

UNIVERSIDADE NOVE DE JULHO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO - PPGA

ADRIANA DE CASTRO PIRES

**ADOÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA CADEIA DE
SUPRIMENTOS SOB A ÓTICA DA INOVAÇÃO ABERTA**

São Paulo
2025

Adriana de Castro Pires

**ADOÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA CADEIA DE
SUPRIMENTOS SOB A ÓTICA DA INOVAÇÃO ABERTA**

**THE ADOPTION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE SUPPLY CHAIN
FROM THE PERSPECTIVE OF OPEN INNOVATION**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Administração da Universidade Nove de Julho –
UNINOVE, como requisito parcial para obtenção do
grau de **Doutora em Administração**.

Prof^a. Dr^a. Cláudia Cirani – Orientadora

Prof^a. Dr^a. Priscila Rezende da Costa – Coorientadora

São Paulo

2025

**ADOÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA CADEIA DE
SUPRIMENTOS SOB A ÓTICA DA INOVAÇÃO ABERTA**

POR

ADRIANA DE CASTRO PIRES

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Administração - PPGA da Universidade Nove de Julho – UNINOVE, em cumprimento às exigências do programa de Pós-graduação em Administração para obtenção do título de Doutora em Administração, sendo a banca examinadora formada por:

Prof^ª. Dr^ª. Claudia Brito Silva Cirani - UNINOVE

Prof.^a Dr^a. Priscila Rezende da Costa – UNINOVE

Profa Dra Cristiane Drebes Pedron - UNINOVE

Prof. Dr. Benny Kramer Costa - UNINOVE

Prof. Dr. Flavio Santino Bizarria - ESPM

Prof. Dr. Mauro Luiz Martens - UNIP

São Paulo

2025

RESUMO

A adoção da inteligência artificial na cadeia de suprimentos é uma realidade que pode impulsionar a transformação das atividades ao longo da cadeia logística, gerando desafios eminentes para as empresas, como a integração de tecnologias avançadas e a gestão de parcerias, de modo a equilibrar a inovação aberta com a proteção de ativos estratégicos. Por sua vez, a literatura recente traz insights do que acontece individualmente nas empresas, mas pouca orientação sobre como as empresas se apropriam da adoção da inteligência artificial ao longo da cadeia de suprimentos. Diante desse contexto, nesta tese, o objetivo geral é analisar como ocorre a adoção da inteligência artificial ao longo da cadeia de suprimentos sob a ótica da inovação aberta. Para tal, foram organizados quatro estudos interdependentes, cujos resultados avançam no aprendizado sobre o tema proposto. No primeiro estudo, foi conduzida uma revisão sistemática de literatura, cujo principal resultado é a compreensão da visão multifacetada da Inteligência Artificial. No segundo estudo, uma análise cientométrica na base de patentes, foi investigado o esforço de inovação das organizações responsáveis por projetos de pesquisa e desenvolvimento relacionados à adoção de inteligência artificial na cadeia de suprimentos, cujo resultado trouxe à tona que a cooperação tecnológica está positivamente relacionada aos esforços em P&D-IA-CS, e que quanto maior a influência da tecnologia no domínio e a importância estratégica da tecnologia, maior é o esforço de inovação das organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS. A continuidade do trabalho se deu nos estudos 3, uma pesquisa científica de método misto, cujo objetivo foi a construção de um modelo processual sobre a adoção da IA na cadeia de suprimentos internacional, e estudo 4 com a construção de um artefato do tipo método, com a instanciação parcial feita através de uma plataforma aberta com adoção da IA, sob o paradigma da *Design Science Research*.

Palavras-chaves: Adoção da Inteligência Artificial; Cadeia de Suprimentos Internacional; Inovação aberta; Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento; Plataformas inteligentes; Ecossistemas Digitais.

ABSTRACT

The adoption of artificial intelligence (AI) in the supply chain has become a critical factor in transforming logistics operations, posing significant challenges for companies. These include the integration of advanced technologies and the management of partnerships to balance open innovation with the protection of strategic assets. Although recent literature provides insights into how individual firms are adopting AI, there remains limited guidance on how AI is appropriated across the supply chain. In this context, the main objective of this thesis is to investigate the adoption of artificial intelligence in the supply chain from the perspective of open innovation. To achieve this, four interdependent studies were conducted. The first study comprises a systematic literature review, aiming to consolidate the knowledge base on AI and supply chains under the lens of open innovation. The second study involves patent-based research to examine the determinants of innovation effort among organizations engaged in R&D projects related to AI adoption in the supply chain. Drawing on the findings of the first two studies, the third is an empirical investigation conducted in Southern Brazil, analyzing international supply chains and the AI solutions they have adopted within an open innovation framework. Finally, the theoretical foundations supported the development of an artifact, an open management platform for international supply chains, using the Design Science Research (DSR) method.

Keywords: Adoption of Artificial Intelligence; International Supply Chain; Open Innovation; Research and Development Projects; Smart platform; Digital Ecosystems.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Matriz Metodológica de Amarração

Tabela 2. Métricas de ARS da Rede de Atores

Tabela 3. Categorização considerando as lentes teóricas dos artigos (2010 – 2023)

Tabela 4. Categorização considerando os métodos dos artigos

Tabela 5. Categorização considerando os tipos de impacto dos artigos

Tabela 6. Processo caleidoscópico de apropriação dos impactos da IA

Tabela 7. Distribuição das patentes e suas especificidades

Tabela 8. Distribuição percentual de patentes entre os países (2003 – 2022)

Tabela 9. Distribuição percentual de patentes entre as 10 primeiras organizações titulares

Tabela 10. Testes para esforço de inovação 1

Tabela 11. Testes para esforço de inovação 2

Tabela 12. Associação entre os grandes desafios da cadeia de suprimentos internacional e as categorias de soluções de IA.

Tabela 13. Métricas de ARS da rede de conexões entre os grandes desafios da cadeia de suprimentos internacional e as categorias de soluções de IA.

Tabela 14. Tabela-síntese do modelo processual de adoção de ia em cadeias de suprimento no sul global.

Tabela 15. Matriz de Conclusão

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Rede de autores dos 66 artigos publicados

Figura 2. Evolução histórica das patentes com e sem cooperação tecnológica de titulares

Figura 3. Evolução histórica das patentes com e sem cooperação tecnológica de inventores

Figura 4. Análise de similitude das organizações titulares das patentes

Figura 5. Rede de conexões entre os grandes desafios da cadeia de suprimentos internacional e as categorias de soluções de IA.

Figura 6. DSRM Process Model

Figura 7. Etapa inicial de um processo de importação

Figura 8. Etapa de manifesto de carga no sistema de Marinha Mercante

Figura 9. Fluxo de pagamento do processo

Figura 10. Plataforma de gestão – gestão de usuário

Figura 11. Plataforma de gestão – acesso aos processos

Figura 12. Plataforma de gestão – acesso à fatura de pagamento

Figura 13. Plataforma de gestão – acesso ao BL (desconsolidação automática)

Figura 14. Síntese de resultados observados na utilização da plataforma

Figura 15. Síntese de resultados – usuários

Figura 16. Síntese de resultados – desempenho da plataforma

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	PROBLEMA CENTRAL DE PESQUISA.....	11
<i>1.1.1</i>	<i>Questão Central de Pesquisa.....</i>	<i>12</i>
1.2	OBJETIVOS	13
<i>1.2.1</i>	<i>Geral.....</i>	<i>13</i>
<i>1.2.2</i>	<i>Específicos</i>	<i>13</i>
1.3	JUSTIFICATIVA	13
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	15
2	ESTUDO 1 - INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E CADEIA DE SUPRIMENTOS SOB A ÓTICA DA INOVAÇÃO ABERTA	20
2.1	INTRODUÇÃO	20
2.2	REFERENCIAL TEÓRICO	22
2.5	CONCLUSÕES E ESTUDOS FUTUROS	55
	REFERÊNCIAS	56
3	ESTUDO 2 - PROJETOS DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO RELACIONADOS À ADOÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA CADEIA DE SUPRIMENTOS.....	62
3.1	INTRODUÇÃO.....	62
3.2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	64
3.3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	70
3.4	RESULTADOS.....	72
3.5	DISCUSSÕES E CONCLUSÕES.....	79
	REFERÊNCIAS	80
4	ESTUDO 3 - SOLUÇÕES DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS INTERNACIONAIS NO SUL GLOBAL.....	86
4.1	INTRODUÇÃO.....	86
4.2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	89
4.3	MÉTODO.....	90
4.4	RESULTADOS.....	92
4.5	IMPLICAÇÕES TEÓRICAS.....	105
4.5	CONCLUSÃO.....	106
	REFERÊNCIAS.....	107

APÊNDICES.....	112
5 ESTUDO 4 – PLATAFORMA DE GESTÃO ABERTA PARA A CADEIA DE SUPRIMENTOS INTERNACIONAL MEDIANTE ADOÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL.....	131
5.1 INTRODUÇÃO.....	133
5.2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	135
5.3 MÉTODO.....	137
5.4 RESULTADOS	155
6. RESULTADOS.....	156
7. CONCLUSÃO.....	158
REFERÊNCIAS	162

1 INTRODUÇÃO

A adoção da inteligência artificial (IA) é um tema amplamente discutido na literatura de gestão, especialmente sob a ótica da inovação aberta, por ter relevante esforço colaborativo como elemento impulsionador desta tecnologia (Costa & Pires, 2024). A IA permite a automação e otimização de processos, impactando desde o planejamento até a distribuição de produtos (Kamble, Gunasekaran, & Dhoni, 2020). Estudos recentes apontam que empresas que implementam IA em suas cadeias de suprimentos conseguem obter vantagens competitivas, por meio da melhoria da eficiência operacional e da redução de custos (Wang, Gunasekaran, & Papadopoulos, 2020; Cichosz, Wallenburg, & Knemeyer, 2020; Ghadge, Kara, Moradlou, & Goswami, 2020). Além disso, a colaboração entre atores da cadeia é facilitada pela maior capacidade de análise e processamento de dados (Kamble, Gunasekaran, & Dhoni, 2020), o que é essencial para responder às crescentes demandas de mercado.

Sob a perspectiva da inovação aberta, a IA possibilita a integração de conhecimentos externos na cadeia de suprimentos, o que é fundamental para promover a inovação (Chesbrough, 2020). A inovação aberta envolve o uso de fluxos internos e externos de conhecimento, para acelerar o processo de inovação dentro das empresas (Chesbrough & Bogers, 2014). A IA facilita esse processo ao permitir a análise de grandes volumes de dados provenientes de diferentes fontes, criando oportunidades para a identificação de inovações em tempo real (Liu & Lee, 2019). Essa integração de dados melhora a tomada de decisão e a agilidade das empresas, permitindo respostas mais rápidas a mudanças no mercado (Hofmann & Rutschmann, 2018).

A adoção da IA na cadeia de suprimentos também promove novos modelos de negócios colaborativos (Cichosz et al., 2020). A IA, quando combinada com práticas de inovação aberta, facilita a cocriação de valor entre empresas e seus fornecedores, clientes e outros parceiros (Ghadge et al., 2020). Essa abordagem colaborativa permite que as empresas explorem novos mercados e desenvolvam soluções inovadoras para desafios logísticos e de abastecimento, utilizando *insights* compartilhados (Rai, Patnayakuni, & Seth, 2006). Esse tipo de interação intensifica o fluxo de ideias e inovação dentro da cadeia, aumentando a eficiência coletiva (Dodgson, Gann, & Salter, 2006).

Outro aspecto relevante da adoção de IA na cadeia de suprimentos sob a ótica da inovação aberta é a criação de ecossistemas digitais (Birkel & Hartmann, 2020). A IA facilita a formação de redes interconectadas, nas quais dados e inovações são compartilhados de

maneira fluida entre os participantes (Alicke, Rexhausen, & Seyfert, 2020). Essa conectividade é essencial para o sucesso da inovação aberta, pois permite o desenvolvimento de soluções conjuntas e a mitigação de riscos (Cichosz et al., 2020). Ecossistemas digitais impulsionados por IA possibilitam a criação de plataformas de inovação, em que diferentes atores podem colaborar para resolver problemas complexos de forma mais eficaz (Gawer & Cusumano, 2014).

A IA têm o potencial de transformar a gestão de riscos na cadeia de suprimentos. A combinação de IA com práticas de inovação aberta em um ecossistema global, melhora a capacidade das empresas de preverem e gerenciarem riscos de maneira mais proativa (Baryannis, Dani, & Antoniou, 2019). A IA permite a análise preditiva de possíveis disrupções, enquanto a inovação aberta facilita a troca de informações entre parceiros (Jabbour, de Sousa Jabbour, Sarkis, & Govindan, 2020). Juntos, esses elementos ajudam as empresas a identificarem potenciais disrupções com antecedência e a criarem estratégias colaborativas para lidar com elas, resultando em cadeias de suprimentos mais resilientes e adaptáveis (Ivanov & Dolgui, 2020).

Considerando a inteligência artificial como um tema relevante, cuja discussão sobre seus impactos chegam aos mais diversos setores e camadas entre as organizações, chegamos ao questionamento sobre a sobrevivência de empresas diante da pressão do uso dessa tecnologia (Ivanov & Dolgui, 2020). Para responder a esta questão, a análise de um setor sob a lente da Ecologia organizacional (Morgan e Freeman, 1977 e 1984) se mostra adequada. O maior aprendizado é adquirido quando usamos a base teórica construída ao longo de três estudos e a aplicação prática na construção de um artefato tipo método, instanciado em uma plataforma aberta de gestão da cadeia de suprimentos internacional sob a ótica da inovação aberta.

Este trabalho responde a um relevante questionamento setorial, a cadeia de suprimentos internacional, com três estudos interdependentes e a aplicação prática no estudo quatro, sob o paradigma do *Design Science Research* (Hevner et al, 2004).

1.1 PROBLEMA CENTRAL DE PESQUISA

As questões relacionadas a eficiência da cadeia de suprimentos são frequentemente abordadas entre acadêmicos e organizações, tornando-se mais expressivas após a pandemia de COVID-19 (XXXX). Para analisar este fenômeno, um caminho é buscar a sistematização do conhecimento sobre a relação entre inteligência artificial (IA) e cadeias de suprimentos sob a ótica da inovação aberta, que embora apresente consideráveis desafios, se torna importante para

sua compreensão. Embora a IA seja amplamente aplicada para otimizar processos logísticos e melhorar a eficiência operacional (Kamble et al., 2020; Wang et al., 2020; Ghadge et al., 2020), a integração de conhecimentos externos, característica central da inovação aberta (Chesbrough, 2020), ainda constitui um campo em desenvolvimento. A ausência de frameworks consolidados que combinem a IA com práticas colaborativas em cadeias de suprimentos limita a exploração das sinergias potenciais entre essas áreas (Kamble et al., 2020; Chesbrough, 2020). Assim, a literatura carece de uma estrutura clara que organize e sistematize o conhecimento existente, permitindo um avanço mais coordenado no entendimento dessa interseção.

Em continuidade a esse desafio, a identificação dos determinantes do esforço de inovação das organizações que desenvolvem projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) para a adoção de IA na cadeia de suprimentos também enfrenta lacunas significativas. A literatura sugere que fatores como infraestrutura tecnológica, capacitação da força de trabalho e políticas organizacionais de incentivo à inovação são essenciais para o sucesso dessas iniciativas (Ghadge et al., 2020). Entretanto, a interação complexa entre tais fatores e os diferentes atores envolvidos — como universidades, empresas e governos — ainda é pouco compreendida (Perkmann, Nelly & Walsh, 2013), dificultando a formulação de estratégias eficazes para fomentar inovações colaborativas no contexto da inovação aberta.

Por fim, ao se apropriar do conhecimento do estado da arte e da técnica, permanece a necessidade de compreender como a adoção da inteligência artificial se manifesta ao longo dos diferentes elos das cadeias de suprimentos, que se tornam ainda mais desafiadores quando incluímos atores externos, sendo relevante e desafiador a análise das soluções adotadas por empresas globais. Uma pesquisa em métodos mistos que construa um modelo processual, se torna necessária à medida que se aplica um conhecimento científico e técnico à realidade das empresas, em um setor específico da cadeia de suprimentos internacional.

Dando ainda mais destaque para este tema, com um modelo que analisa as soluções encontradas de adoção da Inteligência Artificial sob a ótica da inovação aberta, é importante seguir para uma aplicação prática de um artefato tipo método, instanciando-o em uma plataforma aberta e inteligente, sob o paradigma do *Design Science Research*.

1.1.1 Questão Central de Pesquisa

Como ocorre a adoção da inteligência artificial ao longo da cadeia de suprimentos internacionais sob a ótica da inovação aberta?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Geral

Investigar como a adoção da inteligência artificial ocorre ao longo da cadeia de suprimentos sob a ótica da inovação aberta.

1.2.2 Específicos

- a) Sistematizar a base de conhecimento sobre a inteligência artificial e a cadeia de suprimentos sob a ótica da inovação aberta.
- b) Investigar os determinantes do esforço de inovação das organizações responsáveis por projetos de pesquisa e desenvolvimento, relacionados à adoção de inteligência artificial na cadeia de suprimentos.
- c) Investigar as soluções de inteligência artificial ao longo da cadeia de suprimentos internacional.
- d) Construir um artefato do tipo método.
- e) Instanciar parcialmente o artefato em uma Plataforma Aberta de Gestão da Cadeia de Suprimentos Internacional com a adoção da Inteligência Artificial.

1.3 JUSTIFICATIVA

A sistematização da base de conhecimento sobre inteligência artificial e cadeias de suprimentos sob a ótica da inovação aberta, foco do primeiro estudo desta tese, é essencial para enfrentar os desafios contemporâneos das redes globais de fornecimento. A combinação de inteligência artificial com práticas de inovação aberta permite que empresas e instituições compartilhem e desenvolvam soluções de forma colaborativa, acelerando a inovação e reduzindo ineficiências na cadeia de suprimentos. A relevância dessa sistematização reside na necessidade de consolidar práticas, teorias e resultados empíricos dispersos, proporcionando uma base sólida para a tomada de decisão e o desenvolvimento de novas tecnologias. Além disso, ao integrar o conhecimento de diferentes *stakeholders* — como fornecedores, clientes, *startups* e institutos de pesquisa —, a sistematização facilita a criação de ecossistemas de inovação que promovem a agilidade e a resiliência das cadeias de suprimentos em um ambiente de mudanças constantes. Ao fortalecer o fluxo de informações e fomentar a colaboração, a sistematização amplia a capacidade das empresas de adotarem inovações disruptivas e implementarem soluções mais sustentáveis e competitivas, em consonância com os princípios

da inovação aberta (Chesbrough, 2003). Dessa forma, sistematizar esse conhecimento é vital para alinhar os avanços tecnológicos com as demandas globais de eficiência, sustentabilidade e inovação.

