANFIELD; DENYER; SMART, 2003).

A investigação empírica, foi realizada a partir da condução de um estudo de casos múltiplos e entrevistas com especialistas, do mesmo modo que o trabalho conduzido por Lopes (2019). O estudo de casos múltiplos busca investigar um fenômeno dentro de seu contexto real contemporâneo e foi selecionado para se obter um conhecimento amplo e detalhado do fenômeno foco dessa investigação (YIN, 2005). Já as entrevistas com especialistas servem como uma fonte externa de conhecimento, fornecendo conhecimento contextual sobre o grupo-alvo investigado (DÖRINGER, 2021), logo, é uma forma de complementar as percepções provenientes da aplicação do estudo de casos (FLICK, 2009).

4.2 Estudo de casos múltiplos

4.2.1 Planejamento das entrevistas

Para Yin (2005, p. 32), “o estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real”. A adoção do estudo de caso é adequada quando são propostas questões de pesquisa do tipo “como” e “por que”, buscando-se investigar os fenômenos dentro de seu contexto real (YIN, 2005). Para ampliar a confiabilidade e nortear o estudo, o Quadro 9 apresenta o protocolo de pesquisa utilizado.

Quadro 9 - Protocolo de estudo de caso

Questão de pesquisa	Como a Logística 4.0 contribui para que as atividades dos Prestadores de Serviço Logístico sejam sustentáveis?
Objetivo geral	Analisar como a adoção da Logística 4.0 pode promover a sustentabilidade das atividades dos Prestadores de Serviço Logístico.
Temas da sustentação teórica	Logística 4.0; Sustentabilidade Corporativa
Método de pesquisa	Estudo de casos múltiplos.
Constructos	Tecnologias de Logística 4.0; Estratégia Organizacional; Práticas sustentáveis; Relação entre a Logística 4.0 e Sustentabilidade Corporativa.
Unidade de análise	Processos dos Prestadores de Serviços Logísticos
Período de realização	Janeiro à Outubro de 2022

Fontes de dados e confiabilidade	Entrevistas semiestruturadas e análise documental
Validade dos constructos	Fontes múltiplas de evidências (entrevistas e documentos).
Validade interna	Comparação entre os casos na busca por padrões de convergência e entrevistas complementares com especialistas da área
Validade externa	Fontes múltiplas de evidências (entrevistas e documentos).
Exemplos de questões-chave	Quais são os principais benefícios observados pelo uso destas tecnologias? Como a organização se adaptou aos novos processos e tecnologias?

Fonte: Baseado em Yin (2005)

Voss, Tsiriktsis e Frohlich (2002) destacam que, ao desenvolver um estudo de caso, é importante considerar quais são os parâmetros ou critérios que definem a população que se deseja estudar e orientam a seleção dos casos. Diante disso, o Quadro 10 apresenta os critérios de seleção das organizações que participaram do estudo de casos múltiplos.

Quadro 10 - Critérios para seleção das organizações participantes do estudo

Critério	Descrição
<i>Logística 4.0</i>	Utilizam ao menos uma ferramenta de Logística 4.0: CPS, IoT, BDA, CC, Blockchain, Sistemas de simulação, dispositivos móveis, Impressão 3D, Crowdsourcing e Drones
<i>Sustentabilidade corporativa</i>	Possuem iniciativas, práticas, certificações e/ou programas que impactam nas dimensões da sustentabilidade corporativa (econômica, social, ambiental).
<i>Tipo de organização</i>	PSL que oferecem uma única atividade logística (intralógica ou transporte), operadores logísticos (<i>Third-Party Logistics</i>) ou integradores logísticos (<i>Fourth-Party Logistics</i>).
<i>Porte da empresa</i>	Empresas que possuam ao menos 100 funcionários.
<i>Localização</i>	Possuem ao menos uma de suas operações localizadas no estado de São Paulo.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A prospecção dos PSL ocorreu a partir dos dados disponibilizados no portal da Tecnológica (<https://www.tecnologica.com.br/portal/operadores-logisticos/>), que contém uma base de contatos de acesso livre, contendo os serviços oferecidos e tecnologias empregadas em 145 prestadores de serviços logísticos que atuam no Brasil (TECNOLOGÍSTICA, 2021).

Este estudo foi desenvolvido com cinco PSL (cujos nomes serão suprimidos) com o objetivo de alcançar a saturação dos dados. A saturação ocorre quando novas informações produzem pouca ou nenhuma mudança nos códigos identificados (YIN, 2005). Essa abordagem é respaldada por Eriksson e Kovalainen (2015), que afirmam não haver uma regra específica sobre o número mínimo de casos em estudos de casos múltiplos. Eisenhardt (1989) e Barratt, Choi e Li (2011), por sua vez, sugerem que um intervalo de 4 a 10 casos geralmente é suficiente para obter múltiplas evidências sobre o objeto de estudo. Na área de operações e gestão da cadeia de suprimentos, existem diversos exemplos de estudos que utilizam de três a dez casos, como os conduzidos por Jabbour et al. (2015) e Machado, Paiva e da Silva (2018).

Ao selecionar cinco PSL como casos de pesquisa, foi possível obter uma quantidade significativa de dados. Essa abordagem garantiu a obtenção de uma ampla gama de informações

relevantes para a pesquisa, consolidando as evidências coletadas e aumentando a confiabilidade dos resultados. Portanto, a escolha desse número de casos foi fundamentada na saturação dos dados, permitindo uma análise abrangente e conclusões sólidas.

4.2.2 Caracterização das empresas e dos entrevistados

A pesquisa foi desenvolvida com dois funcionários de cada empresa, totalizando dez entrevistas, sendo que estes funcionários pertenciam ao nível gerencial das áreas funcionais de logística, inovação, operações, sustentabilidade/ESG e segurança do trabalho (Serviços Especializados em Segurança e Medicina do Trabalho – SESMT), ou correlatas. O Quadro 11 apresenta um resumo das principais características das empresas analisadas neste estudo, cujos entrevistados e organizações foram identificadas através de códigos, a fim de manter o sigilo dos dados. Vale ressaltar que apesar de algumas empresas oferecerem outros serviços logísticos além da intralogística e TRC, nem todas as atividades foram analisadas, por não se adequarem à questão de pesquisa deste estudo.

Quadro 11 - Caracterização das empresas dos casos investigados

Empresa (Código)	Nacionalidade	Número de Funcionários no Brasil	Número de Operações no Brasil	Atividade analisada
Caso 1	Multinacional	Acima de 5 mil	Mais de 30	Intralogística
Caso 2	Multinacional	Acima de 5 mil	Entre 20 e 30	Intralogística
Caso 3	Multinacional	Entre 1 mil e 3 mil	Entre 10 e 20	Intralogística e Transporte
Caso 2	Nacional	Entre 1 mil e 3 mil	Até 10	Intralogística e Transporte
Caso 4	Nacional	Entre 1 mil e 3 mil	Até 10	Intralogística e Transporte

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A empresa do **Caso 1** é uma divisão de um grupo europeu que oferece soluções de logística integrada, voltada para a área de distribuição e armazenagem atuando em clientes de diversos setores, como varejo, tecnologia, saúde e automotivo. De acordo com informações do relatório de sustentabilidade de 2021, a empresa foi fundada há mais de 40 anos, e sua atuação consiste na gestão das atividades de armazenamento, coleta, embalagem, expedição e devolução de produtos, alocados em armazéns dedicados ou compartilhados. Os gestores entrevistados da empresa atuam em uma operação do setor de *e-commerce* (da área de tecnologia), localizado na planta fabril da empresa contratante, sendo eles o coordenador de Saúde, Segurança do Trabalho e Meio Ambiente (ESG Caso 1), que é responsável local pela gestão do programa de sustentabilidade da empresa; e a Coordenadora de Operações

(Operações Caso 1) que é responsável pelas atividades de recebimento, armazenamento e expedição dos produtos.

A empresa do **Caso 2** também é um operador multinacional europeu de contratos logísticos, que atua no mercado brasileiro desde 2002 fornecendo serviços de intralogística em mais de 700 mil m² de área distribuídas em 5 estados. Conforme descrito no site institucional, a empresa atua nos setores de *e-commerce*, moda, varejo, químico, cosméticos e automotivo, oferecendo serviços de gestão de centro de distribuição, montagem de kits, abastecimento de linha de produção, automação de processos, projetos customizados e gestão de fluxo de transporte. As entrevistas ocorreram com o gerente corporativo de Saúde, Segurança do Trabalho e Meio Ambiente (ESG Caso 2), incumbido pelo programa nacional programa de *Corporate Social Responsibility* (CSR), que é o programa de sustentabilidade e responsabilidade social da empresa; e com o gerente nacional de Melhoria Contínua e Inovação (Operações Caso 2), que controla todos os projetos de inovação e implantação de novas tecnologias na empresa.

Como descrito no site institucional, a empresa do **Caso 3** é uma multinacional europeia com mais de 50 anos de operações no Brasil, com forte atuação nos modais marítimo, aéreo e gestão de contratos logísticos e armazéns. A empresa atua no setor de saúde, mais especificamente no ramo farmacêutico e dispositivos médicos, bem como no setor de agronegócio, bens de consumo, industrial, automotivo e tecnologia; através do oferecimento de serviços de logística de produção, embalagem, distribuição, pós-venda e *e-commerce*. Os entrevistados da empresa foram o gerente nacional de Saúde, Segurança do trabalho e Meio Ambiente (ESG Caso 3), responsável pela gestão e controle do programa de sustentabilidade que abrange tópicos ambientais, sociais e de governança; e com o gerente de uma operação do interior de São Paulo (Operações Caso 3), que gerencia todos os funcionários e atividades de intralogística desta operação, que engloba o recebimento, armazenamento, expedição, conferência e controle de inventário.

A empresa do **Caso 4** é um operador logístico brasileiro fundado há mais de 30 anos, que atua nos estados de São Paulo e Minas Gerais oferecendo serviços de intralogística, transporte e gestão do transporte. Conforme informações disponíveis no site institucional, a empresa oferece serviços de transferência de produtos entre fábricas e centros de distribuição, movimentação interna de mercadorias, carregamento e descarregamento de caminhões, montagem de cargas, roteirização e distribuição urbana, para os setores de varejo, agrícola e industrial. Os entrevistados da empresa foram o coordenador corporativo de Saúde, Segurança do trabalho e Meio Ambiente (ESG Caso 4), que coordena e monitora as práticas internas

vinculadas ao programa de excelência do principal cliente na empresa, que envolve ações e iniciativas da área de sustentabilidade, segurança, meio ambiente e qualidade; e o coordenador de uma das operações da empresa (Operações Caso 4), que controla as atividades de intralógica e transporte de um centro de distribuição de um cliente do setor de varejo.

Por fim, a empresa do **Caso 5** é um operador logístico nacional com mais de 50 anos de fundação, que atua em 11 estados do território brasileiro, nas regiões sudeste, sul e nordeste. Como descrito no relatório de sustentabilidade de 2021, a empresa atua na logística de distribuição de bens de consumo, que inclui a coleta na fábrica ou centro de distribuição, a roteirização e rastreamento da carga, e a entrega nas lojas, pontos de venda, distribuidores e endereços residenciais. Os entrevistados da empresa foram o gerente nacional de Saúde, Segurança do trabalho e Meio Ambiente (ESG Caso 5), que controla o programa de Excelência e ESG da empresa, e o coordenador (Operações Caso 5) de uma das filiais da empresa, responsável pelas atividades de intralógica e gestão das entregas.

Em relação às entrevistas, ao todo participaram desta etapa do estudo 10 pessoas, sendo 1 mulher e 9 homens. A maioria dos entrevistados possui mais de 5 anos de experiência na área de atuação, sendo que 5 são coordenadores e 5 são gerentes. O Quadro 12, resume o perfil dos entrevistados.

Quadro 12 - Caracterização dos entrevistados dos casos analisados

Caso	Código	Área	Experiência na área	Tempo na Função	Nível Hierárquico
Caso 1	ESG Caso 1	SESMT - ESG	Entre 5 e 10 anos	Entre 1 e 3 anos	Coordenador
Caso 1	Operações Caso 1	Operações	Entre 5 e 10 anos	Entre 1 e 3 anos	Coordenador
Caso 2	ESG Caso 2	SESMT - ESG	Mais de 10 anos	Entre 5 e 10 anos	Gerente
Caso 2	Operações Caso 2	Operações/Inovação	Mais de 10 anos	Entre 5 e 10 anos	Gerente
Caso 3	ESG Caso 3	SESMT - ESG	Mais de 10 anos	Entre 1 e 3 anos	Gerente
Caso 3	Operações Caso 3	Operações	Mais de 10 anos	Entre 1 e 3 anos	Gerente
Caso 4	ESG Caso 4	SESMT - ESG	Entre 5 e 10 anos	Entre 1 e 3 anos	Coordenador
Caso 4	Operações Caso 4	Operações	Entre 1 e 3 anos	Entre 1 e 3 anos	Coordenador
Caso 5	ESG Caso 5	SESMT - ESG	Entre 5 e 10 anos	Entre 1 e 3 anos	Gerente
Caso 5	Operações Caso 5	Operações	Entre 5 e 10 anos	Entre 1 e 3 anos	Coordenador

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

4.3 Opinião dos Especialistas

4.3.1 Planejamento das entrevistas

A entrevista com especialistas é um método de pesquisa qualitativa utilizado para investigar as percepções de especialistas sobre um determinado fenômeno, questão ou evento (FLICK, 2009). Segundo Flick (2009), a entrevista com especialistas é indicada como método complementar, podendo ser considerada como um exemplo de triangulação de diferentes perspectivas sobre uma questão em estudo, sendo este o motivo para seleção desta estratégia para esta pesquisa.

Um especialista pode ser caracterizado como uma pessoa que possui vasta experiência prática e/ou experiência de ensino sobre um determinado fenômeno, questão ou evento (VON SOEST, 2022). Para essa pesquisa, especialista é definido como um gestor, consultor ou professor que possui mais de 5 anos de experiência na área de logística ou sustentabilidade aplicada aos serviços logísticos, com conhecimentos práticos e/ou teóricos sobre tecnologias da Logística 4.0.

A prospecção dos especialistas ocorreu entre os meses de janeiro e maio de 2022, através de buscas no site LinkedIn, que é uma rede social profissional, focada em negócios e emprego e reúne profissionais de diversas áreas e segmentos. O Quadro 13 contempla os critérios para seleção dos especialistas que participaram deste estudo.

Quadro 13 - Critérios para seleção dos especialistas

Critérios de Seleção	Descrição
Área de atuação	Gestão de operações logísticas. Inovação, tecnologias e sustentabilidade aplicada à logística.
Tempo de experiência	Mais de 5 anos.
Conhecimentos práticos e/ou teóricos	Conhecimentos em gestão de operações logísticas, Logística 4.0, atividades logísticas (intralogística e/ou transportes) e práticas sustentáveis aplicada à logística.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Para Döringer (2021) não há um consenso sobre a quantidade de especialistas que devem ser entrevistados, uma vez que ela irá variar de acordo com o objetivo do estudo e o instrumento de coleta de dados selecionado. Diante disso, semelhantemente aos estudos conduzidos por Mubarik et al. (2020) e Nguyen (2019), foram conduzidas sete entrevistas com especialistas.

4.3.2 Caracterização dos especialistas

A pesquisa foi desenvolvida com especialistas das áreas de logística ou sustentabilidade aplicada aos serviços logísticos, sendo 2 mulheres e 5 homens, cujos nomes foram omitidos. Para identificar cada um destes especialistas, foi estabelecido um código, conforme descrito no Quadro 14.

Quadro 14 - Caracterização dos especialistas entrevistados no estudo

Código	Tempo de experiência	Área de atuação	Descrição do entrevistado
Especialista 1	Mais de 10 anos	Gestão de operações logísticas e sustentabilidade	Diretora executiva de uma instituição vinculada a operadores logísticos.
Especialista 2	Entre 5 e 10 anos	Inovação e tecnologia aplicada à logística	Fundador e CEO de uma <i>startup</i> de tecnologia em logística (<i>logtech</i>).
Especialista 3	Mais de 10 anos	Transporte e sustentabilidade	Doutor em engenharia de transportes.
Especialista 4	Entre 5 e 10 anos	Inovação e tecnologia aplicada à logística	Fundador e CEO de uma <i>startup</i> de tecnologia em logística (<i>logtech</i>).
Especialista 5	Mais de 10 anos	Gestão de operações logísticas e inovação	Consultor e gestor em operações logísticas e indústria 4.0.
Especialista 6	Mais de 10 anos	Gestão de operações logísticas e sustentabilidade	Gerente de estratégia logística.
Especialista 7	Mais de 10 anos	Gestão de operações logísticas e sustentabilidade	Coordenador de transporte e ESG.

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A Especialista 1 é uma diretora executiva de uma instituição que possui mais de 20 operadores logísticos vinculados, na qual são tratadas questões sobre o segmento, tendências e desafios do mercado de operadores logísticos, como as rupturas causadas pela pandemia do COVID-19, as variações no preço nos combustíveis, e a adoção de inovações tecnológicas e sustentabilidade nestas empresas.

O Especialista 2 é o fundador e CEO de uma empresa de tecnologia de robótica avançada, que fornecesse robôs do tipo AMR para transporte de cargas em ambientes industriais e de intralogística.

O Especialista 3 é um Doutor em Engenharia de Transportes, com vasta experiência em sustentabilidade, mobilidade e logística, bem como cenários prospectivos futuros para uso de energia em transportes, tendo atuado na iniciativa privada e na iniciativa pública. Também é professor associado de um Programa de Engenharia de Transportes, no qual é responsável pelo laboratório de transporte de carga.

O Especialista 4 é o fundador e CEO de uma *startup* especializada em otimização da roteirização e do trabalho operacional nas empresas de transporte, a partir do uso de AI.

O Especialista 5 é um ex-diretor de operações logísticas de duas multinacionais do

seguimento de bens de consumo que atualmente trabalha como consultor especializado em gestão de operações logísticas e Indústria 4.0.

A Especialista 6 é uma gerente de estratégia logística responsável pela gestão de processos relacionados a estratégia de transportes (recebimento e expedição) em nível nacional, em uma empresa da área de *commodities*.

O Especialista 7 é um coordenador de transporte e ESG em uma transportadora nacional, na qual é responsável pelas áreas de logística, transporte, armazenagem, distribuição, ESG, apoio comercial e desenvolvimento de novos negócios.

4.4 Processo de coleta dos dados

A coleta de dados ocorreu entre janeiro e outubro de 2022. A principal fonte de coleta de dados foi a condução de entrevistas semiestruturadas, com dois funcionários de cada um dos cinco PSL e com os sete especialistas, utilizando a estratégia funil, com perguntas gerais e abrangentes no início, e conforme a entrevista avançava, as perguntas se tornaram mais específicas e detalhadas (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002).

Os instrumentos de pesquisa utilizados no estudo de casos múltiplos ([Apêndice A](#)) e nas entrevistas com especialistas ([Apêndice B](#)), foram elaborados com base na revisão da literatura e serviu como um guia e um *checklist* para garantir que todos os tópicos fossem abordados nas entrevistas (VOSS; TSIKRIKTSIS; FROHLICH, 2002). Ressalta-se que este projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos (CEP) da UFSCar (CAAE 52898121.8.0000.5504) em 16/10/2021.

Devido ao cenário de pandemia, a condução de entrevistas ocorreu de forma remota, utilizando a ferramenta *Google Meet*. Nesse sentido, cabe destacar que foram seguidas todas as orientações para procedimentos de pesquisas com etapas em ambiente virtual estabelecidas pela Comissão Nacional de Ética em Pesquisa (CONEP), conforme o [documento online](#) disponibilizado no site da ProPq-UFSCar. Logo, o convite e recrutamento para participação nesta pesquisa foi realizado por e-mail de forma individual, ou seja, contendo apenas um destinatário e assegurando que nenhum outro potencial participante tivesse acesso os dados de contato. As entrevistas ocorreram entre os meses de janeiro e outubro de 2022 e tiveram de 50 a 85 minutos, foram gravadas em vídeo e posteriormente, transcritas. As transcrições de todas as entrevistas totalizaram 145 páginas e foram realizadas com o apoio do *Microsoft Word* e do *software* Tacquit, que é uma extensão utiliza para transcrição automática.

Não houve um número pré-definido de entrevistas, contudo, os dados foram coletados

até que a saturação de elementos fosse encontrada (YIN, 2005). Neste estudo, as entrevistas consistiram na fonte principal de coletas dos dados, contudo, outras fontes de dados foram analisadas, como os *websites* institucionais e relatórios de sustentabilidade, o que permitiu a triangulação dos dados, aumentando a credibilidade e a confiabilidade dos resultados, uma vez que são utilizados mais de um método e fonte de dados (FLICK, 2009).

4.5 Desafios na Coleta de Dados

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, foram enfrentadas diversas dificuldades que impactaram o processo de coleta de dados. Primeiramente, destaca-se a dificuldade em acessar e envolver Prestadores de Serviço Logístico (PSL) de destaque no segmento. Algumas empresas expressaram receios em compartilhar informações sensíveis ou estratégicas, mesmo com garantias de confidencialidade. Essa limitação resultou em restrições na obtenção de uma amostra mais diversificada de participantes, afetando a representatividade dos resultados.

Além disso, a burocracia envolvida na obtenção de aprovação para a realização da pesquisa também foi um desafio significativo. O processo de aprovação exigiu a passagem por várias instâncias dentro das empresas, resultando em atrasos e dificuldades adicionais para garantir a participação das empresas selecionadas. Essa burocracia pode ser especialmente acentuada em empresas multinacionais e de maior porte, que possuem processos mais segmentados e estruturados.

Durante as entrevistas, constatou-se que muitos entrevistados possuíam um entendimento limitado dos conceitos de sustentabilidade e logística 4.0. Em particular, muitos associavam a sustentabilidade apenas à dimensão ambiental, negligenciando os aspectos econômicos e sociais. A sustentabilidade social, por exemplo, era frequentemente interpretada como ações isoladas realizadas por comunidades locais ou atividades de ajuda humanitária.

Além disso, verificou-se que o conceito de logística 4.0 é abrangente e nem sempre estava claramente definido na percepção dos entrevistados. Houve dificuldade em identificar se determinadas tecnologias mencionadas estavam realmente inseridas na indústria 4.0 e se eram consideradas parte da logística 4.0. Diante dessa situação, optou-se por permitir que os entrevistados descrevessem suas próprias experiências e perspectivas sobre as tecnologias utilizadas em suas operações logísticas. Ao longo da entrevista, foram feitas perguntas específicas para abordar tecnologias como BI e BDA, a fim de obter informações mais precisas sobre sua adoção e impacto.

Diante desses desafios, a condução das entrevistas envolveu não apenas a coleta de

dados, mas também a tarefa de esclarecer e contextualizar os conceitos fundamentais desta pesquisa, garantindo uma compreensão mais completa e consistente por parte dos entrevistados. Essa abordagem permitiu uma maior profundidade nas respostas obtidas e uma visão mais precisa das percepções e experiências dos PSL em relação à SC e às tecnologias da Logística 4.0.

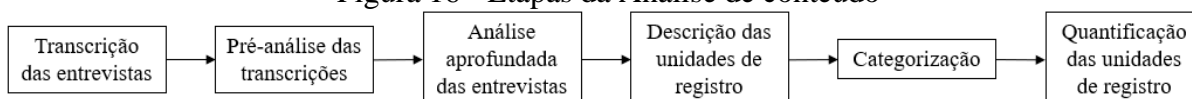
4.6 Análise dos dados

A análise dos dados foi conduzida a partir da técnica de análise de conteúdo, que representa um conjunto de técnicas de análise de comunicações, que utiliza procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens e indicadores que permitam a inferência de conhecimentos e construção de significado dessas mensagens (BARDIN, 2008).

Para a viabilizar a codificação e categorização dos dados coletados, foi utilizado o *Software NVivo*. O *NVivo* é uma ferramenta empregada na análise da informação qualitativa, no qual é possível realizar a transcrição de vídeos e áudios, apoiando assim, o processo analítico dos dados (DA SILVA; MENEZES, 2015).

A análise dos dados, foi realizada conforme os procedimentos sugeridos por Bauer e Gaskell (2002) e Bardin (2008), que estão representados na Figura 16.

Figura 16 - Etapas da Análise de conteúdo



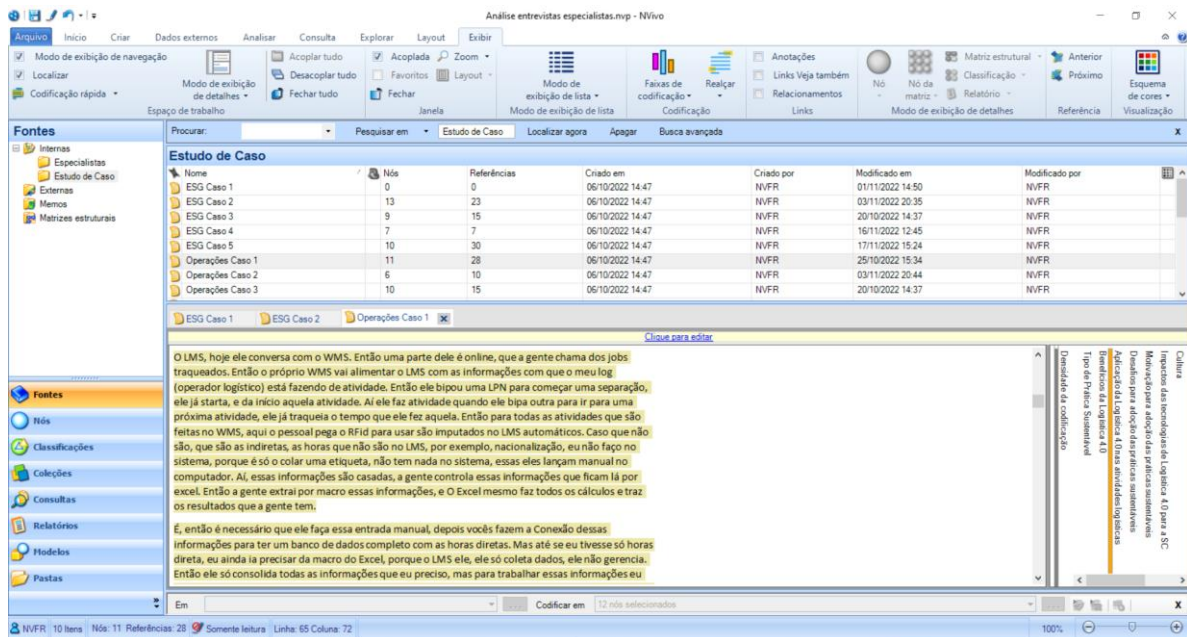
Fonte: Adaptado de Bauer e Gaskell (2002) e Bardin (2008).

Inicialmente, foi empregado o processo de transcrição das entrevistas com o objetivo de simplificar a análise do texto e selecionar os trechos essenciais do discurso dos entrevistados. Os dados foram importados em formato *Word* para o *software NVivo*, sendo que as entrevistas do estudo de casos múltiplos e as entrevistas com especialistas foram analisados separadamente, mas dentro do mesmo projeto.

Em seguida, foi realizada uma leitura flutuante das transcrições a fim de se levantar possíveis categorias, tomando como base o referencial teórico. Posteriormente, realizou-se a leitura profunda das transcrições a fim de delimitar as frases nas transcrições das entrevistas em unidades de registro. As unidades de registro são as palavras, frases, parágrafos, temas que demonstram a categoria de análise (BARDIN, 2008). Neste estudo, foi definido como unidades

de registros os trechos das transcrições das entrevistas avaliados como importantes para o entendimento do objeto de estudo. Dessa maneira, realizou-se marcações ao longo dos documentos importados no *NVivo*, para cada unidade de registro encontrada, atribuindo um significado particular para cada elemento localizado (Figura 17).

Figura 17 - Análise de dados e codificação no *software NVivo*.



Fonte: *NVivo*, 2023.

