

8. Operações e Logística

REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE O USO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA LOGÍSTICA UTILIZANDO O METHODI ORDINATIO

RESUMO

Este estudo busca investigar a coexistência e o grau de sinergia entre as abordagens de inteligência artificial e logística, consolidando uma base teórica e identificando novas oportunidades de aplicação. Nos últimos anos, a aplicação de técnicas de inteligência artificial (IA) tem transformado a logística, com avanços em otimização de operações, gestão de estoques e previsão de demanda. A crescente complexidade dos processos logísticos, impulsionada pela demanda por eficiência, exige soluções que respondam e antecipem mudanças, papel no qual a IA se destaca. Apesar dos avanços, há uma lacuna no entendimento da integração da IA na logística, tanto em termos de aplicabilidade quanto de eficácia. A metodologia empregada é de revisão sistemática da literatura combinada com uma análise bibliométrica, empregando o *Methodi Ordinatio*. Esta metodologia utiliza a estratégia de busca e coleta de trabalhos sobre um tema específico, avaliando sua relevância científica por meio da equação *InOrdinatio*, que considera três fatores principais: número de citações, ano de publicação e fator de impacto. As lacunas na pesquisa apontam para a necessidade de mais estudos focados na intersecção entre IA e logística, os estudos revisados, embora evidenciem avanços, também mostram que nem todos se concentram diretamente na intersecção entre IA e logística, destacando a importância estratégica dessas tecnologias para o sucesso sustentável das empresas no setor.

Palavras-chave: Inteligência Artificial, Logística, Revisão Sistemática, *Methodi Ordinatio*.

ABSTRACT

This study seeks to investigate the coexistence and degree of synergy between artificial intelligence and logistics approaches, consolidating a theoretical basis and identifying new application opportunities. In recent years, the application of artificial intelligence (AI) techniques has transformed logistics, with advances in operations optimization, inventory management and demand forecasting. The increasing complexity of logistics processes, driven by the demand for efficiency, requires solutions that respond and anticipate changes, a role in which AI stands out. Despite advances, there is a gap in understanding the integration of AI in logistics, both in terms of applicability and effectiveness. The methodology used is a systematic literature review combined with a bibliometric analysis, using the *Methodi Ordinatio*. This methodology uses the strategy of searching and collecting works on a specific topic, evaluating their scientific relevance through the *InOrdinatio* equation, which considers three main factors: number of citations, year of publication and impact factor. Gaps in the research point to the need for more studies focused on the intersection between AI and logistics, the studies reviewed, although they highlight advances, also show that not all focus directly on the intersection between AI and logistics, highlighting the strategic importance of these technologies for the sustainable success of companies in the sector.

Keywords: Artificial Intelligence, Logistics, Systematic Review, *Methodi Ordinatio*.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a aplicação de técnicas de inteligência artificial (IA) tem revolucionado diversos setores da economia, e a logística não é exceção. A capacidade de processamento de dados, aliada a algoritmos sofisticados de aprendizado de máquina e redes neurais, tem permitido avanços significativos na otimização de operações logísticas, gestão de estoques, previsão de demanda e roteirização de transportes. Conforme observado por Barbosa (2020), a história da inteligência artificial (IA) está intimamente ligada à evolução da sociedade, à medida que os avanços tecnológicos têm moldado as formas como as pessoas interagem com o mundo ao nosso redor.

Com a globalização e surgimento da *internet*, o setor da logística passou por uma grande revolução, com uma abordagem sem precedentes para a integração global e alteração da maneira como as empresas administram suas cadeias de suprimentos. Recentemente, a logística evoluiu para o conceito de Logística 4.0, pois ela envolve o uso de tecnologias como Inteligência Artificial, Internet das Coisas (IoT), análise de big data e *blockchain* para melhorar a eficiência operacional, reduzir custos e aprimorar a visibilidade de toda a cadeia logística (Andrade et al., 2024).

A crescente complexidade dos processos logísticos, impulsionada pela globalização e pela demanda por eficiência operacional, exige soluções que possam não apenas responder rapidamente às mudanças, mas também antecipá-las. A inteligência artificial (IA) surge como uma resposta promissora a essas necessidades, oferecendo ferramentas capazes de otimizar processos e prever tendências com precisão (Sinchi-Levi et al., 2019).

No entanto, apesar do crescente interesse acadêmico e prático, persiste a necessidade de compreender de forma abrangente como as abordagens de IA têm sido integradas à logística e qual o nível de aprofundamento das pesquisas existentes nessa interseção. A falta de uma análise sistemática e detalhada sobre a aplicabilidade e eficácia dessas tecnologias em diferentes contextos logísticos representa uma lacuna significativa no conhecimento atual. Diante do exposto surge a seguinte questão de pesquisa: O que está sendo publicado no estado da arte sobre a contribuição da IA no contexto da Logística.

A partir dessa problemática, o estudo propõe-se a investigar a coexistência e o grau de sinergia entre as abordagens de inteligência artificial e logística, contribuindo para a consolidação de uma base teórica robusta e para a identificação de oportunidades de aplicação futura.

Inicia-se a fundamentação pela definição da logística e inteligência artificial, finalizando com a utilização da IA na logística.

2. Preceitos de Logística e Inteligência Artificial

A Logística pode ser definida como a atividade voltada para fornecer bens e serviços produzidos de maneira adequada às necessidades dos consumidores e usuários, garantindo que estejam no lugar correto, no tempo certo, na quantidade adequada e com a qualidade compatível (Leite, 2009). Ao longo do tempo, a logística evoluiu de uma simples gestão de estoques para se transformar em um setor estratégico fundamental nas organizações.

A Logística teve sua origem associada às necessidades operacionais militares, porém, sua aplicação se estende significativamente além desse contexto. Além da influência militar, áreas como estratégia, sistemas de informação, tecnologias em

geral e muitas outras continuam a exercer e continuarão a exercer influência sobre o desenvolvimento e a evolução da logística para empresas, instituições e organizações. Pode dizer-se, no entanto, que a área militar tem sido, desde sempre, das mais marcantes em termos de desenvolvimento logístico e sua aplicação no seio das empresas e organizações (Carvalho; Cardoso, 2002).