Investigar os determinantes do esforço de inovação das organizações responsáveis por projetos de pesquisa e desenvolvimento relacionados à adoção de inteligência artificial na cadeia de suprimentos, foco do segundo estudo desta tese, é relevante tanto do ponto de vista teórico quanto prático. Teoricamente, essa investigação contribui para preencher lacunas na literatura sobre inovação tecnológica e cadeias de suprimentos, explorando como a inteligência artificial transforma processos logísticos e operacionais. Recentemente, estudos como o de Wamba, Dubey, Gunasekaran e Akter (2021) têm mostrado que a inteligência artificial e as tecnologias emergentes desempenham um papel crucial na otimização da cadeia de suprimentos, promovendo maior eficiência e resiliência. Na prática, essa análise permite que gestores identifiquem os principais impulsionadores da inovação, ajudando as organizações a implementarem estratégias eficazes, para aumentarem a competitividade em um ambiente global. Ao investigar esses determinantes, é possível alinhar avanços tecnológicos à prática organizacional, promovendo agilidade.

A justificativa teórica para a realização do terceiro estudo desta pesquisa — que investiga soluções de inteligência artificial (IA) adotadas por empresas ao longo da cadeia de suprimentos internacional sob a ótica da inovação aberta — fundamenta-se em um conjunto articulado de teorias. A Teoria dos Custos de Transação (Williamson, 1985) indica que a automação, potencializada pela IA, pode reduzir barreiras e custos associados às transações internacionais. A Teoria dos Recursos e Capacidades (Barney, 1991) posiciona a IA como um recurso estratégico de difícil imitação, capaz de sustentar vantagens competitivas. A Teoria da Inovação Aberta (Chesbrough, 2003) ressalta que a adoção de tecnologias integrativas depende de fluxos de conhecimento, colaboração e cocriação entre múltiplos atores econômicos. A Teoria da Ecologia Organizacional (Hannan & Freeman, 1977; 1989) amplia essa compreensão ao explicar como organizações, inseridas em ambientes institucionais complexos, passam por processos de variação, seleção e retenção tecnológica, sendo a legitimação das inovações um fator crítico para sua consolidação. Adicionalmente, estudos recentes (Vendrell-Herrero, Bustinza & Opazo-Basáez, 2021) discutem como a inovação digital contribui para a resiliência das cadeias de suprimentos, e a Teoria dos Sistemas Complexos (Simon, 1962), complementada por abordagens contemporâneas (Choi, Wallace & Wang, 2019), evidencia que tecnologias emergentes, como a IA, otimizam a coordenação e a adaptabilidade em redes globais complexas.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

A Matriz Metodológica de Amarração (MMA) (Costa et al., 2024), apresentada a seguir, detalha a estrutura desta tese. A Tabela 1 ilustra a matriz de amarração desta tese e expõe como está organizada em três estudos principais, que formam a base da tese, abordando diferentes dimensões da interação entre IA, cadeias de suprimentos e inovação aberta. Cada estudo inclui uma descrição da questão de pesquisa, o objetivo geral, o método de estudo, a coleta de dados e as técnicas de análise, além do *status* de divulgação.

O primeiro estudo, intitulado "Inteligência Artificial e Cadeia de Suprimentos sob a Ótica da Inovação Aberta", tem como objetivo sistematizar a base de conhecimento existente sobre o tema. A questão de pesquisa busca entender como a inteligência artificial e a inovação aberta interagem no contexto das cadeias de suprimentos. Esse estudo utiliza uma revisão sistemática da literatura, com coleta de dados feita em bases acadêmicas, como Web of Science e Scopus. A análise dos dados é realizada com o apoio de *softwares*, como Iramuteq e Vosviewer, e o estudo foi apresentado no SINGEP 2023, sendo selecionado para o *fast track* RAM – Revista de Administração da Mackenzie.

O segundo estudo, denominado "Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento Relacionados à Adoção da Inteligência Artificial na Cadeia de Suprimentos", foca nos determinantes do esforço de inovação das organizações que conduzem projetos de P&D. A metodologia envolve uma pesquisa baseada em patentes, com coleta de dados realizada a partir de bases de patentes. A análise é feita por meio de ferramentas, como o Iramuteq e SPSS, que auxiliam na identificação de padrões e *insights* relevantes sobre a inovação nas cadeias de suprimentos. Esse segundo estudo já foi publicado na Revista GeP.

O terceiro estudo, a partir de uma abordagem de métodos mistos, analisou 168 projetos PIPE, entrevistas com 35 especialistas e validação com 45 respondentes, revelando 12 categorias analíticas de soluções tecnológicas e cinco desafios críticos enfrentados por essas cadeias. Ele contribui ao articular tecnologia, contexto e governança, propondo caminhos para a superação de desigualdades estruturais nas cadeias de suprimentos do Sul Global.

O quarto estudo, intitulado "Plataforma de Gestão Aberta da Cadeia de Suprimentos Internacional Mediante Adoção da Inteligência Artificial", explora o desenvolvimento de uma plataforma de gestão que utiliza IA para facilitar as transações entre parceiros da cadeia de suprimentos internacional. A abordagem metodológica adotada é o Design Science Research

(DSR), com coleta de dados primários por meio de entrevistas semi estruturadas em um estudo de caso.

Esses estudos se complementam e são interdependentes (Costa et al., 2024) na construção de um entendimento mais profundo sobre a adoção da IA na cadeia de suprimentos sob a ótica da inovação aberta.

Tabela 1.
Matriz Metodológica de Amarração (MMA)

TÍTULO DA TESE							
ADOÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA CADEIA DE SUPRIMENTOS SOB A ÓTICA DA INOVAÇÃO ABERTA							
QUESTÃO CENTRAL DE PESQUISA							
Como ocorre a adoção da inteligência artificial ao da cadeia de suprimentos internacional sob a ótica da inovação aberta?							
OBJETIVO GERAL							
Investigar a adoção da inteligência artificial na cadeia de suprimentos sob a ótica da inovação aberta.							
Justificativa de Distinção				Justificativa da Interdependência			Divulgação
Título dos estudos	Questão de Pesquisa	Objetivo Geral	Ordem do Estudo	Métodos do Estudo	Base de Coleta	Procedimentos de análise dos dados	Status da Publicação
Inteligência Artificial e Cadeia de Suprimentos sob a Ótica da Inovação Aberta	Como se caracteriza a base de conhecimento sobre inteligência artificial e cadeia de suprimentos sob a ótica da inovação aberta?	Sistematizar a base de conhecimento sobre a inteligência artificial e a cadeia de suprimentos sob a ótica da inovação aberta.	Primeiro Estudo	Revisão Sistemática da Literatura	Artigos (<i>Web o Science e Scopus</i>)	Sistematização da base de conhecimento com apoio do <i>Iramuteq</i> , <i>Vosviewer</i> e <i>Atlas ti</i> para análise das perspectivas metodológica e temática, bem como das relações teóricas.	Apresentado SINGEP 2023. Escolhido para <i>fast track</i> RAM – Revista Administração Mackenzie. Deve ser submetido à chamada especial “The Power of Generative AI in Shaping Green and Responsible Supply Chains” Revista Technological Forecasting and Social Change
Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento Relacionados à Adoção da Inteligência	Quais são os determinantes do esforço de inovação das organizações responsáveis por projetos de pesquisa e	Investigar os determinantes do esforço de inovação	Segundo Estudo	Pesquisa Baseada em Patentes	Dados secundários junto à base de batentes.	Análise de dados de patentes com apoio do <i>Iramuteq</i> e SPSS.	Publicado na Revista GeP

Artificial na Cadeia de Suprimentos	desenvolvimento relacionados à adoção de inteligência artificial na cadeia de suprimentos?	das organizações responsáveis por projetos de pesquisa e desenvolvimento relacionados à adoção de inteligência artificial na cadeia de suprimentos.					
Soluções de Inteligência Artificial em Cadeias de Suprimentos Internacionais no Sul Global	Como soluções de IA podem ser sistematizadas, relacionadas aos principais desafios logísticos e organizadas em um modelo processual que contribua para o fortalecimento das cadeias de suprimentos do Sul Global?	Propor um modelo processual de adoção de soluções de IA com base na ecologia organizacional, permitindo alinhar inovações tecnológicas às capacidades institucionais e contextuais dessas cadeias.	Terceiro Estudo	<i>Método Misto (Fase qualitativa, quantitativa e Meta-Inferencial)</i>	Dados primários (entrevista com gestores da Cadeia de Suprimentos Internacional) e dados secundários (Projetos PIPE FAPESP – RSL e análise quantitativa)	Codificação dos dados obtidos nas entrevistas e projetos PIPE Fapesp, com análise das evidências com apoio do Atlas Ti, Gephi.	A ser definido
Plataforma Aberta de Gestão para a Cadeia de Suprimentos Internacional Mediante Adoção da Inteligência Artificial	Como desenvolver uma plataforma de gestão aberta para a cadeia de suprimentos internacional mediante adoção da inteligência artificial?	Desenvolver uma plataforma de gestão aberta para a cadeia de suprimentos internacional mediante adoção da inteligência artificial.	Quarto Estudo	<i>Design Science Research (DSR)</i>	Dados primários (documentos e, entrevistas com gestores e programadores que atuam com inteligência artificial e cadeia de suprimentos internacional.	Codificação e análise das evidências com apoio do Atlas Ti.	A ser definido

Fonte: adaptada de Costa et al. (2024).

2 ESTUDO 1 - INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E CADEIA DE SUPRIMENTOS SOB A ÓTICA DA INOVAÇÃO ABERTA

Resumo: A interação entre inteligência artificial e inovação aberta, especialmente no campo da cadeia de suprimentos, oferece novas possibilidades para inovação e eficiência, mas carece de uma base de conhecimento estruturada, que oriente tanto a prática empresarial quanto o avanço acadêmico. Sendo assim, o objetivo geral é sistematizar a base de conhecimento sobre a inteligência artificial e a cadeia de suprimentos sob a ótica da inovação aberta. Para tal, realizou-se uma Revisão Sistemática da Literatura com 66 artigos coletados nas bases Web of Science e Scopus. Na análise dos dados, aplicou-se a técnica de Síntese de Pesquisa, com o apoio dos *softwares* Start e Atlas ti.; além disso, analisaram-se as métricas de Análise de Redes Sociais, usando o Gephi. O estudo oferece contribuições teóricas inéditas ao integrar inteligência artificial e inovação aberta nas cadeias de suprimentos, apresentando novas categorizações teóricas, metodológicas e de estudos futuros. A Análise de Redes Sociais revela um padrão colaborativo significativo, reforçando a importância da cooperação para o avanço do campo. A contribuição mais inovadora do estudo é a propositura de um novo processo de apropriação do impacto da inteligência artificial nas cadeias de suprimentos, que é descrito como um processo caleidoscópico, no qual as interações dinâmicas e contínuas entre os atores da cadeia geram novas formas de colaboração e inovação, que se adaptam e se transformam ao longo do tempo. Esse processo propõe uma visão não linear da apropriação dos impactos, permitindo cocriações sustentáveis, que respondem de forma mais eficaz às demandas de inovação nas cadeias globais.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Cadeia de Suprimentos; Inovação Aberta; Revisão Sistemática da Literatura.

2.1 INTRODUÇÃO

A inteligência artificial (IA) tem ganhado crescente relevância na literatura de gestão, especialmente no contexto da cadeia de suprimentos. A IA é aplicada para otimizar processos logísticos, prever demandas e melhorar a eficiência operacional (Wang, Gunasekaran, & Papadopoulos, 2020). No entanto, o potencial da IA pode ser ampliado quando analisado sob a perspectiva da inovação aberta, que promove a colaboração entre diferentes atores para o compartilhamento de conhecimento e a cocriação de soluções (Chesbrough, 2020). A interação

entre IA e inovação aberta, especialmente no campo da cadeia de suprimentos, oferece novas possibilidades para inovação e eficiência, mas carece de uma base de conhecimento bem sistematizada, que oriente tanto a prática empresarial quanto o avanço acadêmico.

Apesar dos avanços na adoção da IA em cadeias de suprimentos, a literatura aponta lacunas teóricas significativas. Faltam estudos que integrem as abordagens de IA e inovação aberta de forma sistemática (Kamble, Gunasekaran, & Dhone, 2020; Wang et al., 2020; Ghadge, Kara, Moradlou, & Goswami, 2020). A maioria das pesquisas foca em aspectos isolados, como a automação de processos e a previsão de demanda, sem considerar como o compartilhamento de conhecimento externo, característico da inovação aberta, pode influenciar a adoção e os resultados da IA em cadeias de suprimentos (Ghadge et al., 2020). Do ponto de vista prático, as empresas enfrentam dificuldades em estabelecer parcerias colaborativas eficazes, devido à falta de *frameworks* que orientem a integração de IA e inovação aberta (Dodgson, Gann, & Salter, 2006). Assim, há uma lacuna na sistematização dessa base de conhecimento, que limita tanto o avanço teórico quanto as práticas empresariais.

Diante dessas lacunas, propõe-se a seguinte questão de pesquisa: Como se caracteriza a base de conhecimento sobre inteligência artificial e cadeia de suprimentos sob a ótica da inovação aberta? Essa questão busca explorar as interações entre os conceitos de IA e inovação aberta e identificar como esses dois campos podem ser integrados de maneira a gerar novos conhecimentos e práticas dentro da cadeia de suprimentos. Sendo assim, o objetivo geral é sistematizar a base de conhecimento sobre a inteligência artificial e a cadeia de suprimentos sob a ótica da inovação aberta.

Este estudo apresenta contribuições teóricas inéditas, ao propor uma integração original entre IA e inovação aberta no contexto das cadeias de suprimentos. A principal inovação está na proposição de novas categorias analíticas que revelam como a IA, ao ser utilizada de maneira colaborativa, amplia as fronteiras da inovação nas cadeias globais. Os achados sobre a rede de autores, obtidos por meio de análise de redes sociais, revelam um padrão colaborativo intenso, com autores centrais atuando como intermediários, conectando subgrupos de pesquisa. Essa rede de coautoria demonstra como a colaboração internacional é essencial para a evolução do campo. Além disso, a categorização inédita das lentes teóricas identifica três grandes áreas de foco: inovação e colaboração estratégica, transformação digital e tecnologias emergentes, e governança e sustentabilidade organizacional. Essa categorização traz uma nova perspectiva, ao destacar como a IA, ao se integrar com práticas de inovação aberta, contribui para o avanço da literatura em direção a uma maior incorporação de práticas sustentáveis e de inovação colaborativa.

A principal contribuição teórica deste estudo reside na propositura de um novo processo de apropriação do impacto da IA nas cadeias de suprimentos, que é descrito como um processo caleidoscópico. Esse conceito propõe que a apropriação dos impactos da IA, em combinação com a inovação aberta, ocorre por meio de interações contínuas e dinâmicas entre os diversos atores da cadeia. Esse processo não segue uma linearidade, mas sim um movimento constante de recombinação de elementos, gerando novas formas de colaboração e inovação ao longo do tempo. Esta pesquisa inova ao sugerir que, em cada iteração, novas configurações emergem, permitindo que empresas e *stakeholders* cocriem soluções adaptativas e sustentáveis, em consonância com os objetivos de desenvolvimento sustentável. O avanço metodológico proposto inclui o desenvolvimento de *frameworks* analíticos inéditos, que permitem mapear essas interações colaborativas e os impactos resultantes. Além disso, as contribuições práticas reforçam a aplicabilidade dessa nova abordagem para otimizar operações logísticas, fortalecer a resiliência das cadeias de suprimentos e promover inovações colaborativas sustentáveis.

2.2 REFERENCIAL TEÓRICO

A inteligência artificial (IA) tem desempenhado um papel cada vez mais relevante na gestão de cadeias de suprimentos, proporcionando soluções para otimizar processos e melhorar a eficiência operacional. A IA pode auxiliar na previsão de demandas, gerenciamento de inventários e tomada de decisões complexas (Wang et al., 2020). Em um cenário de globalização e digitalização, a cadeia de suprimentos precisa ser ágil e adaptável. A integração da IA em cadeias de suprimentos oferece ferramentas para coletar e analisar grandes volumes de dados, promovendo uma melhor visibilidade e controle sobre a cadeia, o que resulta em decisões mais eficientes (Ivanov & Dolgui, 2020). No entanto, para maximizar o potencial da IA, é crucial incorporar práticas de inovação aberta, que envolvem o uso de conhecimentos internos e externos para impulsionar a inovação (Chesbrough & Bogers, 2014).

A inovação aberta, como proposta por Chesbrough (2020), refere-se à colaboração entre diferentes organizações e atores para gerar novas ideias e desenvolver soluções inovadoras. No contexto das cadeias de suprimentos, a inovação aberta pode ser fundamental para promover a cocriação de valor e a melhoria contínua, especialmente quando combinada com tecnologias de IA. A IA pode facilitar o compartilhamento de informações entre os parceiros da cadeia, permitindo que as empresas se beneficiem de *insights* externos e internos para criarem soluções mais eficazes (Gawer & Cusumano, 2014). Essa abordagem permite que as empresas aproveitem o conhecimento distribuído e desenvolvam inovações de maneira mais colaborativa e ágil.

Estudos têm mostrado que a IA pode impulsionar práticas de inovação aberta, ao permitir o processamento eficiente de grandes volumes de dados e a automação de processos de tomada de decisão (Kamble et al., 2020). Um exemplo disso é o uso de algoritmos de aprendizado de máquina para prever demandas e otimizar o transporte de mercadorias em tempo real (Dubey, Gunasekaran, Childe, Bryde, Giannakis, Foropon, Hazen, 2020). Além disso, as tecnologias de IA podem integrar dados de diferentes fontes ao longo da cadeia de suprimentos, criando uma visão mais completa e precisa das operações. Essa integração de dados facilita a inovação ao proporcionar uma base mais sólida para o desenvolvimento de novas estratégias e processos (Büyükoçkan & Göçer, 2018).

A literatura também discute o conceito de plataformas de inovação, nas quais a IA desempenha um papel central, ao conectar diferentes participantes da cadeia de suprimentos e facilitar o compartilhamento de dados e conhecimento (Gawer & Cusumano, 2014). Essas plataformas, além de promoverem a inovação aberta, oferecem um ambiente propício para a cocriação de soluções inovadoras em conjunto com fornecedores, clientes e outros *stakeholders*. A IA, nesse contexto, não apenas automatiza processos, mas também possibilita o desenvolvimento de novas soluções por meio de *insights* gerados a partir de dados compartilhados (Ivanov & Dolgui, 2020). Essa abordagem contribui para a criação de cadeias de suprimentos mais ágeis e responsivas às mudanças do mercado.