As unidades de registro foram agrupadas e quantificadas em uma (ou mais) categoria, que foi pré-definida conforme a análise teórica-conceitual. As categorias de análise consistem em subdivisões do conteúdo em partes menores, ou seja, é uma fragmentação seguida de um agrupamento das unidades de registro do texto (BARDIN, 2008). Diante disso, as categorias que foram utilizadas neste estudo são: as aplicações da tecnologia da Logística 4.0, os benefícios da Logística 4.0, os desafios da Logística 4.0, as motivações para uso da Logística 4.0, as certificações e programas de sustentabilidade adotados nas empresas, as práticas sustentáveis aplicadas nas empresas, as motivações para adoção das práticas sustentáveis, os benefícios da adoção das práticas sustentáveis, e os desafios da adoção das práticas sustentáveis.

Cada uma das entrevistas foi analisada individualmente, permitindo uma compreensão aprofundada dos dados coletados. No entanto, visando enriquecer a discussão sobre o problema de pesquisa, foi realizada uma análise cruzada entre os casos, buscando identificar semelhanças e diferenças entre os dados por meio da comparação das codificações obtidas em cada caso individualmente. Além disso, foi realizada uma análise cruzada entre as opiniões dos

entrevistados e os casos estudados, com o objetivo de compreender as contribuições da Logística 4.0 para a sustentabilidade das atividades dos PSL. Essa análise englobou os benefícios sustentáveis da Logística 4.0 tanto na intralogística quanto no transporte, além dos desafios enfrentados na adoção dessa abordagem pelos PSL.

Para realizar essas análises cruzadas, foi utilizado os relatórios de codificação do *software Nvivo*, que permitiu explorar de forma sistemática os dados coletados. Através desses relatórios foi possível agrupar os trechos de texto classificados com o mesmo código, facilitando a identificação de padrões, similaridades e diferenças entre os casos e entrevistas. Essa abordagem metodológica proporcionou uma análise mais completa e embasada, permitindo responder de forma abrangente os objetivos deste estudo.

4.7 Matriz de amarração

A fim de indicar a consistência metodológica da intervenção científica (TELLES, 2001), o Quadro 15 apresenta a matriz de amarração, relacionando cada um dos objetivos específicos às questões dos questionários das entrevistas semiestruturadas (Apêndice A e Apêndice B), os pontos de investigação, os autores que fornecem os aportes teóricos, e as técnicas de coleta e análise de dados, oferecendo uma síntese da abordagem utilizada.

Quadro 15 - Matriz de amarração

Técnica de Coleta	Entrevistas semiestruturadas e análise documental
Técnica de Análise	Análise de Conteúdo
Objetivos da Pesquisa	Identificar as principais inovações digitais e práticas de sustentabilidade adotadas em PSL
Questão do roteiro de entrevista	Estudo de Caso: 6- Quais são as tecnologias utilizadas na empresa? 7-Como as tecnologias são adotadas nos processos logísticos? 9-Quais foram as motivações para adoção destas tecnologias? 11-Existe alguma certificação, sistema de gestão ou política associada à sustentabilidade corporativa? 12-Quais são as principais práticas sustentáveis adotadas pela empresa? 13-Quais foram as motivações para adoção de práticas sustentáveis?
	Entrevista com especialistas: 1-Como as tecnologias da Logísticas 4.0 vêm sendo adotadas nos processos logísticos dos PSL? 3- Quais são as principais práticas sustentáveis que vêm sendo adotadas nos processos logísticos dos PSL?
Pontos de investigação	Sistemas Logísticos: WMS, TMS, ERP, GPS, EDI, RFID e VMI (BALLOU, 2010; BOWERSOX et al., 2020; MUNSAMY; TELUKDARI; DHAMIJA, 2020)
	Tecnologias da Logística 4.0: Internet das Coisas, Big Data Analytics, Computação em Nuvem, Sistemas baseados em Dispositivos móveis, blockchain, Crowdsourcing, Veículos Autônomos, Realidade Aumentada, Dispositivos móveis, Sistemas de integração, Robótica Avançada, Inteligência Artificial, Sistemas de simulação, Segurança Cibernética, Impressão 3D (WANG et al., 2016; STRANDHAGEN et al., 2017b; BARRETO; PEREIRA; AMARAL, 2017).

<p>Processos e Atividades Logísticas: Transporte de materiais, manutenção de estoques, processamento de pedidos, armazenagem, obtenção e programação de produtos, manuseio de materiais, embalagem de proteção, gestão de inventário e logística reversa (BALLOU, 2010; AGUEZZOUL, 2014)</p> <p>Práticas Sustentáveis aplicadas as tarefas logísticas: gestão da manutenção, renovação da frota, implantação de sistemas de rastreamento, monitoramento da frota e instauração de políticas para destinação correta de pneus, peças e sucata de veículos, a utilização de técnicas e tecnologias para manter os níveis de estoque o menor possível, , aceleração do fluxo de estoques, a utilização de luz natural nos armazéns/ reuso de água; utilização de lâmpadas fluorescentes, utilização de materiais retornáveis e reciclados, digitalização dos processos, uso de equipamentos de movimentação com combustíveis menos poluentes, substituição de insumos tóxicos, desenvolvimento de programas de treinamento e gestão da ergonomia, melhora das condições de trabalho, compartilhamento monitoramento e compartilhamento das informações entre os stakeholders internos e externos (DEY; LAGUARDIA; SRINIVASAN, 2011; HILPERT; KRANZ; SCHUMANN, 2013; EL BAZ; LAGUIR, 2017; MARTINS et al., 2019).</p>

Objetivos da Pesquisa	Compreender as contribuições das inovações digitais no desempenho sustentável dos PSL e da CS
<p>Questão do roteiro de entrevista</p>	<p>Estudo de Caso: 15-Como o desempenho sustentável é medido pela empresa? 16-Como o uso de das tecnologias contribuiu para o desempenho sustentável da organização e/ou da sua cadeia de suprimentos? 17-Quais são as contribuições das tecnologias adotadas para a estratégia e ações sustentáveis da empresa?</p> <p>Entrevista com especialistas: 4-Como o uso das tecnologias da Logística 4.0 contribui para o desempenho sustentável dos PSL?</p>
<p>Pontos de investigação</p>	<p>Benefícios Ambientais: redução do consumo energético, redução da emissão de GEE, redução do volume de estoques e lead time dos processos. Eliminação de desperdícios. Redução dos riscos de contaminação (NAGY et al., 2018; LEE; KANG; PABHU, 2016; DEV, QAISER; SHANKAR, 2020; BÁNAY, 2018; DE VASS; SHEE; MIAH, 2020; NANTEE; SUREEVATANAPAS, 2021).</p> <p>Benefícios sociais: redução de acidentes, interjornada e ampliação da segurança, melhora do relacionamento, colaboração e confiança com os fornecedores e clientes. Consciência sobre as dimensões da sustentabilidade nas operações logísticas. Estimulo a mercados locais (CIMINI, 2021, GROSSE; WINKELHAUS, 2020, NAGY et al. 2018, TRAB et al., 2017).</p> <p>Benefícios Econômicos: redução de custos, redução dos ciclos de trabalho. Aumento da produtividade, eficiência e resiliência operacional Eliminação de atividades que não agregam valor. Prevenção de perdas, avarias e obsolescência dos estoques. Melhora da resiliência da CS (NAGY et al., 2018; GROSSE; WINKELHAUS, 2020; LEE; KANG; PRABHU, 2016; ESMAEILIAN et al. 2020; BAG et al. 2020).</p>
Objetivos da Pesquisa	Analisar os principais benefícios e desafios na adoção das práticas sustentáveis e inovações digitais nos PSL
<p>Questão do roteiro de entrevista</p>	<p>Estudo de Caso: 8-Quais são os principais benefícios observados pelo uso destas tecnologias? 10-Como a organização se adaptou aos novos processos e tecnologias? Houve necessidade de desenvolvimento; aprimoramento de capacidades e habilidades? 14-Quais são os desafios enfrentados para adoção destas práticas?</p> <p>Entrevista com especialistas: 4-Como o uso das tecnologias da Logística 4.0 contribui para o desempenho sustentável dos PSL?</p>
<p>Pontos de investigação</p>	<p>Benefícios: ampliação da transparência, capacidade de inovação, resiliência, agilidade, acuracidade, segurança, rastreabilidade, visibilidade, flexibilidade, integração, colaboração e eficiência da rede de logística. Fornecimento de dados que fomentam análise e melhoram a experiência dos clientes. Remoção das fronteiras logísticas tradicionais através da troca de informações em tempo real entre diferentes elos da cadeia. Redução do lead-time dos processos. Diminuição do volume, custos e perdas de estoques. Apoio e descentralização na tomada de decisões ((BUNTAK,</p>

KOVAČIĆ; MUTAVDŽIJA, 2019; GUPTA; SINGH, 2021; LIU; ZHANG; WANG, 2018, TRAB et al., 2017)

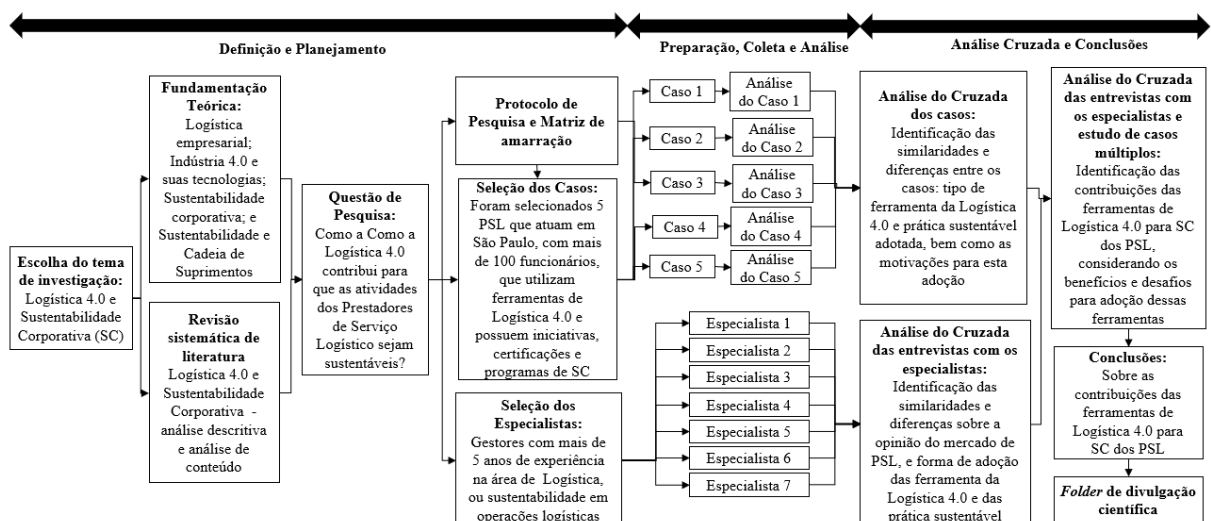
Desafios: falta de uma estratégia digital clara nos processos de criação de valor (produção e logística), falta de apoio da liderança, alto investimento, incertezas sobre custos e retorno financeiro, a complexidade organizacional e interorganizacional, a complexidade das redes logísticas, a disponibilidade de tecnologia, o grau de digitalização das organizações e de seus parceiros logísticos, as habilidades e conhecimento dos funcionários e a infraestrutura educacional das organizações (BASKUTIS; GRUŽAUSKAS; NAVICKAS, 2018; GUPTA et al., 2018; JAGTAP et al., 2020; KHAN et al., 2022; KODYM; KUBÁČ; KAVKA, 2020).

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Após a condução dos estudos de casos múltiplos e as entrevistas com especialistas, foi elaborado um *Folder* de Divulgação da Pesquisa ([Anexo C](#)) destinado aos participantes da pesquisa. O objetivo do folder era apresentar os principais achados e conclusões da pesquisa de forma resumida e acessível, proporcionando aos participantes uma visão geral dos resultados e das contribuições do estudo para o campo da Logística 4.0 e Sustentabilidade. O *folder* foi elaborado em formato digital com a ferramenta Canva (canva.com) e enviado por e-mail para os participantes, com uma carta de agradecimento pela colaboração na pesquisa.

Para sintetizar todas as etapas desta pesquisa, a Figura 18 apresenta o percurso metodológico utilizado neste estudo.

Figura 18 - Etapas da pesquisa



Fonte: Adaptado de Yin (2005).

Os resultados deste percurso encontram-se detalhados e discutidos a seguir.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Este capítulo apresenta os resultados e discussões da investigação empírica realizada com cinco empresas PSL e sete especialistas que atuam na área de operações e sustentabilidade/ESG. A partir da análise de conteúdo realizada com o apoio do *software NVivo*, foi possível gerar a nuvem de palavras que agrupa de forma visual os termos com maior recorrência nas entrevistas realizadas com os representantes das empresas investigadas e com os especialistas. A distribuição gráfica e o tamanho da fonte dos termos são parâmetros que expressam a importância da sua frequência nas transcrições das entrevistas, conforme apresentado na Figura 19.

Figura 19 - Nuvem de palavras da análise textual das entrevistas com os representantes das empresas investigadas e especialistas



Fonte: Elaborado pela autora com o apoio do software Nvivo (2022).

A Figura 19 revela as principais palavras enumeradas no discurso dos entrevistados. em ambas as perspectivas, estudo de casos múltiplos e especialistas, são as palavras “empresas”, “cliente” e “pessoas”, o que demonstra que o processo de digitalização decorrente do uso das tecnologias da Indústria 4.0 na área logística está ligado a fatores críticos de sucesso centrados no ser humano, como a cultura, o apoio da liderança, a comunicação e a capacitação dos funcionários (DE SOUSA JABBOUR et al., 2018).

Além disso, as palavras “tecnologias”, “processo” e “projeto” também possuem grande destaque nas entrevistas, uma vez que a aplicação da Logística 4.0 e programas de SC nos

PSL demanda o desenvolvimento de projetos complexos, que provocam modificações nos processos e atividades logísticas (KUCUKALTAN et al., 2020).

A fim de destrinchar os achados desta pesquisa, a seção 5.1 contém uma análise individual e uma análise cruzada das cinco empresas investigadas no estudo de casos múltiplos; a seção 5.2 contempla a opinião dos especialistas quanto ao nível atual de adoção das tecnologias da Logística 4.0 e práticas sustentáveis nos PSL; e por fim, a seção 5.3 apresenta as contribuições da aplicação das tecnologias da Logística 4.0 para a construção da sustentabilidade nos PSL.

5.1 Estudo de Casos Múltiplos

O estudo de casos múltiplos foi conduzido com funcionários das áreas de Operações e Sustentabilidade/ESG de 5 empresas PSL. Inicialmente, serão explanadas as aplicações das tecnologias 4.0 nas tarefas logísticas e práticas sustentáveis de cada uma das empresas. Na etapa seguinte, será apresentada uma análise cruzada dos casos a fim de compreender as similaridades e diferenças quanto à adoção das tecnologias da Logística 4.0 e práticas sustentáveis.

5.1.1 Caso 1

A organização do **Caso 1** integra diversas tecnologias em suas atividades de intralogística, incluindo RFID, CC, IoT, BDA, BI, além do uso de dispositivos móveis integrados com o *software* de gestão de armazém (WMS) e o ERP para realizar as tarefas de recebimento, separação, expedição, devolução e gestão do inventário. Adicionalmente, a empresa utiliza um software de gestão da produtividade da equipe e controle das horas diretas, disponibilidade dos recursos e produtividade, conforme descrito no trecho a seguir:

Na parte de inventário é tudo via RF e WMS. Hoje a gente não tem atividades que precisem do papel, a não ser as conferências, as minhas conferências eu ainda utilizo folha de conferência [...] Hoje a comunicação é online. Se eu colocar no sistema já caiu no RF para o meu colaborador. Mas se ele não está com RF, aí eu tenho as TVs que vão estar comunicando a ele que caiu uma atividade no RF, e que tem tarefa pendente. Então por mais que eu não esteja próximo para avisar que caiu, as TVs das áreas vão estar. Elas falam alto e vão estar avisando, sabe, tipo caixa de

supermercado? Tem tantas tarefas na tela. Então eles já escutam e já vão fazer atividade (Operações Caso 1).

Os entrevistados reforçaram que o processo que teve maior impacto pelo uso das tecnologias da Logística 4.0 foi o de gestão de inventário, uma vez que houve uma facilitação no processo de gerenciamento e controle das posições e produtos no estoque:

Um ponto importante é a questão desses *softwares* novos, é como você consegue trabalhar nas posições. Por exemplo, hoje eu consigo setar, eu consigo inserir nesse *software*, no WMS a cubagem da locação. Então eu sei se aquele material que eu estou recebendo, a partir das dimensões no cadastro dele, se ele vai caber ou não. O sistema já identifica que não cabe e joga para uma outra posição. E outro ponto importante, é o bloqueio de posições. De repente eu tenho uma posição que está avariada, que está com risco de queda ou que alguém bateu e eu preciso bloquear, o sistema também bloqueia e não deixa as pessoas alocarem naquele local e você consegue também fazer um mapeamento de rotas, para a pessoa andar menos. Se o operador está próximo daquela posição, se ele vai fazer o *picking* de um determinado material, então o sistema já joga ali para você ir pegando os materiais mais rápido, sem andar muito (ESG Caso 1).

Além das tecnologias já empregadas, a organização do Caso 1 tem projetos em fase de análise e planejamento. Um desses projetos envolve a utilização de robôs AMR para colaborarem com funcionários que atualmente executam a atividade de separação manualmente. Outro projeto em desenvolvimento emprega a AR nos treinamentos de integração e reciclagem, e na atividade de armazenagem dos produtos, com o objetivo de ampliar a assertividade e as habilidades dos funcionários.

Segundo os entrevistados do **Caso 1**, com a implementação do RFID, BI, BDA, IoT e CC foi possível reduzir o tempo de execução dos processos, os custos logísticos e o tamanho da área alugada do armazém. Essas melhorias levaram a uma economia de recursos, como energia elétrica e papel. Além disso, os entrevistados afirmam que foi possível atingir as metas estabelecidas em conjunto com os clientes; melhorar a integração da equipe, o nível de serviço prestado, o fluxo de comunicação, e a qualidade da tomada das decisões.

Quando começou essa automatização, o cliente começou a ter um pensamento mais de puxada, então, fabricar de acordo com o pedido do cliente, mandar para o *warehouse* só aquilo que já vai sair. [...] como o fluxo ficou certo, ficou reto e eu parei de ter divergência, eu também reduzi o armazém. Então o armazém do cliente

tinha 40 ou 50 ruas. Hoje eu estou com 30. [...] Então, até hoje a gente tem produtos que a gente está tirando de 2000 e bolinha, que nunca teve saída. Eles fabricaram, mas nunca teve saída. Então a gente começou a fazer essa limpa no armazém, além de diminuir a quantidade de recursos, a gente diminuiu a quantidade de área e quando a gente diminui a quantidade de área, pensando que é alugada, a gente também traz em *saving* (Operações Caso 1).

Após a digitalização, quando a gente atualizou o WMS, a gente reduziu muito o consumo de papel, ele traz muitos benefícios. Você consegue modelar os dados, atender mais exigências do cliente, pra input de dados, e estratificação dos relatórios, gerar mais controle dos *serial numbers*, vencimentos, códigos, tem uma interface mais fácil de usar, a experiência do usuário é melhor, é mais intuitivo (ESG Caso 1).

Um dos entrevistados do **Caso 1** levantou a questão da disponibilidade de informações armazenadas em nuvem. Ele destacou que a adoção de sistemas online dispensa a necessidade de aquisição de equipamentos que suportem picos de processamento, necessários para softwares locais. No entanto, a segurança contra os ataques de hackers e sequestro de dados, assim como a duração do armazenamento de dados a médio e longo prazo, são questões críticas que devem ser consideradas.

Então, através do próprio navegador você consegue utilizar. Existe algumas peculiaridades em questão de gravação. As vezes ele grava só 3 meses, se você não fizer o seu armazenamento, ele não grava tanto tempo assim, diferente do *software* que quando você instala e consegue ter um histórico maior. Então tem seu ônus e seu bônus, não é?...E fora isso, a gente tem todo um aparato, tem toda uma mobilização e desmobilização de recursos. Quando a gente tem a implantação de um software, de uma ferramenta, o que isso pode acarretar? (ESG Caso 1).

Outro desafio destacado pelo entrevistado "**Operações Caso 1**" é a dificuldade de capturar e controlar as horas indiretas, que são dedicadas a atividades de apoio que não têm impacto direto nas atividades logísticas primárias, como organização e limpeza do setor, participação em reuniões e manutenção de equipamentos. Como essas atividades não são suportadas pelo *software* de gestão, os funcionários precisam inserir manualmente as informações, o que pode levar a inconsistências e requer um controle rigoroso e treinamento de toda a equipe para garantir a acurácia dos dados.

Além das certificações ISO 9001 e ISO 14001, a organização do **Caso 1** possui programas ambientais e sociais que se concentram na otimização da infraestrutura do armazém, nas condições de trabalho dos funcionários e no desenvolvimento de iniciativas junto à sociedade.

Na frente ambiental, a empresa do **Caso 1** possui um programa para redução das emissões de carbono, focado no desenvolvimento de projetos nacionais e locais que viabilizam o uso de energias renováveis. As iniciativas incluem soluções de embalagem, como trituradores de papelão para reutilização, redução do uso de plástico bolha e uso de embalagens reutilizáveis, além da digitalização de vários processos para reduzir o consumo de papel. A empresa também implementou práticas verdes no armazém, como o uso de energia solar, projetos de iluminação LED e um programa de "zero resíduos" para minimizar os resíduos enviados para aterros sanitários.

Na parte de sustentabilidade, tem algumas ações bem abrangentes, junto com o cliente, como as ações de reciclagem de uniforme, dar uma destinação correta, reaproveitamento de materiais internos e dos insumos, a utilização de maquiagem que é um retoque de algumas caixas com etiquetas e selos sustentáveis, a gente tirou o copo plástico de beber água, cada um tem a no seu corpo refratário de aço inoxidável. [...] Então você tem luminária de LED com sensor de presença, torneiras com válvulas automáticas, descarga com botão duplo de enxágue parcial e completo, energia solar (ESG Caso 1).

Os entrevistados da empresa do **Caso 1** destacaram a importância da definição de uma meta de *net zero* (carbono zero) e da adoção de práticas de descarbonização. Dentre as ações implementadas, destacam-se a adoção de empilhadeiras elétricas, a implantação de projetos de armazenamento carbono neutro, o uso de soluções de embalagem sustentáveis e a gestão eficiente da iluminação artificial do armazém. Tais medidas têm resultado em uma redução significativa das emissões de GEE e do consumo de energia na empresa.

Outro aspecto relevante é a existência de um comitê de diversidade e sustentabilidade, que se reúne quinzenalmente para planejar, acompanhar e mensurar campanhas e ações relacionadas a questões ambientais e sociais. Composto por funcionários de diversas áreas da empresa, o comitê discute iniciativas como a plantação de árvores, a reciclagem de insumos, a doação de sangue, campanhas do agasalho e arrecadação de alimentos.

Além das iniciativas já citadas, a empresa do **Caso 1** promove ações de ajuda social, como a promoção de voluntariado, campanhas de Natal e Dia das Crianças, e o apadrinhamento de menores. Também atua em iniciativas de ajuda humanitária, como o auxílio em desastres ambientais através do envio de alimentos e ajuda logística. A empresa ainda investe em ações com foco na capacitação dos funcionários e comunidades em situação de vulnerabilidade, além de iniciativas para melhorar as condições de trabalho, como áreas de integração e descanso, treinamentos de ergonomia e planos de contingência para problemas internos e externos, como greves.

Olhando para o processos aqui dentro, quando a gente fala de ergonomia, saúde dos colaboradores, a gente tem um programa do time dos nossos médicos e a ego 17 acompanha mensalmente todas as operações e eles acompanham a atividade, fazem entrevistas com os colaboradores, identificam qual que é a maior lesão que pode ser ter na nossa operação, eles fazem planos de ações e direcionam então, por exemplo, no mês passado eu recebi os planos de ações para comprar banquinhos para etiquetagem, então é um processo que eu fazia numa cadeira normal e aí eles adequaram uma outra cadeira que eu vou precisar fazer essa compra (Operações Caso 1).

Para garantir práticas comerciais honestas e transparentes, a empresa do **Caso 1** possui um modelo de governança corporativa que está em conformidade com a legislação dos países em que atua. Esse modelo inclui uma Declaração de Política de Direitos Humanos, uma política de Padrões de Ética Empresarial e Anticorrupção, e uma política de Compras Corporativas. A fim de garantir a efetividade e aplicação do sistema de governança corporativa, a empresa oferece treinamentos para executivos e lideranças, além de auditorias internas regulares.

Por causa da pandemia, o *e-commerce* cresceu significativamente, o que impactou diretamente o ramo de atuação e os clientes da empresa do Caso 1. Para enfrentar esses desafios, a empresa intensificou o desenvolvimento de iniciativas ESG, incluindo a adoção de tecnologias para melhorar a eficiência e a sustentabilidade do processo logístico, bem como a implementação de práticas sociais e ambientais que ajudam a empresa a se diferenciar no mercado.

5.1.2 Caso 2

A empresa do **Caso 2** utiliza tecnologias avançadas para gerenciar suas atividades de intralogística e coleta de informações. Entre essas tecnologias, destacam-se equipamentos coletores de informações como RFID, *finger scan* e *picking by voice*, que são integrados por meio da IoT e de um sistema WMS. Esse sistema recebe os dados de cada item do estoque e controla com eficiência a movimentação dentro do armazém, disponibilizando as informações em tempo real em um banco de dados na nuvem.

Além disso, a empresa adota ferramentas de BI que estão conectadas ao banco de dados do ERP do cliente e ao WMS da empresa, alimentando um *cockpit* que exibe os principais indicadores operacionais em TVs e *tablets* no armazém. Esses indicadores são atualizados continuamente, fornecendo um *status* da operação em tempo real para a liderança, que pode assim direcionar as tarefas de forma mais assertiva, reduzindo erros e aumentando a produtividade.

A gente tem esse *cockpit* que fica ali na operação, a vista das pessoas, dos gestores e da equipe. [...] No passado era acessado pelos computadores, mas agora é acessado via tablet. [...] Então assim, cada operação tem um determinado nível de serviço, um determinado indicador, um determinado SLA e ele vai lá e customiza isso para que isso esteja disponível no cockpit (Operações Caso 2).

Para otimizar ainda mais a movimentação de produtos no armazém, a empresa já adotou em duas operações o AGV, conforme relatado pelo entrevistado "**ESG Caso 2**". Essa tecnologia permite a automatização da movimentação de produtos no armazém, reduzindo o deslocamento dos funcionários operacionais e ampliando a produtividade e segurança da operação.

Então a gente já tem essa realidade em duas operações. São equipamentos de separação autônomos e a gente vem investindo cada vez mais nisso. [...] Então no caso a gente tem uma operação, onde a gente tinha um processo que eu precisava pegar um palete da linha de fabricação e levar para um ponto no armazém, isso era feito com o operador de máquinas. Aí a gente estudou fazer isso com esteira isso e aquilo, e depois chegou à solução de utilizar um equipamento autônomo operador, deixa esse material em determinado ponto no armazém esse equipamento vai até esse ponto de forma autônoma, sem operador, coleta e leva para outro ponto e ele fica fazendo isso o dia inteiro. Ficar fazendo esse processo o dia inteiro. O mesmo

para um outro cliente nosso da linha automotiva que também a gente utiliza esse equipamento autônomo para fazer esse tipo de processo (ESG Caso 2).

Os entrevistados do **Caso 2** destacaram que a empresa tem uma estrutura de tecnologia da informação (TI) dedicada ao desenvolvimento interno de tecnologias, que têm como objetivo ampliar a produtividade, a gestão visual, reduzir custos, melhorar a organização, segurança do trabalho e sustentabilidade. Um exemplo é o aplicativo de *checklist* eletrônico, desenvolvido no Brasil e aplicado em outras operações da empresa. O aplicativo consolida os formulários de diversas áreas, incluindo segurança, qualidade, inovação e recursos humanos.

A gente gerava bastante papel, muita transposição de informação, então um cara preencher aquilo no papel depois alguém tinha que lançar aquilo no Excel, depois alguém tinha que lançar aqui no sistema final, né? Então se transformou isso num checklist eletrônico, então é uma base corporativa que tem todas as operações lá. Então o cara da operação em Extrema quando ele quer entra no sistema via tablet e ele preenche né? [...] Tem um checklist de chegada de veículo. Tem o checklist de organização, então o cara faz um tour, uma ronda de limpeza na operação. Tem o checklist de empilhadeira, o cara começou o turno dele, ele tem que pegar uma empilhadeira e fazer o *checklist* se tá com vazamento de olhos se a ok, tá funcionando, se a chave tá no contato, se o pneu tá ok (Operações Caso 2).