Segundo Costa (2023), nos últimos anos, houve o desenvolvimento de tecnologias para automatizar atividades repetitivas, integrar processos e acelerar operações, resultando em benefícios como maior velocidade, eficiência e melhor aproveitamento de recursos. Adicionalmente, o aumento da competição em diversos setores econômicos tem impulsionado as empresas a incorporarem tecnologias como IoT, Big Data, computação em nuvem, robôs autônomos e a inteligência artificial para manter sua competitividade.

A Inteligência Artificial é fundamentada em bases científicas sólidas, sendo uma disciplina central na informática moderna. Surge da interseção de várias correntes intelectuais e faz uso de princípios matemáticos, lógicos, linguagens de programação e análise de algoritmos. Essa combinação impulsiona o avanço de redes neurais, computadores e robôs, permitindo a resolução de problemas por meio da automatização avançada e do aprendizado de máquina (Nilsson, 2014).

Russell e Norvig (2016) definiram IA como sistemas que imitam funções cognitivas típicas de seres humanos, como aprendizado, fala e resolução de problemas. Uma caracterização mais elaborada foi apresentada por Kaplan e Haenlein (2019), onde a IA é descrita como a capacidade de interpretar e aprender com dados externos de forma independente, adaptando-se flexivelmente para alcançar objetivos específicos.

Atualmente, os benefícios da IA são inúmeros, tornando-se indispensável para quem já a utiliza diariamente (Suman; Pogarcic, 2016). Diversos dispositivos que empregam IA oferecem uma facilidade adicional na resolução de problemas que antes não poderiam ser solucionados com tanta rapidez. Essa tecnologia otimiza o uso do tempo e melhora o desempenho em várias atividades realizadas com o auxílio de computadores e sistemas computacionais (Alsetoohy; Ayoun, 2018).

Um dos principais motivos para o seu crescimento, senão o principal, é o rápido desenvolvimento de novas tecnologias para extração, armazenamento, transmissão e processamento de dados (Carvalho, 2020).

Nos últimos anos, verificou-se um crescimento acelerado da presença da Inteligência Artificial (IA) no cotidiano. Em inúmeras situações, modelos criados por algoritmos de IA são utilizados, muitas vezes sem que isso seja percebido (Faceli, 2021). Esses modelos são aplicados em atividades rotineiras, como a leitura de mensagens enviadas por e-mail, o uso de máquinas de lavar roupas, a condução de veículos autônomos ou semiautônomos, e na escolha de filmes ou episódios de séries em plataformas de streaming (Carvalho, 2020).

2.1 Utilização da IA na Logística

A evolução tecnológica e a crescente demanda dos consumidores por serviços avançados e modernos têm impulsionado significativas transformações na Logística, influenciando tanto na gestão quanto no desenvolvimento do setor. Nesse contexto, são adotadas ferramentas e sistemas computacionais para aprimorar a execução das tarefas internas, otimizando o controle da produção e garantindo maior eficiência operacional. Para promover a integração dos sistemas logísticos por meio da modelagem, percepção e resolução de problemas, as empresas estão incorporando

a Inteligência Artificial como uma ferramenta fundamental para aprimorar o gerenciamento e a execução dessas tarefas (Barreto; Amaral; Pereira, 2017; Nilsson, 2014).

Atualmente, a IA é aplicada na Logística para prever a demanda, otimizar rotas de transporte, realizar manutenção preditiva de equipamentos e automatizar processos de tomada de decisão. Desse modo, consegue maior controle de operações, com menores riscos e maior sincronização, bem como com menor desperdício de tempo, combustível e outros recursos produtivos. Além disso, fornece maior respostas das operações às condições adversas, com maior velocidade dos fluxos de informações e maior velocidade na transmissão de instruções. (Cabral Filho, 2023)

Espera-se que a inteligência artificial mude o modelo operacional da logística, de forma que passe de um modo reativo para proativo e preditivo, seja em áreas operacionais ou administrativas, focando os clientes e os resultados (Cavalcanti, et al., 2021)

Há muitos esforços e estudos para que os sistemas logísticos avancem através da inteligência artificial (IA), tornando-se assim uma logística 4.0. Avançando da maneira que o mercado necessita, um dos ramos mais impactados por essa geração da logística serão a armazenagem e controle de estoque (Russel, et al., 2013).

3. ASPECTOS METODOLÓGICOS

O presente estudo adota como metodologia uma revisão sistemática da literatura combinada com uma análise bibliométrica, empregando o *Methodi Ordinatio*. Assim, caracteriza-se como um levantamento bibliográfico que integra aspectos qualitativos e quantitativos. A revisão sistemática possibilita uma investigação detalhada sobre um tema específico, identificando evidências consistentes e confiáveis, além de destacar lacunas a serem exploradas (Dresch et al., 2015).

A escolha pela metodologia *Methodi Ordinatio* visa qualificar de maneira otimizada os artigos obtidos em uma revisão bibliográfica sistematizada. Esta metodologia se distingue pela estratégia de busca e coleta de trabalhos sobre um tema específico, bem como pela avaliação da relevância científica por meio da equação *InOrdinatio*. Tal equação considera três fatores principais: número de citações, ano de publicação e fator de impacto (Pagani et al., 2017; 2015).

A pesquisa seguiu 9 (nove) etapas conforme descritas na metodologia *Methodi Ordinatio*, ilustradas na figura 1 (Pagani et al., 2017; Buss et al., 2022).