No entanto, a integração da IA e da inovação aberta nas cadeias de suprimentos enfrenta desafios significativos, especialmente em termos de governança e compartilhamento de dados. A governança das cadeias de suprimentos digitais deve ser cuidadosamente projetada para garantir a segurança e a privacidade das informações trocadas entre os parceiros da cadeia (Hofmann & Rutschmann, 2018). A IA pode ajudar a mitigar esses desafios, ao fornecer soluções para a criação de contratos inteligentes, que garantem a segurança e a transparência nas transações entre os diferentes participantes da cadeia (Baryannis, Dani, & Antoniou, 2019). Dessa forma, a inovação aberta pode ser aplicada com mais segurança e eficiência, aproveitando os benefícios das tecnologias de IA.

Além disso, a IA e a inovação aberta também podem contribuir para a resiliência das cadeias de suprimentos. A capacidade da IA de analisar grandes volumes de dados em tempo real pode melhorar a identificação e a resposta a riscos, tornando a cadeia mais resistente a disrupções (Ivanov & Dolgui, 2020). Quando combinada com a inovação aberta, essa capacidade pode ser amplificada, permitindo que os parceiros da cadeia colaborem na criação de soluções para mitigar riscos e enfrentar desafios de maneira mais eficaz (Chesbrough, 2020).

Estudos empíricos sugerem que empresas que adotam essas práticas são mais capazes de responderem a crises e interrupções na cadeia de suprimentos (Dubey et al., 2020).

Outro aspecto importante é o impacto da IA e da inovação aberta na sustentabilidade das cadeias de suprimentos. As tecnologias de IA permitem uma gestão mais eficiente de recursos, ao passo que a inovação aberta incentiva a criação de soluções colaborativas para reduzir o impacto ambiental das operações (Büyükköçkan & Göçer, 2018). Essa combinação pode ser crucial para que as empresas alcancem metas de sustentabilidade, reduzindo desperdícios e aumentando a eficiência energética. A literatura aponta que o uso de IA para otimizar rotas logísticas e melhorar a gestão de inventários pode reduzir significativamente as emissões de carbono e o consumo de energia (Kamble et al., 2020).

Além de seu impacto direto na cadeia de suprimentos, a IA e a inovação aberta podem promover a digitalização de processos, criando novos modelos de negócios, que aumentam a competitividade das empresas (Wang et al., 2020). A digitalização permite a criação de novos canais de distribuição e modelos de atendimento ao cliente, integrando dados de várias fontes para fornecer produtos e serviços mais personalizados (Dubey et al., 2020). A inovação aberta, nesse contexto, facilita a colaboração entre as empresas e os novos entrantes no mercado, promovendo um ambiente de negócios mais dinâmico e inovador.

Finalmente, a literatura sugere que, para maximizar os benefícios da IA e da inovação aberta nas cadeias de suprimentos, é necessário desenvolver políticas e práticas que incentivem a adoção dessas tecnologias de forma colaborativa e sustentável (Chesbrough & Bogers, 2014). Isso envolve não apenas o desenvolvimento de capacidades tecnológicas, mas também a criação de uma cultura organizacional que valorize a inovação e o compartilhamento de conhecimento. Empresas que adotam uma abordagem colaborativa em sua cadeia de suprimentos tendem a ser mais inovadoras e competitivas no longo prazo, especialmente quando utilizam tecnologias de IA para promoverem a inovação aberta (Gawer & Cusumano, 2014).

2.3 MÉTODO

A Revisão Sistemática da Literatura (RSL) é a primeira etapa da ciência para se descobrir o estado da arte de algum fenômeno relevante, também identificando os *gaps* de pesquisa (Carrera-Rivera et al., 2022). Trata-se de uma abordagem qualitativa amplamente utilizada nas ciências médicas, que ganhou força nos estudos de ciências sociais aplicadas com a busca das evidências para produção de conhecimento (Kitchenham & Charters, 2007). Ela é o caminho para se apropriar do conhecimento científico sobre determinado assunto, tendo como ponto de partida uma questão específica, tópico ou área de interesse (Paul & Menzies, 2023).

Na operacionalização da Revisão Sistemática da Literatura (RSL), foi adotado o protocolo de Tranfield, Denyer e Smart (2003), seguindo uma série de atividades sequenciais. Primeiramente, definiu-se a questão de pesquisa, seguida pela seleção das bases de dados Web of Science (WOS) e Scopus, reconhecidas por indexarem as melhores publicações científicas na área de Ciências Sociais Aplicadas. Em seguida, foram estabelecidos os critérios de inclusão e exclusão, e refinada a *string* de busca, com o auxílio de especialistas. Após a elaboração da estratégia de busca, os artigos foram carregados no *software* Start para uma triagem preliminar. A análise dos artigos, juntamente com a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, foi conduzida antes de se carregarem os artigos selecionados no Atlas.ti para uma síntese de pesquisa.

A string de busca foi ajustada, utilizando operadores booleanos OR e AND, resultando na expressão: (((“OPEN INNOV*”) AND (“ARTIFICIAL INTELLIGENCE”)) OR ((“OPEN INNOV*”) AND (“SUPPLY CHAIN MANAGEMENT”)) AND (“SUPPLY CHAIN MANAGEMENT”))). Como critério de exclusão, foram considerados apenas artigos publicados ou aceitos em periódicos revisados por pares, excluindo-se trabalhos de conferências. A análise foi limitada a artigos da área de *Business and Management*, sem restrições temporais, para mapear a evolução do tema ao longo dos anos. Os artigos extraídos das bases WOS e Scopus até junho de 2024 foram exportados em formato Bibliexcel, carregados no programa Start.

Inicialmente, 82 artigos foram extraídos. O uso do programa Start permitiu a identificação de seis artigos duplicados, restando 76 para análise. Em seguida, foi realizada uma avaliação rigorosa dos resumos, resultados, discussões e conclusões, assegurando que os artigos remanescentes estavam alinhados ao objetivo da pesquisa. Após essa análise criteriosa, 10 artigos foram excluídos, resultando em uma amostra final de 66 artigos, garantindo a robustez e relevância da investigação subsequente.

A análise em profundidade dos 66 artigos foi baseada em uma Síntese de Pesquisa (SP) para mapear, descrever e estabelecer as conexões entre a adoção da inteligência artificial na cadeia de suprimentos e a apropriação dos seus impactos, utilizando classificações e inferências como ferramentas analíticas (Cooper et al., 2019; Beck & Ferasso, 2023). A replicabilidade da SP é garantida pelo uso de métodos sistemáticos de coleta, síntese e classificação da literatura, sendo recomendada quando se busca uma compreensão mais detalhada e aprofundada dos estudos existentes, permitindo uma interpretação mais refinada dos resultados (Cooper et al., 2019; Beck & Ferasso, 2023).

Adotou-se uma abordagem de SP por agregação, na qual os principais achados dos artigos analisados estão conectados ao fenômeno investigado, gerando uma síntese cumulativa

focada nas informações mais relevantes para o processo analisado (Heyvaert et al., 2013; Beck & Ferasso, 2023). Essa abordagem possibilitou a estruturação dos resultados em classificações. A literatura sintetizada revelou as conexões entre a adoção da inteligência artificial na cadeia de suprimentos e a apropriação dos seus impactos (Beck & Ferasso, 2023).

Cabe explicar que o processo de classificação da fase qualitativa foi operacionalizado a partir do uso do Atlas ti e envolveu o julgamento do pesquisador na criação de esquemas de codificação. As classificações são realizadas com base na variância das características observadas entre os resultados, que são agrupados em categorias predefinidas de acordo com suas semelhanças (Stock, 1994; Beck & Ferasso, 2023). Sendo assim, os artigos analisados ofereceram evidências para a categorização da “adoção da inteligência artificial na cadeia de suprimentos” e também para a categorização da “apropriação dos seus impactos”. Finalmente, as inferências geradas proporcionaram uma compreensão abrangente das análises qualitativas, consolidando as conexões teóricas entre o fenômeno diádico, especificamente a relação conceitual entre a “adoção da inteligência artificial na cadeia de suprimentos” e a “apropriação dos seus impactos”. Vale adicionar que a outras categorias complementares foram mapeadas e caracterizadas, tais como: lentes teóricas dos artigos analisados e métodos dos artigos analisados.

Foi também adotada a Análise de Redes Sociais (ARS) para examinar as relações de autoria. Para tal, utilizou-se o *software* Gephi versão 10.1, sendo os nós os autores e as arestas as relações de coautoria. A ARS é uma metodologia utilizada para estudar as relações e interações entre diferentes atores (indivíduos, organizações, grupos) em um sistema social. A ARS mapeia essas interações como uma rede composta por nós (os atores) e arestas (as conexões ou interações entre eles), e permite a identificação de padrões de relacionamento, coesão, influência, centralidade e subgrupos dentro da rede (Wasserman & Faust, 1994). A análise de redes sociais se baseia em técnicas quantitativas e qualitativas para estudar a estrutura dessas redes, possibilitando a visualização das interações e a interpretação de como essas dinâmicas impactam a disseminação de informações, comportamentos e inovação em diversos contextos (Borgatti, Mehra, Brass, & Labianca, 2009).

A ARS tem sido amplamente aplicada em áreas como sociologia, ciência política, administração e ciência da informação. Em administração, a ARS é utilizada para examinar a forma como as redes organizacionais influenciam a inovação, o compartilhamento de conhecimento e o desempenho organizacional (Uzzi, 1997). A capacidade de identificar atores centrais ou periféricos dentro de uma rede ajuda a compreender como informações fluem, como parcerias estratégicas são formadas e como barreiras ao compartilhamento de conhecimento podem ser superadas (Burt, 2005).

Foram calculadas e analisadas as seguintes métricas de ARS: (a) o Grau de Centralidade, que mede o número de conexões diretas que um nó possui na rede (Freeman, 1978); (b) a Centralidade de Intermediação, que indica a frequência com que um nó se encontra no caminho mais curto entre dois outros nós, evidenciando seu papel como intermediador no fluxo de informação (Freeman, 1977); (c) a Centralidade de Proximidade, a qual avalia a distância média de um nó em relação a todos os outros, medindo a rapidez com que pode alcançá-los (Bavelas, 1950); (d) a Centralidade de Autovetor, que calcula a influência de um nó, com base na importância dos nós aos quais está conectado (Bonacich, 1972); (e) os Componentes Conectados, os quais identificam subgrupos de nós interligados entre si, sem conexão com outros subgrupos, mapeando a coesão da rede (Harary, 1969); (f) a Detecção de Comunidades a qual localiza grupos de nós mais conectados entre si do que com o restante da rede, analisando sua estrutura modular (Girvan & Newman, 2002); (g) a Distância Média e Diâmetro, que medem, respectivamente, a distância média entre pares de nós e a maior distância mínima entre quaisquer dois nós, indicando a dispersão da rede (Watts & Strogatz, 1998); (h) a Análise de Redundância, que avalia a duplicação de conexões e a resiliência da rede (Burt, 1992); e (i) o Impacto Colaborativo vs. Isolado, que mede o grau de interação de um nó, indicando se atua de forma colaborativa ou isolada (Granovetter, 1973). Essas métricas fornecem uma análise detalhada da estrutura, influência, coesão e distribuição dos nós na rede, revelando elementos e conexões fundamentais para o fenômeno diádico estudado (Tukey, 1977; Nuzzo, 2016; Newman, 2018).

2.4 ANÁLISE DE RESULTADO

Entre 2010 e 2023, a produção acadêmica sobre inteligência artificial e cadeia de suprimentos no contexto da inovação aberta atingiu um total de 66 publicações, com um crescimento significativo a partir de 2020. Naquele ano, foram contabilizadas 12 publicações, seguidas por sete em 2021, 19 em 2022 e 11 em 2023. Antes desse período, o número de estudos era menor, com três publicações em 2017 e quatro em 2018. Esses dados indicam uma aceleração na produção acadêmica recente, sugerindo que a aplicação de IA (Lichtenthaler, 2020) nas cadeias de suprimentos, em combinação com práticas de inovação aberta (Boehmke & Hazen, 2017), tornou-se uma área de crescente relevância tanto para a academia quanto para o setor empresarial.

Dentre os periódicos com maior concentração de artigos sobre a temática de inteligência artificial (IA) e cadeia de suprimentos no contexto da inovação aberta, destacam-se o *Supply*

Chain Management: An International Journal, com cinco publicações, seguido por três periódicos com três publicações cada: *International Journal of Operations and Production Management*, *Benchmarking: An International Journal* e *European Journal of Innovation Management*. Outros periódicos relevantes incluem *Science, Technology & Society*, *Production and Operations Management*, *Technological Forecasting and Social Change*, e *IEEE Transactions on Engineering Management*, cada um com duas publicações. A lista também inclui uma diversidade de periódicos com uma publicação cada, como o *MIT Sloan Management Review*, *Business Horizons* e *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, demonstrando a natureza interdisciplinar e o crescente interesse por IA e inovação aberta no âmbito das cadeias de suprimentos (Pizzichini, Temperini, Caboni, & Papa, 2023). Essa distribuição sugere que o tema tem sido amplamente discutido em revistas voltadas tanto para gestão de operações quanto para inovação tecnológica e estratégia (Stephens, Robb, & Kang, 2022).

2.4.1 Rede de Autores

A ARS serviu para investigar as conexões de autoria por meio do *software* Gephi versão 10.1, sendo os nós os autores e as arestas as relações de coautoria. Portanto, a rede apresentada a seguir contém 66 artigos, 205 autores e 217 colaborações (arestas). Desses, 52 artigos estão associados a dois ou mais autores, o que demonstra um padrão colaborativo substancial. A inspeção visual da rede (Figura 1) revela a presença de clusters de colaboração, com alguns autores fortemente conectados e outros com menor número de conexões, em componentes isolados ou subgrupos menores.

Pode-se inferir, por conseguinte, que a estrutura colaborativa da rede sugere que as colaborações entre autores são uma característica central no campo de estudo analisado (inteligência artificial e a cadeia de suprimentos sob a ótica da inovação aberta). Identificar e fortalecer esses laços colaborativos (Bigliardi et al., 2020) pode fomentar novas oportunidades de pesquisa e inovação (Majdouline, El Baz, & Jebli, 2022), ao permitir que subgrupos colaborem mais eficientemente (Stephens et al., 2022) (Figura 1).

A média de centralidade de grau da rede é 0.033. O grau de centralidade reflete o número de colaborações diretas que cada autor possui. Os autores mais influentes pela métrica de grau são Chesbrough, H., com um grau de centralidade de 0.0754, seguido de Brem, A. também com 0.0754, e Dąbrowska, J., com 0.0653. Esses autores possuem um número significativamente maior de conexões diretas com outros pesquisadores, indicando que estão envolvidos em uma ampla gama de colaborações. Chesbrough, H., Brem, A. e Dąbrowska, J. desempenham,

portanto, papéis centrais nas colaborações e são considerados atores-chave no campo analisado (inteligência artificial e a cadeia de suprimentos sob a ótica da inovação aberta). Estabelecer parcerias com esses autores pode aumentar a visibilidade e o impacto das pesquisas (Zhou, Gu, & Yang, 2022), além de facilitar a integração em redes colaborativas mais amplas (Payán-Sánchez et al., 2018).

A centralidade de intermediação mede o papel de um autor como intermediário nas conexões entre diferentes partes da rede. O valor médio da rede é 0.0007. Chesbrough, H. apresenta a maior centralidade de intermediação com um valor de 0.0015, seguido de Brem, A., também com 0.0015, e Yang, X., com 0.0004. Esses autores atuam como pontos de passagem importantes que facilitam a comunicação entre diferentes grupos de colaboração na rede. Vale enfatizar que autores com alta centralidade de intermediação são fundamentais para conectar subgrupos isolados, o que sugere que suas decisões de colaboração podem impactar a disseminação do conhecimento (Zhou et al., 2022) entre diferentes grupos. Focar em colaborar com esses intermediários (Chesbrough, H., Brem, A. e Yang, X.) pode ampliar o alcance da pesquisa para novas áreas ou comunidades científicas (Rahmanzadeh, Pishvaei, & Rasouli, 2013).

A centralidade de proximidade mede o quão rapidamente um autor pode alcançar todos os outros na rede. O valor médio para a rede é 0.049. Os três principais autores, nesta métrica, são Chesbrough, H., com um valor de 0.0764, Brem, A., também com 0.0764, e Dąbrowska, J., com 0.0692. Esses autores estão estrategicamente posicionados para alcançarem outros pesquisadores rapidamente, tornando-os influentes em termos de acessibilidade na rede. Portanto, a proximidade de autores como Chesbrough e Brem os coloca em posições vantajosas para disseminar rapidamente novas ideias ou descobertas. Colaborar com esses autores pode garantir maior velocidade na troca de conhecimento (Solaimani & van der Veen, 2022) dentro do campo da inteligência artificial e da cadeia de suprimentos sob a ótica da inovação aberta (Yun, Liu, & Zhao, 2021).

A centralidade de autovetor avalia a influência de um autor com base na qualidade das suas conexões. O valor médio da rede é 0.126. Os autores mais influentes nessa métrica são Chesbrough, H., com 0.2697, Brem, A., com 0.2697, e Dąbrowska, J., com 0.2665. Esses autores estão conectados a outros autores influentes, o que amplifica sua importância na rede. Cabe destacar que autores com alta centralidade de autovetor não apenas têm muitas conexões, mas também estão ligados a autores igualmente influentes, tornando-os críticos para o desenvolvimento de grandes projetos colaborativos (Gheshmi, Zarco, & Marimon, 2019).

Estabelecer conexões com esses autores (Chesbrough, H., Brem, A. e Dąbrowska, J.) pode proporcionar acesso a redes de alta influência (Boehmke & Hazen, 2017).

A rede possui 54 componentes conectados. O maior componente contém 18 nós (autores), o que indica a existência de um núcleo de colaboração mais denso. A alta fragmentação da rede, com vários componentes menores, sugere que existem muitos subgrupos de colaboração isolados, com pouca interconexão entre eles. Sendo assim, a existência de muitos subgrupos isolados na rede aponta para a necessidade de iniciativas que incentivem a maior interconexão entre os grupos (Cetindamar, Lammers, & Zhang, 2020). Promover workshops ou conferências interdisciplinares pode aumentar a coesão da rede e melhorar a colaboração entre áreas menos conectadas (Köhler, Sönnichsen, & Beske-Jansen, 2022).

A detecção de comunidades na rede identifica grupos de autores que colaboram mais entre si. As três principais comunidades incluem a seguinte configuração de autores. A primeira comunidade é formada por Chesbrough, H., Brem, A., Dąbrowska, J. e outros. A segunda comunidade inclui autores como Galati, F. e Bigliardi, B. A terceira comunidade envolve autores como Völter, F. e Schlatt, V. Isso demonstra como certos autores formam núcleos colaborativos distintos. Vale adicionar que a existência de comunidades colaborativas distintas indica que há subgrupos com agendas de pesquisa específicas. A aproximação entre essas comunidades pode gerar novas sinergias e aumentar a inovação por meio de colaborações intercomunitárias (Tani, Troise, De Bernardi, & Han, 2022).