Outro ponto relevante é que a empresa mapeou mais de 120 tecnologias para fortalecer a digitalização dos processos e melhorar a relação com os clientes. A base de dados consolida as principais características e preços dessas tecnologias e é acessada sempre que um novo contrato ou cliente solicita a implementação de uma inovação em algum processo logístico:

Então, quando chega a demanda do cliente, a gente já tem isso meio pré-preparado, então quando o cliente pede ou a gente acha que é interessante apresentar para ele é por questões de informação mesmo, a gente mostra qual o ganho seria dessa adoção, o benefício disso, porém investimento ainda tá muito alto, as vezes o aluguel quase dobra, né com esse equipamento (Operações Caso 2).

Os entrevistados sugerem que os principais benefícios observados pela implantação das tecnologias de Logística 4.0 são o aumento da produtividade, redução de custos, redução do tempo de execução dos processos, aumento da segurança e redução no uso e desperdício de recursos, como a eletricidade, água e papel.

Então a partir do momento que você utiliza, por exemplo um drone para fazer esse processo, eu reduzo essa elevação de pessoa por diversas vezes durante o dia, isso em horas, às vezes meses, vezes anos. Então assim, primeiro, questão financeira, segundo segurança, e terceiro são os recursos. Então quando eu utilizo mais plataformas, eu utilizo mais baterias, as baterias são feitas de chumbo, isso é um poluente. Então se eu utilizo mais plataformas algum dia eu vou ter que descartar essas baterias. Então eu reduzo o consumo de energia elétrica, consumo de água, então eu tenho uma série de recursos que eu preciso utilizar mais quando os processos são manuais, né? A partir do momento que eu automatizo eu acabo também reduzindo essa questão do desperdício, né de recursos. Então seria tempo, segurança e Recursos. (ESG Caso 1).

Com o aumento do nível de exigência, personalização e complexidade dos pedidos, a empresa utiliza tecnologias da Logística 4.0 em conjunto com seus sistemas logísticos para garantir a qualidade e o nível de serviço oferecido aos clientes. Os entrevistados revelaram que o aumento do *e-commerce*, impulsionado pela pandemia do COVID-19, foi uma das principais motivações para a empresa ampliar o uso de soluções tecnológicas. As compras *online* exigem rotas independentes e atividades complexas de armazenagem, separação, expedição, acompanhamento de rota durante o transporte e confirmação de entrega no destino final dos produtos. Por essa razão, a empresa desenvolveu soluções internas e buscou soluções no mercado para automatizar seus processos logísticos.

Segundo o entrevistado “**Operações Caso 2**”, muitas soluções tecnológicas que vem sendo adotadas nas operações europeias da empresa não podem ser implantadas nas operações brasileiras por apresentarem um valor de investimento muito elevado e que não é condizente com a realidade do mercado nacional.

[...] a gente não vai colocar um projeto só porque a Inovação e só porque a matriz tá pedindo pra colocar, um projeto numa operação que não vai gerar resultado. Outros países têm uma possibilidade maior de fazer isso porque o Euro é diferente, e o dólar, e o custo de mão de obra é diferente no Brasil. A gente tem uma dolarização, um fator dólar e um fator Euro altos, e um custo de mão de obra baixo. Então aqui para você fazer um *payback* de projeto é muito mais difícil do que uma mecanização, uma automação ou um projeto de inovação fora do Brasil. Fazer um projeto aqui digamos assim, a gente fala muito né de colocar vaca voando, né? Só porque é bonito, botar um robô lá se ele não traz rentabilidade. Então a gente tem o desafio, além de buscar inovação, tem que ser tem que ter um *payback*, tem que ter rentabilidade, o nosso cliente demanda o projeto assim até que ele sabe o custo que vai ter que pagar. Quando ele vê o custo e aquilo não se paga (Operações Caso 2).

A empresa do **Caso 2** tem uma abordagem sustentável em suas operações, com ações divididas em três pilares: ambiental, social e governança. Há mais de 10 anos, a empresa incorpora uma lista de 110 ações sustentáveis em suas diretrizes de implementação, que abrangem todo o espectro do desenvolvimento sustentável. Cada operação da empresa se compromete com três projetos sustentáveis por ano, que são analisados e verificados nas auditorias internas da empresa.

Os entrevistados do **Caso 2** enfatizam que a criação da área de Responsabilidade Social Corporativa e a adesão ao pacto global da ONU permitiram fortalecer as práticas internas e externas da organização, possibilitando que a empresa se posicione e comunique ao mercado seu engajamento em questões sustentáveis. As iniciativas adotadas pela empresa têm impactado diretamente no aumento da consciência e do desempenho sustentável de toda a cadeia de suprimentos.

Para reduzir a emissão de GEE e o impacto ambiental, a empresa adotou várias medidas, como a aquisição e instalação de painéis fotovoltaicos nos armazéns, a compra de energia limpa de origem eólica, a substituição de todas as lâmpadas da empresa pelo modelo LED, a instalação de sensores de presença e outros dispositivos eletrônicos mais eficientes em termos de energia, a substituição de alguns insumos operacionais por artigos reciclados, o reaproveitamento de embalagens primárias, a introdução de um sistema de coleta seletiva para a recuperação e destinação correta dos resíduos e a digitalização de seus controles internos.

A gente está trazendo para algumas operações que tenham o perfil, uma moderadora de papelão. A gente está transformando uma caixa que eu jogaria fora numa malha assim, parece uma trança, você passa na máquina, ela corta aquela placa de papelão num produto que parece uma trança assim bastante maleável. A gente usa esse papelão, essa trança de papelão para fazer preenchimento de caixa, tá? Então isso é bastante sustentável. Eu, elimino bastante o desperdício e o descarte de papelão, que vai para uma área que vai ser reciclado, mas eu não Gero mais tanto descarte. Além disso, estou reduzindo o consumo de papelão daquela operação. Tem um ganho financeiro também, tá? (Operações Caso 2).

Alinhado a isso, a empresa realiza um inventário de emissões de carbono, que mapeia, identifica e quantifica as fontes de emissão de GEE das atividades logísticas da empresa.

A gente faz um inventário mensalmente em todas as nossas operações aqui no Brasil e fora dele, eu tenho por unidade então um exemplo tá? Tem uma unidade de Jundiá,

então mensalmente essa unidade ela coleta o quanto ela utilizou de energia elétrica, o quanto ela utilizou de combustível, no gerador, no sistema de Sprinter, no carro do fulano, no carro do ciclano, o quanto ela reciclou de plástico, quando ela utilizou de plástico, então diversos itens, GLP empilhadeira, diversos itens, e a gente utiliza um fator, né para cada um desses itens, a gente utiliza um fator de conversão e com base nisso é gerado a nossa emissão de CO2. E aí o que a gente tem um indicador para isso que é CO2 por paletes expedido, então cada uma das operações tem esse indicador, o quanto ela gera de CO2 por paleta (ESG Caso 2).

No pilar social, a empresa opera em duas frentes: melhorar a qualidade de vida dos funcionários da empresa e impactar positivamente a sociedade. Internamente, a empresa dispõe de uma política que consolida ações e objetivos em termos de integração, saúde e segurança, ética e promoção internas. Por exemplo, ao ingressar na empresa, os funcionários passam por um processo de integração que reúne a entrega de um manual sobre a política, valores e pontos relevantes das áreas operacionais e de apoio. Além disso, ocorre uma visita ao local de trabalho, que é acompanhada pelo gerente da área em que o funcionário irá atuar, visando disseminar as regras de segurança e práticas de digitalização da empresa. Outras práticas relevantes citadas pelos entrevistados são a existência de um manual de segurança, a execução de auditorias de qualidade e segurança, a aplicação treinamentos de ética e campanhas de conscientização, a contratação de agências especializadas no recrutamento de pessoas com deficiência, e a existência de um plano de carreira e metas para incentivar a promoção interna.

Então tem a gente controla também promoções internas. Então, empresa ela tem um objetivo que é acho que até 2025, que 75% das pessoas em cargo de liderança, tenham vindo da própria empresa, né? Então a gente a gente incentiva muito o crescimento interno. Também, a questão da inclusão, né das pessoas com portadores de necessidades especiais está em foco, mais é mais difícil de conseguir gente qualificada, então a gente tenta preparar quem a gente contrata e também contratar empresas especializadas pra realizar o recrutamento destes profissionais (ESG Caso 3).

A empresa também mantém uma associação, que tem como finalidade colaborar na educação e cidadania de crianças e adolescentes em situação de vulnerabilidade social, a partir do desenvolvimento de atividades socioculturais, educacionais e esportivas. Um dos exemplos

das iniciativas criadas por essa associação é um programa de mentoria, no qual os funcionários compartilham conhecimentos sobre sua área de atuação para esses jovens.

5.1.3 Caso 3

A empresa do **Caso 3** utiliza as tecnologias WMS e *voice picking* nas atividades de recebimento, separação e expedição dos produtos. Todas as informações são armazenadas em um banco de dados na nuvem, e podem ser acessadas por dispositivos móveis, como *tablets* e *smartphones*. Para a gestão do inventário, a empresa implementou recentemente o uso de drones, que sobrevoam o armazém e escaneiam os códigos de barras dos produtos, e informam ao WMS a quantidade de cada produto.

Então, o drone é uma ferramenta que a gente tem usado para nos auxiliar nos processos de inventário, né? É algo que veio para somar, para você ter uma ideia de uma operação aqui de 70 mil metros onde nós levamos praticamente um dia e meio para realizar o inventário e hoje esse processo é realizado em 6 horas, isso é um ganho maravilhoso (Operações Caso 3).

Adicionalmente, o entrevistado “**ESG Caso 3**” destaca que existem alguns projetos para que a Logística 4.0 seja amplamente empregada nas atividades de intralogística da empresa, dentre eles o uso de um sistema de geolocalização *indoor* nas empilhadeiras. Esse sistema combina tecnologias GPS, WIFI e IoT e habilita a localização dos objetos no armazém em tempo real, sendo possível consultar as informações através de dispositivos móveis.

No que se refere ao TRC da empresa, as principais tecnologias adotadas são: o uso de sensores de monitorização IoT para acompanhamento da temperatura, geolocalização e outros dados em tempo real durante o transporte; o uso de *blockchain* no apoio do intercâmbio de dados entre parceiros logísticos; a adoção da telemetria para acompanhar a dirigibilidade dos motoristas próprios e parceiros, e o uso de um sistema para rastreamento dos veículos, a partir dos sensores instalados nestes equipamentos.

Os entrevistados do **Caso 3** relatam que a equipe de TI da empresa desenvolveu uma ferramenta de BI online para otimizar a gestão operacional. Através dessa ferramenta, é possível acompanhar em tempo real os principais indicadores e metas estabelecidas em contrato com os clientes, os SLAs (*Service Level Agreement*). O uso das tecnologias WMS, IoT, CC e BI trouxe benefícios significativos, como a agilidade na coleta e disponibilização de dados, bem como ferramentas online. No entanto, o entrevistado “**Operações Caso 3**”

destaca que um dos desafios para o avanço tecnológico na logística é a composição da força de trabalho, já que muitas atividades são terceirizadas e quarteirizadas, dificultando a disseminação das práticas. Além disso, devido às margens apertadas do setor, muitos profissionais não conseguem se capacitar e atualizar a tecnologia embarcada em seus veículos, o que pode resultar na precarização da mão de obra que atua no setor.

A decisão da adoção das tecnologias da Logística 4.0, de forma geral, foi determinada pela área corporativa da empresa, em alinhamento com os termos estabelecidos nos contratos logísticos e necessidades dos clientes:

É claro que se a gente não acompanhar o mercado você acaba soterrado, né ficando para trás e os clientes estão cada vez mais exigentes com relação a tecnologia, então é um casamento, entre a gente querer avançar e o que o mercado quer. Com certeza, vai dar bons frutos (Operações Caso 3).

De acordo com o entrevistado "**Operações Caso 3**", muitas empresas adquirem serviços ou sistemas de tecnologia devido às pressões do mercado ou por incentivos governamentais. Contudo, muitas organizações não conseguem usufruir de toda a potencialidade dessas tecnologias se a sua implantação não for precedida de uma investigação sobre as reais necessidades da empresa, assim como uma preparação da infraestrutura necessária para a sua utilização:

As pessoas acabam fazendo só por fazer ou às vezes não utilizam tudo que ela pode oferecer, e acaba sendo um dinheiro desperdiçado, um tempo desperdiçado, então é justamente por essa falta de Treinamento. [...] Infelizmente as pequenas Empresas do país sofrem por uma carga tributária extremamente pesada, né? E esses pequenos empresários acabam buscando algumas alternativas em termos de gestão., seja um WMS, seja uma ferramenta de gestão de qualidade para tentar infelizmente, visando algum ganho ou algum benefício fiscal e econômico, e não pensando no benefício de conhecimento do próprio negócio então, esse é o maior problema a gente tem com relação a esses pequenos empresários hoje, né? Os grandes eles são retentores de conhecimentos e de tecnologia (Operações Caso 3).

No que se refere ao programa de sustentabilidade do **Caso 3**, os entrevistados afirmam que ele abrange tópicos ambientais, sociais e de governança. Conforme descrito no relatório de sustentabilidade da empresa, os compromissos desse programa de sustentabilidade consistem em implementar padrões e estruturas globais, manter os mais altos níveis de práticas

de ética e conformidade, garantir a saúde e a segurança de seus funcionários, abordar proativamente as mudanças climáticas, minimizar o impacto ambiental de seus serviços, manter e monitorar metas sustentáveis definidas pela gestão corporativa e regionais, e contribuir com as comunidades locais.

A empresa possui um *Head* de Sustentabilidade, que se reúne bimestralmente com um painel central de sustentabilidade. Esse painel é composto por membros seniores de cada uma das unidades de negócios, e tem como foco a análise e revisão de temas e decisões de importância estratégica para a empresa, como a criação de valor sustentável e a transição para o baixo carbono.

Alguns exemplos de práticas sustentáveis do pilar ambiental aplicadas na intralogística da empresa são a implementação de um programa de coleta seletiva, a instalação de painéis fotovoltaicos, o uso de lâmpadas LED, a reutilização de embalagem, o uso de embalagens recicladas, o uso de tecnologias para controle e minimização da emissão de GEE, as torneiras retráteis, os registros dos chuveiros com temporizador e o uso de claraboias para aproveitar a luz natural.

Outra iniciativa da empresa é a execução do inventário de carbono, que diz respeito ao gerenciamento das emissões diretas e indiretas de gás carbônico, com base no Padrão de Contabilidade e Relatório da Cadeia de Valor Corporativa do *GHG Protocol*. Para mitigar as emissões de gás carbônico no TRC, a empresa atua em duas frentes principais: fazer a migração de sua frota própria para veículos eletrificados (o que já está em andamento nas operações da Europa da empresa) e estabelecer critérios mínimos para contratação de transportadoras e veículos agregados, conforme descrito a seguir:

E aí quando a gente fala de Brasil, né? Hoje a gente tem aí ainda em fase um planejamento porque a grande maioria dos veículos que nós temos para o nosso time de transporte são veículos agregados, naturalmente a gente tem aí um critério, né? Um procedimento que veículos para trabalhar conosco, eles têm que ter um tempo de vida útil máximo. Então vamos supor no máximo aí 10 anos um veículo, né? Mas do que isso não dá por conta de em geral na atualização, né os filtros de emissão de carbono já não são mais eficientes como deveriam, então a gente já de forma procedimentada, a gente tenta aí mitigar esse risco, essas oportunidades. Então todos os motoristas que nós temos, sendo de transportadora parceira ou sendo um agregado a gente coloca isso, né? Como uma premissa para estar trabalhando conosco aí no em todo ramo rodoviário e Brasil (ESG Caso 3).

Outra iniciativa sustentável citada pelos entrevistados é o processo de integração dos motoristas agregados e transportadoras parceiras, que inclui a realização de treinamentos de segurança, saúde, direção econômica, coleta seletiva e manutenção preventiva dos veículos. Além do mais, a empresa implantou um controle do consumo de combustível e quilometro rodado para cada veículo.

No que tange o aspecto ambiental, os entrevistados reforçam que a empresa adotou ações como a plantação de mudas de árvore e o reaproveitamento dos equipamentos de proteção individual (EPIs), de forma a reduzir os impactos ambientais causadas por esses materiais.

A empresa tem uma estrutura sólida de governança corporativa, que inclui iniciativas como um programa de ética e conformidade, avaliação de riscos de conformidade, diretrizes antissuborno e antitruste e um código de ética. Para assegurar a adoção prática desses programas e diretrizes, a empresa realiza treinamentos periódicos com as lideranças, que por sua vez são responsáveis por disseminar as informações para suas equipes.

No aspecto social, a empresa tem ações que visam ampliar a satisfação, retenção, desenvolvimento, saúde, segurança e diversidade dos funcionários. Essas ações incluem uma biblioteca online de treinamento para as lideranças, um programa de mentoria para jovens talentos, um aplicativo para relatar situações inseguras nas operações, canais de ouvidoria interna e um programa para aumentar a participação de mulheres em cargos de liderança.

Para ancorar sua estratégia de ESG, a empresa utiliza uma ferramenta fundamental: a matriz de materialidade, que é atualizada anualmente e incorpora aspectos de governança, cadeia de valor, responsabilidade social e ambiental. Essa matriz ajuda a empresa a priorizar seus recursos e investimentos no contexto do ambiente de negócios em que está inserida.

Os entrevistados do **Caso 3** também ressaltam que as práticas que são implantadas dentro de suas operações são determinadas no momento do fechamento do contrato com o cliente avaliando sua estrutura e programa de ESG, seus fornecedores e parceiros logísticos:

Nós temos a nossa digamos assim, o nosso perfil, nós temos a nossa estrutura, mas também nós utilizamos aquilo que o cliente nos solicita, né? É eu que nós chamamos da celebração de contrato, o que nós vamos poder colocar e aquilo que o cliente pede para colocarmos em nome dele. E aí existem circunstâncias, por exemplo se a empresa não tem um conceito de Meio Ambiente forte, nós utilizamos o nosso conceito. Se o conceito do cliente é mais forte do que o nosso nós utilizamos o deles. Ou seja, a nossa régua é a nossa empresa né? Se for para mais a gente utiliza do cliente (ESG Caso 3).

5.1.4 Caso 4

A empresa do **Caso 4** utiliza diversas tecnologias em suas atividades logísticas, tanto na gestão intralogística quanto na distribuição urbana. A decisão de investir em tecnologias de Logística 4.0 foi tomada para se posicionar e se diferenciar dos concorrentes, permitindo que ofereça serviços com maior valor agregado.

Com exceção de um ERP e um *software* para gestão de frotas, todas as tecnologias utilizadas são do cliente, que disponibiliza uma plataforma integrada em nuvem com vários módulos, como WMS, roteirização, gestão de entregas e sistema de controle e emissão de documentos fiscais de transporte.

O módulo WMS é usado no gerenciamento do centro de distribuição, como recebimento, separação, expedição, conferência, armazenagem e controle de inventário, permitindo ao gestor acompanhar de forma online a movimentação dos produtos e visualizar indicadores do armazém por meio de geolocalização.

Já o módulo de gestão de transporte é utilizado na roteirização e gestão de entregas, possibilitando visualizar indicadores da rota, controlar a jornada dos motoristas, otimizar as rotas e analisar a localização dos caminhões e apontamentos dos motoristas, incluindo devoluções de produtos, problemas no veículo ou no ponto de venda. Os veículos também possuem telemetria embarcada, utilizando IoT e CC para controlar o comportamento dos motoristas.

Graças à tecnologia, os supervisores das equipes passaram a receber relatórios diários indicando problemas como excesso de velocidade, frenagens e acelerações brusca [...] A gente consegue acompanhar o consumo de combustível, RPM excessivos, o motor ocioso, identificar motoristas que conduzem com excelência e que virão nosso padrão de condução e até mesmo motoristas educadores (ESG Caso 4).

A gente consegue acompanhar em um dashboard. Então se o cara fez algo de errado, a gente já consegue intervir e corrigir algum desvio rapidamente e também saber quem está dirigindo com segurança. Como ele tá sendo observado, ele toma muito mais cuidado, pois sabe que pode ser premiado por um bom comportamento ou punido se está agindo mal (Operações Caso 4).

Os entrevistados ressaltam que, após a implantação da telemetria e dos *softwares* de rastreamento, a empresa conseguiu aumentar significativamente a segurança nas suas operações, reduzindo o número de acidentes de trânsito e avarias das cargas:

A telemetria auxilia para que o cenário de acidentes no trânsito envolvendo motociclistas mude no Brasil, e isso provocou uma redução significativa nos acidentes com nossa frota. Então essa tecnologia pode otimizar a dirigibilidade e a detecção de possíveis falhas, é algo absurdo. Se você observar os indicadores, é uma mudança completa. Ela também ajuda muito no controle do consumo de combustível, porque se o motorista fica parado com o motor ligado, ou acelera e freia muito, ele gasta muito diesel. Então ela fez muita diferença para nós, porque é uma forma de aumentar nossa vantagem competitiva, aumentar nossa margem, e a gente quer ganhar mais né, e também ganhar mais conhecimento (ESG Caso 4).

Além da telemetria, existe um módulo para controle e emissão de documentos fiscais de transporte, o que proporciona maior rapidez e segurança no gerenciamento de documentos da área. Adicionalmente às tecnologias de Logística 4.0 do cliente, a empresa do **Caso 4** possui um ERP para gerir todas as atividades referente aos processos de apoio, como RH (recursos humanos), financeiro e compras. Ainda, o ERP conta com um módulo de gestão de frotas que é utilizado no controle das informações do veículo (dados cadastrais do veículo, data das manutenções preventivas e corretivas e número dos pneus) e no controle do estoque das peças de reposição que são utilizadas na manutenção dos veículos.

Para aumentar a eficiência e reduzir os custos operacionais, a empresa do **Caso 4** optou por aderir à um *software* complementar que atua na gestão de pneus e de *checklist* eletrônico. Esse sistema alimenta um BI que é utilizado na programação das manutenções e utilização dos veículos.

Neste sistema, o módulo de gestão de pneus controla a posição dos pneus, a profundidade de sulcos e pressão dos pneus, o custo por quilômetro rodado, o desgaste médio por quilômetro rodado e o nível de desgaste por marca e modelo de pneu. Na área do *checklist* eletrônico, os motoristas realizam uma avaliação geral do veículo no início e fim do turno, indicando se existe algum tipo de problema ou avaria no veículo.

De acordo com os entrevistados do Caso 4, o uso dos módulos de roteirização e monitoramento das entregas otimizou a gestão do transporte, trazendo benefícios como redução dos prazos de entrega e aumento da satisfação dos clientes. Isso se deve à maior visibilidade e produtividade de todo o processo de entrega, melhor alocação dos veículos,

otimização das rotas de entrega, redução do impacto ambiental da emissão de GEE e ampliação da segurança das atividades.

Além da demanda dos clientes, os entrevistados do **Caso 4** reforçam que um dos grandes impulsionadores do processo de transformação digital da empresa foi a observação de uma tendência no mercado, como por exemplo, o aumento da demanda por serviços de logística integrada e a necessidade de acompanhar a evolução das tecnologias disponíveis. Neste cenário, a empresa ressalta que alguns de seus concorrentes estão buscando formas de viabilizar seus projetos de digitação, dentre elas, o estabelecimento de alianças com *hubs* de inovação, *startups* e empresas do segmento de tecnologia:

O nosso cliente que determinou o uso destas tecnologias e nós nos adequamos, aprendemos a usar o que era deles. Então acredito que veio de uma demanda do mercado, da necessidade de reduzir custos, uma vez que o processo logístico é muito oneroso. Além disso, muitas das tecnologias focam em aumentar a segurança, visando a integridade da carga e dos funcionários. Como o cliente tem muitos parceiros logísticos, eu acho que ele quer padronizar, então ele quer padronizar a operação pra facilitar o controle de todo o processo. [...] E como a nossa margem é muito pequena, a gente também adquiriu o software de gestão de pneus e checklist (ESG Caso 4).

Entretanto, como a estrutura corporativa da empresa possui é enxuta, existe uma dificuldade em manter todos os funcionários treinados e utilizando as tecnologias de Logística 4.0 em sua totalidade. Além disso, outras barreiras citadas pelos entrevistados incluem a alta rotatividade de funcionários, a alocação das pessoas dentro do centro de distribuição do cliente e a existência de muitas tecnologias utilizadas na empresa.

A estratégia de sustentabilidade da empresa do **Caso 4** está extremamente ligada à estratégia de seu principal cliente. Logo, as práticas sustentáveis adotadas na empresa são em sua maioria, exigências do programa de excelência desse cliente.

Na área ambiental a empresa aderiu práticas que visam a redução da emissão de GEE, a produção de resíduos e o uso de água. Algumas práticas sustentáveis aplicadas na empresa são uso de lâmpadas LED, uso de sensores de presença nos escritórios e no armazém, o uso de defletor nas carretas, a realização da manutenção preventiva, a realização de teste de fumaça preta, o uso de *softwares* que auxiliam na gestão das rotas e reduzem o quilômetro rodado, a gestão da ocupação e utilização da frota, a adoção da lavagem à seco, o controle do

consumo do combustível e o cálculo mensal do gás carbônico emitido na operação de transporte:

A gente faz a manutenção preventiva dos veículos conforme o indicado pelo fabricante, então a gente tem os caminhões e as empilhadeiras sempre rodando em boas condições. Isso evita a queima desnecessária de combustível, e também reduz muito o quantas manutenções a gente faz, e isso, diminui também o gasto que a gente tem com os veículos. [...] O nosso cliente faz uma auditoria semestral do seu programa de excelência e solicita que a gente implante alguma prática de logística verde e de segurança nos nossos equipamentos. Então a gente implantou um programa de lavagem a seco pra reduzir o uso da água (ESG Caso 4).

Outra prática que trouxe resultados positivos para empresa diz respeito à gestão dos pneus da frota, uma vez que este é um gasto significativo da empresa e gera uma quantidade significativa de resíduos. Diante disso, a empresa adotou medidas que buscassem ampliar o ciclo de vida deste item para reduzir a produção desse resíduo e melhorar a segurança e consumo de combustível. Para isto, é realizado o controle periódico da calibragem e da profundidade dos sulcos dos pneus, bem como a sua recapagem. Durante o descarte dos pneus, eles são destinados a uma recicladora, que utiliza esse resíduo para confecção de asfalto.

Sobre as práticas sustentáveis correspondentes à dimensão social, a empresa atua fortemente na ampliação da segurança, qualidade e ergonomia nas atividades de armazém e transporte, a partir da realização de campanhas de conscientização, de treinamentos internos e externos, da existência de um canal de ouvidoria interna, da realização de eventos e do apoio a programas nacionais, conforme citado pelos entrevistados:

A gente tem uma parceria com uma instituição de ensino em que a gente sempre envia o pessoal para ser reciclado. Também a gente faz campanhas de conscientização como o maio amarelo, novembro azul, outubro rosa. [...] Além disso apoiamos os programas na mão certa que um programa busca enfrentar a exploração sexual de crianças e adolescentes, que acaba sendo uma realidade nas estradas brasileiras, então é importante a gente trabalhar em cima disso. Para isso realizamos dinâmicas na SIPAT e mensalmente abordamos o tema nos nossos diálogos de segurança (ESG Caso 4).

Para impactar positivamente as comunidades do entorno das instalações da empresa do **Caso 4**, os funcionários realizam periodicamente campanhas de doação de sangue, de alimentos, do agasalho e de doação de brinquedos no Dia das Crianças e no Natal.

5.1.5 Caso 5

A empresa do **Caso 5** investiu em soluções de Logística 4.0 para aprimorar suas atividades de armazenagem e transporte. Grande parte dessas tecnologias foram desenvolvidas especificamente para a empresa, resultando em soluções personalizadas e eficientes.

No que se refere à armazenagem, a empresa utiliza um software WMS combinado com aplicações de IoT, CC e coletores RFID. Além disso, a empresa adotou o sistema *Sorter*, responsável pela separação automática de pedidos, automatizando a classificação, pesagem e cubagem de caixas recebidas na matriz.