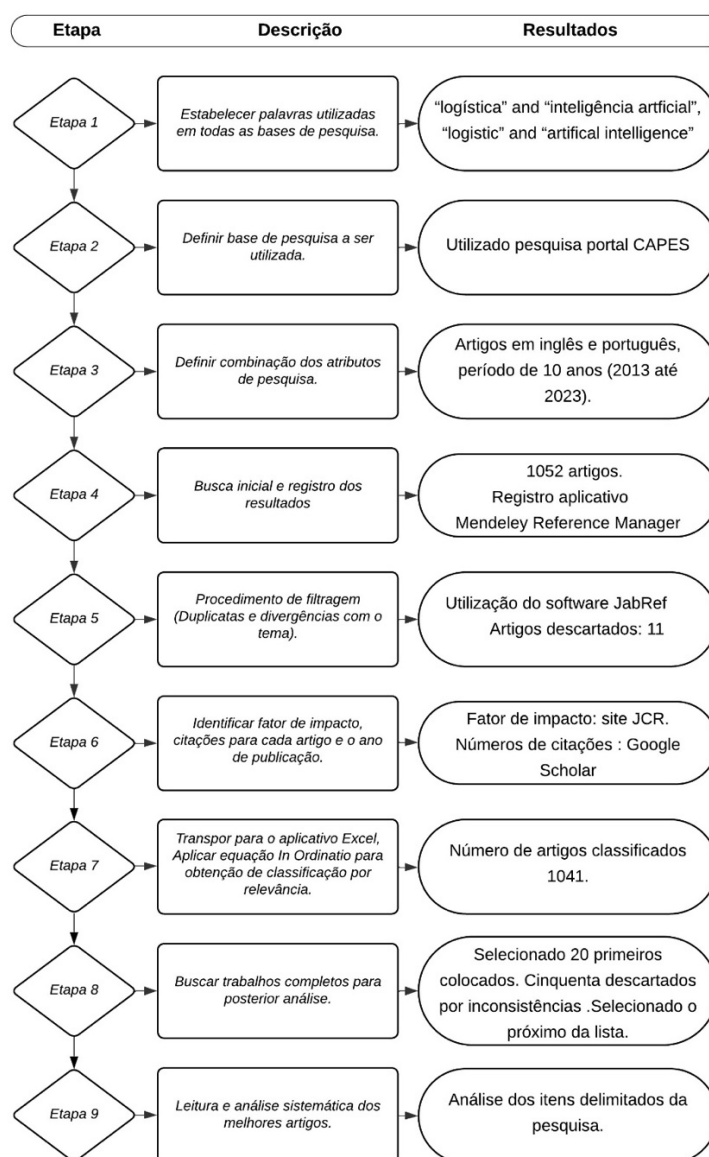
Com a Etapa 1, delimitou-se o assunto a ser abordado: “logística” and “inteligência artificial”, “logistic” and “artificial intelligence”. Na Etapa 2, utilizou-se o portal de periódicos da CAPES, de forma que a busca apontou as seguintes bases de dados: Scielo, ScienceDirect, Scopus e Web of Science.

Para a Etapa 3, delimitou-se a busca em artigos científicos (desconsiderando livros, capítulos de livros, *conference papers* e demais) nos últimos dez anos, compreendendo publicações entre 2013 e 2023, ocasionando a exclusão de 249 publicações (não artigos).

Na Etapa 4, a busca inicial apresentou um total de 1052 (mil e cinquenta e dois) artigos, sendo estes adicionados ao *software Mendeley Reference Manager*. Utilizou-se o *software JabRef 5.2* na Etapa 5 para os procedimentos de filtragem, onde foram eliminados 11 (onze) artigos duplicados, obtendo-se um total de 1041 (mil e quarenta um) artigos considerados válidos para o estudo. A Etapa 6 foi a identificação do ano de publicação, fator de impacto de cada um desses artigos por meio do site *Journal*

Citation Reports (JCR), bem como o número de citações pelo site *Google Scholar*, por ser a plataforma que contempla a citação de todas as bases de dados.

Figura 1 – Etapas da metodologia *Methodi Ordinatio*



Fonte: Adaptado de Buss et al. (2022)

Com base nessas informações, na Etapa 7 foi calculado o índice *InOrdinatio* (Equação 1), que emprega o fator de impacto, o ano de publicação e o número de citações para classificar os artigos por ordem de relevância dentro de um banco bibliográfico.

Equação 1: Equação *InOrdinatio*

$$InOrdinatio = \left(\frac{IF}{1000} \right) + \alpha \times [10 - (ResearchYear - PublishYear)] + \sum C_i$$

Nota: IF: fator de impacto do periódico; α : valor atribuído (1 a 10) para o ano de publicação do artigo; C_i : número de citações do artigo. Nesta pesquisa o valor de α : 10, tendo importante relevância para o cumprimento do objetivo da pesquisa.

Na Etapa 8, dos 1041 artigos iniciais, foram selecionados os vinte artigos mais bem classificados pelo método para análise. Por fim, na Etapa 9, após uma revisão rápida, identificou-se que um dos artigos não abordava o tema de "inteligência artificial" em seu conteúdo, sendo este descartado e substituído pelo próximo na lista de classificação.

Após concluir todas as etapas da pesquisa, foram selecionados 20 (vinte) artigos para análise. Foram considerados aspectos como a distribuição temporal das publicações, o perfil dos periódicos, a análise do número de citações por publicação, a metodologia empregada, a análise da quantidade de publicações por autores, a frequência de palavras-chave e o contexto presente em cada publicação.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

O Quadro 1 lista os 20 (vinte) artigos selecionados para análise através do índice *InOrdinatio*, com as informações dos autores, número de citações e ano de publicação.

Quadro 1 – Relação de artigos selecionados.

Ordem	Título	Autores	Citação	Ano
1	The selection of transport and handling resources in logistics centers using Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC)	Pamucar, D.; Cirovic, G.	909	2015
2	The strategic role of logistics in the industry 4.0 era	Tang, C.S.; Veelenturf, L.P.	477	2019
3	Artificial intelligence for supply chain resilience: learning from Covid-19	Modgil, S.; Singh, R.K.; Hannibal, C.	243	2022
4	Blockchain in transport and logistics - paradigms and transitions	Koh, L.; Dolgui, A.; Sarkis, J.	230	2020
5	Does digitalising the supply chain contribute to its resilience?	Zouari, D.; Ruel, S.; Viale, L.	187	2021
6	A robust hybrid multi-criteria decision making methodology for contractor evaluation and selection in third-party reverse logistics	Senthil, S.; Srirangacharyulu, B.; Ramesh, A.	256	2014
7	Supply chain management and Industry 4.0: conducting research in the digital age	Hofmann, E.; Sternberg, H.; Chen, H.; Pflaum, A.; Prockl, G.	205	2019
8	Fermatean fuzzy CRITIC-EDAS approach for the selection of sustainable third-party reverse logistics providers using improved generalized score function	Mishra, A.R.; Rani, P.; Pandey, K.	162	2022
9	Decision support and intelligent systems in the textile and apparel supply chain: An academic review of research articles: 21st Century Logistics and Supply Chain Management	Ngai, E.; Peng, S.; Alexander, Paul; Moo, K.	236	2014
10	AI technologies and their impact on supply chain resilience during COVID-19	Modgil, S.; Gupta, S.; Stekelorum, R.; Laguir, I.	144	2022
11	Food Logistics 4.0: Opportunities and Challenges	Jagtap, S.; Bader, F.; Garcia-Garcia, G.; Trollman, H.; Fadji, T.; Salonitis, K.	150	2021
12	A fuzzy TOPSIS method for performance evaluation of reverse logistics in social commerce platforms	Han, H.; Trimi, S.	166	2018