A primeira comunidade (Chesbrough, H., Brem, A., Dąbrowska, J. e outros) é composta por autores reconhecidos por suas pesquisas em inovação aberta e gestão da inovação. Henry Chesbrough, em particular, é amplamente conhecido como o criador do conceito de inovação aberta, e Brem, A. também tem uma sólida base de publicações nesta área. A agenda de pesquisa dessa comunidade inclui o desenvolvimento de modelos de inovação aberta aplicáveis a diferentes indústrias (Yang, Chesbrough, & Hurmelinna-Laukkanen, 2022; Dąbrowska et al., 2022), além de estudos sobre ecossistemas de inovação (Yang et al., 2020) e colaboração interorganizacional (Solaimani & van der Veen, 2022). Outros temas abordados incluem a gestão da inovação (Bigliardi et al., 2020), com um foco especial em pequenas e médias empresas (PMEs), e o impacto da inovação aberta em estratégias empresariais e desenvolvimento tecnológico (Majdouline et al., 2022).

Já os autores Galati, F., Bigliardi, B., e outros, da segunda comunidade, concentram suas pesquisas na área de gestão da cadeia de suprimentos e inovação tecnológica. O grupo colabora em investigações sobre a integração da inovação tecnológica nas cadeias de suprimentos (Lau et al., 2018), com ênfase em indústrias manufatureiras. Além disso, trabalham

na gestão do conhecimento e sua aplicação nos processos de inovação das cadeias produtivas (Pizzichini et al, 2023), explorando como novas tecnologias (Park, Dahlgaard-Park, & Kim, 2020), como a Indústria 4.0, influenciam a produção (Roblek, Meško, & Podbregar, 2021). Esta comunidade também se dedica ao estudo da colaboração interorganizacional (Lee & Schmidt, 2017) no desenvolvimento de novos produtos e tecnologias (Gheshmi, Zarco, & Marimon, 2019; Bigliardi et al., 2022).

A terceira comunidade (Comunidade 3: Völter, F., Schlatt, V., e outros), por sua vez, foca em temas relacionados à transformação digital, tecnologias emergentes e modelos de negócios baseados em dados. Os autores dessa comunidade investigam como a adoção de tecnologias digitais impacta indústrias tradicionais (Ferrás-Hernández, 2020; Singh et al., 2020; Johann, Katja, & Niclas, 2021), com especial atenção para a transformação de modelos de negócios (Arshi et al., 2023). Além disso, a comunidade se concentra em tecnologias emergentes (Queiroz et al., 2022), como *blockchain* (Guggenberger et al., 2021), inteligência artificial (Yang et al., 2022) e Internet das Coisas (IoT) (Terrence, 2017; Lichtenthaler, 2020), explorando como elas facilitam a inovação em diversos setores. Outro tema de pesquisa relevante é a digitalização de processos empresariais e seus efeitos sobre as operações e estratégias organizacionais (Allal-Chérif, Climent, & Berenguer, 2023).

A distância média da rede é 1.39, indicando que a maioria dos autores está a pouco mais de uma colaboração de distância uns dos outros. O diâmetro da rede, que é a maior distância entre quaisquer dois autores, é 3. Isso sugere uma rede relativamente pequena em termos de conexões indiretas, em que a maioria dos autores pode ser conectada por meio de poucos intermediários. Assim, a pequena distância média na rede é um sinal positivo para a disseminação rápida de informações e oportunidades de colaboração (Solaimani & van der Veen, 2022). A construção de pontes entre autores mais distantes pode encurtar ainda mais essas distâncias, acelerando a criação e a troca de conhecimento (Zhou et al., 2022).

A rede apresenta 217 arestas no total, sem redundância entre elas. Isso significa que todas as colaborações representadas na rede são únicas, sem múltiplas arestas conectando os mesmos autores mais de uma vez. Cabe adicionar que a ausência de redundância na rede sugere que as colaborações estão bem distribuídas e que há pouca sobreposição entre os autores. Isso pode ser um indicador de que ainda há espaço para mais colaboração entre os autores, com potencial para novas conexões (Stephens et al., 2022).

A maioria das colaborações na rede envolve mais de um autor, com 52 dos 66 artigos sendo coautorias. Os três autores com o maior número de colaborações com outros autores são Chesbrough, H., Brem, A. e Dąbrowska, J., que aparecem repetidamente como os principais

conectores da rede. O predomínio de coautorias indica que a pesquisa colaborativa é o padrão predominante no campo da inteligência artificial e da cadeia de suprimentos sob a ótica da inovação aberta. Incentivar a colaboração entre autores mais isolados e aqueles que já estão bem conectados pode melhorar a integração na rede e aumentar o impacto geral dos trabalhos produzidos (Tabela 2).

Tabela 2:
Métricas de ARS da Rede da Atores

Métricas de ARS da Rede de Autores (médias)	Resultados obtidos
Grau de Centralidade (<i>Degree Centrality</i>)	0.033
Centralidade de Intermediação (<i>Betweenness Centrality</i>)	0.0007
Centralidade de Proximidade (<i>Closeness Centrality</i>)	0.049
Centralidade de Autovetor (<i>Eigenvector Centrality</i>)	0.126
Componentes Conectados	54
Detecção de Comunidades (<i>Community Detection</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Comunidade 1: Chesbrough, H., Brem, A., Dąbrowska, J. e outros • Comunidade 2: Galati, F., Bigliardi, B. e outros • Comunidade 3: Völter, F., Schlatt, V. e outros
Distância Média da rede	1.39
Diâmetro da rede	3
Análise de Redundância	217 arestas no total, sem redundância entre elas
Autoria Colaborativa vs. Isolada	52 dos 66 artigos são em coautoria

Fonte: a autora, partir do software Gephi versão 10.1.

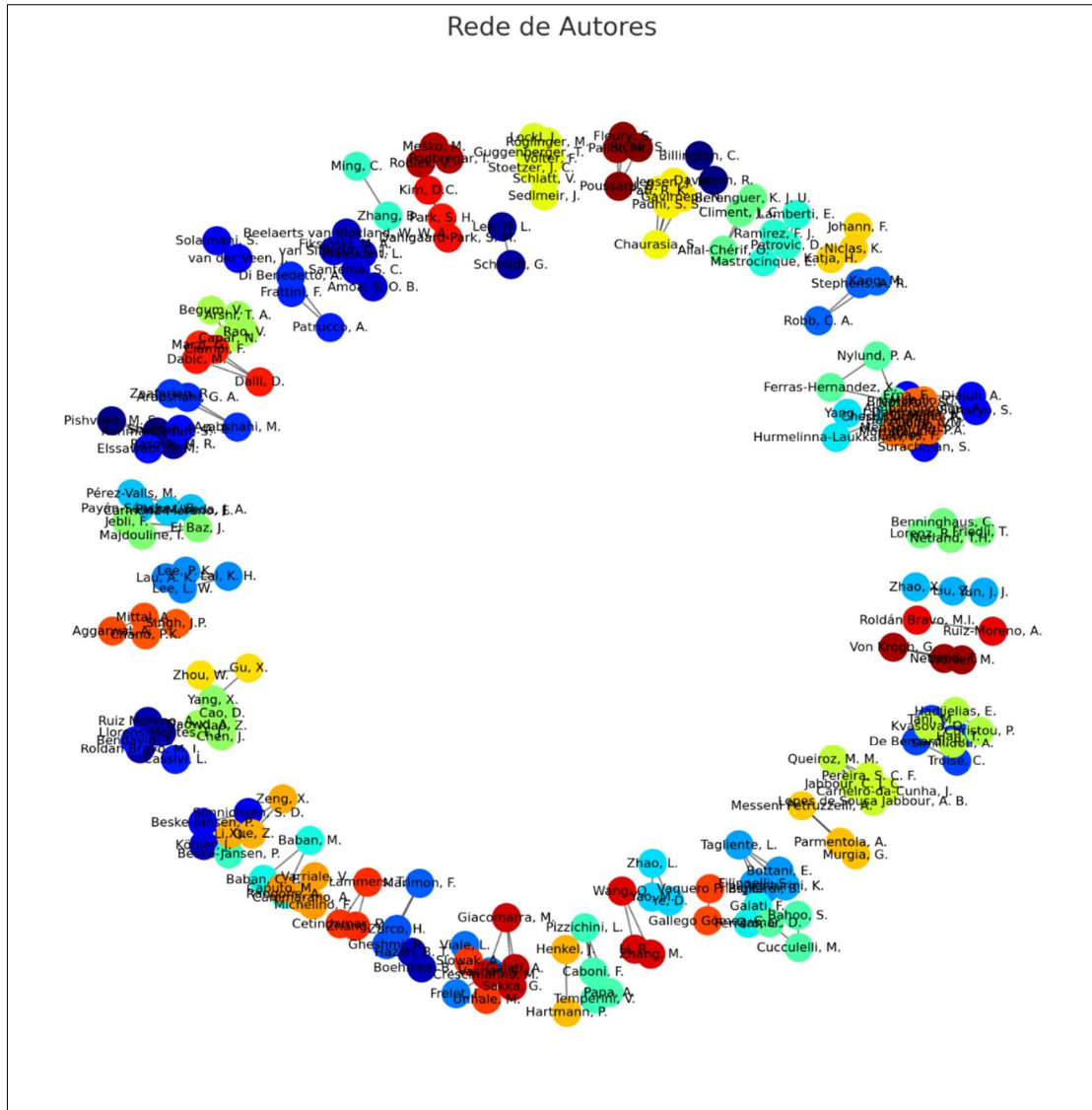


Figura 1. Rede de autores dos 66 artigos analisados.
Fonte: dados da pesquisa

2.4.2 Categorização das Lentes Teóricas dos Artigos

A categorização teórica apresentada na Tabela 3 agrupa as principais lentes teóricas relacionadas à inteligência artificial e à cadeia de suprimentos sob a perspectiva da inovação aberta, que foram evidenciadas nos 66 artigos analisados, abordando três categorias principais: Inovação e Colaboração Estratégica, Transformação Digital e Tecnologias Emergentes e Governança e Sustentabilidade Organizacional.

A primeira categoria, Inovação e Colaboração Estratégica, foca na inovação colaborativa (Petruzzelli, Murgia, & Parmentola, 2023) e nas capacidades organizacionais (Bravo & Ruiz-Moreno, 2018; Solaimani & van der Veen, 2022), abordando como as empresas acessam conhecimento externo para inovar e como redes de interações sociais promovem a inovação (Pizzichini et al., 2023). Entre as principais lentes teóricas agrupadas estão a Inovação

e Colaboração Aberta (Chesbrough, 2003) e as Capacidades Dinâmicas (Teece, 1997), que examinam a adaptação e inovação contínua nas cadeias de suprimentos.

A segunda categoria, Transformação Digital e Tecnologias Emergentes, por sua vez, aborda o impacto das tecnologias digitais (Ferrás-Hernández, 2020) e disruptivas no contexto da cadeia de suprimentos (Stephens et al., 2022). As lentes teóricas incluem a Transformação Digital e Tecnologias Disruptivas (Fichman et al., 2014) e a Economia Circular e Ecossistemas (Erzurumlu, 2010; Köhler, Sönnichsen & Beske-Jansen, 2022), que tratam da automação das cadeias de suprimentos (Nylund, Ferras-Hernandez, & Brem, 2020; Christou et al., 2023) e da integração de práticas sustentáveis e colaborativas (Allal-Chérif, Climent, & Berenguer, 2023).

Por fim, a terceira categoria, Governança e Sustentabilidade Organizacional, explora como práticas de governança e comportamento organizacional afetam a eficiência e a colaboração nas cadeias de suprimentos. Lentes teóricas como Governança e Sustentabilidade (Elkington, 1997) e Integração Internacional e Cooperação (Mayer et al., 1995; Wang, Zhang, & Li, 2023) examinam a cooperação internacional, confiança entre parceiros (Shamah & Elssawabi, 2015), e a sustentabilidade dentro das cadeias de suprimentos (Payán-Sánchez et al., 2018; Unhale & Slowak, 2022).

Tabela 3.

Categorização considerando as lentes teóricas dos artigos analisados (2010-2023)

Categorias Teóricas	Descrição	Principais Lentes Teóricas Agrupadas	Descrição das Lentes Teóricas
Inovação e Colaboração Estratégica	Agrupar as categorias que tratam da inovação colaborativa, capacidades organizacionais e redes de interação estratégica no contexto da cadeia de suprimentos.	Inovação e Colaboração Aberta (Chesbrough, 2003; Gulati, 1998); Capacidades Dinâmicas e Inovação (Teece, 1997; Cohen & Levinthal, 1990; Zahra & George, 2002); Redes e Interações Sociais (Granovetter, 1973; Powell, 1990; Axelrod, 1984)	Inovação e Colaboração Aberta: explora como empresas acessam conhecimento externo para inovar; Capacidades Dinâmicas e Inovação: foca na adaptação e inovação contínua nas cadeias de suprimentos; Redes e Interações Sociais: investiga como as interações entre organizações promovem inovação.
Transformação Digital e Tecnologias Emergentes	Inclui categorias que focam no impacto das tecnologias digitais e disruptivas no contexto da cadeia de suprimentos e na integração dessas inovações com práticas sustentáveis e colaborativas.	Transformação Digital e Tecnologias Disruptivas (Fichman et al., 2014; Davenport & Kirby, 2015; Schwab, 2016; Deguchi et al., 2020); Economia Circular e Ecossistemas (Teece, 1997; West & Gallagher, 2006; Chesbrough, 2003)	Transformação Digital e Tecnologias Disruptivas: foca na automação e na transformação digital das cadeias de suprimentos; Economia Circular e Ecossistemas: trata da adaptação organizacional para sustentabilidade e inovação aberta.
Governança e Sustentabilidade Organizacional	Foca em como as práticas de governança, sustentabilidade e comportamento organizacional impactam a colaboração e eficiência nas cadeias de suprimentos.	Governança e Sustentabilidade (Elkington, 1997; Williamson, 1975; Freeman, 1984); Fatores Comportamentais e Organizacionais (Organ, 1988; Appelbaum, 2000; O'Reilly & Tushman, 2013); Integração Internacional e Cooperação	Governança e Sustentabilidade: aborda práticas de governança e sustentabilidade nas cadeias de suprimentos; Fatores Comportamentais e Organizacionais: explora o impacto das práticas organizacionais no desempenho; Integração Internacional e

		(Mayer et al., 1995; Jaffe, 1986; Ireland et al., 2003)	Cooperação: foca na cooperação internacional e confiança entre parceiros.
--	--	---	--

Fonte: a autora, a partir do Atlas ti.

2.4.3 Categorização dos Métodos dos Artigos Analisados

A categorização metodológica apresentada na Tabela 4 agrupa os principais métodos relacionadas à inteligência artificial e à cadeia de suprimentos sob a perspectiva da inovação aberta que foram evidenciados nos 66 artigos analisados, abordando três categorias principais: Modelagem Avançada e Análise de Grandes Dados, Exploração Qualitativa e Análise Setorial, e Mapeamento Bibliométrico e Desenvolvimento Conceitual.

A categoria Modelagem Avançada e Análise de Grandes Dados agrupa métodos que utilizam técnicas quantitativas e estatísticas para analisar grandes volumes de dados. Os principais métodos aqui incluem os matemáticos e os estatísticos, pesquisas quantitativas com grandes amostras, além de estudos longitudinais, que são usados para identificar padrões e otimizar a tomada de decisões em cadeias de suprimentos.

A segunda categoria, Exploração Qualitativa e Análise Setorial, por sua vez, foca em métodos qualitativos que envolvem estudos de caso e entrevistas. Esses métodos são utilizados para explorar a inovação, colaboração e práticas organizacionais em profundidade, sendo os estudos de caso setoriais e a pesquisa qualitativa baseada em entrevistas os principais enfoques.

Por fim, a categoria Mapeamento Bibliométrico e Desenvolvimento Conceitual abrange métodos que utilizam análises bibliométricas e revisões de literatura para desenvolverem novas teorias e explorar tendências. Análises bibliométricas, revisões sistemáticas e métodos teóricos e conceituais são frequentemente utilizados para compreender o estado da arte do conhecimento e propor novos modelos teóricos.

Tabela 4.

Categorização considerando os métodos dos artigos analisados (2010-2023).

Categorias Metodológicas	Descrição	Principais Métodos Agrupados	Descrição dos Métodos
Modelagem Avançada e Análise de Grandes Dados	Agrupa métodos que utilizam modelagem quantitativa, estatística e análise de grandes volumes de dados para identificar padrões e otimizar decisões.	Métodos Matemáticos e Estatísticos; Pesquisas Quantitativas com Grandes Amostras; Estudos Longitudinais	Métodos Matemáticos e Estatísticos: técnicas matemáticas e estatísticas para resolver problemas complexos; Pesquisas Quantitativas com Grandes Amostras: coleta e análise de grandes quantidades de dados; Estudos Longitudinais: análise de dados ao longo do tempo para identificar padrões e tendências.
Exploração Qualitativa e Análise Setorial	Foca em métodos qualitativos e estudos de caso aplicados a setores específicos, explorando inovação, colaboração e	Estudos de Caso Setoriais; Pesquisa Qualitativa Baseada em Entrevistas; Estudos de Caso em	Estudos de Caso Setoriais: estudos aprofundados sobre setores específicos; Pesquisa Qualitativa Baseada em Entrevistas: exploração de dados qualitativos por meio de entrevistas;

	práticas organizacionais em profundidade.	Colaboração e Inovação	Estudos de Caso em Colaboração e Inovação: análise da inovação em cadeias colaborativas.
Mapeamento Bibliométrico e Desenvolvimento Conceitual	Envolve métodos que utilizam análise bibliométrica, revisão de literatura e desenvolvimento de teorias para explorar tendências e criar novas abordagens.	Análises Bibliométricas e Revisões Sistemáticas; Métodos Teóricos e Conceituais; Métodos Mistos (Quantitativo e Qualitativo)	Análises Bibliométricas e Revisões Sistemáticas: análise de publicações e tendências científicas; Métodos Teóricos e Conceituais: desenvolvimento de conceitos e teorias com base na literatura; Métodos Mistos: combinação de abordagens quantitativas e qualitativas para um estudo abrangente.

Fonte: a autora, a partir do Atlas ti.

2.4.4 Categorização dos Tipos de Impacto

O impacto acadêmico da IA nas cadeias de suprimentos sob a ótica da inovação aberta se destaca por impulsionar a integração de tecnologias emergentes (Queiroz et al., 2022), como a combinação de IA ((Yang et al., 2022), *blockchain* (Guggenberger et al., 2021) e IoT (Lichtenthaler, 2020), exemplificada pela convergência dessas tecnologias para otimizar cadeias de suprimentos globais. Esse impacto resulta na reorganização da literatura em áreas, como o empreendedorismo tecnológico e a disrupção na cadeia de suprimentos (Stephens et al., 2022). Além disso, a IA tem facilitado o desenvolvimento de novas ferramentas de medição e métricas de proximidade tecnológica, contribuindo para uma análise mais precisa do desempenho organizacional e das práticas colaborativas (Stephens et al., 2022).