Para monitorar as operações de transporte, a empresa conta com um departamento de torre de controle, que acompanha o resultado do negócio, os indicadores operacionais e a movimentação e roteirização dos veículos. A empresa também utiliza tecnologias embarcadas nos veículos, como telemetria e rastreadores IoT, além de softwares TMS, de rastreamento e gestão de frota. A inteligência artificial e o *machine learning* são utilizados para criar rotas preditivas e apoiar os gestores na seleção de veículos para as entregas entre as filiais.

Além dessas tecnologias, a empresa também adotou a digitalização do processo de recrutamento e seleção, a assinatura digital em todos os seus contratos e o sistema de integração da comunicação dos bancos de dados da empresa com o banco do cliente, tornando o preenchimento de dados mais eficiente. Um aplicativo para controle da saúde e segurança do trabalho é utilizado na gestão dos Equipamentos de Proteção Individual (EPI), inspeções de segurança e realização de treinamentos.

Com essas tecnologias, a empresa do **Caso 5** se destaca como um exemplo de como a Logística 4.0 pode ser implementada para otimizar as operações e melhorar a eficiência empresarial:

Hoje a gente brinca que a gente é um setor de segurança que não gera papel, né? E apesar da segurança ser um setor que gera muito a gente usa um aplicativo para fazer lista de presença de treinamentos, ele lê o código de barra presente no crachá do nosso colaborador. Então eu Gero isso tudo de forma eletrônica vai para nuvem a gente faz toda tratativa, Faz BI, eu Gero certificados também por esse aplicativo de Treinamento (ESG Caso 5).

A empresa do **Caso 5** conta com um hub tecnológico que se dedica ao desenvolvimento de tecnologias próprias e à gestão de tecnologias terceiras, tendo como foco

a digitalização, integração e automatização dos processos da empresa. O entrevistado "**Operações Caso 5**" destaca que o departamento de pesquisa e desenvolvimento está sempre em busca de inovações, novas automações e tendências de mercado, e que a empresa aposta muito na tecnologia.

De acordo com os entrevistados, a migração dos softwares de TMS, ERP e WMS para a nuvem e a digitalização dos processos de intralógica permitiram ampliar a flexibilidade na gestão. Além disso, as tecnologias adotadas nos processos de transporte, como a telemetria, os rastreadores IoT e os roteirizadores proporcionaram mais segurança nas operações, eficiência no gerenciamento das frotas, maior precisão e assertividade nas rotas, melhor qualidade de trabalho e uma redução significativa do tempo de carregamento e realização de entregas.

Entre os desafios enfrentados na adoção da Logística 4.0 citados pelos entrevistados, destacam-se a alta rotatividade de funcionários, os altos custos de aquisição das tecnologias, a dificuldade de uso por parte de funcionários mais velhos, a utilização de softwares em língua estrangeira (principalmente o inglês), a resistência à mudança e a adaptação e engajamento dos motoristas dos veículos agregados, que correspondem a 95% da frota da empresa.

No que tange ao aspecto sustentável, o relatório de ESG da empresa do Caso 5 descreve que a companhia investe continuamente em projetos e ações de ESG com o objetivo de minimizar o impacto ambiental e contribuir para um mundo mais justo e inclusivo. Segundo o entrevistado "**Operações Caso 5**", a implementação de práticas de ESG no dia a dia é, acima de tudo, uma transformação cultural:

O impacto da implementação dessas ações na estratégia da nossa empresa é decisivo e apoiado pela alta direção da organização. Nossos fundadores já tinham isso enraizado, mesmo antes de o mercado pedir. Nesse sentido, todas as nossas lideranças são capacitadas para serem exemplos e contribuírem para ações de ESG prevista no nosso planejamento estratégico (Operações Caso 5).

No que se refere à dimensão ambiental, a empresa em questão empenha-se em ações que visam a preservação do meio ambiente, a observância da legislação, a redução dos impactos ambientais, a gestão adequada de resíduos, o uso de tecnologias limpas, à reciclagem e a promoção de educação ambiental interna. Entre as práticas adotadas, destacam-se campanhas e treinamentos voltados para o uso consciente de recursos naturais, direção segura e direção econômica; a instalação de placas fotovoltaicas nos armazéns; a substituição de todas

as lâmpadas halógenas ou fluorescentes por modelos de LED; e o plantio de árvores. Quanto ao transporte, a empresa adotou tecnologias que visam a redução do consumo de combustível (tais como telemetria e roteirização), defletores de ar, teste de opacidade, conversão de veículos movidos a gasolina para GNV, veículos eletrificados para distribuição urbana, sistema de captação e reuso de água para lavagem da frota, reaproveitamento de paletes de refugo e lonas plásticas, e um sistema de gestão dos pneus.

Além disso, com o objetivo de reduzir a pegada de carbono, a empresa do **Caso 5** incentiva e subsidia a conversão dos veículos dos transportadores autônomos de carga. A adoção dessas medidas evidencia a preocupação da empresa com a sustentabilidade e a responsabilidade socioambiental, ao mesmo tempo em que contribui para a redução dos impactos ambientais e para a construção de um mundo mais justo e inclusivo:

Hoje a gente banca a conversão para o motorista, né? Ele vem com o carro dele, por exemplo uma Kombi, a gente faz a conversão. Hoje fica em torno de R\$ 5.000. E aí a gente parcela isso para ele. Então a gente faz esse incentivo. E aí paga lá os 5 mil e desconta dele em 10 pagamentos, porque a gente acredita muito na relação do que o GNV traz, né? Ele traz uma redução tanto Econômica para ele de abastecimento, né? Então o colaborador ele tem esse ganho e a gente tem essa redução da questão da emissão, né? (ESG Caso 5).

No que se refere à dimensão econômica e de governança, a empresa em questão fundamenta-se na valorização da livre iniciativa e do trabalho humano, buscando a promoção da dignidade, das relações éticas e dos bons resultados a todos os *stakeholders*. Para garantir uma gestão eficiente e transparente, a empresa dispõe de um comitê consultivo composto por consultores independentes, um comitê de estratégia responsável por definir os próximos ciclos de crescimento da empresa, um comitê gestor que planeja, aprova, revisa e fiscaliza as ações do planejamento estratégico e um código de ética. Além disso, a empresa realiza auditorias externas a fim de garantir a conformidade com as normas e regulamentações.

Sobre a dimensão social, a empresa empenha-se em promover o respeito aos direitos humanos, a responsabilidade social e cultural. Para tanto, a empresa dispõe de uma organização filantrópica que promove diversas ações para a comunidade, tais como campanhas de agasalho e doação de sangue, doação de cestas básicas, transporte solidário para instituições do terceiro setor, reforma de casas de funcionários e promoção do voluntariado corporativo para atender famílias em situação de vulnerabilidade:

Essas questões de apoio a gente trabalha em três pilares de assistencialismo de capacitação e de geração de renda, então a gente gera cursos para comunidade, por exemplo durante a pandemia as pessoas estavam em casa, né? Então a gente fez um curso online, por exemplo, pra gerar outras formas alternativas, gerar uma renda durante o período ali, porque muita gente perdeu o emprego, né? (Operações Caso 5).

Adicionalmente, a empresa do **Caso 5** adota iniciativas que visam melhorar as condições de saúde, qualidade e segurança no trabalho, bem como o tratamento aos colaboradores sem distinção, com respeito à diversidade. Para tanto, a empresa oferece ginástica laboral, treinamentos e inserção de jovens de 16 a 19 anos no mercado de trabalho, realização do diálogo de saúde, segurança e sustentabilidade, disponibilização de bolsas de estudos para funcionários nos níveis técnico, de graduação ou especialização e uma biblioteca virtual de treinamentos. Essas ações contribuem para a promoção de um ambiente de trabalho saudável e seguro, além de estimular o desenvolvimento profissional e pessoal dos colaboradores.

5.1.6 Análise geral dos casos

A digitalização e otimização da cadeia de suprimentos (CS) tem sido impulsionada pela adoção de diversas tecnologias que variam de acordo com as características das atividades logísticas, modelo de negócios, necessidades dos clientes e necessidades dos parceiros logísticos (WINKELHAUS; GROSSE, 2019). Tal fato ressalta as diferenças e semelhanças observadas no uso das tecnologias da Logística 4.0 nas empresas estudadas.

Enquanto as empresas do **Caso 1 e 2** fornecem serviços de intralogística, atuando nas atividades de gestão e manutenção dos estoques, processamento de pedidos, armazenagem, manuseio de materiais e embalagem de proteção, as empresas dos **Casos 3, 4 e 5** também atuam na atividade de transporte de materiais, realizando a distribuição de produtos através de equipes próprias e motoristas agregados (terceirizados). Para gerir essas atividades, todas as empresas utilizam sistemas logísticos em combinação com as tecnologias da Logística 4.0, como o WMS, que pode ser otimizado pelo uso dessas tecnologias (BUNTAK; KOVAČIĆ; MUTAVDŽIJA, 2019).

Durante a primeira etapa da pesquisa, os entrevistados foram questionados sobre as principais tecnologias da Logística 4.0 aplicadas em suas empresas, as motivações para adoção destas tecnologias, assim como os benefícios e desafios decorrentes de sua

implementação. Todos os entrevistados afirmaram que as tecnologias da Logística 4.0 trouxeram resultados positivos para as organizações analisadas e que existem projetos para ampliar o número de tecnologias empregadas nos processos logísticos e fortalecer a digitalização de suas atividades. Os entrevistados também destacaram que o período de pandemia de COVID-19 acelerou o processo de transformação digital nas empresas, que precisaram buscar recursos para otimizar suas atividades, uma vez que a escassez de material e de mão-de-obra criou interrupções nas cadeias de suprimentos (GUPTA; SINGH, 2021).

Todas as empresas possuem sistemas logísticos como WMS, RFID e ERP, que auxiliam no gerenciamento de seus armazéns e apoiam as atividades de recebimento, armazenamento, separação e expedição de produtos. As empresas que atuam na gestão de transporte, utilizam as tecnologias TMS, GPS e sistemas de roteirização integradas ao ERP para a criação de rotas e controle de entregas dos produtos. De forma similar aos achados do estudo conduzido por Barreto, Amaral e Pereira (2017), a combinação desses sistemas com as tecnologias de Logística 4.0 tem resultado em mudanças significativas na maneira como as atividades de intralogística e transporte são executadas nas empresas.

Diante do exposto, os participantes do estudo de casos múltiplos, representantes de empresas do setor de PSL, mencionaram as tecnologias da Logística 4.0 que já foram adotadas em suas organizações, bem como projetos futuros. Conforme pode ser observado no Quadro 16, todas as empresas entrevistadas já implementaram tecnologias como IoT, RFID, CC, BDA, BI e dispositivos móveis em suas atividades logísticas. Esse resultado converge com uma pesquisa realizada por Corrêa, Sampaio e Barros (2020), a qual avaliou o interesse de 26 PSL nas tecnologias da Logística 4.0 e constatou que 65% das empresas já investiram em IoT e CC, demonstrando a relevância dessas tecnologias para o setor.

O uso de drones na gestão de inventário tem potencial para reduzir o tempo e os custos operacionais dos PSL (RIDOLFI et al., 2019). Em decorrência disso, as empresas dos Casos 2 e 3 têm utilizado esses equipamentos para realizar a contagem cíclica dos produtos em seus armazéns, resultando em uma melhora na rastreabilidade e acurácia do inventário.

Quadro 16 - Análise cruzada das atividades logísticas, sistemas logísticos e tecnologias da Logística 4.0

		Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Atividades Logísticas	Transporte de materiais	N/A	N/A	SIM	SIM	SIM
	Manutenção de estoques	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
	Processamento de pedidos	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
	Armazenagem	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
	Manuseio de materiais	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
	Embalagem de proteção	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
	Gestão de inventário	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Sistemas Logísticos	WMS	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
	TMS	N/A	N/A	SIM	SIM	SIM
	Roteirizador	N/A	N/A	SIM	SIM	SIM
	RFID	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
	ERP	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
	GPS	N/A	N/A	SIM	SIM	SIM
Tecnologias da Logística 4.0	IoT	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
	AI	N/A	N/A	N/A	N/A	SIM
	<i>Machine Learning</i>	N/A	N/A	N/A	N/A	SIM
	Drones	N/A	SIM	SIM	N/A	N/A
	<i>Blockchain</i>	N/A	N/A	SIM	N/A	N/A
	BDA	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
	CC	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
	Dispositivos móveis	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
	BI	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
	Sistemas de simulação	N/A	N/A	N/A	N/A	SIM
	AGV/ AMR	N/A	SIM	N/A	N/A	N/A

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Dentre as empresas entrevistadas, apenas a do **Caso 4** utiliza tecnologias como AI, *Machine Learning* e sistemas de simulação para aprimorar suas atividades de roteirização e entregas. Tais tecnologias são empregadas para estabelecer rotas mais eficientes para os veículos, resultando em uma redução do tempo de entrega e do deslocamento dos veículos (SU; FAN, 2020).

As empresas dos **Casos 2, 4 e 5** implantaram os *checklists* eletrônicos por meio das tecnologias de CC, BDA, IoT e dispositivos móveis. As empresas dos **Casos 2 e 5** migraram seus formulários e *checklists* utilizados nas áreas de operações, segurança e área administrativa para uma plataforma digital que consolida as informações em uma base de dados. Enquanto isso, a empresa do **Caso 4** utiliza o *checklist* eletrônico na gestão da frota, coletando os dados do veículo antes e após o início da atividade, alimentando uma base

conectada ao ERP da empresa e gerando automaticamente as ordens de serviço de manutenção, se necessário.

Os entrevistados apontaram diversas motivações para a adoção da Logística 4.0, incluindo exigências dos clientes, determinação das matrizes das empresas, diferenciação da concorrência para obter vantagem competitiva, necessidade de processos mais rápidos, seguros, flexíveis e sustentáveis, bem como a possibilidade de redução de custos e insumos no médio e longo prazo. Isso mostra a importância dos *stakeholders* nas decisões estratégicas dos PSL, uma vez que eles exigem cada vez mais dados fáceis de acessar, relevantes e atualizados em tempo real (NANTEE; SUREEYATANAPAS, 2021).

Em consonância, Olszak, Zurada e Cetindamar (2021) afirmam que a adoção de tecnologias da Indústria 4.0 pode ajudar as empresas a ampliar suas receitas, identificar oportunidades futuras e novos mercados, aumentar a competitividade, otimizar produtos e serviços, captar profissionais talentosos, melhorar os processos de operação, realizar análises preditivas e proteger a marca. Os entrevistados citaram vários benefícios trazidos pela adoção das tecnologias de Logística 4.0, tais como o aumento da produtividade, segurança e agilidade nos processos, assertividade, acuracidade do inventário, capacidade de modelação dos dados, confiabilidade dos dados, controle de divergências e melhoria no nível de serviço prestado. Estudos anteriores sugerem que, se as tecnologias de Logística 4.0 forem adotadas em larga escala e por um longo período, há um grande potencial para contribuir para a sustentabilidade dos PSL, devido à ampliação da eficiência e redução de resíduos e emissões de gases poluentes decorrentes dessa adoção (NAGY et al., 2018; NANTEE; SUREEYATANAPAS, 2021).

Os entrevistados também foram indagados sobre as práticas sustentáveis aplicadas em suas empresas, bem como suas motivações e benefícios decorrentes. É importante ressaltar que, segundo Winkelhaus e Grosse (2020), a Logística 4.0 pode ser utilizada como ferramenta para o desenvolvimento de operações logísticas sustentáveis. Adicionalmente, Zimon, Madzik e Sroufe (2022) sugerem que a implementação de sistemas de gestão integrados, certificações e programas em PSL pode incentivar a adoção de atividades inovadoras que minimizem os custos operacionais e impactem positivamente toda a cadeia de suprimentos.

As entrevistas revelaram que todas as empresas analisadas possuem as certificações ISO 9001 e ISO 14001 implementadas em suas operações, além de programas específicos para redução das emissões de carbono, programas de excelência operacional, melhoria contínua e/ou políticas de qualidade (Quadro 17). A adesão a essas normas, segundo Zimon, Madzik e Sroufe (2022), é um fator relevante na construção de uma estratégia que promova a integração, cooperação, foco no cliente e no desempenho sustentável.

Quadro 17 - Certificações e Programas sustentáveis adotados pelas empresas

Certificações e Programas	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 5	Caso 6
ISO 9001	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
ISO 14001	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
ISO 45001	SIM	SIM	N/A	N/A	SIM
SASSMAQ	N/A	N/A	N/A	N/A	SIM
OHSAS 18001	SIM	SIM	SIM	N/A	N/A
Certificação B Corp	N/A	N/A	N/A	N/A	SIM
Programa para redução das emissões de carbono	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Programas de excelência operacional, melhoria contínua e política de qualidade	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Programas de diversidade, conscientização e inclusão	SIM	SIM	N/A	N/A	SIM

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Segundo Gupta, Singh e Mangla (2021), para que os PSL sejam competitivos globalmente e possam fazer parte de cadeias valor globais, é importante que eles incorporem padrões globais de desempenho e práticas que impactem as três dimensões da sustentabilidade. Posto isto, este estudo buscou mapear as práticas sustentáveis adotadas nas empresas investigadas e estas foram agrupadas em três grupos: práticas sustentáveis gerais (Quadro 18), práticas sustentáveis na intralogística (Quadro 19), e práticas sustentáveis no transporte e gestão do transporte (Quadro 20).

As práticas sustentáveis gerais são aquelas que envolvem mais de uma atividade logística da empresa ou áreas de suporte, conforme apresentado no Quadro 18. Segundo os entrevistados, as duas práticas mais críticas são a capacitação e treinamento dos funcionários e a gestão de indicadores, uma vez que elas têm impacto direto nas demais.

Quadro 18 - Análise comparativa das práticas sustentáveis gerais adotadas nas empresas

Práticas sustentáveis gerais	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Capacitação e Treinamento dos funcionários (treinamentos processuais, operacionais, direção econômica, saúde e segurança)	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Ouvidoria (colaboradores, clientes, fornecedores, parceiros, prestadores de serviços e sociedade em geral)	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Gestão de terceiros (limpeza, segurança, manutenção e similares)	N/A	SIM	N/A	SIM	SIM
Digitalização dos seus controles internos	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Compra de insumos nas comunidades locais	N/A	SIM	N/A	N/A	SIM
Avaliação dos fornecedores e parceiros logísticos, quanto as práticas sustentáveis	N/A	SIM	SIM	N/A	SIM
Gestão de indicadores (operacionais, sociais e ambientais)	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Ações de gestão voltadas para a transparência e anticorrupção	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Apoio à ONGs e comunidades em situação de vulnerabilidade	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

O Quadro 19 reúne um mapeamento das práticas adotadas nas atividades de intralógica, que envolve o gerenciamento de estoques e a movimentação de materiais. As práticas que já estão difundidas em todas as empresas investigadas são: a otimização do layout do armazém; o uso de tecnologias sustentáveis no armazém; a execução de manutenção preventiva, diária, semanal e mensal dos equipamentos e veículos; a existência de um plano de gestão de resíduos e descarte; o mapeamento do consumo de combustível e energia utilizada pelos veículos; a gestão do nível, ocupação e utilização dos estoques; o monitoramento da acuracidade do inventário; a utilização de sistemas de informação para gestão e monitoramento dos estoques; a implantação de programas e medidas para otimizar a ergonomia e segurança operacional do armazém; o planejamento das tarefas; e existência de áreas para promover a integração e descanso para os funcionários e que visem o bem estar social.

Quadro 19 - Práticas sustentáveis adotadas na Intralógica - Gerenciamento de Estoques e movimentação de materiais

Práticas Sustentáveis na Intralógica - Gerenciamento de Estoques e movimentação de materiais	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Otimização do layout do armazém de forma que minimize a distância de deslocamento para operações diárias	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Armazém com tecnologias sustentáveis – telhas ecológicas, pisos ecológicos, painel fotovoltaico, lâmpadas LED, uso materiais <i>eco-friendly</i> na estrutura dos edifícios)	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Utilização de dispositivos para controle da temperatura do armazém (exploração da ventilação natural, uso de sensores)	N/A	SIM	SIM	N/A	N/A
Gestão eficiente da iluminação artificial do armazém (sensores de presença, lâmpadas LEDs, exploração da iluminação natural)	SIM	SIM	SIM	N/A	N/A
Situar o armazém em área industrial ou afastada do centro urbano	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM
Controle, monitoramento e/ou reuso de água	N/A	SIM	SIM	N/A	SIM
Uso de energias renováveis, ou mais limpas, para executar operações de armazém	N/A	SIM	SIM	N/A	SIM
Uso de combustíveis menos poluentes em equipamentos de movimentação de materiais	SIM	SIM	SIM	SIM	N/A
Renovação e modernização da frota		SIM	SIM	SIM	SIM
Manutenção preventiva, diária, semanal e mensal dos equipamentos e veículos	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Plano de gestão de resíduos e descarte (pneus, baterias, filtro de óleo, fluidos e lâmpadas)	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Mapeamento do consumo de combustível e energia utilizada pelos veículos	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Gestão do nível, ocupação e utilização dos estoques	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Monitoramento da acuracidade do inventário	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Implantação de programas de cross-docking	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM
Uso de equipamentos para automação do armazém	N/A	SIM	N/A	N/A	SIM
Utilização de sistemas de informação para gestão e monitoramento dos estoques	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Uso de embalagens ecológicas, reutilizáveis e retornáveis	SIM	SIM	N/A	SIM	N/A
Desenvolvimento de embalagens centradas na otimização do seu manuseamento		SIM	N/A	N/A	N/A
Implantação de programas e medidas para otimizar a ergonomia e segurança operacional do armazém	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Planejamento das tarefas	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
Reaproveitamento de paletes e doação de refugo	SIM	N/A	N/A	N/A	SIM
Existência de áreas para promover a integração e descanso para os funcionários e que visem o bem estar social	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Por outro lado, a prática de desenvolver embalagens voltadas para a otimização do manuseio é adotada somente pela empresa do Caso 2, já que, na maioria dos casos, essa etapa é de responsabilidade da indústria ou empresa para a qual os PSL fornecem seus serviços. Além do mais, o desenvolvimento de embalagens é um processo complexo, pois elas precisam ser leves o suficiente para reduzirem os custos logísticos de distribuição, sem comprometer a robustez necessária para a entrega e eventual devolução do produto (PISHDAR et al., 2021).

Em relação às práticas sustentáveis aplicadas no transporte e gestão do transporte, observa-se no Quadro 20 que as práticas de melhorias na frota (como o uso de defletores, uso de ativos, e equipamento de controle da emissão de GEE), manutenções preventivas, e uso de sistemas de controle e rastreamento, são as iniciativas mais adotadas.

Quadro 20 - Práticas sustentáveis adotadas no transporte e gestão do transporte

Práticas sustentáveis no transporte e gestão do transporte	Caso 3	Caso 4	Caso 5
Promoção de melhoria da aerodinâmica dos veículos (ex.: uso de defletores)	SIM	SIM	SIM
Manutenção preventiva da frota	SIM	SIM	SIM
Utilização de fontes de energia mais limpas, veículos elétricos e/ou veículos híbridos	SIM	N/A	SIM
Implantação de equipamento de controle das emissões de gases poluentes nos veículos	SIM	SIM	SIM
Realização de transferência do transporte de carga para modos mais limpos (transferência modal)	SIM	N/A	SIM
Redução do peso e controle da sobrecarga dos veículos	SIM	SIM	SIM
Gestão e otimização da ocupação do veículo	SIM	SIM	SIM
Otimização da utilização da frota	N/A	SIM	SIM
Reutilização da água de lavagem de frotas	N/A	N/A	SIM
Renovação e modernização da frota	SIM	SIM	SIM
Implantação de sistemas de rastreamento e monitoramento da frota, como o uso de telemetria, ACC (Adaptative Cruise Control -piloto automático adaptativo), controle do motor ocioso e desligamento automático do veículo	SIM	SIM	SIM
Implantação de equipamento auxiliar de geração de energia para redução de consumo de combustível fóssil	N/A	N/A	SIM
Otimização da operação de carga e descarga com utilização de equipamentos motorizados	SIM	SIM	SIM
Otimização das rotas	SIM	SIM	SIM
Realização de coleta e distribuição noturna	N/A	SIM	N/A
Redução da velocidade do deslocamento	N/A	SIM	SIM
Utilização de aditivos para melhorar a eficiência energética dos combustíveis	SIM	SIM	SIM
Utilização de diferentes tipos de veículos para realização de entregas e coletas - intermodalidade	N/A	N/A	SIM
Transporte gratuito e solidário para ONGs, comunidades carentes e instituições do terceiro setor	N/A	N/A	SIM

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Iniciativas como o uso de veículos elétricos e a intermodalidade (utilização de diferentes tipos de veículos para realização de entregas e coletas) possuem alto nível de interesse por parte dos entrevistados, porém envolvem um alto custo de aquisição e transição, o que dificulta a sua escalabilidade. Para He et al. (2017), os veículos elétricos, híbridos, a gás natural, movidos à bateria e que utilizam biocombustível, são ferramentas de transporte fundamentais para que os PSL possam desenvolver uma logística de baixo carbono.

Em relação à mensuração do desempenho sustentável nos PSL, de modo geral, as empresas têm buscado controlar e divulgar seus indicadores conforme os padrões e práticas

internacionais, que possibilitam a ampliação da transparência das iniciativas adotadas nas empresas.

As empresas dos **Casos 1, 2 e 3** geram indicadores financeiros, sociais e ambientais de forma global, regional e local. Por serem empresas multinacionais, que estão listadas na bolsa de valores, as empresas divulgam um acumulado de seus resultados globais financeiros e sustentáveis em relatórios que seguem o padrão GRI. Além dos relatórios GRI e indicadores globais, os entrevistados do **Caso 1, Caso 2, Caso 3 e Caso 5** reforçam que no que se refere à dimensão ambiental, as empresas possuem metas e indicadores para monitorar a emissão de GEE de suas atividades, um dos principais focos dessa dimensão:

Um dos indicadores que nós utilizamos é a emissão de gás carbônico que é uma emissão de CO₂. A gente faz um inventário mensalmente em todas as nossas operações aqui no Brasil e fora dele, eu tenho por unidade então um exemplo tá? Tem uma unidade de Jundiaí, então mensalmente essa unidade ela coleta o quanto ela utilizou de energia elétrica, o quanto ela utilizou de combustível, no gerador, no sistema de Sprinter, no carro do fulano, no carro do ciclano, o quanto ela reciclou de plástico, quando ela utilizou de plástico, então diversos itens, GLP empilhadeira, diversos itens, e a gente utiliza um fator, né para cada um desses itens, a gente utiliza um fator de conversão e com base nisso é gerado a nossa emissão de CO₂. E aí o que a gente tem um indicador para isso que é CO₂ por paletes expedido, então cada uma das operações tem esse indicador, o quanto ela gera de CO₂ por paleta (ESG Caso 2).

Mas a gente tem uma meta bem agressiva em termos de redução de CO₂ no Planeta. A empresa ela tem um programa, acho que até 2030, reduzir 40% disso. E 2050 praticamente a gente zerar, tá? Então é bem legal. Estamos falando isso em 2020 já olhando 2050 (Operações Caso 3).

A gente acompanha diariamente o indicador de emissão de CO₂ de toda a nossa frota, e também a gente tem algumas metas de neutralização para atender o compromisso *NetZero* 2030, assumido pela empresa em 2021 (Operações Caso 5).

Já a estrutura de indicadores relacionados às práticas sustentáveis da empresa do **Caso 4**, está correlacionada às métricas e programas implantados em seus clientes. Logo, os indicadores são estabelecidos nos contratos e monitorados periodicamente nas reuniões diárias, semanais e mensais, assim como nas auditorias semestrais instituídas pelo cliente. Alguns exemplos de indicadores sustentáveis controlados na empresa são: média de consumo de combustível (que é convertida em gás carbônico emitido), consumo de energia no

armazém, percentual de paletes reciclados, controle da ocupação da frota, total de funcionários treinados, rotatividade dos funcionários (*turnover*) e absenteísmo.