13	Applications of smart technologies in logistics and transport: A review	Chung, S.-H.	131	2021
14	Artificial intelligence in manufacturing and logistics systems: algorithms, applications, and case studies	Chien, C.-F.; Dauz \ddot{E} re-P \ddot{E} r \ddot{E} s, S.; Huh, W.T.; Jang, Y.J.; Morrison, J.R.	135	2020
15	Green logistic vehicle routing problem: Routing light delivery vehicles in urban areas using a neuro-fuzzy model	Cirovic, G.; Pamucar, D.; Bozanic, D.	193	2014
16	Resilient supplier selection in logistics 4.0 with heterogeneous information	Hasan, M.M.; Jiang, D.; Ullah, A.M.M.S.; E-Alam, M.N.	129	2020
17	CPS-Based Self-Adaptive Collaborative Control for Smart Production-Logistics Systems	Guo, Z.; Zhang, Y.; Zhao, X; Song, X.	112	2021
18	Moving from Industry 4.0 to Industry 5.0: What Are the Implications for Smart Logistics?	Jafari, N.; Azarian, M; Yu, H.	98	2022
19	Exploring the role of artificial intelligence in managing agricultural supply chain risk to counter the impacts of the COVID-19 pandemic	Nayal, K.; Raut, R.; Priyadarshinee, P.; Narkhede, B.E.; Kazancoglu, Y; Narwane, V.	97	2022
20	The circular economy meets artificial intelligence (AI): understanding the opportunities of AI for reverse logistics	Wilson, M.; Paschen, J.; Pitt, L.	96	2022

Fonte: Dados da pesquisa.

Para avaliar a influência e a visibilidade das publicações (artigos), buscou-se determinar a contagem de citações de cada uma delas utilizando métricas fornecidas pela ferramenta Google Scholar. Embora exista uma disparidade significativa entre o número de citações das duas publicações mais bem ranqueadas em comparação com as demais, é considerável que todas elas obtiveram uma quantidade substancial de citações (Quadro 1).

Com base nas publicações por autores, apenas o autor Sachin Modgil participou de mais de uma publicação dentro do ranking obtido. As pesquisas foram realizadas em vários países ao redor do mundo. No continente asiático, estão incluídas nove instituições, tornando este, o continente com o maior número de instituições que produziram as pesquisas. Em segundo lugar com oito instituições, está a Europa e, por fim, a América do Norte, com a menor quantidade, contendo três instituições. Entre os países, a Índia se destaca como a líder no número de publicações, com quatro instituições de ensino figurando no topo da lista.

4.1 Distribuição Temporal das Publicações

Nos últimos anos, tem-se observado um crescimento exponencial no estudo das temáticas IA no campo da Logística. A distribuição temporal das 1041 publicações preliminarmente selecionadas antes do *ranking* demonstra um aumento de mais de 900% no número de publicações, comparando-se o ano de 2013 (19 publicações) com o ano de 2023 (206 publicações).

Verifica-se que das 20 (vinte) publicações mais relevantes segundo o índice *InOrdinatio*, a concentração de artigos ocorreu majoritariamente entre 2019 e 2022.

4.2 Perfil dos Periódicos

As publicações do *ranking* estão distribuídas em nove (9) periódicos distintos, todos no idioma inglês. Sendo que oito (8) dos artigos dos 20 (vinte) analisados pertencem à área da tecnologia. A maioria dos periódicos apresentam fatores de impacto extremamente relevantes, conforme indicado no Quadro 2.

Quadro 2 – Perfil dos periódicos.

Periódico / Número de Publicações	Área	Idioma	F.I.
Expert systems with applications (6)	Tecnologia	Inglês	8,500
IEEE transactions on cybernetics (1)	Tecnologia	Inglês	11,8
International journal of physical distribution & logistics management (3)	Gestão	Inglês	6,700
International journal of production research (2)	Gestão	Inglês	12,000
Journal of ambient intelligence and humanized computing (1)	Tecnologia	Inglês	3,662
Logistics (2)	Transportes	Inglês	3,800
Management of Environmental Quality (1)	Gestão Ambiental	Inglês	5,333
The international journal of logistics management (2)	Gestão	Inglês	7,500
Transportation research. Part E, Logistics and transportation review (2)	Transportes	Inglês	10,600

Fonte: Dados da pesquisa.

Seis (6) artigos foram publicados pelo periódico *Expert systems with applications*; um (1) *IEEE transactions on cybernetics*; três (3) *International journal of physical distribution & logistics management*; dois (2) *International journal of production research*; um (1) *Journal of ambient intelligence and humanized computing*; dois (2) *Logistics*; um (1) *Management of Environmental Quality*; dois (2) *The international journal of logistics management*; e dois (2) *Transportation research. Part E, Logistics and transportation review*.

4.3 Metodologias utilizadas nos artigos

A análise das metodologias empregadas nas 20 pesquisas demonstra que, em sua maioria, dez (10) artigos se valeram de estudos de casos, e que se apresentam assertivos em investigações sobre fenômenos contemporâneos, sendo um método abrangente, utilizado para descrever e analisar o caso em seu contexto de desenvolvimento, fornecendo entendimentos e conhecimentos importantes sobre eventos vivenciados (YIN, 2015).

Os outros dez (dez) dos estudos do *ranking* trabalham com revisão de literatura, percebe-se que a revisão da literatura também vem sendo muito utilizada por possibilitar o estudo de uma ampla variedade de assuntos, conceitos e até mesmo resultados de pesquisas, recentes ou não, possibilitando identificar, avaliar e sintetizar estudos, bem como apontar inconsistências lançando ainda um novo olhar conceitual (SOUSA et al., 2018).

4.4 Análise das Palavras-Chave

Para analisar quais temas foram mais destacados nos 20 artigos "ranqueados", utilizou-se a plataforma *Wordcloud* para verificar a frequência das palavras-chave.