No âmbito do impacto empresarial, a IA está diretamente associada à otimização operacional em setores como logística, indústria aeroespacial e cadeias de suprimentos automotivas, em que promove uma maior flexibilidade e redução de custos (Arshi et al., 2023). A IA também tem desempenhado um papel fundamental na digitalização de processos industriais e na customização em massa (Cammarano et al., 2023), aumentando a produtividade e a capacidade de personalização de produtos (Gheshmi et al., 2019). A colaboração interorganizacional facilitada pela IA tem permitido o desenvolvimento de novos modelos de negócios colaborativos, especialmente em setores globais e emergentes, como startups que utilizam IA para integrar e otimizar operações internacionais (Yang et al., 2020).

O impacto social da IA nas cadeias de suprimentos se reflete em sua capacidade de promover a economia circular (Köhler et al., 2022) e práticas sustentáveis (Unhale & Slowak, 2022), especialmente em setores de alta pegada de carbono. A integração de IA em processos industriais tem permitido o reaproveitamento de recursos e a redução de emissões, promovendo práticas de produção e consumo mais responsáveis. Além disso, a IA tem sido utilizada em respostas humanitárias e ambientais (Queiroz et al., 2022), auxiliando na monitorização de

danos ambientais e na promoção de segurança alimentar, demonstrando seu papel na implementação dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Allal-Chérif et al., 2023; Unhale & Slowak, 2022).

Sobre o impacto político, a IA tem influenciado a formulação de políticas voltadas para a Indústria 4.0 (Roblek et al., 2021), com governos estabelecendo regulamentações para apoiar a digitalização e automação em setores críticos, como segurança alimentar e sustentabilidade ambiental (Allal-Chérif et al., 2023). Essas políticas têm como objetivo alinhar as inovações tecnológicas com práticas sustentáveis, permitindo uma transição para economias circulares (Köhler et al., 2022) e abordando as mudanças trazidas pela digitalização no mercado de trabalho, com ênfase na capacitação e adaptação dos trabalhadores às novas tecnologias (Unhale & Slowak, 2022).

Por fim, no impacto educacional, a IA tem facilitado a disseminação de práticas de inovação aberta em ambientes educacionais, promovendo a criação de ecossistemas colaborativos para o ensino e aprendizado (Yang et al., 2020). Isso inclui o uso de ferramentas de código aberto para integrar alunos e educadores em práticas inovadoras e colaborativas (Lichtenthaler, 2020), além de possibilitar a criação de novos modelos de aprendizado baseados em inovação, preparando os alunos para ambientes empresariais mais dinâmicos e tecnologicamente avançados (Johann et al., 2021). Todas essas informações estão condensadas na Tabela 5 a seguir.

Tabela 5.

Categorização, considerando os tipos de impacto dos artigos analisados (2010-2023).

Categorias dos Tipos de Impacto	Subcategorias dos Tipos de Impacto	Especificidades das Subcategorias dos Tipos de Impacto
<p>Impacto Acadêmico: O impacto acadêmico refere-se ao quanto a IA, ao ser aplicada na cadeia de suprimentos, contribui para a expansão do conhecimento em várias disciplinas. Isso inclui tanto a descoberta de novos conceitos teóricos quanto a criação de ferramentas práticas que transformam o modo como a academia compreende e analisa a cadeia de suprimentos. A aplicação de IA resultou em 47 impactos distintos, como a integração de <i>blockchain</i> e IA, desenvolvimento de novas métricas de medição e exploração de novas formas de inovação aberta. Esses impactos impulsionam a academia a avançar, explorar novas fronteiras do conhecimento e aplicar soluções mais precisas e automatizadas nos contextos organizacionais.</p>	<p>Inovação Teórica e Integração Multidisciplinar: Esta subcategoria inclui os impactos que envolvem a expansão teórica, a exploração de novas variáveis e a integração de diversas disciplinas acadêmicas. A IA, junto com outras tecnologias emergentes, facilita a combinação de diferentes campos de estudo e a criação de novos conceitos teóricos.</p>	<p>Integração de IA com outras tecnologias: Impactos como a integração de <i>blockchain</i> e IA (1), a convergência de IA, IoT e <i>blockchain</i> (39), e a relação entre busca externa e inovação digital (33) são exemplos da interseção de diferentes tecnologias e campos, promovendo novas abordagens e oportunidades teóricas.</p>
		<p>Exploração de novas variáveis e abordagens teóricas: Impactos como a exploração de novas variáveis em inovação aberta (3), a exploração da relação entre capacidades absorptivas e inovação aberta (7), e a integração de inovação aberta e sustentabilidade (19) demonstram como a academia está investigando e refinando teorias sobre inovação, colaboração e sustentabilidade.</p>
		<p>Reorganização da literatura e integração de teorias: A IA também tem impulsionado a reorganização da literatura sobre inovação aberta (23), empreendedorismo tecnológico (35), e gestão da cadeia de suprimentos (22), permitindo que novas combinações de teorias surjam. Exemplos adicionais incluem a integração de múltiplas teorias (4), e a combinação de teoria filosófica com inovações tecnológicas (34).</p>
		<p>Inovações em práticas colaborativas e organizacionais: Impactos relacionados à exploração de novas abordagens de colaboração (5), novas formas de inovação aberta (8), e novas formas de colaboração intersetorial (27) ilustram como a academia está investigando novos modos de colaboração entre setores, empresas e universidades (impactos 24 e 31). A combinação de servitização e inovação aberta (28) e o estudo de apropriação de valor em tecnologias emergentes (21) também se destacam na contribuição teórica.</p>
		<p>Expansão para novos setores e geografias: Além da expansão teórica, a IA permite comparações entre diferentes regiões (14), a expansão do conceito de Indústria 4.0 além da manufatura (32), e o estudo da IA e internacionalização em mercados emergentes (36), abrangendo novas áreas e contextos.</p>
	<p>Desenvolvimento Metodológico e Aplicações Práticas: Esta subcategoria abrange os impactos relacionados à criação de novas ferramentas, metodologias e frameworks práticos que melhoram a gestão da cadeia de suprimentos e a inovação organizacional.</p>	<p>Desenvolvimento de novas ferramentas de medição e frameworks: Impactos como o desenvolvimento de novas ferramentas de medição (9), novas métricas de proximidade tecnológica (26), exploração de novos métodos de medição de desempenho (11), e novos frameworks de inovação aberta (16) demonstram o foco da academia em criar ferramentas mais precisas para avaliação e gestão.</p>
		<p>Aplicação de teorias e práticas inovadoras: A IA facilita a aplicação de teorias de inovação (6), explorando a relação entre inovação aberta e comportamento (12), além de proporcionar novas formas de colaboração interorganizacional (31) e explorar novas formas de crowdsourcing com IA (43).</p>
		<p>Avanços em áreas específicas da cadeia de suprimentos: Impactos práticos como a exploração de práticas de compras sustentáveis (15), gestão em nutracêuticos (40), e uso de sensores para inovação (41) destacam avanços em áreas específicas da cadeia de suprimentos. Além disso, a integração de big data com comportamento do consumidor (47) e a eficácia das colaborações em IA (44) refletem como a IA impacta diretamente a eficiência e automação dos processos.</p>
		<p>Emergência de novas estratégias digitais e práticas inovadoras: Impactos como novas formas de inovação aberta e estratégias digitais (18), emergência de padrões de inovação aberta na moda (17), e a relação entre inovação aberta e automação (30) são exemplos de como novas práticas inovadoras estão sendo incorporadas de maneira prática nos processos de gestão. A busca de conhecimento em IA (42) e as contribuições das empresas para a ciência de IA (45) também reforçam a importância de melhorar as interações entre academia e indústria.</p>
		<p>Interação humano-IA e engenharia compassiva: A IA está mudando a forma como as organizações trabalham com seus funcionários, como evidenciado pela interação humano-IA em contextos de serviços (37), bem como a integração de operações compassivas com engenharia da paz (38), oferecendo uma visão mais humanizada e ética das aplicações tecnológicas.</p>

Impacto Empresarial: O impacto empresarial da IA na cadeia de suprimentos se manifesta principalmente em duas grandes vertentes: (1) a melhoria operacional e eficiência dentro das empresas, que abrange a otimização de processos, redução de custos e aumento da flexibilidade; e (2) o desenvolvimento de inovações colaborativas e sustentáveis, que incluem a criação de novos produtos, modelos de negócios e oportunidades de colaboração estratégica em mercados globais. A IA, ao ser integrada na cadeia de suprimentos, promove tanto o aprimoramento dos processos existentes quanto a exploração de novas possibilidades que antes eram limitadas pela falta de ferramentas tecnológicas avançadas.	Otimização Operacional e Melhoria de Desempenho: Esta subcategoria abrange os impactos que envolvem a melhoria dos processos operacionais, a otimização de custos e o aumento da eficiência e flexibilidade na gestão da cadeia de suprimentos. A IA desempenha um papel fundamental ao automatizar e aprimorar processos, proporcionando um melhor desempenho em diversos setores.	Otimização da cadeia de suprimentos (1), melhoria do desempenho das cadeias de suprimentos (3), e melhoria da gestão da cadeia de suprimentos (4) são exemplos de como a IA aprimora as operações, elevando o desempenho das empresas. Em setores específicos, como cadeias de suprimentos aeroespaciais (7), logística (8), automotivas (11), saúde (15), e indústria de gás (14), a IA aumenta a flexibilidade e reduz custos, ajudando as empresas a se adaptarem às mudanças no mercado global. A flexibilidade e redução de custos (10) e a resiliência das cadeias de suprimentos (17) mostram como a IA contribui para tornar as operações mais ágeis e preparadas para enfrentar incertezas. A IA também promove a digitalização de processos industriais (47) e otimização da inovação de processos (44), resultando em ganhos de eficiência e redução de desperdícios. Gestão da cadeia de suprimentos em mercados globais (19) e uso de TI em startups (22) destacam a capacidade da IA de integrar e otimizar operações em cenários internacionais e emergentes. Customização em massa (34) e produtividade nas empresas (37) refletem como a IA aumenta a capacidade de personalização de produtos e serviços, melhorando a qualidade e a eficiência da produção. Além disso, a competência da cadeia de suprimentos por meio de IA (41) demonstra o papel da IA no aumento da competitividade, ao permitir a tomada de decisões mais informadas e automatizadas.
	Inovação Colaborativa e Sustentável: Esta subcategoria inclui os impactos relacionados à inovação, desenvolvimento de novos produtos, colaboração entre empresas e sustentabilidade. A IA facilita a criação de novas soluções, modelos de negócios e colaborações estratégicas, promovendo uma abordagem mais sustentável e inovadora na cadeia de suprimentos	Promoção da inovação sustentável (5) e promoção de práticas sustentáveis com digitalização (45) mostram como a IA impulsiona práticas empresariais que combinam eficiência operacional com responsabilidade ambiental. Desenvolvimento de produtos colaborativos (6, 16, 40) e a inovação colaborativa (20) refletem a capacidade da IA de facilitar a criação de novos produtos e serviços em colaboração entre empresas e parceiros. Colaboração e eficiência de processos de inovação (12) e colaboração entre fornecedores e compras (13) são exemplos de como a IA promove a integração e eficiência em processos de inovação e nas relações com fornecedores. A promoção de parcerias estratégicas eficazes (9) e colaboração entre PMEs (38) destacam a capacidade da IA de melhorar a sinergia entre diferentes empresas, fortalecendo a inovação conjunta. A transferência de conhecimento entre universidades e empresas (26) e a gestão de stakeholders (43) são exemplos de como a IA fomenta a troca de conhecimento e a eficiência nas colaborações com múltiplos interessados. A promoção de colaborações eficientes durante a pandemia (42) mostra como a IA foi crucial para manter a eficiência das cadeias de suprimentos em momentos de crise. Inovação aberta em redes de suprimentos assimétricas (24) e a avaliação da inovação aberta em cenários incertos (27) demonstram o impacto da IA ao permitir novas formas de inovação colaborativa em contextos desafiadores. Desenvolvimento de clusters industriais de IA (28), promoção de inovações disruptivas em IA (30), e adoção de tecnologias emergentes (35) destacam como a IA impulsiona a criação de ecossistemas tecnológicos inovadores e disruptivos. A IA também é fundamental para o empreendedorismo baseado em IA (39), gerando novas oportunidades de negócios e impulsionando a internacionalização rápida de novas empresas (50) . Sugestão de novos modelos de negócios baseados em IA (48) e exploração da transformação digital na indústria (46) mostram como a IA está transformando o cenário empresarial, oferecendo oportunidades para inovação nos modelos de negócios e digitalização de setores. Por fim, a exploração de novas oportunidades de negócios baseados em IoT e sensores (52) e a digitalização e sustentabilidade na piscicultura (49) são exemplos de como a IA possibilita inovações em setores negligenciados ou emergentes, promovendo sustentabilidade e inovação de maneira integrada.

Impacto Social: O impacto social da IA na cadeia de suprimentos se reflete principalmente em duas vertentes: (1) Sustentabilidade e Economia Circular , em que a IA é aplicada para promover práticas ambientalmente conscientes e para apoiar a transição para um consumo colaborativo e sustentável, e (2) Resposta a Crises e Impacto Humanitário , em que a IA contribui para melhorar a resiliência e a capacidade de resposta em momentos críticos, além de aumentar a transparência e confiança nas operações. A IA também promove inovações colaborativas, ao integrar diversas tecnologias emergentes com objetivos sociais e humanitários, incluindo o apoio aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) .	Sustentabilidade e Economia Circular: Esta subcategoria abrange os impactos relacionados ao uso da IA para promover práticas mais sustentáveis, apoiar a economia circular e minimizar a pegada ambiental. A IA facilita o desenvolvimento de soluções mais eficientes e ecologicamente responsáveis.	Promoção de inovação aberta segura (1) garante que as inovações sejam desenvolvidas de maneira a proteger o ambiente e a sociedade. Apoio à transição para uma economia circular (3) e promoção da economia circular (14) mostram como a IA promove o reaproveitamento de recursos e a sustentabilidade nos processos de produção e consumo. Melhoria da sustentabilidade ambiental (9) e melhoria de práticas sustentáveis em setores com alta pegada de carbono (10) refletem o impacto direto da IA na redução das emissões de carbono e no desenvolvimento de práticas ambientalmente responsáveis. Promoção da sustentabilidade no turismo (15) e sustentabilidade no turismo e na economia digital (23) são exemplos de como a IA apoia práticas mais sustentáveis em indústrias de alto impacto ambiental. Uso de IA para causas humanitárias e ambientais (11) e IA e impacto ambiental (21) demonstram como a tecnologia é aplicada para monitorar e mitigar danos ambientais, promovendo soluções humanitárias que atendem tanto o meio ambiente quanto populações vulneráveis. Práticas de inovação sustentável (19) e melhoria das práticas sustentáveis com digitalização (20) destacam o papel da IA na promoção de práticas sustentáveis e na integração da digitalização como um motor para a sustentabilidade. Consumo colaborativo e economia circular (17) reflete o uso da IA para fomentar a reutilização de recursos e a adoção de práticas colaborativas, alinhadas com a transição para uma economia circular.
	Resposta a Crises e Impacto Humanitário: Esta subcategoria inclui os impactos relacionados à capacidade da IA de melhorar a resposta a crises, promover inovação em tempos de adversidade e apoiar causas humanitárias, aumentando a transparência e a confiança nas operações.	Melhoria da eficiência em setores críticos como logística (2) e otimização de cadeias de suprimentos globais (4) mostram como a IA melhora a capacidade de resposta em situações críticas, especialmente em contextos globais e emergentes. Promoção de práticas de inovação aberta no setor aeroespacial (5) e otimização de cadeias de suprimentos em mercados emergentes (6) refletem a capacidade da IA de promover inovações que respondam rapidamente às necessidades de mercados e setores estratégicos, inclusive em tempos de crise. Respostas mais rápidas a crises de saúde (7), melhoria da resposta a crises com tecnologias emergentes (12), e respostas mais rápidas a crises globais (22) demonstram como a IA aumenta a capacidade de reação em emergências, melhorando a velocidade e a eficácia das respostas a crises de saúde e desastres globais. Promoção de inovação em tempos de crise (8) e impacto social de novas tecnologias emergentes (24) evidenciam o papel da IA na introdução de inovações que atendem a necessidades urgentes, especialmente em contextos de crise. Contribuição para os ODS e segurança alimentar (13) ressalta o impacto humanitário da IA ao promover a segurança alimentar e auxiliar na realização dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Promoção de inovação colaborativa com IA (16) destaca a capacidade da IA de fortalecer colaborações durante crises, permitindo respostas mais coordenadas e inovadoras. Melhoria da transparência e confiança (18) e impacto humanitário da IA (25) mostram como a IA contribui para melhorar a transparência nas cadeias de suprimentos e promover o bem-estar social, especialmente em contextos humanitários.
	Políticas de Inovação e Transformação Digital: Esta subcategoria inclui os impactos que envolvem a formulação de políticas públicas que incentivam a inovação tecnológica, a	Influência em políticas de inovação (1) mostra como a IA incentiva a criação de políticas que promovem o uso de tecnologias avançadas, favorecendo a inovação em diversos setores e cadeias de suprimentos. Políticas para a Indústria 4.0 (2) evidenciam como governos estão estabelecendo regulamentações para apoiar a digitalização e automação de indústrias, permitindo uma transição mais rápida e eficiente para a quarta revolução industrial. A transformação digital e políticas públicas (5) reflete o impacto da IA na criação de políticas voltadas para a digitalização dos processos de produção e serviços, garantindo que as inovações tecnológicas sejam adotadas de maneira inclusiva e benéfica para a sociedade.