Para os entrevistados do **Caso 1, 2 e 3**, a principal motivação para adoção de uma cultura e iniciativas sustentáveis vem das matrizes das empresas. Segundo eles, como a União Europeia dispõe de uma estratégia para alavancar o desenvolvimento sustentável, há um estímulo para que os países e instituições se engajem nesta questão. Diante disso, as empresas do segmento de logística têm buscado formas de atenuar os impactos negativos de suas atividades e potencializar os impactos positivos para seus funcionários, clientes, parceiros logísticos e sociedade. Adicionalmente, as empresas do **Caso 1, 2 e 3** construíram políticas, estratégias e metas que envolvem as dimensões do ESG em seu corporativo e posteriormente, desdobraram para todas as suas operações, que devem adaptá-las para as realidades nacionais e locais.

Os entrevistados do **Caso 4** ressaltam que o movimento em direção à sustentabilidade da empresa, está sendo impulsionado por seus clientes, uma vez que a empresa presta serviço para empresas multinacionais que tem um forte compromisso com as questões de ESG. Contudo, a empresa ressalta que ainda está se adaptando a essa realidade, uma vez que a área de sustentabilidade é uma subdivisão dentro da área de qualidade, RH e segurança do trabalho. Por não possuir uma área dedicada ao controle e medição das práticas sustentáveis, o fortalecimento da cultura e estratégia da empresa fica prejudicado, como relatado a seguir:

Mas falando do ponto de vista interno, nossa estrutura de ESG ainda é pequena e atrelada aos nossos Técnicos de segurança e nossa área de qualidade. Então acredito que temos muito pra evoluir ainda. Falta conhecimento e segurança pra tocar esse assunto. Mudar a consciência e atitude das pessoas que estão acostumados a sempre fazer as mesmas coisas, e é difícil mudar essa cultura. Tem que ter muita conversa, paciência e jogo de cintura (ESG Caso 4).

A empresa do **Caso 5** atua fortemente na conscientização e engajamento dos funcionários e parceiros logísticos, visando a ampliação do desempenho sustentável da empresa e de sua cadeia de suprimentos. Segundo os entrevistados, essa cultura teve origem na fundação, pois os seus fundadores já possuíam uma postura voltada para gerar impactos positivos para seus funcionários, para a sociedade e para o meio ambiente.

Sob a ótica da dimensão social, os entrevistados de todos os casos analisados revelaram que com a adoção das práticas sustentáveis foi possível ampliar a ergonomia, a segurança das

operações de transporte e armazém, ampliar a conscientização e engajamento nas práticas sustentáveis, desenvolver capacidades organizações e pessoais, e fortalecer a resiliência, transparência e comunicação entre os elos da CS.

Os entrevistados também apontaram uma série de desafios e fatores críticos de sucesso na adoção de práticas sustentáveis em suas empresas. Os desafios consistem em impactos negativos das aplicações de Logística 4.0, enquanto que os fatores críticos de sucesso dizem respeito às condições e medidas necessárias para que o potencial de criação de valor resultante dos benefícios seja alcançado ou para evitar que os impactos negativos se concretizem (BONILLA et al., 2018). Entre os desafios, destacam-se os altos custos iniciais de investimento, a necessidade de infraestrutura tecnológica e estratégia bem definida, questões relacionadas à cibersegurança, à adequação da cultura empresarial e a resistência à mudança. Além disso, os entrevistados citaram a redução dos postos de trabalho e a necessidade de desenvolver conhecimentos e competências dos funcionários como pontos cruciais para o sucesso das iniciativas de sustentabilidade.

Conforme relatado pelos entrevistados dos **Casos 1, 2 e 3** o entendimento e engajamento dos funcionários nas práticas sustentáveis da empresa é um fator crucial que as empresas têm atuado. Segundo eles, a conscientização e entendimento das práticas sustentáveis são estimulados através da realização de treinamentos constantes com a liderança e com a equipe operacional, assim como a divulgação das práticas sustentáveis nos meios de comunicação internos e online das empresas.

Adicionalmente, todos os entrevistados ressaltaram que a rotatividade dos funcionários no segmento de logística é alta, o que dificulta a disseminação e engajamento nas práticas sustentáveis, e resulta um aumento nos gastos com processos de contratação, seleção e treinamento de pessoal.

Diante disso, observa-se que a adoção das tecnologias da Logística 4.0 e práticas sustentáveis nos PSL é um processo complexo, que exige investimentos significativos em equipamentos, *softwares* e infraestrutura, além de mudanças nos processos e na cultura organizacional o que requer uma estratégia integrada e holística que considere todos os aspectos das operações logísticas. Por isso, a seção a seguir apresenta a opinião de especialistas que atuam neste setor, com o intuito avaliar o contexto e desafios para o sucesso destas iniciativas.

Em resumo, os resultados das entrevistas destacam a importância da adoção de práticas sustentáveis em operações logísticas, a partir da integração de sistemas de gestão, certificações e programas em PSL. Para tanto, é necessário enfrentar uma série de desafios, como os altos

custos iniciais, a infraestrutura tecnológica e estratégia empresarial bem definida, questões de cibersegurança, adequação da cultura empresarial e resistência à mudança, redução dos postos de trabalho e desenvolvimento de conhecimentos e competências dos funcionários.

5.2 Opinião de especialistas

Este estudo optou por realizar 7 entrevistas com especialistas das áreas de logística e sustentabilidade, a fim de aprofundar a discussão sobre como as tecnologias 4.0 vêm sendo adotadas nas atividades logísticas, bem como seus impactos para a sustentabilidade dos PSL. Essa seção engloba as percepções dos especialistas sobre o estado atual da disseminação das tecnologias de Logística 4.0 e das práticas sustentáveis nas empresas que atuam no segmento de logística, oferecendo serviços de intralogística, transporte e gestão do transporte.

A pesquisa com especialistas revelou que o investimento em inovação e tecnologias da Logística 4.0 nos PSL têm crescido nos últimos anos. Segundo a **Especialista 1**, essa tendência pode ser observada pela expansão das áreas de TI, aumento das parcerias ou aquisição de *startups* de logística, as chamadas *logitechs*.

Um ponto muito importante da gente abordar é que a gente vê esses dois movimentos acontecendo dentro dos operadores logísticos. Ou as empresas estão acelerando e adquirindo *startups* e *logitechs* ou elas estão criando esse tipo de braço quase de *logitechs*, dentro da sua empresa. É até uma questão de custos, muitas estão vendo que você criar e manter uma equipe de programadores e coordenadores de equipes dentro da sua área de inovação, por exemplo sai mais barato e consegue ter um produto mais customizado, e entender logo da demanda do que você acelerar uma *startup*, que tem o tempo de maturação, de adequação e tudo mais e adquirir as vezes por um preço até mais alto (Especialista 1).

Segundo os especialistas, a Logística 4.0 vêm sendo adotada nos PSL devido à uma exigência do mercado, dos clientes ou das matrizes das empresas, com a finalidade de alavancar os resultados da empresa; para diferenciar essas empresas frente aos concorrentes; para ampliar a segurança, eficiência, flexibilidade, customização, qualidade e integridade da carga; e melhorar o nível de serviços prestados para os contratantes, conforme descrito no trecho a seguir:

Se você pensar no transportador, a motivação mais frequente que existe para que eles adotem alguma tecnologia ou alguma boa prática algum meio de intervenção

ou algum conceito de sustentabilidade é o embarcador solicitou para ele aqui, né? O embarcador precisa garantir que ele vai ser *NetZero* até um determinado ponto ele vai fazer uma pressão da transportador para transportadora. Vai exigir alguma posição dele né, ou alguma boa prática, ou demonstre para ele que está reduzindo as emissões ou que introduz alguma nova tecnologia, alguma fonte de energia limpa (Especialista 3).

Segundo os **Especialistas 1 e 3**, o WMS e TMS são tecnologias mais utilizadas nos PSL, sendo estas tecnologias habilitadoras, ou seja, as empresas que não utilizam esses sistemas têm pouca possibilidade de manter seus contratos vigentes no mercado e conseguir novos contratos logísticos. Ainda, o **Especialista 1** afirma que as tecnologias CC, IoT, BI, e BDA são tecnologias que estão em fase de expansão, e que a tendência é que nos próximos anos a sua utilização seja maior. Esse fato é reforçado pela pesquisa “Perfil do Operador Logísticos” realizada pela ABOL (2022) que constatou que mais de 70% dos operadores logísticos entrevistados já utilizam CC, Torre de Controle, *Data Analytics* usando *Machine Learning* e IA, e sistema de integração tecnológica com clientes e fornecedores.

Para os **Especialistas 1, 3 e 4**, com a expansão do *e-commerce*, acelerado pela pandemia do COVID-19, os PSL enxergaram a necessidade de ampliar e antecipar o investimento em projetos de Logística 4.0. Segundo eles, o uso de IoT, CC e BDA na gestão do estoque ou transporte melhoram significativamente fatores-chave da gestão da cadeia de suprimentos, tais como a transparência e visibilidade dos processos, o controle sobre os materiais e estoques, além da assertividade na execução das operações.

O **Especialista 5** sugere que a aplicação de tecnologias como o IoT, CC, dispositivos móveis e BDA resulta na melhora da captação, processamento, e geração de informações em tempo real que apoia e melhora a qualidade da tomada de decisão e previsibilidade dos processos:

Não é perguntar mais o que aconteceu, é o que vai acontecer. Então a previsibilidade passa a ser aí, para mim, a grande diferença que a indústria 4.0 trouxe para gente. Como gestor, tomar as nossas decisões e ter uma visibilidade através dos dados, com a possibilidade de fazer análise, nos dá condições de tomar a decisão correta (Especialista 5).

Além do mais, o **Especialista 5** destaca que as tecnologias da Logística 4.0 podem proporcionar uma redução do número de erros nos processos, redução de desperdício de

insumos e recursos, eliminação das atividades que não agregam valor aos processos ou que possam gerar impactos negativos para os funcionários operacionais:

Ela veio para ajudar a gente a desenvolver melhor as nossas atividades, e acabar com as atividades que não tem um valor agregado, né? Atividades manuais, atividades que são prejudiciais à saúde, atividades que são repetitivas, atividades que você não usa bem as horas trabalhadas (Especialista 5).

Quando questionados sobre os desafios para uso das tecnologias da Logística 4.0, os entrevistados destacam que o custo de aquisição ou manutenção das tecnologias; a necessidade de capacitação da mão de obra para utilização da tecnologia; a infraestrutura, a estratégia e a composição da força de trabalho da empresa são pontos cruciais que devem ser analisados pelos PSL.

Todos os especialistas apontam que o principal desafio para a utilização da Logística 4.0 nos PSL é o alto custo de aquisição e manutenção dessas tecnologias. Para contornar esse desafio, muitas empresas optam por adquirir essas tecnologias de mercados mais baratos, como a China. No entanto, a falta de suporte local ou de um projeto de implantação bem fundamentado pode gerar prejuízos e frustrações para as empresas e seus funcionários, que acabam desacreditando nos benefícios que as tecnologias da Logística 4.0 podem oferecer:

Mas a questão do suporte o que acontece muito é que essas empresas investem nessas tecnologias estrangeiras muitas vezes, e aí por essa questão de falta de suporte acabam desacreditando nas tecnologias porque ela investiu nessa tecnologia, usou um tempo, mas se você não tem suporte, nenhum tipo de tecnologia consegue sobreviver sem suporte então acaba criando essa descrença de a Poxa não funciona porque eu comprei, porque paguei isso aqui e muitas dessas empresas familiares menores sempre vão buscar o menor custo (Especialista 4).

Então, eu diria o seguinte, isso sim, se você tiver dinheiro, você vai lá e compra. Só que se você tiver dinheiro, vai lá e compra e põe isso em uma base que não está muito bem estruturada, você vai jogar dinheiro fora. E mais do que isso, você desacredita na tecnologia. O pessoal fala assim, tá vendo? Eu não falei. Que a tecnologia não funciona. Só que a tecnologia não tem nada a ver com isso. Aí você mata a coisa no ninho (Especialista 5).

Além disso, o **Especialista 7** aponta que a falta de recursos financeiros e tecnológicos nos PSL de pequeno e médio porte dificulta consideravelmente a implementação das

tecnologias da Logística 4.0 e das práticas sustentáveis nas suas atividades logísticas, resultando em uma desvantagem em relação à concorrência com os PSL de grande porte e multinacionais.

Já o **Especialista 4** destaca que o uso das tecnologias da Logística 4.0 nos PSL demanda não somente a execução de atualizações tecnológicas, modificação de processos e da infraestrutura destas empresas, mas também a necessidade de integração dessas tecnologias com os equipamentos ou sistemas pré-existentes. Muitas vezes são necessárias a realização de integrações e adaptações internas e externas, adequando os sistemas compartilhados com seus parceiros de negócio. Esse processo pode exigir grandes esforços por parte da equipe de implantação, gestores e funcionários dos PSL e seus parceiros logísticos.

De acordo com o **Especialista 3** um dos desafios da Logística 4.0 é capacitar os funcionários para analisar as informações geradas pelas tecnologias como IoT e BD. Para ele, é fundamental que os funcionários desenvolvam habilidades para acessar, interpretar e trabalhar com essas ferramentas a fim de fomentar a tomada de decisões assertivas.

Outro ponto destacado pelo **Especialista 6** é que grande parte dos motoristas agregados no Brasil tem idade superior a 50 anos. Por isso, é importante que as empresas de logística atuem na realização de treinamentos para o uso correto de tecnologias de rastreamento e monitoramento, como forma de garantir a segurança e eficiência na operação, conforme mencionado no trecho a seguir:

Quando a gente fala inclusive da uberização do transporte de carga, você se esbarra muito nisso, né? A gente tem uma população de motoristas no Brasil que 60% a 65% dos motoristas autônomos tinham mais de 50 anos, tinham um pouco acesso ou usabilidade de celular, de aplicativo, então muito dificuldade com tecnologia e a gente ainda percebe que hoje mesmo a gente já tá bem maduro nesse processo [...] Então assim a gente entende que mesmo se falando muito de logística 4.0. A gente tem uma Frota de motorista e de veículos muito antiga no país, então assim, é uma geração que não tá ligada com a logística 4.0, é uma geração que tem dificuldade de uso da tecnologia. (Especialista 6)

No que diz respeito especificamente à utilização de veículos autônomos e veículos elétricos, a **Especialista 1** afirma que existem desafios relacionados a questões de regulamentação, segurança, infraestrutura e falta de informação, o que limitam a aplicação dessa tecnologia no Brasil, conforme apontado no trecho abaixo:

Quando a gente fala de veículos autônomos, hoje em dia aqui no Brasil, a gente tem algumas ressalvas, mais de 70% dos operadores que tenho contato, querem apostar neste tipo de veículo até 2024. Isso têm a ver com várias coisas, por exemplo, com a relação empregatícia, com segurança, com ganho de eficiência e produtividade. Porém, muitos operadores logísticos estão investindo em veículos elétricos, mas nem todo mundo apostando muito em veículos autônomos, talvez por uma questão também de regulamentação, a questão de segurança, que no Brasil a gente está muito atrás ainda no uso destas tecnologias (Especialista 1).

Segundo os **Especialistas 5 e 7**, a conexão, transparência e compartilhamento de dados e informações habilitadas pelo uso das tecnologias da Logística 4.0 gera preocupações nos gestores dos PSL e seus clientes quanto à proteção dos dados e segurança das informações. Segundo eles, muitas empresas possuem restrições quanto à adoção de tecnologias, como a CC e BDA, devido aos riscos de vazamento de informações sigilosas das empresas. Para contornar esse desafio, sistemas de cibersegurança podem ser adotados por essas empresas, contudo, a falta de informações e os altos custos associados a esses sistemas dificultam a escolha dessa solução.

No que se refere à adoção das práticas sustentáveis nos PSL, os especialistas concordam que como o setor de transportes é um dos grandes responsáveis pela emissão de GEE, as empresas estão cada vez mais engajadas nas questões sustentáveis. Esse engajamento ocorre devido a várias razões como a pressão dos seus clientes, do mercado e dos acionistas, ou ainda, para melhorar sua imagem no mercado ou gerar impactos positivo para a sociedade, conforme explanado pela **Especialista 1**:

A gente trabalha com empresas que não tem IPO, e querem correr atrás do prejuízo por uma questão também a genuína, primeiro porque elas não querem ficar para trás, querem poluir menos, querem ter uma melhor governança, ter equipes mais diversificadas. Os clientes estão de olho nas leis anticorrupção e no *compliance*, porque você fica mal no mercado, ninguém quer ficar para trás, até para aquele cliente mais desatento brasileiro que não é nem investidor, e isso pode pegar mal, mas também por uma questão genuína (Especialista 1).

O **Especialista 5** reforça que, de forma geral, os PSL multinacionais implantam programas de sustentabilidade, programa para redução das emissões de carbono, programas de excelência operacional e de melhoria contínua; política de qualidade e programas de diversidade, conscientização e inclusão, alinhados e determinados por suas matrizes, que

definem suas políticas globais para que sejam implantadas em suas operações no mundo. Contudo, o **Especialista 3** reforça que muitas empresas têm dificuldade de replicar essas determinações devido às restrições locais e regionais, como os tipos de contratos e clientes, investimentos necessários e aspectos culturais:

Os embarcadores de grande porte, eles seguem muito as diretrizes das suas matrizes. Se é uma multinacional, ele vai seguir a diretriz que a matriz definiu para ele e o mais engraçado, é que essas matrizes não pensam muito nos desafios que ele tem aqui no Brasil, então na cabeça dele meio que tudo que a matriz definiu, ele também pode fazer... (Especialista 3)

As principais práticas sustentáveis adotadas nas atividades de intralogística, segundo os especialistas, são aquelas que têm impacto direto na produtividade e redução de custos operacionais, incluindo a otimização do layout do armazém, a realização de manutenção preventiva nos equipamentos, o uso de lâmpadas LED no armazém, e o uso de sistemas para gestão do armazém, do nível, ocupação e utilização dos estoques.

Em relação às atividades logísticas de transporte e gestão do transporte, os especialistas afirmam que a execução da manutenção preventiva da frota, a implantação de equipamento de controle das emissões de gases poluentes nos veículos o uso de sistemas de rastreamento e monitoramento da frota e telemetria, são as práticas amplamente adotadas nos PSL.

De acordo com os **Especialistas 1, 5, 3 e 7**, a maturidade e nível de adoção das práticas sustentáveis nos PSL brasileiros está em estágio inicial, visto que muitas empresas esbarram em desafios que estão atrelados à cultura e ao entendimento dos conceitos de Sustentabilidade e ESG. Para o **Especialista 3**, muitas empresas conhecem práticas sustentáveis que podem ser adotadas em suas atividades logísticas, mas têm dificuldade de adequar seus processos logísticos.

Diante disso, considerando os aspectos observados nessa seção, as entrevistas com especialistas revelaram que a Logística 4.0 têm grande potencial para transformar as atividades logísticas e relações na CS. Contudo, o processo de digitalização está atrelado à desafios internos, regionais e nacionais. Ante o exposto, os benefícios e desafios da adoção Logística 4.0 nos PSL, bem como as contribuições para o desenvolvimento sustentável dessas empresas, serão explanados na seção a seguir.

5.3 Contribuições da logística 4.0 para a sustentabilidade dos PSL

Considerando a era digital em que as empresas buscam constantemente soluções para alavancar sua vantagem competitiva, expandir sua participação no mercado, reduzir custos, aprimorar a qualidade dos serviços prestados e fortalecer sua imagem, marca e posicionamento, o uso de ferramentas da Indústria 4.0 tem se tornado cada vez mais comum. A adoção das ferramentas da Indústria 4.0 tem impactado significativamente os processos das empresas, pois essas ferramentas possibilitam a eficiência no fluxo de produtos, serviços e informações, desde a compra de matérias-primas até a entrega do produto final ao cliente, contribuindo para a construção de uma cadeia de suprimentos dinâmica, inteligente e sustentável (BAG et al., 2020).

Neste ambiente, a condução do estudo de casos múltiplos e as entrevistas com os especialistas demonstraram que a Logística 4.0 pode contribuir positivamente e significativamente na ampliação da sustentabilidade das empresas, provocando transformações nos processos empresariais e indicadores econômicos, no meio ambiente e na sociedade, assim como apontado por Nantee e Sureeyatanapas (2021).

Em um contexto de crescente terceirização das atividades logísticas, no qual os esforços de coordenação e gestão se intensificam, a Logística 4.0 se apresenta como uma aliada valiosa na otimização dos processos de transporte, gestão de inventários, controle de estoque e troca de informações entre os membros CS (STRANDHAGEN et al., 2017a). Em consonância com o estudo de Gupta e Singh (2021), verificou-se que, embora estas tecnologias proporcionem muitas oportunidades para a o fortalecimento da sustentabilidade na logística, sua implementação está associada a vários desafios.

Além do mais, constatou-se que a adoção das tecnologias de Logística 4.0 é capaz de criar valor sustentável não apenas ao negócio dos PSL, mas para toda sua cadeia de suprimentos, trazendo diversos benefícios econômicos, sociais e ambientais (Figura 20). Nos aspectos econômico e operacional, notou-se o aumento de produtividade, segurança e agilidade nos processos, maior assertividade e acuracidade do inventário, capacidade de modelação dos dados, confiabilidade dos dados e controle de divergências. Além disso, a implementação dessas tecnologias melhora o nível de serviço prestado e reduz o *lead time* dos processos, tempo de resposta, esforço humano, uso de papel, utilização de insumos e recursos e os custos da empresa. As inovações digitais desempenham um papel crucial na promoção da transparência e no compartilhamento de informações na cadeia de suprimentos, que é uma

das capacidades fundamentais para a construção de cadeias sustentáveis (DEV; SHANKAR; SWAMI, 2020).

Figura 20 - Principais benefícios sustentáveis da Logística 4.0



Fonte: Elaborado pela autora (2023).

As mudanças climáticas e a pandemia do COVID-19 estão levando a sociedade e as empresas a buscarem soluções para modificar seus modelos de consumo e produção e reduzir o descarte prematuro de produtos (PISHDAR et al., 2021). Nesse contexto, a pesquisa constatou que as tecnologias da Logística 4.0 possuem um alto potencial para solucionar problemas ambientais, ao reduzir o consumo de insumos como papel, água e energia elétrica, além de diminuir os custos operacionais e as emissões de gases poluentes. Adicionalmente, a implementação dessas tecnologias pode ampliar o ciclo de vida dos produtos e minimizar a produção de resíduos, resultando em benefícios ambientais significativos.

Sob a perspectiva social, a pesquisa indica que a adoção de ferramentas de Logística 4.0 pode trazer melhorias significativas em ergonomia, segurança e sustentabilidade nas operações de transporte e armazenamento. Além disso, promove o desenvolvimento de habilidades organizacionais e individuais, fortalecendo a resiliência, transparência e comunicação na cadeia de suprimentos. Esses benefícios estão em consonância com a análise de Cimini et al. (2021), que sugere que a adoção da Logística 4.0 aborda questões críticas da

relação entre as operações logísticas e o fator humano. Dessa forma, a redução das interações entre pessoas e máquinas em atividades de manuseio de materiais, separação, expedição, recebimento, embalagem e transporte pode resultar em um ambiente de trabalho mais seguro e com melhor qualidade de vida para os funcionários.

5.3.1 Logística 4.0 e sustentabilidade nas atividades de intralogística

A Logística 4.0 oferece tecnologias que permitem a implementação de soluções de armazenamento inteligentes e sustentáveis, que aumentam a gestão de informações e a precisão na tomada de decisões (TRAB et al., 2017). Essas soluções transformam a execução e gerenciamento de atividades como separação, armazenamento, conferência, expedição e devolução de produtos, resultando em processos mais ágeis, flexíveis, transparentes e precisos. Como observado nesta investigação, a Logística 4.0 têm grande potencial na otimização das atividades dos PSL, gerando benefícios internos e externos para essas organizações. O Tabela 8 relaciona a aplicação dos sistemas logísticos e tecnologias da Logística 4.0 nas cinco empresas investigadas com os benefícios sustentáveis observados pelos entrevistados.

A combinação de sensores, etiquetas RFID, WMS e IoT possibilita a identificação e conexão em tempo real de produtos e equipamentos, permitindo uma gestão de estoque mais eficiente e uma análise de inventário mais precisa (BUNTAK, KOVAČIĆ; MUTAVDŽIJA, 2019), como observado nas empresas dos **Casos 1 e 2**. De acordo com os entrevistados dessas empresas, a adoção dessas tecnologias combinadas resulta em uma redução significativa do *lead time* dos processos, ocorrência de erros, uso de papel, segurança e do deslocamento das operações. A implementação das tecnologias IoT e RFID no armazém também permite a geração de previsões de demanda e aumenta a rastreabilidade e integridade do produto, reduzindo o desperdício de insumos e recursos (LEE et al., 2018).

A utilização conjunta da IoT, etiquetas e sensores RFID permite ampliar a transparência e rastreabilidade em toda a cadeia de suprimentos. Com essa combinação, é possível acompanhar em tempo real os produtos em todas as atividades logísticas, evitando desperdícios e reduzindo custos logísticos e de insumos, como paletes. Com isso, os PSL podem manter estoques menores, mais organizados e eficientes (ALZHRANI; IRSHAD, 2022).

Tabela 8 - Aplicações e principais benefícios das tecnologias de Logística 4.0 nas atividades de intralogística⁷

		Sistemas logísticos e tecnologias da Logística 4.0									
		WMS	RFID e Sensores	GPS	IoT	Dispositivos móveis	BDA	CC	AMR/AGV	BI	Drones
Casos	Caso 1	SIM	SIM	N/A	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	N/A
	Caso 2	SIM	SIM	N/A	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM
	Caso 3	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM	SIM
	Caso 4	SIM	SIM	N/A	SIM	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM	N/A
	Caso 5	SIM	SIM	N/A	SIM	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM	N/A
Logística 4.0 nas atividades de intralogística	Rastreamento de matérias primas, produtos acabados e semiacabado	1/2/3/4/5	1	N/A	1	N/A	N/A	1	N/A	N/A	2/3
	Gerenciamento do inventário	1/2/3/4/5	1	N/A	1	N/A	N/A	1	N/A	N/A	2/3
	Gestão dos equipamentos e da frota	N/A	N/A	3	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	2/4	N/A
	Gestão de indicadores operacionais	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	1	N/A	1	N/A
	Previsão do estoque	N/A	N/A	N/A	N/A	1	1	1	N/A	1	N/A
	Controle dos níveis de estoque	1/2/3/4/5	1/2/3	NA	1/2/3	1/2/3	N/A	1/2/3	N/A	N/A	2/3
	Programação e gestão de tarefas	1/2/3/4/5	NA	NA	N/A	1	1	1	N/A	1	N/A
	Automatização de processos	1/2/5	1/2/5	N/A	1/2/5	N/A	N/A	1/2/5	2	N/A	N/A
	Análise dos dados logísticos	1/2	N/A	3	N/A	1	1/2	N/A	N/A	1/2	N/A
	Identificação dos produtos	N/A	1	N/A	1	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Benefícios para a Sustentabilidade	Monitoramento das atividades em tempo real	1/2/3/4/5	1/2/3/4/5	3	1/2/3/4/5	N/A	1/2/3/4/5	1/2/3/4/5	N/A	1/2/3/4/5	N/A
	Movimentação de materiais (separação, recebimento e carregamento)	1/2/3/4/5	1/2/3/4/5	N/A	1/2/3/4/5	1/2/3/4/5	N/A	1/2/3/4/5	2	N/A	N/A
Benefícios para a Sustentabilidade	Redução de custos	1/2	1/2	N/A	1/2	1/2	1/2	1/2	N/A	1/2	2/3
	Ampliação da segurança	1/2/3/4/5	1/2/3/4/5	3	1/2/3/4/5	1/2/3/4/5	1/2/3/4/5	1/2/3/4/5	2	1/2/3/4/5	2/3
	Redução do lead time dos processos	1/2/3/4/5	1/2/3/4/5	N/A	1/2/3/4/5	1/2	1/2	1/2/3/4/5	2	1/2/3/4/5	2/3
	Aumento da qualidade da tomada das decisões	1/2/4/5	1/2/4/5	N/A	1/2/4/5	1/2/4/5	1/2/4/5	1/2/4/5	N/A	1/2/4/5	N/A
	Redução do número de erros e aumento da precisão	1/2	1/2	N/A	1/2	N/A	N/A	1/2	2	N/A	2/3
	Prevenção de perdas, avarias e obsolescência dos estoques.	1	1	N/A	1	N/A	N/A	1	N/A	N/A	2/3
	Redução da área alugada do armazém do e volume dos estoques	1	1	N/A	1	N/A	N/A	1	N/A	N/A	N/A
	Aumento da eficiência operacional e produtividade	1/2	1/2	N/A	1/2	N/A	N/A	1/2	2	N/A	2/3
	Aumento da visibilidade e rastreabilidade	3/4	3/4	3	3/4	3/4	3/4	3/4	N/A	3/4	N/A
	Melhora do nível de serviço	1	1	N/A	1	1	1	1	N/A	1	N/A
	Redução da fadiga, esforço físico e/ou deslocamento dos funcionários	2	2	N/A	2	2	N/A	N/A	2	N/A	3
	Melhora no cumprimento das metas	1	1	N/A	1	1	1	1	2	1	N/A
	Melhora no fluxo de comunicação	1	1	N/A	1	N/A	N/A	1	N/A	N/A	N/A
	Redução do uso de papel	1/2	1/2	N/A	1/2	1/2	1/2	1/2	2	1/2	N/A
	Redução do consumo de energia	1/2	1/2	N/A	1/2	2	2	1/2	2	2	N/A

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

Além disso, a investigação demonstrou que a conectividade e comunicação entre os objetos do armazém, proporcionada por ferramentas como o IoT, sensores RFID integrados

⁷ Legenda: 1: Caso 1 | 2: Caso 2 | 3: Caso 3 | 4: Caso 4 | 5: Caso 5 | N/A: Tecnologia não aplicada na atividade de intralogística ou Benefício não mencionado pelos entrevistados

ao WMS, BDA e BI, resulta em um aumento da automação no armazém. Essa automação diminui e previne acidentes e erros no ambiente do armazém (TRAB et al., 2017).