Foram identificadas 98 palavras-chave nas publicações. Entre elas, as mais destacadas foram: logística (8 vezes), cadeia (6 vezes), decisão (5 vezes), artificial (5

vezes) inteligência (5vezes) transportes (3 vezes). As demais palavras ocorreram em frequência menores de três, conforme verifica-se na Figura 2.

Figura 2 – Frequência das palavras-chave.



Fonte: Dados da pesquisa.

4.5 Análise do Contexto nas Publicações

Entre as 20 publicações mais relevantes, a inteligência artificial e a logística emergem como temas de significativa incidência, embora sua aderência aos objetivos do estudo possa variar. A seguir, é apresentado um resumo detalhado dos estudos conforme foram ranqueados.

O artigo de Pamucar et al. (2015), apresenta a aplicação de um novo modelo de cálculo que são implementados com um aplicativo de desktop baseado em *python*, no processo de tomada de decisões de investimentos na aquisição de transportes manipulativos (empilhadeiras) em centros logísticos.

O artigo de Tang et al. (2019), discutiu o uso potencial de tecnologias emergentes (drones, sensores inteligentes, robótica, *blockchain*, inteligência artificial etc.) para transformar a função logística de mundana em excitante, e para permitir a função logística como uma alavanca competitiva, um social criador de valor e facilitador da sustentabilidade. Também levantaram algumas preocupações sobre as aplicações dessas tecnologias. Além de muitas tecnologias não serem comprovadas, elas podem criar outros problemas, incluindo: agitação social devido à perda de empregos devido à automação.

Modgil et al. (2022) apresenta investigações aprofundadas e conclusões sobre a utilização de plataformas e sistemas habilitados para IA para melhorar a resiliência da cadeia de abastecimento durante eventos extremos como a Covid-19.

O artigo de Koh et al. (2020), fornece uma base para os principais casos de vanguarda da adoção de *blockchain* em transporte e logística, o *blockchain* não se destina a substituir tecnologias físicas avançadas, mas a servir como um livro-razão distribuído descentralizado que administra a transação de dados e a autenticação de bens e serviços através das fronteiras, especialmente quando estão envolvidos múltiplos modos de transporte, serviços logísticos e empresas. Como resultado, facilitará o processo de cumprimento das regras e regulamentos alfandegários da

geografia. Além disso, por ser imutável, a autenticação dos recebimentos de mercadorias e serviços pode ser executada de forma eficiente.

Zouari et al. (2021) investiga a ligação entre resiliência da cadeia de suprimentos e digitalização de cadeia de suprimentos. Sendo que a resiliência da cadeia de suprimentos (SCR) é um conceito-chave para gerentes que desejam desenvolver a capacidade de aprimorar a habilidade de sua cadeia de suprimentos (SC) de lidar com turbulências inesperadas. As ferramentas digitais de SC são frequentemente vistas como uma solução que fornece mais visibilidade, antecipação e colaboração.

Senthil et al. (2014) propõe um método estruturado de tomada de decisão multicritério para avaliação e seleção do melhor contratante de logística reversa. O equipamento de tomada de decisão fornece classificações linguísticas aos critérios e às alternativas, e é utilizado o *TOPSIS fuzzy*. O estudo conclui que o contratante de logística reversa pode usar os resultados como referência com outros e pode usar os resultados para promoção de serviços.

A pesquisa de Hofmann et al. (2019) dedica-se a explorar as abundantes oportunidades de pesquisa associadas ao SCM 4.0 e a estabelecer uma base para pesquisas futuras sobre este importante tópico emergente. A ideia é preencher lacunas na teoria existente da cadeia de abastecimento e explorar as áreas que provavelmente serão impactadas pela combinação de conhecimento, tecnologias tradicionais e emergentes.

O artigo de Mishra et al. (2022) tem como objetivo introduzir uma metodologia de tomada de decisão multicritério para avaliar e selecionar a opção do fornecedor sustentável de logística reversa terceirizada ideal em Conjuntos *fuzzy fermateanos*. Os resultados verificam que o modelo introduzido tem melhor proficiência e força do que os modelos existentes.

Ngai et al. (2014) fornece uma revisão sistemática relacionado às aplicações de suporte à decisão e sistemas inteligentes nas cadeias de fornecimento de têxteis e vestuário. Utilizando um processo de categorização de artigos de periódicos, a revisão da literatura mostra que as tendências tecnológicas estão se desenvolvendo e/ou evoluindo rapidamente.

Já Modgil et al. (2014), busca empregar inteligência artificial para desenvolver a resiliência da cadeia de abastecimento para resistir a perturbações extremas como a COVID-19. São descritas as práticas bem-sucedidas pela IA ajuda a desenvolver sistematicamente a resiliência na sua estrutura e rede. Os resultados do estudo destacam o surgimento de cinco áreas críticas onde a IA pode contribuir para aumentar a resiliência da cadeia de suprimentos: (1) transparência, (2) garantir a entrega na última milha, (3) oferecer soluções personalizadas para as partes interessadas da cadeia de suprimentos a montante e a jusante, (4) minimizar o impacto da interrupção e (5) facilitar uma estratégia de aquisição ágil.

O artigo de Jagtap et al. (2021) enfoca o papel das tecnologias da Indústria 4.0 no contexto da logística alimentar denominada 'Logística Alimentar 4.0'. Também consideram as tecnologias Blockchain e a Inteligência Artificial no estudo. Estas tecnologias não só melhorarão a eficiência, mas também aumentarão a confiança dos clientes nos produtos alimentares que consomem. Discorrem ainda as oportunidades disponíveis para melhorar a logística alimentar através da adoção de tecnologias da Indústria 4.0 para reduzir custos e tempo, mantendo ao tempo a qualidade dos produtos alimentares durante o transporte dentro da cadeia de abastecimento.

Han et al. (2018) apresenta os critérios que devem ser utilizados na concepção e avaliação dos processos de logística reversa baseados no comércio social pelas

empresas. Testa-se a eficácia dos critérios identificados utilizando-os para avaliar as práticas de logística inversa de três grandes empresas globais que utilizam plataformas de comércio social. A mídia social está em rápido crescimento e a tecnologia Web 2.0 transformaram o comércio social como uma ferramenta fácil e rápida para gerenciar efetivamente o processo de logística reversa. O comércio social está se tornando cada vez mais popular com os avanços tecnológicos e as preocupações dos consumidores com a sustentabilidade.