<p>trazidas pela digitalização e automação. Isso inclui a formulação de políticas de inovação para apoiar a Indústria 4.0 e o uso de IA em setores críticos, como segurança alimentar e sustentabilidade. O impacto político também se manifesta na exploração das mudanças na natureza do trabalho, influenciando o desenvolvimento de políticas de capacitação e adequação às novas exigências do mercado de trabalho digitalizado. A IA também promove discussões políticas sobre a economia circular e políticas ambientais, com o objetivo de alinhar o desenvolvimento tecnológico com a sustentabilidade.</p>	<p>digitalização e o desenvolvimento da Indústria 4.0. A IA desempenha um papel central na criação de um ambiente regulatório que facilita a adoção dessas inovações em larga escala.</p>	<p>Estudo dos efeitos da IA e digitalização em diferentes níveis (4) destaca a necessidade de políticas que examinem os impactos da digitalização em vários setores e regiões, permitindo a formulação de estratégias regulatórias adaptadas às especificidades locais.</p>
	<p>Políticas de Sustentabilidade e Impacto Social: Esta subcategoria aborda os impactos relacionados à criação de políticas públicas voltadas para a sustentabilidade, segurança alimentar, economia circular e as mudanças na natureza do trabalho causadas pela IA. Essas políticas visam alinhar a inovação tecnológica com objetivos ambientais e sociais, promovendo o desenvolvimento sustentável.</p>	<p>Políticas públicas sobre segurança alimentar (6) mostram como a IA está moldando a formulação de políticas para garantir a segurança alimentar, permitindo uma gestão mais eficiente e sustentável das cadeias de suprimentos agrícolas e alimentares.</p>
		<p>IA e políticas ambientais (7) refletem como a IA influencia a criação de políticas que promovem práticas ambientais sustentáveis, com foco na redução de emissões e proteção de ecossistemas, especialmente em cadeias de suprimentos de alto impacto ambiental.</p>
		<p>Políticas para a economia circular (8) demonstram o papel da IA na promoção de políticas que incentivam o reaproveitamento de materiais e a minimização de resíduos, alinhando o desenvolvimento econômico com práticas sustentáveis e ecológicas.</p>
<p>Impacto Educacional: O impacto educacional da IA na cadeia de suprimentos se concentra em duas grandes áreas: (1) a disseminação de práticas de inovação e código aberto e (2) o desenvolvimento de novos modelos de aprendizado colaborativo e inovação aberta. A IA facilita o compartilhamento e a aplicação de práticas de inovação em ambientes educacionais, permitindo que instituições e programas se adaptem às novas tendências tecnológicas e operacionais. Ao integrar práticas de</p>	<p>Disseminação de Práticas de Inovação e Código Aberto: Esta subcategoria abrange os impactos relacionados à propagação de práticas de inovação e código aberto em ambientes educacionais, permitindo uma maior acessibilidade e integração dessas práticas no ensino e pesquisa, graças ao uso de IA.</p>	<p>Exploração das mudanças na natureza do trabalho (3) trata das políticas que abordam as transformações trazidas pela IA no mercado de trabalho, enfatizando a necessidade de capacitação e adaptação dos trabalhadores às novas exigências tecnológicas e digitais.</p>
		<p>Disseminação de práticas de inovação (1) reflete como a IA facilita o compartilhamento de práticas inovadoras, permitindo que instituições educacionais se adaptem às novas tendências e métodos tecnológicos.</p>
	<p>Modelos de Aprendizado Colaborativo e Inovação Aberta: Esta subcategoria trata da criação de novas formas de aprendizado colaborativo e inovação</p>	<p>Disseminação de práticas de código aberto (2) destaca a forma como a IA incentiva o uso de soluções colaborativas e abertas, tornando ferramentas e conhecimento mais acessíveis para alunos e educadores.</p>
		<p>Disseminação de práticas de inovação aberta em ambientes educacionais (8) evidencia como a IA promove a inclusão da inovação aberta nas instituições, criando ecossistemas de ensino mais colaborativos e flexíveis.</p>
		<p>Integração de práticas colaborativas em IA (3) mostra como a IA facilita a colaboração entre alunos e educadores, promovendo uma abordagem mais prática e conjunta para a resolução de problemas.</p>
		<p>Criação de novas abordagens de ensino sobre inovação aberta (4) destaca como a IA está ajudando a desenvolver novas metodologias para ensinar inovação aberta, proporcionando uma educação mais alinhada às exigências do mercado.</p>
		<p>Exploração de ferramentas de inovação aberta em programas educacionais (5) reflete a introdução de novas ferramentas de inovação aberta, ajudando os alunos a explorar e aplicar conceitos de inovação em seus estudos.</p>

inovação aberta e ferramentas colaborativas, a IA está mudando a maneira como o ensino e o aprendizado acontecem, promovendo um ambiente de aprendizado interativo e dinâmico.	aberta, em que a IA desempenha um papel importante na introdução de abordagens mais dinâmicas e interativas para o ensino, promovendo um aprendizado prático e adaptado às novas realidades tecnológicas.	Novas formas de aprendizado colaborativo com IA (6) indicam como a IA está transformando o aprendizado em algo mais colaborativo e prático, permitindo que os alunos aprendam por meio de experiências e projetos conjuntos.
		Estudo das interações entre inovação e governança educacional (7) evidencia o papel da IA na análise e ajuste das práticas de governança educacional para integrar inovação e colaboração de maneira eficaz.
		Criação de novos modelos de aprendizado baseados em inovação (9) destaca como a IA está facilitando o desenvolvimento de modelos educacionais inovadores, promovendo o aprendizado que prepara os alunos para um ambiente de negócios e tecnologia em constante evolução.

Fonte: a autora, a partir do Atlas ti.

2.4.5 Processo Caleidoscópico para a Apropriação de Impactos

Sob a ótica da inovação aberta, propomos que a apropriação dos impactos da inteligência artificial (IA) na cadeia de suprimentos pode ser interpretada como um processo caleidoscópico, no qual múltiplas dimensões interagem simultaneamente, gerando novos padrões de valor e inovação colaborativa (Yang et al., 2020). Esse processo não segue uma linearidade simples, mas envolve uma recombinação dinâmica e contínua de elementos que, ao se inter-relacionarem, formam novas possibilidades de aplicação e exploração da IA (Stephens et al., 2022).

O conceito de um processo caleidoscópico implica que a apropriação de impactos da IA ocorre em ciclos de transformação, que são constantemente ressignificados conforme as partes interessadas – organizações, parceiros tecnológicos, fornecedores e consumidores –, que interagem e colaboram. A inovação aberta (Billington & Davidson, 2020), por sua própria natureza, sustenta a ideia de que o conhecimento externo é um insumo crítico para a inovação interna. Assim, a IA, quando aplicada à cadeia de suprimentos (Yang et al., 2022), permite que organizações acessem uma gama diversificada de *insights* externos, facilitando a criação de novas soluções de forma conjunta. Esse processo de apropriação é caleidoscópico porque, ao integrar tecnologias como IoT, *blockchain* e *big data*, a IA oferece um espectro de novas configurações para solucionar problemas complexos e otimizar a eficiência operacional (Arshi et al., 2023).

Cada nova iteração no uso da IA pode desencadear impactos diferentes, à medida que novos dados são incorporados e novas relações colaborativas são formadas. Essa flexibilidade resulta em uma cadeia de suprimentos mais ágil e responsiva às demandas do mercado, permitindo a exploração de novos modelos de negócios e a customização em massa de produtos (Cammarano et al., 2023). O caráter caleidoscópico desse processo é reforçado pela interdependência entre atores, que geram novos arranjos de inovação colaborativa em diferentes fases da cadeia de valor, realinhando continuamente os papéis e as responsabilidades no ecossistema de suprimentos.

Além disso, a IA possibilita a criação de redes de inovação em tempo real, na qual a coleta e análise de dados contínuas fomentam ciclos rápidos de *feedback*. Isso permite uma maior flexibilidade no ajuste de estratégias, otimizando processos produtivos e logísticos, com base em informações dinâmicas e integradas (Erna et al., 2019). Nesse sentido, a IA atua como um catalisador na formação de novos padrões de cooperação e inovação, constantemente rearranjando as peças no mosaico da cadeia de suprimentos.

O resultado desse processo caleidoscópico é a ampliação e adaptação do impacto da IA, promovendo tanto a sustentabilidade como a inovação tecnológica de maneira integrada e fluida, característica fundamental da inovação aberta.

O processo caleidoscópico de apropriação dos impactos da inteligência artificial (IA) na cadeia de suprimentos, sob a ótica da inovação aberta, pode ser também tipificado em diferentes dimensões: acadêmica, empresarial, política, social e educacional. Esse processo é caracterizado pela recombinação contínua de variáveis e atores, refletindo a natureza dinâmica da inovação colaborativa, em que o conhecimento circula livremente entre fronteiras organizacionais (Zhou et al., 2022).

No âmbito acadêmico, a IA promove uma renovação teórica e metodológica, catalisando novas linhas de pesquisa sobre a gestão de cadeias de suprimentos. A interação entre diferentes disciplinas, como engenharia, tecnologia da informação e gestão, impulsiona a criação de novas métricas e ferramentas de análise para otimizar processos logísticos e identificar padrões em grandes volumes de dados (Roblek et al., 2021). Esse impacto é ressignificado continuamente, à medida que novas descobertas influenciam o avanço teórico, reconfigurando a literatura acadêmica com conceitos interdisciplinares e novas abordagens teóricas.

No empresarial, o impacto da IA se reflete na otimização da eficiência operacional, redução de custos e aumento da flexibilidade nas cadeias de suprimentos. A IA possibilita inovações colaborativas, criando novos modelos de negócios baseados em dados e inteligência preditiva (Hartmann & Henkel, 2020). A inovação aberta, ao facilitar a integração de tecnologias emergentes, redefine a relação entre empresas e parceiros ao longo da cadeia de valor, gerando novos arranjos cooperativos e competitivos (Bigliardi et al., 2020). A apropriação desses impactos empresariais ocorre de maneira dinâmica, com o ajuste contínuo de processos e estratégias em resposta a *insights* derivados da análise de dados.

O impacto político da IA é evidente na formulação de políticas públicas voltadas para a digitalização e a sustentabilidade das cadeias de suprimentos. Governos, ao integrarem a IA nas suas estratégias de desenvolvimento industrial, criam regulamentos para suportar a inovação tecnológica, especialmente no contexto da Indústria 4.0. A transformação política é um reflexo do diálogo entre setor público e privado, gerando novos marcos regulatórios, que facilitam a adoção de tecnologias emergentes em setores estratégicos, como segurança alimentar e automação industrial (Nylund et al., 2020).

Na esfera social, a IA facilita a transição para práticas mais sustentáveis, ao promover o reaproveitamento de recursos e reduzir o impacto ambiental das cadeias de suprimentos. A IA permite a criação de redes colaborativas que integram inovações tecnológicas com objetivos

sociais, como a sustentabilidade e a inclusão (Queiroz et al., 2022). A apropriação social desses impactos é caracterizada por uma ressignificação contínua, à medida que novas tecnologias são adaptadas para resolver desafios relacionados ao consumo sustentável e à mitigação de crises humanitárias, contribuindo para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) (Unhale & Slowak, 2022).

Por fim, o impacto educacional da IA na cadeia de suprimentos se materializa na transformação dos modelos de ensino, com a adoção de práticas de inovação aberta e ferramentas colaborativas. A IA facilita a disseminação de conhecimento e práticas educacionais, que integram inovação tecnológica e colaboração interorganizacional, criando novos ecossistemas de aprendizado. Esse impacto educacional se reconfigura ao longo do tempo, à medida que as instituições de ensino adaptam seus currículos e métodos pedagógicos para prepararem os alunos para uma realidade empresarial cada vez mais digital e colaborativa.

Em síntese, o processo caleidoscópico de apropriação dos impactos da IA na cadeia de suprimentos, sob a perspectiva da inovação aberta, envolve uma constante recombinação dos elementos que tipificam os impactos acadêmicos, empresariais, políticos, sociais e educacionais. Esses impactos interagem e se ressignificam ao longo do tempo, conforme novos atores, tecnologias e práticas são integrados nesse ecossistema colaborativo (Yang et al., 2020). O processo de apropriação é, portanto, contínuo, flexível e adaptativo, sendo moldado pelas interações entre diferentes atores e pela introdução constante de novas tecnologias e práticas colaborativas (Queiroz et al, 2022).

A Tabela 7 apresenta a descrição sintetizada desses processos caleidoscópicos em relação a seus impactos.

Tabela 7.

Processo caleidoscópico de apropriação dos impactos da IA na cadeia de suprimentos, sob a ótica da inovação aberta.

Tipos de Impacto	Descrição	Processo Caleidoscópico
Acadêmico	A IA catalisa a criação de novas métricas e ferramentas de análise, permitindo a otimização de processos logísticos e a identificação de padrões complexos.	A apropriação acadêmica da IA ocorre por meio da recombinação de conceitos teóricos e práticos interdisciplinares (engenharia, tecnologia da informação e gestão). O avanço contínuo da pesquisa acadêmica, junto à criação de novos modelos teóricos, reconfigura o corpo de conhecimento à medida que novos dados são incorporados.
Empresarial	A IA melhora a eficiência operacional, reduz custos e aumenta a flexibilidade nas cadeias de suprimentos, facilitando novos modelos de negócios.	O impacto empresarial é apropriado de forma dinâmica e iterativa. A integração de IA permite que as empresas ajustem suas estratégias de forma contínua com base em novas análises de dados. Isso resulta na criação de inovações colaborativas e novos arranjos competitivos ao longo da cadeia de valor, redefinindo relações com parceiros.

Político	A IA orienta a formulação de políticas públicas voltadas para a digitalização e sustentabilidade das cadeias de suprimentos, especialmente na Indústria 4.0.	O impacto político da IA é apropriado por meio de um diálogo contínuo entre setor público e privado, em que novos regulamentos são constantemente ajustados para facilitar a adoção de tecnologias emergentes. A transformação política reflete a necessidade de suportar a inovação tecnológica em setores estratégicos e automatização industrial.
Social	A IA facilita práticas sustentáveis e o reaproveitamento de recursos, promovendo a criação de redes colaborativas para objetivos sociais e ambientais.	A apropriação social da IA envolve uma ressignificação constante de tecnologias para enfrentar desafios relacionados ao consumo sustentável e crises humanitárias. O impacto se adapta às necessidades emergentes da sociedade, integrando IA com soluções tecnológicas que reduzem o impacto ambiental e melhoram a eficiência em crises globais.
Educacional	A IA transforma os modelos de ensino ao promover a inovação aberta e a colaboração interorganizacional em currículos e práticas educacionais.	O impacto educacional é apropriado por meio da integração de IA nas metodologias de ensino. As instituições reconfiguram seus currículos para preparar os alunos para um ambiente empresarial cada vez mais colaborativo e digital. A IA facilita o aprendizado dinâmico e adaptável às demandas emergentes do mercado de trabalho.

Fonte: a autora

2.4.6 Modelando o Processo Caleidoscópico

O processo de apropriação da IA na cadeia de suprimentos, sob a ótica da inovação aberta, não é linear, mas um processo caleidoscópico e contínuo, no qual novos padrões de colaboração e inovação emergem a cada ciclo de interação entre os diversos atores e tecnologias. Para modelar tal processo, são propostos seis passos, a saber:

Passo 1: Cadeia de suprimentos como um elemento central

No Passo 1, a cadeia de suprimentos é representada como um elemento central, que envolve o núcleo da inteligência artificial (IA) e da inovação aberta, destacando sua função essencial no processo caleidoscópico. A cadeia de suprimentos é o contexto em que as interações colaborativas e a aplicação de tecnologias emergentes ocorrem. Sendo assim, a cadeia de suprimentos não apenas conecta, mas também envolve o processo de inovação, reforçando que ela é o campo de aplicação e transformação direta das inovações discutidas. A posição central da cadeia de suprimentos também sugere que ela é o espaço prático, no qual as tecnologias emergentes e as colaborações entre diferentes atores acontecem. Toda inovação impulsionada pela IA, como otimizações logísticas ou a introdução de novos modelos de negócios, é aplicada diretamente na cadeia de suprimentos.

A Cadeia de Suprimentos também é base de recombinação, ou seja, os seus componentes - transporte, fornecedores, clientes, manufatura, logística e outros – são continuamente modificados e otimizados pela IA. A natureza caleidoscópica da recombinação

é dinâmica e não linear, portanto, a cada interação entre IA e as dimensões externas, os componentes da cadeia de suprimentos se rearranjam, criando novas configurações de valor e inovação.

Passo 2: Conexões bidirecionais entre a cadeia de suprimentos e as dimensões externas

O Passo 2 enfatiza a importância das conexões bidirecionais entre a cadeia de suprimentos e as dimensões externas: acadêmica, empresarial, política, social e educacional. Essas conexões representam o fluxo contínuo de informações, conhecimento e inovação que ocorre entre a cadeia de suprimentos e essas dimensões. O propósito dessas conexões é evidenciar que a cadeia de suprimentos não apenas recebe influências dessas cinco dimensões, mas também as influencia, em um processo contínuo de retroalimentação. Esse fluxo de interação é crucial para o conceito de processo caleidoscópico, no qual novas combinações de conhecimento e tecnologia são continuamente geradas por meio dessas interações. Sobre os exemplos de interações para cada dimensão, elenca-se:

- Acadêmica: As inovações acadêmicas, como novos métodos de análise ou descobertas científicas, podem ser aplicadas diretamente na cadeia de suprimentos, resultando em otimização logística ou novas formas de gerir fluxos de materiais. Ao mesmo tempo, os dados e as práticas da cadeia de suprimentos também alimentam novas pesquisas acadêmicas, gerando novas teorias ou estudos de caso.
- Empresarial: A integração de IA nos processos de uma empresa melhora a eficiência e flexibilidade da cadeia de suprimentos, enquanto as mudanças e avanços dentro da cadeia também influenciam as estratégias empresariais, como o desenvolvimento de novos modelos de negócios baseados em IA e *big data*.
- Política: As políticas públicas, como regulamentações voltadas para a digitalização e a sustentabilidade, afetam diretamente a forma como as cadeias de suprimentos operam. Ao mesmo tempo, as necessidades e práticas das cadeias de suprimentos, por exemplo, no uso de IA para automação, podem levar a novas regulamentações e políticas de incentivo à adoção de tecnologias emergentes.
- Social: A IA aplicada nas cadeias de suprimentos pode promover práticas mais sustentáveis, como a redução de resíduos ou a melhoria das condições de trabalho. Ao mesmo tempo, as expectativas sociais de sustentabilidade e responsabilidade social influenciam as decisões e inovações dentro da cadeia.

- Educacional: As mudanças tecnológicas nas cadeias de suprimentos exigem novas competências e habilidades, o que impacta os currículos acadêmicos e as práticas educacionais. Por outro lado, as melhorias e avanços na cadeia, como a adoção de IA e inovação aberta, exigem que o sistema educacional ajuste suas abordagens para preparar os profissionais do futuro.

As conexões bidirecionais exemplificadas reforçam a ideia de que o processo de inovação aberta é uma troca constante entre atores e áreas diferentes, em que cada dimensão impacta diretamente a cadeia de suprimentos, e a própria cadeia de suprimentos atua como um vetor de influência sobre essas dimensões. O conceito de processo caleidoscópico é fundamental aqui, pois o que é apropriado e transformado na cadeia de suprimentos, seja por meio de novas tecnologias, novos modelos de negócios ou ajustes de políticas, ressignifica continuamente as interações com as outras dimensões. As conexões bidirecionais ilustram esse processo não linear e adaptativo, destacando que as interações estão em fluxo constante, modificando-se e evoluindo, conforme novos dados e *insights* surgem.