O gerenciamento do armazém também pode ser melhorado com o uso de drones combinados com a IoT, etiquetas RFID ou códigos de barras e o WMS. Essas tecnologias têm sido implementadas em auditorias anuais de inventário, contagem cíclica e levantamento de estoques (FERNÁNDEZ-CARAMÉS et al., 2019). Segundo os entrevistados dos **Casos 2 e 3**, a utilização dos drones na intralogística permite a detecção de inconsistências no estoque, gerando maior agilidade, confiabilidade e segurança na gestão do inventário. Ainda, os entrevistados relatam que o processo de gestão de inventário torna-se mais seguro em comparação com os processos tradicionais que utilizam plataformas elevatórias para ter acesso aos produtos localizados nas prateleiras e paletes mais altos do armazém.

Uma das tecnologias da Logística 4.0 que tem sido amplamente empregada nos PSL é a CC, devido à ampliação da integração, visibilidade, escalabilidade e flexibilidade que esta tecnologia proporciona (LEE et al., 2018; TRAB et al., 2017), tal qual apresentado no **Caso 5**. Como os sistemas WMS, ERP e TMS estão hospedados na nuvem, a empresa consegue responder com agilidade, previsibilidade e resiliência as sazonalidades do mercado, sendo possível aumentar e diminuir a quantidade de recursos adotados rapidamente. Adicionalmente, o **Especialista 7** reforça que no período pandêmico, o uso de CC viabilizou a construção de um esquema híbrido em várias empresas, no qual foi possível executar e controlar algumas atividades logísticas à distância.

A integração de tecnologias como CC, IoT, BDA e BI possibilita o uso de dispositivos móveis, como tablets e smartphones, para a análise e controle das informações das operações logísticas. Com base nos casos analisados, essas tecnologias permitem que empresas gerenciem informações e indicadores importantes relacionados à produtividade, capacidade, qualidade e indicadores estratégicos. Por meio da coleta e análise de dados pelo BDA e da disponibilização desses dados pelo BI, as empresas podem tomar decisões estratégicas para garantir e expandir sua competitividade, participação no mercado e crescimento sustentável (JIN; KIM, 2018). Além disso, como ilustrado no **Caso 1**, o uso dessas tecnologias permite a criação de equipes autogerenciáveis, uma vez que as informações são disponibilizadas em várias áreas do armazém, criando uma cultura de foco em resultados, qualidade e segurança.

No que se refere às tecnologias de VR e AR, elas podem ser implementadas na integração ou reciclagem de funcionários, semelhantemente ao projeto em fase de

desenvolvimento na empresa do **Caso 1**. Essas tecnologias fornecem um ambiente de simulação seguro, sem que as operações de armazém sejam interrompidas, melhorando as habilidades e conscientização dos funcionários e ampliando a eficiência, produtividade, qualidade e nível de serviço das atividades de intralogística (LIU; ZHANG; WANG, 2018).

Por outro lado, a movimentação de materiais dentro do armazém pode ser automatizada com o uso de *Machine Learning*, AI e robôs autônomos, como o AMR e AGV, substituindo operações manuais, minimizando erros e aumentando a segurança e ergonomia das operações. Por exemplo, a empresa do **Caso 2** utiliza AGVs no deslocamento das mercadorias durante os processos de separação e armazenamento. Segundo o **Especialista 2**, essas tecnologias diminuem a rotatividade de funcionários operacionais que atuam nos processos do armazém, uma vez que elas substituem esses trabalhadores na execução de tarefas repetitivas, que exigem um alto nível de deslocamento e esforço físico.

Os entrevistados dos Casos 3 e Caso 5 ressaltam que as tecnologias utilizadas na empresa alavancaram seu posicionamento de mercado e melhoraram sua reputação, no que tange a adoção de práticas sustentáveis. O uso das tecnologias da Logística 4.0 nos PLS amplia o compartilhamento de informações na CS, o que pode resultar na valorização da imagem institucional, aumento da transparência das atividades da empresa e fortalecimento da confiança entre os *stakeholders* (Ghobakhloo et al., 2021).

5.3.2 Logística 4.0 e sustentabilidade nas atividades de transporte

As atividades de transporte e gestão de transporte têm um grande impacto na sustentabilidade de uma CS. As tecnologias da Logística 4.0 podem ser empregadas para otimizar a gestão das frotas, rastrear os produtos ao longo do trajeto e melhorar os veículos utilizados no transporte rodoviário de carga (TRC) e na distribuição urbana. De modo geral, o estudo revelou que a adoção dessas tecnologias pode melhorar a eficiência e a rentabilidade das empresas, ao mesmo tempo em que reduz os impactos negativos das atividades humanas nas mudanças climáticas (GAŚSIÓREK, 2022).

Conforme observado nesta pesquisa, essas tecnologias apoiam os processos de gestão do transporte, gestão da frota e gestão de riscos, sendo possível o compartilhamento dos dados com os *stakeholders* em tempo real (HEINBACH; KAMMLER; THOMAS, 2022). O Quadro 28 compara a aplicação dos sistemas logísticos e tecnologias da Logística 4.0 com os principais benefícios sustentáveis citados pelos entrevistados.

Tabela 9 - Aplicações e principais benefícios das tecnologias de Logística 4.0 nas atividades de transporte⁸

		Sistemas logísticos e tecnologias da Logística 4.0											
		TMS	GPS	RFID e Sensores	BDA	IoT	CC	Dispositivos móveis	Blockchain	Machine Learning	AI	BI	Sistemas de simulação
Casos	Caso 3	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	N/A	N/A	SIM	N/A
	Caso 4	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	N/A	N/A	SIM	N/A
	Caso 5	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	SIM	N/A	SIM	SIM	SIM
Logística 4.0 no transporte	Gestão das entregas	3/4/5	3/4/5	N/A	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3/4/5	N/A	N/A	N/A	3/4/5	N/A
	Gestão da frota (consumo, pneus, manutenções, etc.)	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3/4/5	N/A	N/A	N/A	3/4/5	N/A
	Medição do desempenho do condutor e do veículo	N/A	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3/4/5	N/A	N/A	N/A	3/4/5	N/A
	Monitoramento e rastreamento dos veículos	3/4/5	3/4/5	3/4/5	N/A	3/4/5	3/4/5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
	Planejamento e otimização das rotas	3/4/5	3/4/5	N/A	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3/4/5	N/A	5	5	3/4/5	5
	Comunicação com os clientes e parceiros logísticos	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3/4/5	3/4/5	3	N/A	N/A	3/4/5	N/A
	Apoio na seleção de veículos para realização das entregas	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5	5	N/A	5
Benefícios para a Sustentabilidade	Redução de custos	3/4/5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5	5	N/A	5
	Ampliação da visibilidade e rastreabilidade	3/4/5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3	N/A	N/A	N/A	N/A
	Ampliação da segurança	3/4/5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3	N/A	N/A	N/A	N/A
	Redução do lead time dos processos	3/4/5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	5	5	N/A	5
	Apoio a tomada de decisões	4/5	N/A	N/A	4/5	4/5	4/5	N/A	N/A	5	5	4/5	5
	Melhora do nível de serviços	4	N/A	N/A	4	4	4	4	N/A	N/A	N/A	4	N/A
	Aumento da eficiência operacional e produtividade	3/5	3/5	N/A	3/5	3/5	3/5	3/5	N/A	N/A	N/A	3/5	N/A
	Redução da quilometragem (deslocamento) dos veículos	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3/4/5	N/A	5	5	N/A	5
	Aumento da eficiência, visibilidade, transparência, integração e colaboração entre os membros da CS	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3	5	5	3/4/5	5
	Redução da poluição atmosférica	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3/4/5	N/A	5	5	3/4/5	5
Redução do consumo de combustível	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3/4/5	3/4/5	N/A	5	5	3/4/5	5	

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

A implementação de tecnologias como IoT, BDA, sensores e RFID possibilita o controle em tempo real de diversos dados referentes à frota e à carga transportada, garantindo a integridade dos produtos, conforme verificado nas empresas dos **Casos 3, 4 e 5** (RANIERI

⁸ Legenda: 1: Caso 1 | 2: Caso 2 | 3: Caso 3 | 4: Caso 4 | 5: Caso 5 | N/A: Tecnologia não aplicada na atividade de intralogística ou benefício não mencionado pelos entrevistados.

et al., 2018). As empresas dos **Casos 4 e 5**, por exemplo, empregam a integração de múltiplos sistemas para coleta e envio de dados de maneira digital, o que aumenta a acessibilidade e a capacidade de tomada de decisão por parte do gestor da frota.

A base dos *checklists* eletrônicos adotados nas empresas do **Caso 4** e **Caso 5** são as tecnologias CC, BDA, IoT e dispositivos móveis. Com esses checklists, é possível coletar digitalmente os dados da área de frota, segurança e qualidade, reduzindo o consumo de papel na operação e otimizando a produtividade e o trabalho da equipe responsável pela gestão de frota e dos motoristas.

A investigação demonstrou que a adoção de tecnologias como dispositivos móveis, IoT, CC, GPS, RFID e telemetria proporciona o rastreamento e a localização da frota e da carga, permitindo avaliar a necessidade de manutenção do veículo e acompanhar o desempenho dos motoristas em tempo real. Além disso, conforme previsto por Gąsiorek (2022), essas tecnologias geram uma conectividade, comunicação, segurança, assertividade e redução de custos para a atividade de transportes.

Na distribuição urbana, a interação direta do PSL com o cliente final pode ser crítica, sendo necessário manter os padrões acordados com o contratante. Nesse sentido, a Logística 4.0 pode ser uma importante aliada para melhorar o nível de serviço, comunicação e controle dos indicadores e parâmetros acordados. A empresa do **Caso 4**, por exemplo, utiliza um sistema de monitoramento de rotas baseado em tecnologias como CC, IoT e dispositivos móveis, no qual os clientes avaliam as entregas e o comportamento dos motoristas logo após a conclusão do serviço. Isso permite identificar gargalos no processo, necessidades de treinamento, obter insights dos clientes e fornecer feedback ao time de transporte, bem como detectar problemas no transporte que possam ter causado avarias nos produtos.

As tecnologias da Logística 4.0 apresentam diversas vantagens para as empresas, como o aumento da segurança das atividades de transporte, a redução de atrasos e entregas não realizadas, bem como a diminuição do consumo de combustível e a emissão de GEE (GĄSIÓREK, 2022; HEINBACH; KAMMLER; THOMAS, 2022). Para isso, a empresa do **Caso 4** utiliza a telemetria, a IoT e a CC para capturar dados em tempo real e gerar um BI que auxilia na tomada de decisão dos gestores.

A pesquisa realizada também mostrou que as plataformas inteligentes baseadas em IoT permitem decisões mais eficientes, já que consolidam dados de sensores, RFID, dispositivos móveis, GPS e dispositivos 4G/5G para gerar informações relevantes para os PSL, como destacado por Liu et al. (2019).

Com o uso de AI e BDA, é possível processar grandes volumes de dados do tráfego urbano e aplicá-los em um sistema inteligente de gerenciamento de transporte. Esse sistema é capaz de controlar veículos e entregas e gerar previsões sobre possíveis pontos de congestionamento, permitindo que os gestores ajam proativamente (GAŚIOREK, 2022; HEINBACH; KAMMLER; THOMAS, 2022). A empresa do **Caso 4**, por exemplo, utiliza essas tecnologias para melhorar as atividades de roteirização e entregas, o que resultou em melhor consumo de combustível, menor deslocamento dos veículos e redução da emissão de gases de efeito estufa.

Outra tendência observada nas organizações entrevistadas é a existência de uma torre de controle, que consiste em um departamento destinado acompanhar o resultado do negócio, e reúne as principais informações sobre cada operação de transporte da empresa, tais como os indicadores operacionais e a movimentação e roteirização dos veículos, utilizando tecnologias da Logística 4.0. A empresa do **Caso 5**, por exemplo, possui uma torre de controle que utiliza técnicas de previsão e reversão, relatórios e indicadores para obter maior eficiência, transparência e confiabilidade em seus processos.

A utilização das diversas tecnologias da Logística 4.0 resulta em um alto volume de dados que são gerados em tempo real e que possui um grande potencial para melhorar a eficiência operacional, nível de serviço e experiência do cliente (LIU et al., 2021). Conforme observado no estudo de casos múltiplos, o BDA amplia a capacidade analítica dos gestores da CS, melhorando a qualidade, tempo de resposta e assertividade na tomada de decisões nas operações logísticas. Além disso, a gestão dos bancos de dados melhora as relações entre os membros da CS e fomenta o desenvolvimento de soluções e serviços inovadores (GUPTA; SINGH, 2021).

5.3.3 Desafios para adoção da Logística 4.0

A adoção da Logística 4.0 é um processo desafiador que requer mudanças estruturais, estratégicas, operacionais e culturais. Considerando essa perspectiva, os PSL enfrentam várias barreiras que afetam a implementação bem-sucedida desses projetos tecnológicos. Segundo Gupta et al. (2022), as barreiras para a adoção das tecnologias da Logística 4.0 em países em desenvolvimento podem ser divididas em barreiras tecnológica, barreiras econômicas, barreiras organizacionais, barreiras regulamentares e institucionais, e barreiras sociais e culturais.

Embora a digitalização logística apresente benefícios promissores, este estudo constatou que o alto investimento necessário para a adoção da Logística 4.0 limita a utilização de algumas tecnologias pelos PSL brasileiros. Além dos custos de aquisição, os gestores das empresas precisam considerar outros custos associados à implementação e uso dessas ferramentas, como manutenção, licenciamento, treinamento de funcionários e até mesmo a contratação de novos funcionários (JAGTAP et al., 2020). Esses fatores podem dificultar a implantação dessas tecnologias em PSL de pequeno ou médio porte, como relatado pelo **Especialista 7**.

Outro ponto relevante, apontado pelo **Especialista 5**, é que muitas empresas não possuem recursos internos para lidar com as mudanças que as tecnologias provocam na organização. Ainda assim, acabam adotando tecnologias, devido às pressões externas e solicitações de suas matrizes ou clientes. Portanto, é importante ressaltar que a adoção dessas tecnologias sem uma avaliação prévia de diversos custos, tais como investimento inicial, treinamentos e contratações, pode gerar consequências negativas para os PSL, como frustrações, informações inutilizadas e gastos não programados. Por isso, Khan et al. (2022) afirmam que é fundamental que haja um alinhamento das iniciativas de Logística 4.0 com a estratégia organizacional.

Para superar as barreiras, os PSL devem estar preparados para realizar mudanças não apenas na tecnologia, mas também na cultura organizacional, buscando a capacitação dos colaboradores e o desenvolvimento de uma cultura de inovação. Somente assim poderão tirar proveito das vantagens competitivas que a Logística 4.0 pode oferecer.

O estudo realizado identificou que um dos principais desafios para os PSL é a infraestrutura necessária para a adoção das tecnologias investigadas. Essa infraestrutura inclui tanto fatores logísticos tradicionais, como armazéns e veículos, quanto a infraestrutura de TI, que abrange a capacidade de adquirir, armazenar e processar dados. Os autores Gupta et al. (2018) destacam que uma infraestrutura robusta de TI é fundamental para o desenvolvimento de uma cultura de trabalho digital e das capacidades analíticas. Um dos exemplos analisados no estudo de casos múltiplos foi o **Caso 4**, onde os entrevistados ressaltaram que a falta de pessoas especializadas e recursos tecnológicos na empresa dificultava o controle, monitoramento e treinamento dos funcionários nos processos.

Outro desafio destacado pelos especialistas é a integração dos sistemas adotados pelos PSL e seus clientes. Vários fatores podem dificultar essa integração, como a relutância das empresas em compartilhar seus dados por questões de segurança e confidencialidade, a comunicação e as responsabilidades entre as diferentes áreas das empresas, os custos elevados

de integração, a falta de pessoas qualificadas para lidar com as novas demandas geradas pela adoção das tecnologias, além da falta de normalização e padronização do processo de integração (GUPTA et al., 2022).

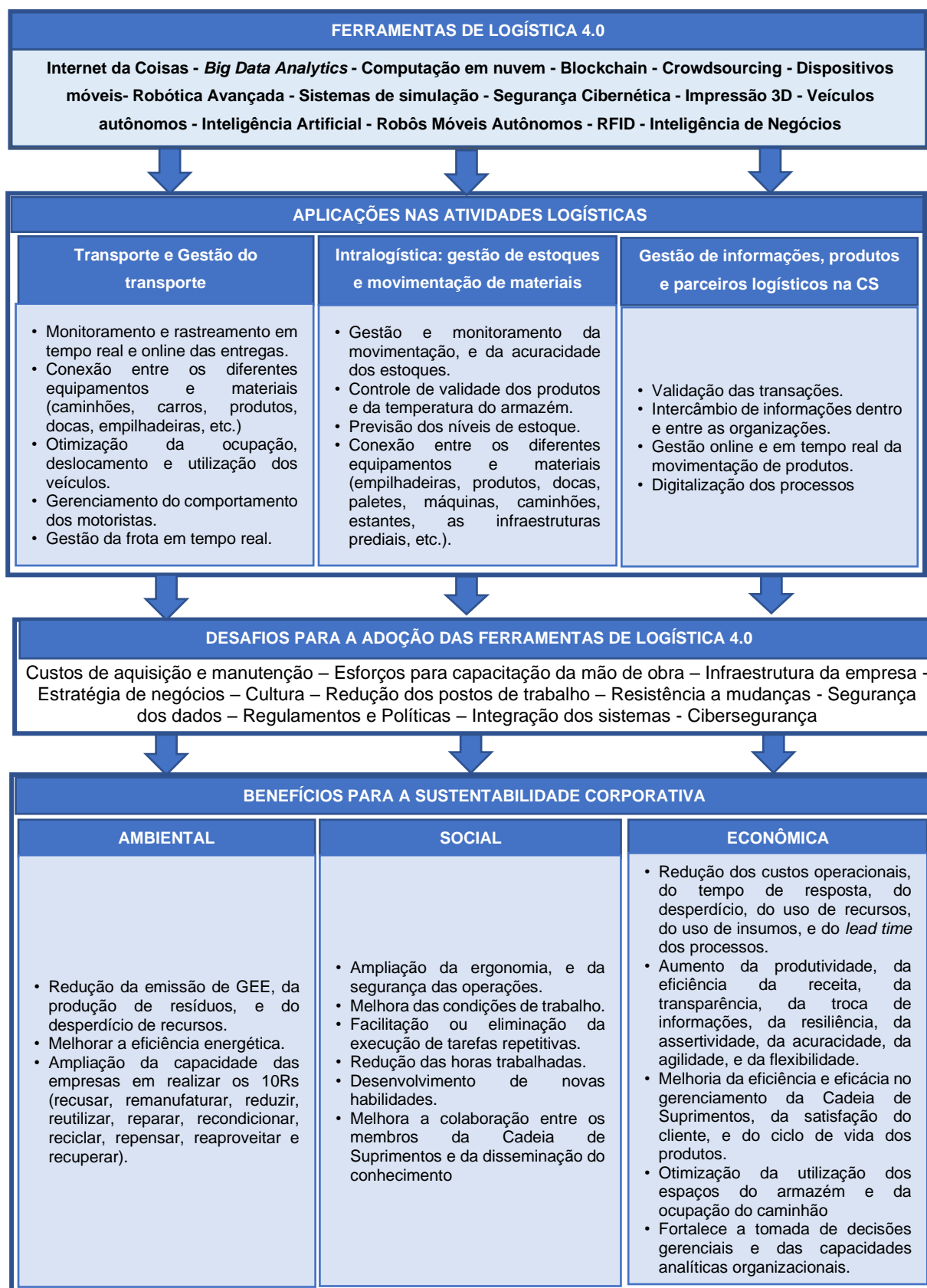
Além dos aspectos organizacionais, a infraestrutura local, regional e nacional, assim como os regulamentos e políticas nacionais (JAGTAP et al., 2020), influenciam diretamente o nível de adoção dessas tecnologias no Brasil. Um exemplo citado pelo **Especialista 1** é a inexistência de uma legislação em vigor que regule a utilização de veículos autônomos no país.

Em relação às barreiras sociais e culturais, o estudo revelou que o sucesso das iniciativas de Logística 4.0 depende da aceitação, adaptação e incorporação de uma cultura digital (GAŞIOREK, 2022). Isso pode ser um grande desafio, principalmente em empresas pequenas ou familiares, visto que o processo de transição requer que os líderes realizem grandes esforços para conscientizar e orientar os funcionários em direção à digitalização (CICHOSZ; WALLENBURG; KNEMEYER, 2020).

Por fim, a transformação digital proporcionada pelas tecnologias da Logística 4.0 traz à tona discussões sobre a redução dos postos de trabalho. Como relatado pelo entrevistado de "**Operações Caso 3**" e pelo **Especialista 6**, a força de trabalho operacional dos PSL brasileiros é composta por funcionários diretos ou terceirizados, que em geral têm pouca especialização em tecnologia. Diante desse contexto, Gaşiorek (2022) destaca que haverá uma transformação nas atividades logísticas, como, por exemplo, na função de motorista, que passará da operação de um veículo para a supervisão de dispositivos autônomos controlados por IA, o que demandará o desenvolvimento de habilidades e competências específicas.

Portanto, é fundamental que os PSL considerem esses desafios ao planejar a adoção das tecnologias da Logística 4.0, para garantir uma implementação bem-sucedida e maximizar os benefícios sustentáveis que essas tecnologias podem oferecer.

A partir das análises e discussões apresentadas, elaborou-se um framework que sintetiza os achados deste estudo (Figura 21), que serve de parâmetro e guia para as organizações que desejam identificar as possibilidades e iniciar a implementação de tecnologias 4.0 em suas operações logísticas, de modo que favoreça também a criação de benefícios e valor sustentável para a empresa e sua cadeia de suprimentos.

Figura 21 - *Framework*: Logística 4.0 para a sustentabilidade dos PSL

Fonte: Elaborado pela autora (2023).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa seção aborda os achados mais relevantes deste estudo, assim como suas implicações e contribuições para o progresso da literatura. Por fim, apresenta-se as limitações e direções de pesquisas futuras.

6.1 Principais achados

Este estudo demonstrou que a Logística 4.0 é uma abordagem interconectada, que utiliza tecnologias disruptivas para criar operações logísticas eficientes, flexíveis e ágeis, e é capaz de apoiar os PSL na construção de processos e modelos de negócios sustentáveis, através da automação de processos, do monitoramento em tempo real e da integração de sistemas.

Na área de transporte, as tecnologias da Logística 4.0 estão sendo amplamente utilizadas para o planejamento de rotas, monitoramento dos parâmetros dos veículos e acompanhamento das cargas durante todo o processo de transporte. Isso permite o controle da localização dos veículos, comportamento dos motoristas e condições das vias, resultando em uma redução significativa no consumo de combustível, erros e tempo de execução das entregas e aumento da segurança. Já na intralogística, as tecnologias da Logística 4.0 são aplicadas na gestão e monitoramento da movimentação de materiais e parâmetros de estoque em tempo real, além da automação de tarefas repetitivas, gerando maior eficiência, precisão na previsão da demanda e redução de erros.

Conforme observado neste estudo, as tecnologias que estão sendo mais empregadas nos PSL investigados são o BDA, CC, Dispositivos móveis, BI e IoT em combinação com sistemas logísticos e gerenciais como o WMS, TMS, sistemas de roteirização, RFID, ERP e GPS, que são otimizados e remodelados pelas tecnologias da Indústria 4.0.

Essas tecnologias têm potencial de viabilizar e apoiar a implantação de diversas práticas sustentáveis como a gestão de combustíveis, gestão do ciclo de vida dos pneus, controle da manutenção da frota, gestão de recursos como energia e água, programas de qualidade e produtividade e ações de gestão voltadas para a transparência, ergonomia, saúde e segurança dos funcionários. Diante disso, observou-se que a Logística 4.0 pode gerar benefícios para as dimensões social, ambiental e social dos PSL.

Considerando a perspectiva econômica, a utilização de tecnologias como IoT, CC, RFID, AI e dispositivos móveis é capaz de reduzir os custos operacionais, o tempo de resposta, o desperdício, o uso de recursos e insumos, e o *lead time* dos processos. Além disso, essas tecnologias podem aumentar a produtividade, eficiência e eficácia das operações logísticas, o que pode resultar em uma ampliação da receita das empresas. Outro ponto observado neste estudo é que a utilização de tecnologias da Logística 4.0 pode fortalecer os relacionamentos, a tomada de decisões, a satisfação do cliente e as capacidades analíticas das organizações, proporcionando maior transparência, troca de informações, resiliência, assertividade, acurácia, agilidade e flexibilidade.

Em relação à perspectiva ambiental, foi possível compreender que a aplicação das tecnologias da Logística 4.0 propicia a redução da emissão de GEE, da produção de resíduos, e do desperdício de recursos, melhorando a eficiência energética e a capacidade das empresas em realizar reciclar e reaproveitar os seus recursos. Sob a ótica da dimensão social, é possível melhorar a ergonomia, a segurança das operações, as condições de trabalho, uma vez que essas tecnologias permitem a minimização ou eliminação da execução de tarefas repetitivas e o desenvolvimento de habilidades individuais e organizações.

Contudo, o processo de implantação e utilização das tecnologias da Logística 4.0 pode apresentar desafios para os PSL e seus funcionários, como o alto custo de implementação da tecnologia, resistência à mudança por parte dos funcionários, integração de sistemas legados com as novas tecnologias, garantia de segurança dos dados, entre outros aspectos relevantes para o contexto das empresas de logística. Nesse sentido, é essencial ter uma estratégia clara e liderança comprometida, considerando os investimentos dispendiosos e os esforços necessários na adaptação de processos e treinamento dos funcionários.

6.2 Contribuições para a teoria e prática

A primeira contribuição teórica deste trabalho reside no mapeamento da literatura atual sobre como a Logística 4.0 pode impactar na sustentabilidade das empresas, evidenciando suas contribuições para as dimensões ambiental, social e econômica. A segunda contribuição desta pesquisa concentra-se no entendimento de como tópicos estratégicos para o desenvolvimento tecnológico e sustentável do Brasil vêm sendo adotados no segmento de logística, mais especificamente nas empresas PSL, recorte que tem sido pouco explorado na literatura até o momento.