Chung et al. (2021), discutem uma revisão abrangente sobre contribuições notáveis feitas nas aplicações de tecnologias inteligentes (STs) na melhoria das operações logísticas e na eficiência da rede de transporte. Os STs têm sido um tópico muito quente e estão se tornando mais populares nos últimos anos. As aplicações cobriram um amplo espectro, incluindo transporte público, chão de fábrica, armazéns, entregas de última milha e assim por diante. Habilitado por IA/BD/ML com o suporte de *IoT/blockchain*, a autonomia nos fornece muitos benefícios e contribuições significativas, por exemplo, maior eficiência operacional, maiores níveis de serviço e menor custo operacional.

Chien et al. (2020), fornecem insights sobre os últimos avanços emergentes na comunidade de pesquisa de produção que buscam explorar métodos de IA em sistemas de manufatura e logística. Os estudos revisados demonstram como a IA está impulsionando avanços significativos em diversas áreas da produção industrial, promovendo a evolução contínua rumo a sistemas de produção mais inteligentes e eficientes.

Cirovic et al. (2014), apresenta um modelo de roteirização de veículos leves de entrega por operadores logísticos. Para resolver o problema de roteamento no modelo, foi utilizada uma rede neural adaptativa para avaliar o desempenho dos ramos da rede. Sua aplicação permite incorporar continuamente novos conhecimentos teóricos e empíricos que podem ser alcançados com a utilização deste e de modelos semelhantes na prática. Além disso, deve-se notar que este é um modelo geral para o roteamento de veículos comerciais leves por operadores logísticos, que é adequado para uso em cidades que enfrentam o problema de alocar sua “capacidade verde” na rede da cidade.

O artigo de Hasan et al. (2020), desenvolve um *Decision Support System (DSS)* que ajudará o tomador de decisão a incorporar e processar esses dados heterogêneos imprecisos em uma estrutura unificada para classificar um conjunto de fornecedores resilientes no ambiente logístico 4.0. O estudo fornece uma abordagem eficaz e pragmática para ajudar as partes interessadas a tomar melhores decisões de fornecimento para as indústrias de logística 4.0.

O artigo de Guo et. al. (2021) propõe um sistema de Controle Colaborativo Autoadaptativo (SCC) baseado em sistemas ciberfísicos para enfrentar desafios em ambientes de Internet das Coisas industrial. O SCC visa integrar produção e logística de forma mais eficiente, usando dados em tempo real para otimizar operações e responder a exceções. O modelo SCC, que inclui três níveis de controle (nodal, local e global), busca melhorar a resiliência e a eficiência, reduzindo tempos de espera, *makespan* e consumo de energia.

Jafari et. al. (2022) realiza uma comparação detalhada através de uma análise bibliométrica. A análise revela que, enquanto a Indústria 4.0 se concentra em tecnologias disruptivas, a Indústria 5.0 enfatiza a interação entre humanos e tecnologia. Por meio de uma análise de conteúdo detalhada, é mostrado que IoT, cobots e IA são as tecnologias da Indústria 5.0 mais investigadas em logística

inteligente. Finalmente, uma agenda de pesquisa é fornecida para orientar e inspirar pesquisas futuras.

Nayal et. al. (2022) explora como a implementação de IA pode mitigar riscos na cadeia de suprimentos (SC), destacando a importância da integração da cadeia e do compartilhamento de informações. A pesquisa sugere que a adoção de IA pode melhorar a resposta a interrupções e fornece direções para futuras investigações e práticas gerenciais. A pandemia de COVID-19 testou severamente a cadeia de suprimentos (SC), evidenciando a necessidade de um sistema de tomada de decisão digital robusto. O impacto negativo global levou a interrupções significativas na cadeia, afetando a segurança alimentar e exacerbando os riscos operacionais, especialmente na indústria alimentícia. A digitalização, incluindo o uso de IA, IoT, e outras tecnologias da Indústria 4.0, surge como uma solução para aumentar a resiliência e a eficiência da SC.

Já o artigo de Wilson et al. (2022) discorre como a IA pode otimizar a logística reversa e contribuir para a economia circular, destacando sua importância no ecossistema empreendedor e sugerindo direções para pesquisas futuras. Implementar a EC pode reduzir as emissões de carbono e criar empregos. A logística reversa, que permite a devolução de produtos ao ciclo produtivo, é crucial para a EC. A inteligência artificial (IA) tem o potencial de revolucionar a logística reversa, melhorando a eficiência e a recuperação de valor.

Entre os 20 artigos revisados, muitos abordam alguns aspectos da Inteligência Artificial, mas nem todos exploram de maneira explícita a contribuição da IA no contexto da Logística. Sendo assim, neste estudo adotou a seguinte classificação para os artigos quanto a sua aderência: Alta – para os artigos que exploram de forma extensa ou detalhada a aplicação da IA na logística; Média - para os artigos que discutem a aplicação da IA de maneira mais superficial ou parcial na logística; e Baixa - para os artigos que mencionam a IA de forma geral, mas com pouca exploração específica na logística. Os resultados estão dispostos no Quadro 3.

Quadro 3 – Aderência dos artigos ao tema

Títulos	Aderência
Tang, Veelenturf (2019); Modgil et al. (2022; 2022) Koh et al. (2020); Senthil et al. (2014); Ngai et al. (2014); Jagtap (2021); Han, Trimi (2028); Chung (2021); Chien et al. (2020); Cirovic et al. (2014); Wilson et al. (2022).	Alta
Zouari et al. (2021); Hofmann et al. (2019); Guo et al. (2021); Jafari et al. (2022); Nayal et al. (2022).	Média
Pamucar, Cirovic (2015); Mishra et al. (2022); Hasan et al. (2020)	Baixa

Fonte: Dados da pesquisa.

Os artigos com maior aderência são aqueles que exploram explicitamente a aplicação da IA para melhorar a eficiência, resiliência e inovação nos processos logísticos, estudos como os de Tang et al. (2019), Modgil et al. (2022), Jagtap et al. (2021), Chung et al. (2021) e Chien et al. (2020) apresentam alta aderência ao tema proposto, por seu foco na integração de IA com a logística.