Em síntese, o Passo 2 evidencia as trocas e influências recíprocas entre a cadeia de suprimentos e as cinco dimensões externas, destacando que a inovação colaborativa é sustentada por essas conexões. Isso reforça a natureza caleidoscópica do processo, em que a IA e a inovação aberta não apenas transformam a cadeia de suprimentos, mas também são moldadas por ela, em um ciclo contínuo de *feedback* e transformação.

Passo 3: Recombinação dentro da cadeia de suprimentos

No Passo 3, a ênfase está na evidenciação sobre como a cadeia de suprimentos se transforma, por meio de um processo de recombinação contínua. A ideia aqui é representar a dinâmica interna da cadeia de suprimentos, mostrando como os diferentes componentes (tecnológicos, operacionais, colaborativos) são constantemente rearranjados e otimizados pela interação com a inteligência artificial (IA) e a inovação aberta. Esse passo é fundamental para evidenciar o caráter não linear e adaptativo do processo caleidoscópico.

A recombinação dentro da cadeia de suprimentos se refere à maneira como diferentes elementos da cadeia – como logística, transporte, fornecedores, dados, fluxo de materiais etc. – são constantemente rearranjados, integrados e ressignificados, à medida que novas tecnologias e práticas são aplicadas. Esse processo não é estático, mas sim dinâmico e contínuo, respondendo às mudanças geradas pela interação entre IA e as cinco dimensões externas (acadêmica, empresarial, política, social e educacional). A cada iteração, o impacto da IA e da inovação aberta resulta em novas configurações operacionais que otimizam diferentes partes da

cadeia. Por exemplo, novos dados podem ser incorporados ao processo logístico, o que leva a uma reconfiguração na gestão de estoque, resultando em mais eficiência. Sendo assim, cada novo arranjo dentro da cadeia de suprimentos pode resultar em:

- Otimização logística: ajustando rotas de transporte ou sistemas de armazenagem com base em dados preditivos fornecidos pela IA.
- Customização de produtos: criando novos fluxos de produção baseados em demanda variável e *insights* de consumidores.
- Colaboração entre fornecedores: integrando parceiros em tempo real, por meio de sistemas como *blockchain*, otimizando o fluxo de materiais.

O conceito de recombinação contínua é central para o processo caleidoscópico, pois ele descreve como, a cada nova interação e iteração, a cadeia de suprimentos rearranja seus componentes de novas maneiras, respondendo às mudanças e inovações impulsionadas pela IA e pela colaboração entre os atores.

O Passo 3, por conseguinte, descreve como os componentes da cadeia de suprimentos (logística, fornecedores, transporte etc.) são constantemente rearranjados e ressignificados por meio da integração de IA e inovação aberta. Consequentemente, o processo não segue uma trajetória linear, mas é adaptativo e em constante transformação.

Passo 4: Fluxo de *feedback* contínuo

O Passo 4 evidencia o fluxo contínuo de *feedback* entre a cadeia de suprimentos e as dimensões externas (acadêmica, empresarial, política, social e educacional). Este passo é fundamental para evidenciar que as interações entre a cadeia de suprimentos e essas dimensões não acontecem de maneira isolada, mas sim em um processo constante de troca de informações, em que os impactos de cada dimensão são continuamente integrados, ajustados e ressignificados dentro da cadeia de suprimentos. O objetivo é ilustrar como o conhecimento e as inovações fluem constantemente entre os diferentes atores e componentes da cadeia de suprimentos e as dimensões externas. Esse fluxo de *feedback* impulsiona o processo de inovação colaborativa, ajustando a cadeia de suprimentos de acordo com novas informações, tecnologias e descobertas. O processo é dinâmico e cíclico, com a cadeia de suprimentos reagindo às influências externas e, por sua vez, influenciando essas mesmas dimensões.

O fluxo de *feedback* evidencia, portanto, que, ao incorporar inovações tecnológicas, como IA, IoT ou *big data*, os componentes da cadeia de suprimentos passam por transformações constantes, e essas mudanças são refletidas nas dimensões acadêmicas (por meio de novas pesquisas), empresariais (por meio de novos modelos de negócios), políticas (por novas

regulamentações), sociais (por impactos em sustentabilidade) e educacionais (por novos métodos de ensino).

Cabe destacar a evidenciação de ciclos rápidos de ajuste e realinhamento dentro de cada dimensão, ilustrando que essas interações ocorrem em intervalos curtos e rápidos. Por exemplo:

- Dimensão acadêmica. A implementação de novas métricas ou teorias acadêmicas na cadeia de suprimentos resulta em novos dados empíricos, que são retroalimentados na literatura acadêmica, gerando novos estudos ou modelos.
- Dimensão empresarial. As análises de IA nas cadeias de suprimentos permitem ajustes em tempo real nas operações logísticas, o que gera novos *insights* de mercado, que, por sua vez, influenciam as estratégias de inovação.
- Dimensão política. O uso de tecnologias emergentes na cadeia de suprimentos pode levar à criação de novas políticas e regulamentações, que são ajustadas conforme as necessidades, sendo que inovações mudam.

O fluxo de *feedback* contínuo também está associado a tecnologias emergentes, como IA, *blockchain*, IoT e *big data*, representando que essas tecnologias são os principais catalisadores desse fluxo. Conforme novas tecnologias são adotadas e integradas na cadeia de suprimentos, elas modificam os fluxos de informações e práticas dentro das dimensões externas.

O fluxo contínuo de *feedback* reflete ainda a flexibilidade e adaptabilidade da cadeia de suprimentos. À medida que novas informações e tecnologias são introduzidas, a cadeia se ajusta rapidamente para atender às novas demandas e desafios. Por conseguinte, o fluxo de *feedback* contínuo é essencial, porque destaca a natureza adaptativa e evolutiva do processo caleidoscópico. A inovação aberta é baseada na ideia de que o conhecimento circula constantemente entre os diferentes atores, e a IA, ao ser aplicada à cadeia de suprimentos, permite que esse conhecimento seja usado de forma mais eficiente e rápida. O *feedback* contínuo garante que as inovações sejam integradas rapidamente e que as práticas sejam ajustadas conforme novas informações são recebidas.

Passo 5: Resultado do processo caleidoscópico: Ampliação e adaptação dos impactos da IA

O Passo 5 finaliza o processo caleidoscópico, evidenciando o resultado global das interações dinâmicas entre a cadeia de suprimentos e as cinco dimensões externas (acadêmica, empresarial, política, social e educacional). Aqui, evidencia-se como a inteligência artificial (IA) e a inovação aberta promovem a ampliação e adaptação contínua dos impactos sobre a cadeia de suprimentos, gerando sustentabilidade e inovação tecnológica de maneira fluida.

O objetivo deste passo é, portanto, a evidenciação sobre como o processo caleidoscópico, ao integrar IA e inovação aberta, resulta em impactos múltiplos e expansivos na cadeia de suprimentos e em cada uma das dimensões. O conceito chave aqui é que a IA e as novas tecnologias não apenas otimizam processos, mas também expandem as possibilidades de colaboração, inovação e impacto, criando um ecossistema adaptativo, que se ajusta continuamente às novas demandas e desafios.

Sobre os resultados-chave e elementos aceleradores do processo caleidoscópico, destacamos:

1. Sustentabilidade e Inovação Tecnológica como resultados-chave.
 - A sustentabilidade, pois a IA permite práticas mais ecológicas e responsáveis dentro da cadeia.
 - A inovação tecnológica, representada por *big data*, *machine learning*, *blockchain*, IoT e outras, sugerindo que o resultado final do processo caleidoscópico é uma cadeia de suprimentos altamente digitalizada e conectada.
2. Ciclos de Adaptação Contínua: os resultados do processo caleidoscópico são adaptativos e contínuos, portanto, o processo de inovação e adaptação não tem fim, e a cadeia de suprimentos está sempre evoluindo em resposta às mudanças no ambiente externo e às novas tecnologias. Cada nova interação entre IA e as dimensões externas resulta em novos padrões de colaboração, novas soluções tecnológicas e novos arranjos de valor.
3. Impactos nas Dimensões Externas: cada dimensão (acadêmica, empresarial, política, social e educacional) também deve refletir os impactos resultantes do processo. Por exemplo:
 - Acadêmica. A pesquisa sobre IA gera novos estudos e metodologias que ampliam o conhecimento teórico e prático sobre cadeias de suprimentos.
 - Empresarial. As empresas adotam novos modelos de negócios baseados em IA, aumentando a eficiência e a flexibilidade operacional.
 - Política. As políticas públicas são continuamente ajustadas para apoiar a digitalização e a sustentabilidade nas cadeias de suprimentos.
 - Social. Práticas mais sustentáveis e inclusivas são incorporadas nas cadeias de suprimentos, contribuindo para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

- Educacional. Novos métodos pedagógicos e currículos baseados em IA são adotados, preparando profissionais para um ambiente digital e colaborativo.
4. Alinhamento com Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS): A IA, ao ser integrada na cadeia de suprimentos, facilita a redução do desperdício, otimização do uso de recursos e promove a responsabilidade social e ambiental.

Em síntese, o Passo 5 demonstra a conclusão do processo caleidoscópico, mostrando que as interações entre IA, inovação aberta e as dimensões externas não apenas otimizam a cadeia de suprimentos, mas também ampliam os impactos em diversas áreas, como sustentabilidade, inovação e políticas públicas. Esses resultados são adaptativos e evolutivos, significando que a cadeia de suprimentos está sempre em processo de transformação e ajustamento, conforme novos dados e tecnologias são integrados. O Passo 5 evidencia, portanto, o resultado final do processo caleidoscópico: a ampliação e adaptação contínua dos impactos da IA na cadeia de suprimentos. Esses impactos são refletidos em diferentes áreas, como sustentabilidade, inovação tecnológica, novas políticas públicas e práticas educacionais transformadoras, mostrando que a cadeia de suprimentos não apenas melhora em termos de eficiência, mas também se torna mais colaborativa, flexível e sustentável ao longo do tempo.

Passo 6: Tipificação dos impactos do processo caleidoscópico em diferentes dimensões

No Passo 6, o foco está em tipificar os impactos do processo caleidoscópico de apropriação da inteligência artificial (IA) na cadeia de suprimentos, destacando como esses impactos se manifestam em cinco diferentes dimensões: acadêmica, empresarial, política, social e educacional. O objetivo é sistematizar os impactos que resultam do processo caleidoscópico, evidenciando as contribuições específicas em cada dimensão e destacando a recombinação dinâmica que ocorre entre elas. Isso permite evidenciar que, embora os impactos sejam diferentes para cada dimensão, eles estão interligados e são ressignificados continuamente ao longo do processo.

A seguir, descreve-se como a IA e a inovação aberta influenciam diretamente as dimensões.

- Acadêmica. Desenvolvimento de novos modelos teóricos e ferramentas analíticas para a otimização de cadeias de suprimentos. Criação de novas linhas de pesquisa interdisciplinares, envolvendo engenharia, gestão e tecnologia da informação.

- Empresarial. Aumento da eficiência operacional e flexibilidade nas cadeias de suprimentos por meio de tecnologias como *big data* e *machine learning*. Surgimento de novos modelos de negócios baseados em dados preditivos e IA.
- Política. Desenvolvimento de políticas públicas para a digitalização e automação industrial no contexto da Indústria 4.0. Novas regulamentações para promover a sustentabilidade nas cadeias de suprimentos globais.
- Social. Promoção de práticas mais sustentáveis, como a redução de emissões e o reaproveitamento de recursos. Criação de redes colaborativas que integram inovação tecnológica com objetivos sociais e ambientais.
- Educacional. Transformação dos currículos acadêmicos para incorporar IA e inovação aberta nas cadeias de suprimentos. Desenvolvimento de novas práticas pedagógicas, que preparam os alunos para ambientes empresariais digitais e colaborativos.

Os impactos tipificados elencados não ocorrem de forma isolada. Ao contrário, há uma interação e retroalimentação contínua entre as dimensões. Os impactos nas diferentes dimensões se reforçam mutuamente e contribuem para o avanço global da inovação aberta e da IA. Por exemplo:

- As inovações acadêmicas podem resultar em novas políticas públicas.
- Os avanços empresariais podem influenciar a dimensão educacional, ao demandar novas competências e habilidades para os trabalhadores.
- Os impactos sociais, como práticas mais sustentáveis, podem influenciar o desenvolvimento de políticas que promovam a sustentabilidade na cadeia de suprimentos.

A cada nova interação entre IA e as dimensões, os impactos são ajustados e expandidos, resultando em novas formas de aplicação e inovação. Por exemplo:

- Na dimensão acadêmica, novas teorias sobre IA podem levar a ajustes nas práticas empresariais e sociais, e vice-versa.
- Na dimensão política, novas regulamentações sobre digitalização podem influenciar diretamente os modelos de negócios e as estratégias de inovação nas empresas.

Em síntese, o Passo 6 é crucial porque organiza e classifica os impactos concretos do processo caleidoscópico em diferentes áreas de atuação. Ao tipificar esses impactos, evidencia-se como a integração da IA e da inovação aberta transforma cada dimensão de maneira única,

mas interligada. Isso fornece um panorama sistemático dos resultados tangíveis do processo de inovação, facilitando a compreensão de como a cadeia de suprimentos é adaptada e aprimorada em diversas esferas.

2.4.7 Implicações Teóricas

As implicações teóricas neste estudo introduzem uma perspectiva inovadora em relação à literatura vigente sobre Inteligência Artificial (IA) e Cadeia de Suprimentos. A maior parte dos estudos atuais foca na aplicação de IA para ganhos de eficiência operacional, como discutido por Ivanov e Dolgui (2020), sem conectar diretamente a IA com práticas de inovação aberta. O presente estudo, porém, avança essa discussão, ao propor uma integração inédita entre IA e inovação aberta, abordando como a colaboração entre múltiplos atores na cadeia de suprimentos pode alavancar a cocriação de valor. Essa abordagem contrasta com a literatura tradicional, que trata os dois temas de forma isolada, o que torna a contribuição teórica do estudo distinta.

O conceito de processo caleidoscópico, introduzido no estudo, oferece uma nova maneira de entender o impacto dinâmico da IA nas cadeias de suprimentos, quando combinada com inovação aberta. Enquanto a literatura atual, como em Wang et al. (2020), tende a enxergar a adoção de IA como linear, focada em melhorias incrementais, este estudo sugere que a apropriação dos impactos da IA ocorre de forma contínua e adaptativa. Essa noção de impacto não-linear e dinâmico é uma contribuição teórica única, que modifica o modo como se analisa a integração de IA no campo, destacando sua natureza colaborativa e evolutiva, algo que a literatura anterior não explora profundamente.

As implicações teóricas relacionadas à sustentabilidade e inovação colaborativa também desafiam as abordagens existentes. Trabalhos como os de Kamble, Gunasekaran e Dhoke (2020) abordam a IA, principalmente, como ferramenta de eficiência. Este trabalho expande esse foco, ao posicionar a IA como uma facilitadora de práticas colaborativas sustentáveis dentro da cadeia de suprimentos, conectando inovação aberta com objetivos de desenvolvimento sustentável, como a economia circular. Essa intersecção de sustentabilidade e IA, mediada por práticas colaborativas, traz uma nova camada de entendimento, que amplia os debates teóricos sobre o uso da tecnologia para promover inovações com impacto ambiental positivo.

Outro avanço teórico relevante reside na categorização proposta neste estudo, que agrupa a integração da IA com a inovação aberta em três áreas-chave: inovação e colaboração estratégica, transformação digital e tecnologias emergentes, e governança e sustentabilidade

organizacional. Em contraste com a literatura predominante, que trata esses temas separadamente, aqui propõe-se uma estrutura integrada. Essa estrutura permite analisar como a IA e a inovação aberta, quando vistas de forma holística, podem contribuir, de maneira mais eficaz, para a transformação das cadeias de suprimentos, criando uma base teórica sólida para estudos futuros que desejem explorar essa interseção.

A aplicação da análise de redes sociais (ARS) para mapear a colaboração entre autores é outra inovação que diferencia este estudo da literatura atual. A ARS já é utilizada em outros campos, mas seu uso para entender o papel das redes colaborativas entre pesquisadores de IA e inovação aberta em cadeias de suprimentos é pioneiro. Neste estudo, identificam-se autores centrais, como Chesbrough, cuja atuação no campo impulsiona o desenvolvimento teórico. Isso contribui para a literatura, ao destacar como a colaboração entre acadêmicos pode moldar o avanço dos estudos sobre IA e inovação aberta, fornecendo *insights* metodológicos que ainda não foram amplamente aplicados em pesquisas desse tipo.

2.5 CONCLUSÕES E ESTUDOS FUTUROS

Este estudo traz contribuições significativas ao sistematizar o conhecimento sobre a interação entre IA e cadeias de suprimentos no contexto da inovação aberta. Esta pesquisa mostrou que a IA, além de otimizar processos operacionais, tem um papel crucial na promoção de colaborações interorganizacionais, criando novas formas de cocriação de valor. Esse enfoque amplia a compreensão sobre como a IA pode transformar a cadeia de suprimentos ao incorporar a inovação aberta, oferecendo novas possibilidades de inovação e eficiência. A análise revela que, ao integrar esses dois conceitos, a IA não apenas promove ganhos operacionais, mas também possibilita arranjos colaborativos que podem acelerar o desenvolvimento de ecossistemas de inovação mais ágeis e sustentáveis, diferenciando-se dos estudos tradicionais que tratam esses elementos de forma separada.

Em termos de estudos futuros, propõem-se três direções principais. A primeira, sugere um foco no impacto de tecnologias emergentes, como *blockchain*, quando combinadas com IA, nas cadeias de suprimentos globais. A proposta é investigar como essas tecnologias podem fortalecer a colaboração interorganizacional e aumentar a resiliência em contextos de incerteza, como o pós-pandemia. Ao sugerir a integração de tecnologias emergentes com inovação aberta, essa proposta oferece uma nova perspectiva em relação à literatura existente, que frequentemente examina essas tecnologias de forma isolada.

A segunda direção aponta para a necessidade de explorar o papel da governança digital e da sustentabilidade em cadeias de suprimentos integradas à IA. Estudos podem investigar como a IA influencia a criação de ecossistemas sustentáveis e inovadores, além de explorar as implicações de políticas de inovação e governança global nesse contexto. Essa linha de pesquisa destaca a importância de entender como a IA pode ser utilizada não apenas para otimizar operações, mas também para construir redes colaborativas orientadas para a sustentabilidade, uma abordagem ainda em desenvolvimento na literatura.

Por fim, a terceira direção sugere avaliar o impacto da IA no desempenho organizacional, com foco no desenvolvimento de capacidades absorptivas, que permitam às empresas adotarem e aplicarem tecnologias emergentes ao longo do ciclo de vida de produtos e processos. Esse campo de estudo é promissor para entender como a IA pode ser usada para melhorar a inovação e a colaboração dentro das organizações, contribuindo para a vantagem competitiva em ambientes altamente dinâmicos e colaborativos.