Essa pesquisa preenche uma lacuna na literatura, uma vez que há poucos estudos que abordam especificamente a adoção da Logística 4.0 pelas PSL no Brasil. Essa contribuição amplia o conhecimento existente e destaca a importância de considerar as particularidades desse setor ao implementar tecnologias disruptivas. Além disso, os achados deste trabalho podem contribuir com a teoria ao ampliar compreensão sobre as aplicações, benefícios e desafios que os PSL que atuam no Brasil enfrentam ao optar pela implantação de uma tecnologia da Logística 4.0. Nesse ponto, também colabora com o avanço do campo de Administração, ao desenvolver uma investigação empírica, que empreende uma reflexão crítica sobre como a aplicação de inovações tecnológicas podem contribuir com os PSL no desenvolvimento de uma estratégia sustentável, considerando a complexidade e características dessas empresas.

Outra contribuição do estudo reside na exploração de como a Logística 4.0 está otimizando e remodelando sistemas logísticos e gerenciais existentes, WMS, TMS, ERP, GPS e sistemas de roteirização.

Quanto à prática, este estudo fornece informações valiosas para os gestores e líderes das empresas de logística que desejam implementar tecnologias da Logística 4.0 em suas operações. Os resultados da pesquisa podem ajudar esses profissionais a entender os benefícios e desafios da adoção dessas tecnologias e a planejar melhor a sua implementação.

Além do mapeamento das práticas sustentáveis já adotadas nos PSL, a pesquisa contribui ao explorar como outras práticas sustentáveis podem ser viabilizadas e apoiadas pela implementação da Logística 4.0.

Também é importante mencionar que a pesquisa ressalta a importância da existência de uma estratégia clara e uma liderança comprometida para a implantação bem-sucedida de tecnologias da Logística 4.0. Essa informação pode ser útil para os gestores que estão pensando em investir em tecnologia e precisam saber quais são os requisitos necessários para garantir o sucesso da implementação.

Por fim, este estudo oferece uma contribuição para a sociedade, ao explorar a aplicação de ferramentas que podem melhorar a eficiência energética e a satisfação do cliente; reduzir a emissão de GEE e custos logísticos; aumentar a eficiência operacional e a segurança das operações.

6.3 Limitações da pesquisa e direções de pesquisa futura

Como limitações da investigação empírica, destacamos que a pesquisa possui natureza exploratória, investigando apenas cinco PSL com atuação no Brasil. Entretanto, considerando que diversos respondentes possuem vasta experiência em empresas multinacionais, os resultados encontrados podem sofrer influência de práticas mundiais. Como apontado em pesquisas anteriores (Jagtap et al., 2020; Khan et al., 2022; Parhi et al., 2022), a implantação das tecnologias da Logística 4.0 é impactada pela cultura local e disponibilidade de recursos financeiros, evidenciando que o estudo não pode ser generalizado e extrapolado para PSL atuantes em outros países. Além disso, a investigação se concentrou apenas em algumas atividades logísticas, sendo necessária uma análise mais ampla e detalhada da aplicação das ferramentas de Logística 4.0 em outras áreas, como compras e transporte por diferentes modais.

Para expandir o conhecimento sobre as implicações das tecnologias da Logística 4.0 nos PSL, sugere-se que pesquisas futuras sejam conduzidas em toda a cadeia de suprimentos, analisando o impacto nas relações e atividades com clientes, fornecedores e segmentos de atuação. Além disso, é importante analisar o papel dos gestores e líderes na adoção e implementação dessas tecnologias, bem como as habilidades e conhecimentos necessários para liderar a transformação digital nos PSL. Por fim, recomendamos avaliar o impacto da adoção das tecnologias na formação de competências e habilidades dos profissionais que atuam na área logística, juntamente com as implicações para a educação e treinamento desses profissionais.

A fim de ampliar o conhecimento e compreensão sobre as transformações trazidas pela Logística 4.0 e abrir espaço para pesquisas futuras sobre a Logística 5.0, pesquisas futuras podem ser conduzidas a fim de explorar o grau de adoção dos pilares da Logística 5.0 (sustentabilidade, resiliência, e centralidade no ser humano) nas empresas de Logística.

Ao estudar a transição da Logística 4.0 para a Logística 5.0, é importante considerar o impacto nas relações e atividades ao longo de toda a cadeia de suprimentos. Isso inclui analisar o papel dos gestores e líderes na adoção e implementação dessas tecnologias, bem como os desafios e oportunidades enfrentados por eles. Sendo assim, pesquisas futuras podem abordar questões como quais competências técnicas, digitais e socioemocionais são necessárias para os profissionais de logística na transição para a Logística 5.0.

REFERÊNCIAS

ABOL, Associação Brasileira de Operadores Logísticos. **Perfil dos Operadores Logísticos no Brasil**. 2022. Disponível em: <<https://abolbrasil.org.br/pdf/perfil-dos-operadores-logisticos-2022.pdf>> Acesso em: 11 out. 2022.

AGUEZZOUL, Aicha. Third-party logistics selection problem: A literature review on criteria and methods. **Omega**, v. 49, p. 69-78, 2014.

AHMAD, Tahir; VAN LOOY, Amy. Business process management and digital innovations: A systematic literature review. **Sustainability**, v. 12, n. 17, p. 6827, 2020.

ALIEV, Khurshid et al. Prediction and estimation model of energy demand of the AMR with cobot for the designed path in automated logistics systems. **Procedia CIRP**, v. 99, p. 116-121, 2021.

ALZHRANI, Bander A.; IRSHAD, Azeem. An Improved IoT/RFID-Enabled Object Tracking and Authentication Scheme for Smart Logistics. **Wireless Personal Communications**, p. 1-24, 2022.

AMADOR, Filomena; OLIVEIRA, Carla Padrel. Integrating sustainability into the university: past, present, and future. In: **Sustainability assessment tools in higher education institutions**. Springer, Cham, p. 65-78. 2013.

AMR, Mohamed; EZZAT, Mohamed; KASSEM, Sally. Logistics 4.0: Definition and historical background. In: **2019 Novel Intelligent and Leading Emerging Sciences Conference (NILES)**. IEEE, p. 46-49, 2019.

ARAVINDARAJ, K.; CHINNA, P. Rajan. A systematic literature review of integration of industry 4.0 and warehouse management to achieve Sustainable Development Goals (SDGs). **Cleaner Logistics and Supply Chain**, p. 100072, 2022.

BAG, Surajit et al. Industry 4.0 and supply chain sustainability: framework and future research directions. **Benchmarking: An International Journal**, 2018.

BAG, Surajit et al. Industry 4.0 and the circular economy: resource melioration in logistics. **Resources Policy**, v. 68, p. 101776, 2020.

BAG, Surajit; GUPTA, Shivam; LUO, Zongwei. Examining the role of logistics 4.0 enabled dynamic capabilities on firm performance. **The International Journal of Logistics Management**, 2020.

BAG, Surajit; GUPTA, Shivam; KUMAR, Sameer. Industry 4.0 adoption and 10R advance manufacturing capabilities for sustainable development. **International journal of production economics**, v. 231, p.107844, 2021.

BAI, Chunguang et al. Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. **International journal of production economics**, v. 229, p. 107776, 2020.

BAI, Chunguang; SARKIS, Joseph. Determining and applying sustainable supplier key performance indicators. **Supply Chain Management: An International Journal**, 2014.

BALIGA, Ravindra; RAUT, Rakesh D.; KAMBLE, Sachin S. Sustainable supply chain management practices and performance: An integrated perspective from a developing economy. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, 2019.

BALLOU, Ronald H. The evolution and future of logistics and supply chain management. **European business review**, 2007.

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos-: Logística Empresarial**. Bookman Editora, 2009.

BALLOU, Ronald H. **Logística Empresarial**: transportes, administração de materiais e distribuição física. 1.ed São Paulo: Atlas, 2010.

BANDEIRA, Renata Albergaria de Mello; MAÇADA, Antonio Carlos Gastaud. Tecnologia da informação na gestão da cadeia de suprimentos: o caso da indústria gases. **Production**, v. 18, p. 287-301, 2008.

BANDEIRA, Renata Albergaria de Mello et al. A fuzzy multi-criteria model for evaluating sustainable urban freight transportation operations. **Journal of cleaner production**, v. 184, p. 727-739, 2018.

BANSAL, Pratima. Evolving sustainably: A longitudinal study of corporate sustainable development. **Strategic management journal**, v. 26, n. 3, p. 197-218, 2005.

BÁNYAI, Tamás. Real-time decision making in first mile and last mile logistics: How smart scheduling affects energy efficiency of hyperconnected supply chain solutions. **Energies**, v. 11, n. 7, p. 1833, 2018.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. 4. ed. Lisboa: Edições, v. 70, 2008.

BARRATT, Mark; CHOI, Thomas Y.; LI, Mei. Qualitative case studies in operations management: Trends, research outcomes, and future research implications. **Journal of operations management**, v. 29, n. 4, p. 329-342, 2011.

BARRETO, L.; AMARAL, A.; PEREIRA, T. Industry 4.0 implications in logistics: an overview. **Procedia Manufacturing**, v. 13, p. 1245–1252, 2017.

BARTON, Jonathan R.; GUTIÉRREZ-ANTINOPAI, Felipe. Towards a visual typology of sustainability and sustainable development. **Sustainability**, v. 12, n. 19, p. 7935, 2020.

BAUER, Martin W.; GASKELL, George. Biotechnology-the making of a global controversy. 2002.

BAUMGARTNER, Rupert J.; EBNER, Daniela. Corporate sustainability strategies: sustainability profiles and maturity levels. **Sustainable development**, v. 18, n. 2, p. 76-89, 2010.

BHARGAVA, Amitabh et al. Industrial IoT and AI implementation in vehicular logistics and supply chain management for vehicle mediated transportation systems. **International**

Journal of System Assurance Engineering and Management, v. 13, n. Suppl 1, p. 673-680, 2022.

BONILLA, Silvia H. et al. Industry 4.0 and sustainability implications: A scenario-based analysis of the impacts and challenges. **Sustainability**, v. 10, n. 10, p. 3740, 2018.

BOWERSOX, Donald J. et al. **Supply chain logistics management**. 15 ed. New York: McGraw-Hill, 2020.

BOYSEN, Nils; FEDTKE, Stefan; SCHWERDFEGGER, Stefan. Last-mile delivery concepts: a survey from an operational research perspective. **Or Spectrum**, v. 43, n. 1, p. 1-58, 2021.

BOYSON, Sandor. Corsi Th. M., Dresner ME, Harrington LH, **Logistics and The Extended Enterprise**. 1999.

BRASIL. **Estratégia brasileira para a transformação digital(E-Digital)**. Brasília, 2018,

BREQUE, Maija; DE NUL, Lars; PETRIDIS, Athanasios. Industry 5.0: towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. **Luxembourg, LU: European Commission, Directorate-General for Research and Innovation**, 2021.

BUNTAK, Krešimir; KOVAČIĆ, Matija; MUTAVDŽIJA, Maja. Internet of things and smart warehouses as the future of logistics. **Tehnički glasnik**, v. 13, n. 3, p. 248-253, 2019.

CARROLL, Archie B. **A three-dimensional conceptual model of corporate performance**. **Academy of management review**, v. 4, n. 4, p. 497-505, 1979.

CARTER, Craig R.; ROGERS, Dale S. A framework of sustainable supply chain management: moving toward new theory. **International journal of physical distribution & logistics management**, 2008.

CASTILLO, Romer et al. Green Warehousing Practices in the Philippines. **The Indonesian Green Technology Journal**, v. 11, n. 1, 2022.

CENTOBELLI, Piera et al. Designing business models in circular economy: A systematic literature review and research agenda. **Business Strategy and the Environment**, v. 29, n. 4, p. 1734-1749, 2020.

CHANG, Rui-Dong et al. Evolving theories of sustainability and firms: History, future directions and implications for renewable energy research. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 72, p. 48-56, 2017.

CHEN, Zhiming; LIU, Fanglong. Multi-outsourcing supply chain coordination under yield and demand uncertainties. **Expert Systems with Applications**, v. 181, p. 115177, 2021.

CHERRAFI, Anass et al. Digital technologies and circular economy practices: vital enablers to support sustainable and resilient supply chain management in the post-COVID-19 era. **The TQM Journal**, v. 34, n. 7, p. 179-202, 2022.

CHONG, Zhen Quan et al. Conception of logistics management system for smart factory. **IJET (UAE)**, v. 7, p. 126-131, 2018.

CICHOSZ, Marzenna; WALLENBURG, Carl Marcus; KNEMEYER, A. Michael. Digital transformation at logistics service providers: barriers, success factors and leading practices. **The International Journal of Logistics Management**, 2020.

CIMINI, Chiara et al. How human factors affect operators' task evolution in Logistics 4.0. **Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries**, v. 31, n. 1, p. 98-117, 2021.

CCMAD, Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento **Nosso futuro comum**. Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getulio Vargas, 1991.

CNI, CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Estudo: Transporte Rodoviário de Carga (TRC): características estruturais e a crise atual**. Brasília: 2016.

CORRÊA, Jobel Santos; SAMPAIO, Mauro; BARROS, Rodrigo de Castro. An exploratory study on emerging technologies applied to logistics 4.0. **Gestão & Produção**, v. 27, n. 3, 2020.

CORREIA, Diogo; TEIXEIRA, Leonor; MARQUES, João Lourenço. Last-mile-as-a-service (LMaaS): An innovative concept for the disruption of the supply chain. **Sustainable Cities and Society**, v. 75, p. 103310, 2021.

CSCMP, Council of Supply Chain Management Professionals. CSCMP Supply Chain Management Definitions and Glossary. Disponível em: <<http://bit.do/eHW6G>> Acesso em 12 de janeiro de 2021.

DA SILVA, Edna Lucia; MENEZES, Estera Muszkat. Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação. **UFSC, Florianópolis, 4a. edição**, v. 123, 2005.

DE ASSIS, Tassia Faria et al. Contribution of Best Practices to Promote Sustainable Urban Freight Transport. **Revista GEINTEC-Gestao Inovacao e Tecnologias**, v. 11, n. 4, p. 5928-5949, 2021.

DE OLIVEIRA, Cintia Machado; D AGOSTO, Marcio de Almeida. **Guia de referências em sustentabilidade: boas práticas para o transporte de cargas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Transporte Sustentável (IBTS), 112 p., 2017.

DE OLIVEIRA, Cintia Machado; D AGOSTO, Marcio de Almeida. **Logística Sustentável: Vencendo o Desafio Contemporâneo da Cadeia de Suprimento**. 2018.

DE SOUSA JABBOUR, Ana Beatriz Lopes; ARANTES, Ariana Fernandes; JABBOUR, Charbel José Chiappeta. Gestão ambiental em cadeias de suprimentos: perspectivas atuais e futuras de pesquisa. **Interciencia**, v. 38, n. 2, p. 104-111, 2013.

DE SOUSA JABBOUR, Ana Beatriz Lopes et al. When titans meet—Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 132, p. 18-25, 2018.

DE VASS, Tharaka; SHEE, Himanshu; MIAH, Shah J. Iot in supply chain management: a narrative on retail sector sustainability. **International Journal of Logistics Research and Applications**, p. 1-20, 2020.

DEMBIŃSKA, Izabela. Smart logistics in the evolution of the logistics. **European Journal of Service Management**, v. 27, p. 123-133, 2018.

DENYER, David; TRANFIELD, David. **Producing a systematic review**. 2009.

DENZIN, Norman K.; LINCOLN, Yvonna S. (Ed.). **The Sage handbook of qualitative research**. Sage, 2011.

DERQUI, Belén. Towards sustainable development: Evolution of corporate sustainability in multinational firms. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, v. 27, n. 6, p. 2712-2723, 2020.

DEV, Navin K.; SHANKAR, Ravi; QAISER, Fahham Hasan. Industry 4.0 and circular economy: Operational excellence for sustainable reverse supply chain performance. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 153, p. 104583, 2020.

DEV, Navin K.; SHANKAR, Ravi; SWAMI, Sanjeev. Diffusion of green products in industry 4.0: Reverse logistics issues during design of inventory and production planning system. *International Journal of Production Economics*, v. 223, p. 107519, 2020.

DEV, Navin K. et al. Supply chain resilience for managing the ripple effect in Industry 4.0 for green product diffusion. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, 2021.

DEY, Asoke; LAGUARDIA, Paul; SRINIVASAN, Mahesh. Building sustainability in logistics operations: a research agenda. **Management Research Review**, 2011.

DIAS, Reinaldo. Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade. In: **Gestão ambiental: responsabilidade social e sustentabilidade**. p. 220-220, 2011.

DINTÉN, Ricardo; GARCÍA, Sebastián; ZORRILLA, Marta. Fleet management systems in Logistics 4.0 era: a real time distributed and scalable architectural proposal. **Procedia Computer Science**, v. 217, p. 806-815, 2023.

DOBOS, Péter et al. Development of an Industry 4.0-Based Analytical Method for the Value Stream Centered Optimization of Demand-Driven Warehousing Systems. **Sustainability**, v. 13, n. 21, p. 11914, 2021.

DONNY, Achmad et al. RFID Usage for Optimization Tire Control System. **Advances in Transportation and Logistics Research**, v. 2, p. 374-382, 2019.

DÖRINGER, Stefanie. 'The problem-centred expert interview'. Combining qualitative interviewing approaches for investigating implicit expert knowledge. **International Journal of Social Research Methodology**, v. 24, n. 3, p. 265-278, 2021.

DRATH, Rainer; HORCH, Alexander. Industrie 4.0: Hit or hype? [industry forum]. **IEEE industrial electronics magazine**, v. 8, n. 2, p. 56-58, 2014.

DUBEY, Rames hwar et al. Sustainable supply chain management: framework and further research directions. **Journ al of cleaner production**, v. 142, p. 1119-1130, 2017.

DYLLICK, Tho mas/ HOCKERTS, Kai. Beyond the business case for corporate sustainability. **Business strategy and the environment**, v. 11, n. 2, p. 130-141, 2002.

EDMONDSON, A. M., MCMANUS, S. E. Methodological fit in management field research. **Academy of Management Review**, v. 32, n. 4, pp. 1155–1179. 2007.

EISENHARDT, Kathleen M. Building theories from case study research. **Academy of management review**, v. 14, n. 4, p. 532-550, 1989.

EJSMONT, Krzysztof; GLADYSZ, Bartłomiej; KLUCZEK, Aldona. Impact of Industry 4.0 on Sustainability—Bibliometric Literature Review. **Sustainability**, v. 12, n. 14, p. 5650, 2020.

EL BAZ, Jamal; LAGUIR, Issam. Third-party logistics providers (TPLs) and environmental sustainability practices in developing countries: the case of Morocco. **International Journal of Operations & Production Management**, 2017.

ELKINGTON, John. The triple bottom line. **Environmental management: Readings and cases**, v. 2, 1997.

ELKINGTON, John. Partnerships from cannibals with forks: The triple bottom line of 21st-century business. **Environmental quality management**, v. 8, n. 1, p. 37-51, 1998a.

ELKINGTON, John. Accounting for the triple bottom line. **Measuring Business Excellence**, 1998b.

ELKINGTON, John. 25 years ago I coined the phrase “triple bottom line.” Here’s why it’s time to rethink it. **Harvard business review**, v. 25, p. 2-5, 2018.

ELKINGTON, John. **Green swans: the coming boom in regenerative capitalism**. Greenleaf Book Group, 2020.

ERIKSSON, Päivi; KOVALAINEN, Anne. **Qualitative methods in business research: A practical guide to social research**. Sage, 2015.

ESMAEILIAN, Behzad et al. Blockchain for the future of sustainable supply chain management in Industry 4.0. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 163, p. 105064, 2020.

FABBE-COSTES, Nathalie/ ROUSSAT, Christine/ COLIN, Jacques. Future sustainable supply chains: what should companies scan? **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, 2011.

FACCHINI, Francesco et al. A maturity model for logistics 4.0: An empirical analysis and a roadmap for future research. **Sustainability**, v. 12, n. 1, p. 86, 2019.

- FARZANA, Faizah et al. A Real-Time Motion Based Fuel Monitoring Technique For Vehicle Tracking Systems. In: **2020 Emerging Technology in Computing, Communication and Electronics (ETCCE)**. IEEE, p. 1-6, 2020.
- FAUSTINO, Manuel; AMADOR, Filomena. O conceito de “sustentabilidade”: migração e mudanças de significados no âmbito educativo. **Indagatio Didactica**, v. 8, n. 1, p. 2021-2033, 2016.
- FERNANDES, J. et al. Intralogistics and industry 4.0: designing a novel shuttle with picking system. **Procedia Manufacturing**, v. 38, p. 1801-1832, 2019.
- FERNÁNDEZ-CARAMÉS, Tiago M. et al. Towards an autonomous industry 4.0 warehouse: A UAV and blockchain-based system for inventory and traceability applications in big data-driven supply chain management. **Sensors**, v. 19, n. 10, p. 2394, 2019.
- FLICK, Uwe. **Qualidade na pesquisa qualitativa: coleção pesquisa qualitativa**. Bookman editora, 2009.
- FOTTNER, Johannes et al. Autonomous systems in intralogistics—state of the art and future research challenges. **Journal Logistics Research**, 2021.
- GAŞIOREK, Kamila. Key competences for Transport 4.0—Educators’ and Practitioners’ opinions. **Open Engineering**, v. 12, n. 1, p. 51-61, 2022.
- GHADGE, Abhijeet et al. The impact of Industry 4.0 implementation on supply chains. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2020.
- GHIASSI, Manoochehr; SPERA, COSIMO. Defining the Internet-based supply chain system for mass customized markets. **Computers & Industrial Engineering**, v. 45, n. 1, p. 17-41, 2003.
- GHOBAKHLOO, Morteza et al. Industry 4.0 ten years on: A bibliometric and systematic review of concepts, sustainability value drivers, and success determinants. **Journal of Cleaner Production**, p. 127052, 2021.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. Editora Atlas SA, 2008.

GÖÇMEN, Elifcan; RIZVAN, E. R. O. L. The transition to industry 4.0 in one of the Turkish logistics company. **International Journal of 3D Printing Technologies and Digital Industry**, v. 2, n. 1, p. 76-85, 2018.

GRUŽAUSKAS, Valentas; BASKUTIS, Saulius; NAVICKAS, Valentinas. Minimizing the trade-off between sustainability and cost-effective performance by using autonomous vehicles. **Journal of Cleaner Production**, v. 184, p. 709-717, 2018.

GUPTA, Anchal; SINGH, Rajesh Kumar. Applications of emerging technologies in logistics sector for achieving circular economy goals during COVID 19 pandemic: analysis of critical success factors. **International Journal of Logistics Research and Applications**, p. 1-22, 2021.

GUPTA, Anchal et al. Evaluation of logistics providers for sustainable service quality: Analytics based decision making framework. **Annals of Operations Research**, v. 315, n. 2, p. 1617-1664, 2022.

HARRISON, Norma; AMJED, Tayyab. A Research framework for sustainable supply chain management. In: **Annual Conference of the Production and Operations Management Society (26th: 2015)**. 2015.

HE, Zhenggang et al. Performance measurement system and strategies for developing low-carbon logistics: A case study in China. **Journal of Cleaner Production**, v. 156, p. 395-405, 2017.

HEINBACH, Christoph; KAMMLER, Friedemann; THOMAS, Oliver. **Exploring Design Requi'rements of Fleet Telematics Systems Supporting Road Freight Transportation: A Digital Service Side Perspective**. 2022.

HEINBACH, Christoph; MEIER, Pascal; THOMAS, Oliver. Designing a shared freight service intelligence platform for transport stakeholders using mobile telematics. **Information Systems and e-Business Management**, v. 20, n. 4, p. 847-888, 2022.

HEIZMANN, L. M.; CAMPOS, L. M. S.; LERÍPIO, A. A. A Auditoria Ambiental e sua Contribuição à Gestão Ambiental. **Revista de Ciências Empresariais da UNIPAR**, v. 3, n. 2, p. 143-149, 2002.

HERMANN, Mario; PENTTEK, Tobias; OTTO, Boris. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: **2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)**. IEEE, p. 3928-3937, 2016.

HILPERT, Hendrik; KRANZ, Johann; SCHUMANN, Matthias. Leveraging Green IS in logistics. **Business & Information Systems Engineering**, v. 5, n. 5, p. 315-325, 2013.

HOFMAN N, Erik/ RÜSCH, Marco. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. **Computers in industry**, v. 89, p. 23-34, 2017.

IPIECA, The global oil and gas industry association for environmental and social issues/ API, The American Petroleum Institute/ IOGP, International Association of Oil & Gas Producers. **Oil and gas industry guidance on voluntary sustainability reporting**. 2015.

IVANOV, Dmitry. Viable supply chain model: integrating agility, resilience and sustainability perspectives—lessons from and thinking beyond the COVID-19 pandemic. **Annals of operations research**, p. 1-21, 2020.

JADHAV, Akshay; RAHMAN, Shams; AHSAN, Kamrul. Sustainability practices disclosure of top logistics firms in Australia. **The International Journal of Logistics Management**, v. 33, n. 5, p. 244-277, 2022.

JAFARI, Niloofar; AZARIAN, Mohammad; YU, Hao. Moving from Industry 4.0 to Industry 5.0: What Are the Implications for Smart Logistics?. **Logistics**, v. 6, n. 2, p. 26, 2022.

JAGTAP, Sandeep et al. Food logistics 4.0: Opportunities and challenges. **Logistics**, v. 5, n. 1, p. 2, 2020.

JIN, Dong-Hui; KIM, Hyun-Jung. Integrated understanding of big data, big data analysis, and business intelligence: A case study of logistics. **Sustainability**, v. 10, n. 10, p. 3778, 2018.

JUNGE, Anna Lisa. Digital transformation technologies as an enabler for sustainable logistics and supply chain processes—an exploratory framework. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 16, n. 3, p. 462-472, 2019.

KAGERMANN, Henning; WAHLSTER, Wolfgang; HELBIG, Johannes. Securing the future of German manufacturing industry: Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. **Final report of the Industrie**, v. 4, n. 0, 2013.

KAMBLE, Sachin S.; GUNASEKARAN, Angappa; GAWANKAR, Shradha A. Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 117, p. 408-425, 2018.

KARIA, Noorliza. Knowledge resources, technology resources and competitive advantage of logistics service providers. **Knowledge Management Research & Practice**, v. 16, n. 4, p. 451-463, 2018.

KAYIKCI, Yasanur. Sustainability impact of digitization in logistics. **Procedia manufacturing**, v. 21, p. 782-789, 2018.

KAZANCOGLU, Yigit et al. Performance evaluation of reverse logistics in food supply chains in a circular economy using system dynamics. **Business Strategy and the Environment**, v. 30, n. 1, p. 71-91, 2021.

KHAN, Syed Abdul Rehman et al. Green supply chain management, economic growth and environment: A GMM based evidence. **Journal of Cleaner Production**, v. 185, p. 588-599, 2018.

KHAN, Syed Abdul Rehman et al. A green ideology in Asian emerging economies: From environmental policy and sustainable development. **Sustainable Development**, v. 27, n. 6, p. 1063-1075, 2019a.

KHAN, Syed Abdul Rehman et al. Environmental, social and economic growth indicators spur logistics performance: from the perspective of South Asian Association for Regional Cooperation countries. **Journal of Cleaner Production**, v. 214, p. 1011-1023, 2019b.

KHAN, Shahbaz et al. Exploration of critical success factors of logistics 4.0: a DEMATEL approach. **Logistics**, v. 6, n. 1, p. 13, 2022.

KLEINDORFER, P.R.; SINGHAL, K.; WASSENHOVE, L. N. V. Sustainable Operations Management. **Production and Operations Management**, v.14, n.4, p. 482-492, 2005.

KODYM, Oldřich; KUBÁČ, Lukáš; KAVKA, Libor. Risks associated with Logistics 4.0 and their minimization using Blockchain. **Open Engineering**, v. 10, n. 1, p. 74-85, 2020.

KUCUKALTAN, Berk et al. Gaining strategic insights into Logistics 4.0: expectations and impacts. **Production Planning & Control**, p. 1-17, 2020.

KUCUKALTAN, Berk et al. Gaining strategic insights into Logistics 4.0: expectations and impacts. **Production Planning & Control**, v. 33, n. 2-3, p. 211-227, 2022.

LAMBERT, D. M.; COOPER, M.C.; PAGH, J.D. Supply Chain Management: Implementation issues and research opportunities. **The International Journal of Logistics Management**, v. 9, n. 2, 1998.

LANGLEY, J. 23th annual third-party logistics study. **The State of Logistics Outsourcing**. 2020.

LASI, Heiner et al. Industry 4.0. **Business & information systems engineering**, v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014.