Os artigos de Zouari et al. (2021) e Nayal et al. (2022) exploram a resiliência da cadeia de suprimentos e a seleção de fornecedores, utilizando métodos de decisão multicritério e tecnologias digitais. Esses estudos têm uma relevância moderada para o tema, pois, embora abordem a logística, não se concentram exclusivamente em IA. A inclusão de artigos como Koh et al. (2020) e Chung et al. (2021), demonstra a interação entre blockchain, IA e outros sistemas tecnológicos emergentes, destacando a crescente importância da IA na gestão e automação de processos logísticos.

O artigo de Pamucar et al. (2015) apresenta um modelo de roteirização de veículos leves utilizando redes neurais adaptativas. Embora o artigo não se concentre exclusivamente na IA, o uso de redes neurais é um exemplo de como a IA pode ser aplicada para otimizar processos logísticos, como o roteamento de veículos.

Em resumo, a análise revela uma ênfase na aplicação da IA para otimizar a logística, mas com variações na profundidade e relevância direta dos estudos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo teve por objetivo “investigar a coexistência e o grau de sinergia entre as abordagens de inteligência artificial e logística, contribuindo para a consolidação de uma base teórica robusta e para a identificação de oportunidades de aplicação futura”. Sendo assim foi realizada uma revisão sistemática sobre a aplicação da Inteligência Artificial (IA) na logística, que revelou um panorama dinâmico e em rápida evolução que destaca a importância dessas tecnologias na transformação do setor.

Com um crescimento notável de publicações, especialmente a partir de 2019, a literatura aponta para uma integração cada vez mais profunda da IA em processos logísticos, promovendo resiliência, eficiência e inovação. A evidência de que a Índia é um dos principais centros de pesquisa neste campo indica uma movimentação global em direção à Logística 4.0, onde tecnologias emergentes não apenas otimizam operações, mas também moldam o futuro das cadeias logísticas.

Os resultados demonstrados sugerem que entre 2013 e 2023 as publicações sobre esses temas aumentaram mais de 900%, porém quando analisados apenas os artigos do ranking proposto, o maior número de publicações se concentrou entre os anos de 2020 e 2023. Sobre o perfil dos periódicos, todos possuem fatores de impacto relevantes. Seis deles foram publicados no periódico *Expert systems with applications* e o restante dos artigos publicados em periódicos das áreas de gestão, tecnologia e transportes.

Quanto ao número de citações de cada um desses artigos, o primeiro artigo do ranking é o que se destaca com mais do que o dobro da média de citações dos demais (909), porém todos eles possuem um número expressivo de vezes em que foram citados. No que se refere ao perfil metodológico dos artigos, 10 (dez) deles se valeram de estudos de caso, os demais (10) adotaram análise e revisão de literatura. Na análise das palavras-chave, foram identificadas um total de 98 (noventa e oito) palavras diferentes. No entanto, apenas um artigo fez referência simultânea às palavras-chave "inteligência artificial" e "logística" no mesmo estudo.

As lacunas identificadas na pesquisa ressaltam a necessidade de um enfoque contínuo para aprofundar o entendimento dos impactos e aplicações práticas da IA na logística. Os estudos revisados, embora evidenciem avanços, também mostram que nem todos se concentram diretamente na intersecção entre IA e logística, sugerindo um espaço significativo para pesquisas futuras.

Assim, conclui-se que a combinação de IA com logística não é apenas uma questão de inovação tecnológica, mas uma oportunidade estratégica para empresas que buscam se destacar em um ambiente altamente competitivo. Investir na compreensão e na aplicação dessas tecnologias se torna, portanto, uma prioridade essencial para o sucesso sustentável no setor logístico.

REFERÊNCIAS

ALSETOOHY, Omar; AYOUN, Baker. Intelligent agent technology: The relationships with hotel food procurement practices and performance. **Journal of Hospitality and Tourism Technology**, v. 9, n. 1,

p. 109-124, 2018.

ANDRADE, Carolina Aparecida Roque de; GERST, Kevin Robert; GIMENEZ, Igor Macieszka. Logística 4.0 e suas Aplicações na Indústria Agrícola. **Revista do Encontro de Gestão e Tecnologia**, v. 1, n. 03, p. 41-47, 2024.

BARBOSA, Xênia de Castro. Breve introdução à história da Inteligência Artificial. **Jamaxi**, v. 4, n. 1, 2020.

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

BUSS, Ricardo Niehues; GOMES, Rafael Rotta; SALES, Márcia Barros; JÚNIOR, Claudelino Martins Dias. Relação entre Economia Circular (EC) e Logística Reversa (LR): uma revisão sistemática da literatura. In: **Seminários em Administração**, 25., 2022, São Paulo: Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuária da Universidade de São Paulo (FEA USP), 2022.

CABRAL FILHO, Djalma Alves. Logística 4.0: fundamentos e importancia: Logistics 4.0: fundamentals and importance. **Brazilian Journal of Business**, v. 5, n. 3, p. 1808-1820, 2023.

CARVALHO, André CARLOS Ponce de Leon Ferreira de. Inteligência Artificial: riscos, benefícios e uso responsável. **Estudos Avançados**, v. 35, p. 21-36, 2021.

CARVALHO, José Mexia Crespo de; CARDOSO, Eduardo Gomes. **Logística**. Sílabo, 2002.

CAVALCANTI, Heloiza da Silva; GOMES, Jeycielle da Silva Oliveira; LOPES, Kathleen Karoline Jonson; SOUZA, Nivaldo Alexandre de; CAMPELLO, Mauro. **Uma breve análise sobre a evolução da logística**. In: **Logística: Contribuições para melhorias na produção e nos resultados**. Editora Científica Digital, 2021. p. 64-81.

CHIEN, Chen-Fu; DAUZÈRE-PÉRÈS, Stéphane; HUH, Woonghee Tim; JANG, Young Jae; MORRISON, James R.. Artificial intelligence in manufacturing and logistics systems: algorithms, applications, and case studies. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 9, p. 2730-2731, 2020.

CHUNG, Sai-Ho. Applications of smart technologies in logistics and transport: A review. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 153, p. 102455, 2021.

ĆIROVIĆ, Goran; PAMUČAR, Dragan; BOŽANIĆ, Darko. Green logistic vehicle routing problem: Routing light delivery vehicles in urban areas using a neuro-fuzzy model. **Expert Systems with Applications**, v. 41, n. 9, p. 4245-4258, 2014.

COSTA, R. R. **Logística Digital**. São Paulo. SENAC.17/07/2023. disponível em: https://books.google.com.br/books?id=1LbLEAAAQBAJ&newbks=0&printsec=frontcover&pg=PT19&dq=%22tecnologias+na+log%C3%ADstica%22&hl=ptBR&redir_esc=y#v=onepage&q=%22tecnologias%20na%20log%C3%ADstica%22&f=false> Acesso em 25 maio 2024.

DRESCH, Aline, LACERDA, Daniel Pacheco; PROENÇA, Adriano; JÚNIOR, José Antonio Valle Antunes. **Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Porto Alegre: Bookman, 2015.

FACELI, Katti; LORENA, Ana Carolina; GAMA, João; ALMEIRDA, Tiago Agostinho de; CARVALHO, André CARLOS Ponce de Leon Ferreira de. **Inteligência artificial: uma abordagem de aprendizado de máquina**. 2021.

FIGUEIREDO, Joel André Vieira de. **A inteligência artificial e os sistemas enterprise resource planning**. 2022. Tese de Doutorado.

HAN, Hui; TRIMI, Silvana. A fuzzy TOPSIS method for performance evaluation of reverse logistics in social commerce platforms. **Expert systems with applications**, v. 103, p. 133-145, 2018.

HASAN, Md Mahmudul et al. Resilient supplier selection in logistics 4.0 with heterogeneous information. **Expert systems with applications**, v. 139, p. 112799, 2020.

HOFMANN, Erik; STERNBERG, Henrik; CHEN, Haozhe; PFLAUM, Alexander. Supply chain management and Industry 4.0: conducting research in the digital age. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 49, n. 10, p. 945-955, 2019.

JAGTAP, Sandeep; BADER, Farah; GARCIA-GARCIA, Guilherme; TROLLMAN, Hana; FADIJI, Tobi; SALONITIS, Konstantinos. Food logistics 4.0: Opportunities and challenges. **Logistics**, v. 5, n. 1, p. 2, 2020.

KAPLAN, Andreas; HAENLEIN, Michael. **Siri, Siri, in my hand: Who's the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence**. *Business horizons*, v. 62, n. 1, p. 15-25, 2019.

KOH, Lenny; DOLGUI, Alexandre; SARKIS, Joseph. Blockchain in transport and logistics—paradigms and transitions. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 7, p. 2054-2062, 2020.

LEITE, Paulo Roberto. **Logística reversa: meio ambiente e competitividade**. 2. Ed. São Paulo: Pearson, 2009.

MISHRA, Arunodaya Raj; RANI, Pratibha; PANDEY, Kiran. Fermatean fuzzy CRITIC-EDAS approach for the selection of sustainable third-party reverse logistics providers using improved generalized score function. **Journal of ambient intelligence and humanized computing**, p. 1-17, 2022.

MODGIL, Sachin; GUPTA, Shivam; STEKELORUM, Rébecca; LAGUIR, Issam. AI technologies and their impact on supply chain resilience during COVID-19. **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 52, n. 2, p. 130-149, 2022.

MODGIL, Sachin; SINGH, Rohit Kumar; HANNIBAL, Claire. Artificial intelligence for supply chain resilience: learning from Covid-19. **The International Journal of Logistics Management**, v. 33, n. 4, p. 1246-1268, 2022.

NGAI, E.; PENG, S.; ALEXANDER, Paul; MOO, K. Decision support and intelligent systems in the textile and apparel supply chain: An academic review of research articles. **Expert Systems with Applications**, v. 41, n. 1, p. 81-91, 2014.

NILSSON, Nils J. Principles of artificial intelligence. Morgan Kaufmann, 2014.

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; DE RESENDE, L. M. M. Avanços na composição da Methodi Ordinatio para revisão sistemática de literatura. **Ciência da Informação**, Brasília, DF, v.46 n.2, p.161-187, maio/ago. 2017

PAGANI, R. N.; KOVALESKI, J. L.; RESENDE, L. M. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, n. 3, p. 2109-2135, 2015.

PAMUČAR, Dragan; ČIROVIĆ, Goran. The selection of transport and handling resources in logistics centers using Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC). **Expert systems with applications**, v. 42, n. 6, p. 3016-3028, 2015.

RUSE, S.J. and NORVIG, P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. **Pearson Education Limited**, Malaysia. 2016.

RUSSEL, Stuart; NORVIG, Peter. **Inteligência Artificial**. São Paulo: LTC, 2013.

SENTHIL, S.; SRIRANGACHARYULU, B.; RAMESH, Anbanandam. A robust hybrid multi-criteria decision making methodology for contractor evaluation and selection in third-party reverse logistics. **Expert Systems with Applications**, v. 41, n. 1, p. 50-58, 2014.

SIMCHI-LEVI, David; TRICHAKIS, Nikolaos; ZHANG, Peter Yun. Projetando cadeia de suprimentos de resposta contra bioataques. **Operations Research** , v. 67, n. 5, p. 1246-1268, 2019.

SOUSA, L. M. M.; FIRMINO, C. F.; MARQUES-VIEIRA, C. M. A.; SEVERINO, S. S. P; PESTANA, H. C. F. C. Revisões da literatura Científica: Tipos, Métodos e Aplicações em Enfermagem. **Revista Portuguesa de Enfermagem e Reabilitação**. v. 1, n. 1, 2018, 46-55.

SUMAN, Sabrina; POGARCIC, Ivan. Development of ERP and other large business systems in the context of new trends and technologies. **Vallis Aurea**, v. 3, n. 2, p. 79-92, 2017.

TANG, Christopher S.; VEELNTURF, Lucas P. O papel estratégico da logística na era da indústria 4.0. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, v. 129, p. 1-11, 2019.

ZOUARI, Dorsaf; RUEL, Salomé; VIALE, Laurence. Does digitalising the supply chain contribute to its resilience? **International Journal of Physical Distribution & Logistics Management**, v. 51, n. 2, p. 149-180, 2021.

YIN, R.K. **Estudo de caso**. Planejamento e métodos. 5ed. Porto Alegre (RS): Bookman.2015.