LEE, Ki-Hoon; WU, Yong. Integrating sustainability performance measurement into logistics and supply networks: A multi-methodological approach. **The British Accounting Review**, v. 46, n. 4, p. 361-378, 2014.

LEE, Carman Ka Man et al. Design and application of Internet of things-based warehouse management system for smart logistics. **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2753-2768, 2018.

LEE, Seokgi; KANG, Yuncheol; PRABHU, Vittaldas V. Smart logistics: distributed control of green crowdsourced parcel services. **International Journal of Production Research**, v. 54, n. 23, p. 6956-6968, 2016.

LEE, Carmen Ka Man; LAM, Jasmine Siu Lee. Managing reverse logistics to enhance sustainability of industrial marketing. **Industrial Marketing Management**, v. 41, n. 4, p. 589-598, 2012.

LEITE, P. R. **Logística Reversa: Meio Ambiente e Competitividade**. São Paulo: Prentice Hall, 2003.

LIMA, Luciana; GONÇALVES, Alcindo. Normas Socioambientais privadas: Instrumentos para a Governança Global da sustentabilidade. **Caderno de Relações Internacionais**, v. 8, n. 14, 2017.

LINDNER, M. et al. The Cloud Supply Chain: a framework for information, monitoring, accounting and billing. **2nd International ICST Conference on Cloud Computing**, 2010.

LIU, Sichao; ZHANG, Geng; WANG, Lihui. IoT-enabled dynamic optimisation for sustainable reverse logistics. **Procedia CIRP**, v. 69, p. 662-667, 2018.

LIU, Weihua et al. Influencing factors on organizational efficiency of smart logistics ecological chain: a multi-case study in China. **Industrial Management & Data Systems**, 2021.

LOM, Michal; PRIBYL, Ondrej; SVITEK, Miroslav. Industry 4.0 as a part of smart cities. In: **2016 Smart Cities Symposium Prague (SCSP)**. IEEE, p. 1-6, 2016.

LOPES, Natalia Roberta. **Os fatores críticos para a sustentabilidade do Lean Manufacturing**: revisão sistemática da literatura, estudo de caso e opinião de especialistas. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, p. 107, 2019.

MACHADO, Solange Mata; PAIVA, Ely Laureano; DA SILVA, Eliciane Maria. Counterfeiting: addressing mitigation and resilience in supply chains. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, 2018.

MACHLINE, Claude. Cinco décadas de logística empresarial e administração da cadeia de suprimentos no Brasil. *Revista de administração de empresas*, v. 51, n. 3, p. 227-231, 2011.

MAHROOF, Kamran; OMAR, Amizan; KUCUKALTAN, Berk. Sustainable food supply chains: overcoming key challenges through digital technologies. **International Journal of Productivity and Performance Management**, 2021.

MALINOWSKA, Magdalena; RZECZYCKI, Andrzej; SOWA, Mariusz. Roadmap to sustainable warehouse. In: SHS Web of Conferences. **EDP Sciences**, 2018. p. 01028, 2018.

MANGIARACINA, Riccardo et al. A review of the environmental implications of B2C e-commerce: a logistics perspective. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, 2015.

MARTINS, Vitor WB et al. Sustainable practices in logistics systems: An overview of companies in Brazil. **Sustainability**, v. 11, n. 15, p. 4140, 2019.

MEADOWS, Donella H.; RANDERS, Jorgen; MEADOWS, Dennis L. The limits to growth. **The future of nature**. Yale University Press, p. 101-116, 2013.

MEJÍAS, Ana M.; PAZ, Enrique; PARDO, Juan E. Efficiency and sustainability through the best practices in the logistics social responsibility framework. **International Journal of Operations & Production Management**, 2016.

MENTZER, John T. et al. Defining supply chain management. **Journal of Business logistics**, v. 22, n. 2, p. 1-25, 2001.

MENTZER, John T.; MIN, Soonhong; BOBBITT, L. Michelle. Toward a unified theory of logistics. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, 2004.

METZ, Peter J. Demystifying supply chain management. **Logistic information Management**. v. 10, n., p.62- 67, 1998.

MUBARIK, Mobashar et al. Fostering supply chain integration through blockchain technology: A study of Malaysian manufacturing sector. **International journal of management and sustainability**, v. 9, n. 3, p. 135-147, 2020.

MUNSAMY, Megashnee/ TELUKDARIE, Arnesh/ DHAMIJA, Pavitra. Logistics 4.0 energy modelling. **International Journal of Business Analytics (IJBAN)**, v. 7, n. 1, p. 98-121, 2020.

NAGY, Judit et al. The role and impact of Industry 4.0 and the internet of things on the business strategy of the value chain—the case of Hungary. **Sustainability**, v. 10, n. 10, p. 3491, 2018.

NANTEE, Natnaree; SUREEYATANAPAS, Panitas. The impact of Logistics 4.0 on corporate sustainability: a performance assessment of automated warehouse operations. **Benchmarking: An International Journal**, 2021.

NASCIMENTO, Daniel Luiz Mattos et al. Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2019.

NGUYEN, Nguyen Thi Duc et al. Experiences in Supply Chain Quality Management Practices in Vietnam: Studying on Steel Manufacturing Company A and Packaging Manufacturing Company B. **International Journal of Business and Management**, v. 14, n. 7, 2019.

NOBREGA, Julio Henrique Costa et al. Logistics 4.0 in Brazil: Critical Analysis and Relationships with SDG 9 Targets. **Sustainability**, v. 13, n. 23, p. 13012, 2021.

NOVACK, Robert A./ RINEHART, Lloyd M./ WELLS, Michael V. Rethinking concept foundations in logistics management. **Journal of Business Logistics**, v. 13, n. 2, p. 233, 1992.

NYBERG, Daniel. Corporations, politics, and democracy: Corporate political activities as political corruption. **Organization Theory**, v. 2, n. 1, p. 2631787720982618, 2021.

OECD, Organisation for Economic Cooperation and Development. A Caminho da Era Digital no Brasil, OECD Publishing, Paris, 2020.

OLSZAK, Celina M.; ZURADA, Jozef; CETINDAMAR, Dilek. Business Intelligence & Big Data for Innovative and Sustainable Development of Organizations. **Information Systems Management**, v. 38, n. 4, p. 268-269, 2021.

ONU, ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando nosso mundo: a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**, 2016. Disponível em <<http://www.agenda2030.com.br/>>. Acesso em 24 de março de 2020.

OPPITZ, M.; TOMSU, P. **Inventing the Cloud Century**. Business Information Systems. 1 ed. New York: Springer International Publishing, 2018.

PARHI, Shreyanshu et al. Reflecting on an empirical study of the digitalization initiatives for sustainability on logistics: The concept of Sustainable Logistics 4.0. **Cleaner Logistics and Supply Chain**, p. 100058, 2022.

PEDOL, Miriam; BIFFI, Elena; MELZI, Simone. Sustainability game. **Corporate social responsibility and environmental management**, v. 28, n. 5, p. 1540-1548, 2021.

PISHDAR, Mahsa et al. Interval Type-2 Fuzzy Super SBM Network DEA for Assessing Sustainability Performance of Third-Party Logistics Service Providers Considering Circular Economy Strategies in the Era of Industry 4.0. **Sustainability**, v. 13, n. 11, p. 6497, 2021.

PNUMA, PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. **COP15 encerra com acordo histórico sobre biodiversidade**. 2022. Disponível em: <<https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/cop15-encerra-com-acordo-historico-sobre-biodiversidade>> Acesso em: 14 jan. 2023.

PNUMA, PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE. **Marcos ambientais: Linha do tempo dos 75 anos da ONU**. 2020. Disponível em: <<https://www.unep.org/pt-br/news-and-stories/story/environmental-moments-un75-timeline>> Acesso em: 14 jan. 2023.

PRAUSE, Gunnar. Sustainable business models and structures for Industry 4.0. **Journal of Security & Sustainability Issues**, v. 5, n. 2, 2015.

QIU, Tie et al. Edge computing in industrial internet of things: Architecture, advances and challenges. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, v. 22, n. 4, p. 2462-2488, 2020.

RAJ, Praveen Vijaya Raj Pushpa et al. Procurement, traceability and advance cash credit payment transactions in supply chain using blockchain smart contracts. **Computers & Industrial Engineering**, v. 167, p. 108038, 2022.

RANIERI, Luigi et al. A review of last mile logistics innovations in externalities cost reduction vision. **Sustainability**, v. 10, n. 3, p. 782, 2018.

RIDOLFI, Matteo et al. Testbed for warehouse automation experiments using mobile AGVs and drones. **IEEE INFOCOM 2019-IEEE Conference on Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS)**. IEEE, p. 919-920, 2019.

SAMIR, Tetouani et al. Big data research on the green internet of things in new smart-logistics. **International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering**, v. 8, n. 9, p. 534-537, 2019.

SÁNCHEZ-FLORES, Rebeca B. et al. Sustainable Supply Chain Management—A Literature Review on Emerging Economies. **Sustainability**, v. 12, n. 17, p. 6972, 2020.

SAPUKOTANAGE, S./ WARNAKULASURIYA, B. N. F/ YAPA, S.T.W.S. Outcomes of sustainable practices: A triple bottom line approach to evaluating sustainable performance of manufacturing firms in a developing nation in South Asia. **International Business Research**, v. 11, n. 12, p. 89-104, 2018.

SARKAR, Biswajit; ULLAH, Mehran; KIM, Namhun. Environmental and economic assessment of closed-loop supply chain with remanufacturing and returnable transport items. **Computers & Industrial Engineering**, v. 111, p. 148-163, 2017.

SAXTON, Gregory D.; OH, Onook; KISHORE, Rajiv. Rules of crowdsourcing: Models, issues, and systems of control. **Information Systems Management**, v. 30, n. 1, p. 2-20, 2013.

SCHRIJVER, Alexander. On the history of the transportation and maximum flow problems. **Mathematical programming**, v. 91, n. 3, p. 437-445, 2002.

SELES, Bruno Michel Roman Pais et al. Do environmental practices improve business performance even in an economic crisis? Extending the win-win perspective. **Ecological economics**, v. 163, p. 189-204, 2019.

SENADHEERA, Sachini Supunsala et al. The development of research on environmental, social, and governance (ESG): A bibliometric analysis. **Sustainable Environment**, v. 8, n. 1, p. 2125869, 2022.

SEURING, Stefan; MÜLLER, Martin. From a literature review to a conceptual framework for sustainable supply chain management. **Journal of cleaner production**, v. 16, n. 15, p. 1699-1710, 2008.

SEURING, Stefan; GOLD, Stefan. Sustainability management beyond corporate boundaries: from stakeholders to performance. **Journal of Cleaner Production**, v. 56, p. 1-6, 2013.

SHARMA, Manu et al. Green logistics driven circular practices adoption in industry 4.0 Era: A moderating effect of institution pressure and supply chain flexibility. **Journal of Cleaner Production**, v. 383, p. 135284, 2023.

SIAU, Keng; SHEN, Zixing. Mobile communications and mobile services. **International Journal of Mobile Communications**, v. 1, n. 1-2, p. 3-14, 2003.

SIDIROPOULOS, Vasileios; BECHTSIS, Dimitrios; VLACHOS, Dimitrios. An augmented reality symbiosis software tool for sustainable logistics activities. **Sustainability**, v. 13, n. 19, p. 10929, 2021.

SILVA, F. Corporate sustainability and ESG: an imperative distinction. **MOJ Eco Environ Sci**, v. 7, n. 5, p. 178-181, 2022.

SINGH, Manvendra Pratap; CHAKRABORTY, Arpita; ROY, Mousumi. Entrepreneurial commitment, organizational sustainability and business performance of manufacturing MSMEs: Evidence from India. **Int. J. Appl. Bus. Econ. Res**, v. 14, n. 6, p. 4615-4631, 2016.

SPERANZA, M. Grazia. Trends in transportation and logistics. **European Journal of Operational Research**, v. 264, n. 3, p. 830-836, 2018.

STOCK, Tim; SELIGER, Günther. Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. **procedia CIRP**, v. 40, p. 536-541, 2016.

STRANDHAGEN, Jan Ola et al. Logistics 4.0 and emerging sustainable business models. **Advances in Manufacturing**, v. 5, n. 4, p. 359-369, 2017a.

STRANDHAGEN, Jo Wessel et al. The fit of Industry 4.0 applications in manufacturing logistics: a multiple case study. **Advances in Manufacturing**, v. 5, n. 4, p. 344-358, 2017b.

SU, Yi; FAN, Qi-ming. The green vehicle routing problem from a smart logistics perspective. **IEEE access**, v. 8, p. 839-846, 2019.

SUTAWIJAYA, Ahmad Hidayat; NAWANGSARI, Lenny C. What is the impact of industry 4.0 to green supply chain. **Journal of Environmental Treatment Techniques**, v. 8, n. 1, p. 207-213, 2020.

SVARTZMAN, Romain et al. A “Silent Spring” for the Financial System? Exploring Biodiversity-Related Financial Risks in France. 2021.

TANG, Christopher S.; VEELNTURF, Lucas P. The strategic role of logistics in the industry 4.0 era. Transportation Research Part E: **Logistics and Transportation Review**, v. 129, p. 1-11, 2019.

TECNOLOGÍSTICA. Busca de Operadores Logísticos. Disponível em: <<https://www.tecnologica.com.br/portal/operadores-logisticos/>> Acesso em: 16 jun. 2021.

TELLES, Renato. A efetividade da matriz de amarração de Mazzon nas pesquisas em Administração. **Revista de Administração da Universidade de São Paulo**, v. 36, n. 4, 2001.

THOMAS, Douglas. Costs, benefits, and adoption of additive manufacturing: a supply chain perspective. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 85, n. 5, p. 1857-1876, 2016.

TIMM, Ingo J.; LORIG, Fabian. Logistics 4.0-A challenge for simulation. In: 2015 **Winter Simulation Conference (WSC)**. IEEE, p. 3118-3119, 2015.

TORABIZADEH, Mohammadsan et al. Identifying sustainable warehouse management system indicators and proposing new weighting method. **Journal of Cleaner Production**, v. 248, p. 119190, 2020.

TRAB, Sourour et al. A communicating object's approach for smart logistics and safety issues in warehouses. **Concurrent Engineering**, v. 25, n. 1, p. 53-67, 2017.

TRAN, Dat Tien et al. Speculating environmental sustainability strategy for logistics service providers based on DHL experiences. **Journal of Management Information and Decision Sciences**, v. 22, n. 4, p. 415-443, 2019.

TRANFIELD, David; DENYER, David; SMART, Palminder. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **British Journal of Management**, v. 14, n. 3, p. 207-222, 2003.

TRSTENJAK, Maja et al. Logistics 5.0 Implementation Model Based on Decision Support Systems. **Sustainability**, v. 14, n. 11, p. 6514, 2022.

TSALIS, Thomas A. et al. New challenges for corporate sustainability reporting: United Nations' 2030 Agenda for sustainable development and the sustainable development goals. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, v. 27, n. 4, p. 1617-1629, 2020.

TUNDYS, Blanka; FERNANDO, Yudi. Sustainable supply chain management—Key Performance Indicators (KPI) as an element for measuring of processes. **Transport Economics and Logistics**, v. 83, p. 31-50, 2020.

UFCCC, UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE. **Decisions taken at the Sharm El-Sheikh Climate Change Conference**. 2022. Disponível em: <<https://unfccc.int/cop27/auv>> Acesso em: 14 jan. 2023.

VAN BOMMEL, Harrie WM. A conceptual framework for analyzing sustainability strategies in industrial supply networks from an innovation perspective. **Journal of Cleaner Production**, v. 19, n. 8, p. 895-904, 2011.

VAN MARREWIJK, Marcel. Concepts and definitions of CSR and corporate sustainability: Between agency and communion. **Journal of Business Ethics**, v. 44, n. 2, p. 95-105, 2003.

VARRIALE, Vincenzo et al. Sustainable supply chains with blockchain, IoT and RFID: A simulation on order management. **Sustainability**, v. 13, n. 11, p. 6372, 2021.

VELEVA, Vesela; ELLENBECKER, Michael. Indicators of sustainable production: framework and methodology. **Journal of Cleaner Production**, v. 9, n. 6, p. 519-549, 2001.

VIVALDINI, Mauro. O papel de operadores logísticos em ações de sustentabilidade. **Revista de Administração da UNIMEP**, v. 10, n. 1, p. 55-79, 2012.

VON SOEST, Christian. Why do we speak to experts? Reviving the strength of the expert interview method. **Perspectives On Politics**, p. 1-11, 2022.

VOSS, C.; TSIKRIKTSIS, N.; FROHLICH, M. Case research in operations management. **International Journal Of Operations & Production Management**, v. 22, n. 2, p. 195-219, 2002.

WANG, Shiyong et al. Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data-based feedback and coordination. **Computer networks**, v. 101, p. 158-168, 2016.

WINKELHAUS, Sven; GROSSE, Eric H. Logistics 4.0: a systematic review towards a new logistics system. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 1, p. 18-43, 2020.

XU, Xun et al. Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 61, p. 530-535, 2021.

YALCIN, Haydar/ DAIM, Tugrul U. Logistics, supply chain management and technology research: An analysis on the axis of technology mining. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 168, p. 102943, 2022.

YIN, Robert K. **Estudo de Caso: Planejamento e Métodos**. Bookman editora, 2005.

ZHANG, Jun et al. An integrated optimization model for switchgrass-based bioethanol supply chain. **Applied Energy**, v. 102, p. 1205-1217, 2013.

ZHANG, Zongguo et al. Research on the influence of new generation of information technology on contemporary enterprise logistics management information system. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 042039 p., 2020.

ZHANG, Ailing et al. Intelligent Measurement and Monitoring of Carbon Emissions for 5G Shared Smart Logistics. **Journal of Sensors**, v. 2022, 2022.

ZIMON, Dominik/ MADZIK, Peter/ SROUFE, Robert. Management systems and improving supply chain processes: Perspectives of focal companies and logistics service providers. **International Journal of Retail & Distribution Management**, 2019.

APÊNDICE A - ROTEIRO DE ENTREVISTA DO ESTUDO DE CASO

1- Caracterização da organização e do entrevistado	
Data da entrevista:	
Empresa:	
Nome:	
Telefone:	
E-mail:	
Tempo que trabalha na organização:	
Função desempenhada:	

2- Porte da empresa	
Grande Porte (Acima de 499 funcionários)	Pequeno Porte (de 20 a 99 funcionários)
Médio Porte (de 100 a 499 funcionários)	Microempresa (até 19 funcionários)

3- Área geográfica de atuação	
Norte	Sul
Sudeste	Centro-oeste
Nordeste	Nacional

4- Serviços oferecidos - Armazenagem	
Gestão de estoques	Paletização
Embalagem	Montagem de kits e conjuntos

5- Serviços oferecidos - Transportes	
Gerenciamento de Terceiros	Logística Reversa
Despacho Aduaneiro	Suporte Fiscal
Desenvolvimento de projetos	Gestão de Transporte
<i>Cross-docking</i>	Transferência
Porta a Porta	

6- Quais são as Tecnologias utilizadas na empresa	
Sistemas de gerenciamento de armazém (WMS)	Identificação por radiofrequência (RFID)
Sistemas de gerenciamento de transporte (TMS)	Big-data (BDA)
Sistema de Posicionamento Geográfico (GPS)	<i>Business Intelligence</i> (BI)
Software de simulação e otimização	Internet das coisas
Código de Barras	Drones
Computação em nuvem (CC)	Sistemas baseados em Dispositivos móveis

Sistemas para Planejamento de Recursos (ERP)	Segurança Cibernética
<i>Blockchain</i>	Sistemas de integração
<i>Crowdsourcing</i>	Robótica Avançada
Veículos Autônomos (AV)	Inteligência Artificial (AI)
Realidade Aumentada (AR)	Sistemas de simulação
Impressão 3D	Segurança Cibernética
Intercâmbio Eletrônico de dados (EDI)	Estoque Gerenciado pelo Fornecedor (VMI)

7- Como as tecnologias são adotadas nos processos logísticos?

8- Quais são os principais benefícios observados pelo uso destas tecnologias?

9- Quais foram as motivações para adoção destas tecnologias?

10- Como a organização se adaptou aos novos processos e tecnologias? Houve necessidade de desenvolvimento/aprimoramento de capacidades e habilidades?

11- Existe alguma certificação, sistema de gestão ou política associada à sustentabilidade corporativa?

12- Quais são as principais práticas sustentáveis adotadas pela empresa?

13- Quais foram as motivações para adoção de práticas sustentáveis?

14- Quais são os desafios enfrentados para adoção destas práticas?

15- Como o desempenho sustentável é medido pela empresa?

16- Como o uso de das tecnologias contribuiu para o desempenho sustentável da organização e/ou da sua cadeia de suprimentos?

17- Quais são as contribuições das tecnologias adotadas para a estratégia e ações sustentáveis da empresa?

APÊNDICE B - ROTEIRO DE ENTREVISTA COM OS ESPECIALISTAS

1- Caracterização do entrevistado	
Data da entrevista:	
Empresa:	
Nome:	
Telefone:	
E-mail:	
Área de atuação:	

- 1- Como as tecnologias da Logísticas 4.0 vêm sendo adotadas nos processos logísticos dos PSL?**

- 2- Quais são os principais benefícios e desafios observados pelo uso destas tecnologias?**

- 3- Quais são as principais práticas sustentáveis que vêm sendo adotadas nos processos logísticos dos PSL?**

- 4- Como o uso das tecnologias da Logística 4.0 contribui para o desempenho sustentável dos PSL?**

APÊNDICE C – FOLDER DE DIVULGAÇÃO DA PESQUISA

LOGÍSTICA 4.0 E SUSTENTABILIDADE CORPORATIVA

ANÁLISE DAS PRÁTICAS, BENEFÍCIOS E DESAFIOS

O que é Logística 4.0?

Consiste na otimização das atividades logísticas por meio do uso de sistemas inteligentes, aprimorando as capacidades analíticas e operacionais.

O que é Sustentabilidade Corporativa?

Práticas e iniciativas adotadas por uma empresa a fim de alcançar o equilíbrio entre o sucesso financeiro de longo prazo, o cuidado com o meio ambiente, com a sociedade e com as partes interessadas.

Objetivo do Estudo:

Analisar como a adoção da Logística 4.0 pode promover a sustentabilidade das atividades dos Prestadores de Serviços Logísticos (PSL).

Como a pesquisa foi realizada?

Estudo de caso com cinco prestadores de serviços logísticos (PSL) e entrevistas complementares com sete especialistas da área de logística e de sustentabilidade aplicada aos serviços logísticos.

Principais resultados:

A Logística 4.0 é capaz de apoiar os Prestadores de Serviços Logísticos na construção de processos e modelos de negócios sustentáveis, através da automação de processos, monitoramento em tempo real e integração de sistemas. Ela gera benefícios sociais, ambientais e econômicos como a ampliação da eficiência energética, da satisfação do cliente e da segurança; assim como a redução da emissão de gases poluentes, dos custos logísticos, dos erros e tarefas repetitivas.



LOGÍSTICA 4.0 E SUSTENTABILIDADE CORPORATIVA

ANÁLISE DAS PRÁTICAS, BENEFÍCIOS E DESAFIOS

A Logística 4.0 pode viabilizar soluções de armazenamento inteligentes e sustentáveis, que aumentam a gestão de informações e precisão na tomada de decisões. Ela transforma a execução e gerenciamento de atividades, como separação, armazenamento, conferência, expedição, devolução de produtos e transporte, resultando em processos ágeis, flexíveis, transparentes e preciso



GESTÃO DO ARMAZÉM: A combinação de tecnologias como sensores, RFID, WMS e IoT automatiza o armazém, melhorando a gestão do estoque, reduzindo erros e o uso de papel, e aumentando a rastreabilidade e integridade do produto.

TREINAMENTOS: O uso de AI, BDA, VR e AR melhora as habilidades dos funcionários, aumentando a eficiência, produtividade, qualidade e nível de serviço.

GESTÃO DO INVENTÁRIO: A utilização de drones, RFID e códigos de barras em auditorias de inventário permite detectar inconsistências no estoque, gerando maior agilidade, confiabilidade e segurança na gestão do inventário.



MOVIMENTAÇÃO DE MATERIAIS: A automação com Machine Learning, IA e robôs autônomos, como AGVs, substitui operações manuais, reduzindo erros, aumentando a segurança e diminuindo a rotatividade de funcionários em tarefas repetitivas e físicas.



GESTÃO DE INDICADORES E INFORMAÇÕES: A adoção da computação em nuvem (CC) aumenta a integração, visibilidade, escalabilidade e flexibilidade dos processos, permitindo o gerenciamento de informações e indicadores operacionais e estratégicos através de dispositivos móveis.

GESTÃO DO TRANSPORTE: A Logística 4.0 melhora a sustentabilidade do transporte, gestão de frotas e rastreamento de produtos, trazendo benefícios como eficiência, rentabilidade e redução de impactos ambientais.

MONITORAMENTO DA CARGA: Tecnologias como IoT, BDA, sensores e RFID possibilitam o controle em tempo real de dados de frota e carga transportada, aumentando a acessibilidade e capacidade de tomada de decisão dos gestores de frota e otimizando a produtividade.



DESAFIOS PARA ADOÇÃO DA LOGÍSTICA 4.0

A adoção da Logística 4.0 é um processo desafiador que requer mudanças estruturais, estratégicas, operacionais e culturais:

- Alto investimento (custo de aquisição, manutenção, licenciamento);
- Infraestrutura de tecnologia da informação
- Capacitação e contratação de funcionários;
- Integração dos sistemas (próprios, clientes e parceiros logísticos);
- Barreiras sociais e culturais;
- Comprometimento da liderança;
- infraestrutura local, regional e nacional;
- Regulamentos e políticas nacionais

GESTÃO DA FROTA: O uso de IoT, CC, GPS, RFID e telemetria possibilita o rastreamento da frota e carga, permitindo avaliar a necessidade de manutenção do veículo, acompanhar o desempenho dos motoristas em tempo real e reduzir custos no transporte.

GESTÃO DAS ENTREGAS: A Logística 4.0 melhora o nível de serviço e controle dos parâmetros acordados com o cliente final, permitindo avaliações imediatas, identificação de gargalos e problemas que possam ter causado avarias nos produtos.



ANEXO A – PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP



PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEP

DADOS DO PROJETO DE PESQUISA

Título da Pesquisa: Como a Logística 4.0 pode tornar os processos mais sustentáveis: Estudo de Casos Múltiplos em Prestadores de Serviços Logísticos

Pesquisador: NAYRA VASIULIS FERREIRA RODRIGUES

Área Temática:

Versão: 3

CAAE: 52898121.8.0000.5504

Instituição Proponente: Centro de Ciências em Gestão e Tecnologia

Patrocinador Principal: Financiamento Próprio

DADOS DO PARECER

Número do Parecer: 5.411.033

Apresentação do Projeto:

As informações elencadas nos campos "Apresentação do Projeto", "Objetivo da Pesquisa" e Avaliação dos Riscos e Benefícios" foram extraídas do arquivo Informações Básicas da Pesquisa (PB_INFORMAÇÕES_BÁSICAS_DO_PROJETO_1843733, de 28/040/2022) e/ou do Projeto Detalhado e/ou documentos complementares.

A estratégia proposta consiste na condução de um estudo de casos múltiplos através de entrevistas semiestruturadas com funcionários de cinco empresas prestadoras de serviços logísticos. O objetivo geral dessa pesquisa é analisar como a Logística 4.0 pode tornar os processos dos Prestadores de Serviços Logísticos mais sustentáveis. Quanto a unidade de análise, consiste nos processos dos Prestadores de Serviços Logísticos. A coleta de dados ocorrerá entre os meses de janeiro à outubro 2022, e envolverá a realização de entrevistas e análise documental. As entrevistas serão conduzidas por meio de um roteiro semiestruturado. Por fim, a análise de dados será realizada por meio da técnica de análise de conteúdo.

Objetivo da Pesquisa:

O objetivo geral dessa pesquisa é analisar como a Logística 4.0 pode tornar os processos dos Prestadores de Serviços Logísticos mais sustentáveis.

Endereço: WASHINGTON LUIZ KM 235
Bairro: JARDIM GUANABARA **CEP:** 13.565-905
UF: SP **Município:** SAO CARLOS
Telefone: (16)3351-9685 **E-mail:** cephumanos@ufscar.br