Sobre a limitação desta pesquisa, vale destacar que o campo da IA e inovação aberta está em constante evolução, o que pode exigir atualizações frequentes da revisão para acompanhar os avanços mais recentes.

REFERÊNCIAS

- Abiodun, O.I., Jantan, A., Abiodun, E.O., Dada, K.V., Mohamed, N.A., Arshad, H., (2018), Allal-Chérif, O., Climent, J. C., & Berenguer, K. J. U. (2023). Born to be sustainable: How to combine strategic disruption, open innovation, and process digitization to create a sustainable business. *Journal of Business Research*, 154, 113379.
- Arshi, T. A., Rao, V., Begum, V., & Çapar, N. (2022). Early internationalisation of entrepreneurial firms: the role of artificial intelligence enhanced business models. *Journal for International Business and Entrepreneurship Development*, 14(4), 536-556.
- Baryannis, G., Dani, S., & Antoniou, G. (2019). Predicting supply chain risks using machine learning: The trade-off between performance and interpretability. *Future Generation Computer Systems*, 101, 993-1004.
- Baryannis, G., Validi, S., Dani, S., Antoniou, G. (2019), Supply chain risk management and artificial intelligence: state of the art and future research directions, *International Journal of Production Research*, v. 57(7), 2179-2202.
- Bavelas, A. (1950). *Communication patterns in task-oriented groups*. *Journal of the Acoustical Society of America*, 22(6), 725-730.

- Beck, D., & Ferasso, M. (2023). Bridging ‘stakeholder value creation’ and ‘urban sustainability’: the need for better integrating the environmental dimension. *Sustainable Cities and Society*, 89, 104316.
- Bez, S. M. e Chesbrough, H., (2020), Competitor Collaboration Before a Crisis: What the AI Industry Can Learn The Partnership on AI can use the Dynamic Capabilities Framework and lessons from other industries to proactively identify AI risks and create solutions. *Research-Technology Management*, v. 63, 42-48.
- Bhuniya, S., Pareek, S. e Sarkar, B. (2021), A supply chain model with service level constraints and strategies under uncertainty, *Alexandria Engineering Journal*, (2021), v.60(6), 6035-6052.
- Bigliardi, B., Bottani, E., Filippelli, S., Tagliente, L., & Venturini, K. (2022). Is any open innovation pattern emerging in the Italian fashion field? Preliminary evidence from some case studies. *European Journal of Innovation Management*, 25(6), 1076-1105.
- Bigliardi, B., Ferraro, G., Filippelli, S. and Galati, F. (2021), The past, present and future of open innovation, *European Journal of Innovation Management*, Vol. 24 (4), 1130-1161.
- Billington, C., & Davidson, R. (2013). Leveraging open innovation using intermediary networks. *Production and Operations Management*, 22(6), 1464-1477.
- Boehmke, B. C., & Hazen, B. T. (2017). The future of supply chain information systems: The opensource ecosystem. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 18, 163-168.
- Bonacich, P. (1972). *Factoring and weighting approaches to status scores and clique identification*. *Journal of Mathematical Sociology*, 2(1), 113-120.
- Borgatti, S. P., Mehra, A., Brass, D. J., & Labianca, G. (2009). Network analysis in the social sciences. *Science*, 323(5916), 892-895.
- Briner, R.B. and Denyer, D. (2012) Systematic Review and Evidence Synthesis as a Practice and Scholarship Tool. In: Rousseau, D.M., Ed., *Handbook of Evidence-Based Management: Companies, Classrooms and Research*, Oxford University Press, Oxford, 112-129.
- Brown, T. E. (2017). Sensor-based entrepreneurship: A framework for developing new products and services. *Business Horizons*, 60(6), 819-830.
- Burt, R. S. (1992). *Structural holes: The social structure of competition*. Harvard University Press.
- Burt, R. S. (2005). *Brokerage and closure: An introduction to social capital*. Oxford University Press.
- Büyüközkan, G., & Göçer, F. (2018). Digital supply chain: Literature review and a proposed framework for future research. *Computers in Industry*, 97, 157-177.
- Cammarano, A., Varriale, V., Michelino, F., & Caputo, M. (2023). A framework for investigating the adoption of key technologies: Presentation of the methodology and explorative analysis of emerging practices. *IEEE Transactions on Engineering Management*, 71, 3843-3866.
- Cetindamar, D., Lammers, T., & Zhang, Y. (2020). Exploring the knowledge spillovers of a technology in an entrepreneurial ecosystem—The case of artificial intelligence in Sydney. *Thunderbird International Business Review*, 62(5), 457-474.

- Chesbrough, H. (2003) The logic of Open Innovation: Managing Intellectual Property. *California Management Review*, v. 15 (3), 33-58.
- Chesbrough, H. (2006) *Open Business Models: How to Thrive in the New Innovation Landscape*. Boston: Harvard Business School Press.
- Chesbrough, H. (2020). *Open innovation results: Going beyond the hype and getting down to business*. Oxford University Press.
- Chesbrough, H., & Bogers, M. (2014). Explicating open innovation: Clarifying an emerging paradigm for understanding innovation. In *New Frontiers in Open Innovation* (pp. 3-28). Oxford University Press.
- Christou, P., Hadjielias, E., Simillidou, A., & Kvasova, O. (2023). The use of intelligent automation as a form of digital transformation in tourism: Towards a hybrid experiential offering. *Journal of Business Research*, 155, 113415.
- Cooper, Martha C., Douglas M. Lambert, and Janus D. Pagh (1997), "Supply Chain Management: More Than a New Name for Logistics," *The International Journal of Logistics Management*, Vol. 8 (1), pp. 1-14.
- Cooper, K. M., Gin, L. E., Akeeh, B., Clark, C. E., Hunter, J. S., Roderick, T. B., et al. (2019). Factors that predict life sciences student persistence in undergraduate research experiences. *PLOS ONE*, 14(8), e0220186.
[https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220186​;contentReference\[oaicite:0\]{index=0}​;contentReference\[oaicite:1\]{index=1}](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220186​;contentReference[oaicite:0]{index=0}​;contentReference[oaicite:1]{index=1}).
- Crossan, M. M., & Apaydin, M. (2010). A multi-dimensional framework of organizational innovation: A systematic review of the literature. *Journal of management studies*, 47(6), 1154-1191.
- Dąbrowska, J., Almpapoulou, A., Brem, A., Chesbrough, H., Cucino, V., Di Minin, A., ... & Ritala, P. (2022). Digital transformation, for better or worse: a critical multi-level research agenda. *R&D Management*, 52(5), 930-954.
- Dodgson, M., Gann, D., & Salter, A. (2006). The role of technology in the shift towards open innovation: The case of Procter & Gamble. *R&D Management*, 36(3), 333-346.
- Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S. J., & Papadopoulos, T. (2020). Big data and predictive analytics and manufacturing performance: Integrating institutional theory, resource-based view and big data culture. *British Journal of Management*, 31(2), 257-282.
- Eisenhardt, K. M. (1989). *Building theories from case study research*. *Academy of Management Review*, 14(4), 532-550.
- Eriksson, T., Bigi, A., Bonera, M. (2020) Think with me, or think for me? On the future role of artificial intelligence in marketing strategy formulation. *The TQM Journal*, v32 (4), 795-814.
- Erna, E., Surachman, S., Sunaryo, S., & Djajuli, A. (2019). Integration between radical innovation and incremental innovation to expedite supply chain performance through collaboration and open-

- innovation: A case study of Indonesian logistic companies. *Uncertain Supply Chain Management*, 7(2), 191-202.
- Erzurumlu, S. (2010). Collaborative product development with competitors to stimulate downstream innovation. *International Journal of Innovation Management*, 14(04), 573-602.
- Felin, T. e Zenger, T.R., (2014) Closed or open innovation? Problem solving and the governance choice. *Research Policy*, v.43, 914–925.
- Freeman, L. C. (1977). *A set of measures of centrality based on betweenness*. *Sociometry*, 40(1), 35-41.
- Freeman, L. C. (1978). *Centrality in social networks conceptual clarification*. *Social Networks*, 1(3), 215-239.
- Füller, J., Hutter, K., & Kröger, N. (2021). Crowdsourcing as a service—from pilot projects to sustainable innovation routines. *International Journal of Project Management*, 39(2), 183-195.
- Garriga, H., Von Krogh, G. e Spaeth, S. (2013), How constraints and knowledge impact open innovation, *Strategic Management Journal*, v. 34(9), 1134-1144.
- Gawer, A., & Cusumano, M. A. (2014). Industry platforms and ecosystem innovation. *Journal of Product Innovation Management*, 31(3), 417-433.
- Ghadge, A., Er Kara, M., Moradlou, H., & Goswami, M. (2020). The impact of Industry 4.0 implementation on supply chains. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(4), 669-686.
- Gheshmi, R., Zarco, H., & Marimon, F. (2019). Supply chain management strategies in project and absorptive capacity to implementation partnership strategy in new product development. *Int. J. Supply Chain Manag*, 8, 759-770.
- Girvan, M., & Newman, M. E. J. (2002). *Community structure in social and biological networks*. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(12), 7821-7826.
- Granovetter, M. S. (1973). *The strength of weak ties*. *American Journal of Sociology*, 78(6), 1360-1380.
- Grover, P., Kar, A., Dwivedi, Y. (2022), Understanding artificial intelligence adoption in operations management: insights from the review of academic literature and social media discussions, *Annals of Operations Research*, 308(1-2), 177-213.
- Guggenberger, T., Lockl, J., Röglinger, M., Schlatt, V., Sedlmeir, J., Stoetzer, J. C., ... & Völter, F. (2021). Emerging digital technologies to combat future crises: Learnings from COVID-19 to be prepared for the future. *International Journal of Innovation and Technology Management*, 18(04), 2140002.
- Gupta, S., Modgil, S., Bhattacharyya, S., e Bose, I., (2020), Artificial intelligence for decision support systems in the field of operations research: review and future scope of research, *Annals of Operations Research*, v. 308, 215–274.
- Harary, F. (1969). *Graph theory*. Addison-Wesley.

- Hartmann, P., & Henkel, J. (2020). The rise of corporate science in AI: Data as a strategic resource. *Academy of Management Discoveries*, 6(3), 359-381.
- Heyvaert, M., Maes, B., & Onghena, P. (2019). Mixed methods research synthesis: Definition, framework, and potential. *Quality & Quantity*, 47(1), 659–679. <https://doi.org/10.1007/s11135-012-9727-5>.
- Hofmann, E., & Rutschmann, E. (2018). Big data analytics and demand forecasting in supply chains: A conceptual analysis. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 21(3), 225-245.
- Ivanov, D., & Dolgui, A. (2020). A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0. *Production Planning & Control*, 31(7), 557-570.
- Jiang F, Jiang Y, Zhi H, Dong Y, Li H, Ma S, Wang Y, Dong Q, Shen H, Wang Y. (2017), Artificial intelligence in healthcare: past, present and future. *Stroke Vasc Neurol*, v. 2(4), 230-243.
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Dhone, N. C. (2020). Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organizational performance in Indian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 58(5), 1319-1337.]
- Kaplan, A. e Haenlein, M., (2019) 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 (1), 15-25.
- Kar, A.K. e Dwivedi, Y.K., (2020), Theory building with big data-driven research – Moving away from the “What” towards the “Why”. *International Journal of Information Management*, 54, 1-10.
- Kitchenham, B. e Charters, S. (2007), Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering, EBSE Technical Report, v. 2.3.
- Köhler, J., Sönnichsen, S. D., & Beske-Jansen, P. (2022). Towards a collaboration framework for circular economy: The role of dynamic capabilities and open innovation. *Business Strategy and the Environment*, 31(6), 2700-2713.
- Krueger, R. A., & Casey, M. A. (2015). *Focus groups: A practical guide for applied research*. Sage.
- Lau, A. K., Lee, L. W., Lai, K. H., & Lee, P. K. (2018). Adopting an open innovation program with supply chain management in China: A case study. *Engineering Management Journal*, 30(1), 24-41.
- Laursen, K. e Salter, A. (2006), Open for Innovation: The Role of Openness in Explaining Innovation Performance among UK Manufacturing Firms. *Strategic Management Journal*, v. 27, 131-150.
- Lee, H. L., & Schmidt, G. (2017). Using value chains to enhance innovation. *Production and Operations Management*, 26(4), 617-632.
- Lee, J., Suh, T., Roy, D. e Bacus, M. (2019). Emerging technology and business model innovation: The case of artificial intelligence, *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, v. 5(3), 1-13.

- Lichtenthaler, U. (2011). Open Innovation: Past Research, Current Debates, and Future Directions. *Academy of Management Perspectives*, v. 25(1), 75-93.
- Lichtenthaler, U. (2020). Building blocks of successful digital transformation: Complementing technology and market issues. *International Journal of Innovation and Technology Management*, 17(01), 2050004.
- Lichtenthaler, U., Ernst, H., & Hoegl, M. (2010). Not-soldhere: How attitudes influence external knowledge exploitation. *Organization Science*, 21 (5), 1054–1071.
- Majdouline, I., El Baz, J., & Jebli, F. (2022). Revisiting technological entrepreneurship research: An updated bibliometric analysis of the state of art. *Technological Forecasting and Social Change*, 179, 121589.
- Mentzer, J.T., DeWitt, W., Keebler, J.S., Min, S., Nix, N.W., Smith, C.D. and Zacharia, Z.G. (2001), “Defining supply chain management”, *Journal of Business Logistics*, Vol. 22 (2), pp. 1-25.
- Messeni Petruzzelli, A., Murgia, G., & Parmentola, A. (2023). Opening the black box of artificial intelligence technologies: unveiling the influence exerted by type of organisations and collaborative dynamics. *Industry and Innovation*, 30(9), 1213-1243.
- Minsky, M., 1968. *Semantic Information Processing*. The MIT Press.
- Morgan, D. L. (1997). **Focus groups as qualitative research**. Sage.
- Mowery, D. C. (2009), *Plus c’a change: Industrial R&D in the third industrial revolution*. *Industrial and Corporate Change*, v.18(1), 1–50.
- Nylund, P. A., Ferras-Hernandez, X., & Brem, A. (2020). Automating profitably together: Is there an impact of open innovation and automation on firm turnover?. *Review of Managerial Science*, 14(1), 269-285.
- Obradovi, T., Božidar, V., e Marina, D. (2021), Open innovation in the manufacturing industry: A review and research agenda, *Technovation*, (2021), v.102, 1-16.
- Park, S. H., Dhalgaard-Park, S. M., & Kim, D. C. (2020). New paradigm of lean six sigma in the 4th industrial revolution era. *Quality Innovation Prosperity*, 24 (1), 1–16.
- Patrucco, A., Frattini, F., & Di Benedetto, A. (2022). Characteristics of supplier performance measurement systems in collaborative innovation projects: the role of the purchasing department. *Supply Chain Management: An International Journal*, 27(2), 207-231.
- Payán-Sánchez, B., Plaza-Úbeda, J. A., Pérez-Valls, M., & Carmona-Moreno, E. (2018). Social embeddedness for sustainability in the aviation sector. *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*, 25(4), 537-553.
- Peffer, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M.A., e Chatterjee, S., (2007). A Design Science Research Methodology for Information Systems Research, *Journal of Management Information Systems*, v. 24 (3), 45-77.

- Pizzichini, L., Temperini, V., Caboni, F., & Papa, A. (2023). The role of digital knowledge servitization in supply chain management. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 53(5/6), 589-611.
- Queiroz, M. M., Jabbour, C. J. C., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Pereira, S. C. F., & Carneiro-da-Cunha, J. (2023). Peace engineering and compassionate operations: a framework for leveraging social good. *Benchmarking: An International Journal*, 30(8), 2532-2553.
- Rahmanzadeh, S., Pishvae, M. S., & Rasouli, M. R. (2020). Integrated innovative product design and supply chain tactical planning within a blockchain platform. *International Journal of Production Research*, 58(7), 2242-2262.
- Rai, A., Patnayakuni, R., & Seth, N. (2006). Firm performance impacts of digitally enabled supply chain integration capabilities. *MIS Quarterly*, 30(2), 225-246.
- Riahi, Y., Saikouk, T., Gunasekaran, A. e Badraoui, I., (2021), Artificial intelligence applications in supply chain: A descriptive bibliometric analysis and future research directions, *Expert Systems with Applications*, v. 173, 1-19.
- Roblek, V., Meško, M., & Podbregar, I. (2021). Mapping of the Emergence of Society 5.0: A Bibliometric Analysis. *Organizacija*, 54 (4), 293–305.
- Roldan Bravo, M. I., Ruiz-Moreno, A., & Llorens Montes, F. J. (2018). Examining desorptive capacity in supply chains: The role of organizational ambidexterity. *International Journal of Operations & Production Management*, 38(2), 534-553.
- Russell, S.J. and Norvig, P. (2016) *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson Education Limited, Malaysia.
- Schilling, M. e Phelps, C., (2007), Interfirm collaboration networks: The impact of large-scale network structure on firm innovation, *Management Science*, v. 53(7), 1113-1126.
- Shamah, R. A. E., & Elssawabi, S. M. (2015). Facing the open innovation gap: measuring and building open innovation in supply chains. *Journal of Modelling in Management*, 10(1), 50-75.
- Singh, J. P., Chand, P. K., Mittal, A., & Aggarwal, A. (2020). High-performance work system and organizational citizenship behaviour at the shop floor. *Benchmarking: An International Journal*, 27(4), 1369-1398.
- Smith, K. G., Collins, C. J., e Clark, K. D. (2005), Existing Knowledge, Knowledge Creation Capability, and the Rate of New Product Introduction in High-Technology Firms. *Academy of Management Journal*, 48(2), 346–357.
- Solaimani, S., & van der Veen, J. (2022). Open supply chain innovation: an extended view on supply chain collaboration. *Supply Chain Management: An International Journal*, 27(5), 597-610.
- State-of-the-art in artificial neural network applications: A survey, *Heliyon*, v. 4 (11), 1-41.
- Stephens, A. R., Robb, C. A., & Kang, M. (2022). A comparative study of Korean and US firms amid COVID-19 supply chain disruptions: The role of relational capital for improving ambidextrous innovation and firm performance. *Journal of Global Business and Trade*, 18(5), 77-99.

- Stock, J. and Boyer, S. (2009) Developing a Consensus Definition of Supply Chain Management: A Qualitative Study. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, v. 39, 690-711.
- Tani, M., Troise, C., De Bernardi, P., & Han, T. (2022). Innovating the supply chain in health-related crises: some evidence from ISINNOVA case. *European Journal of Innovation Management*, 25(6), 716-734.
- Toorajipour, R., Sohrabpour, V., Nazarpour, A., Oghazi, P. e Fishl, M. (2021), Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review, *Journal of Business Research*, (2021), v.122, 502-517.
- Tranfield, D., Denyer, D., Smart, P., (2003), Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review, *British Journal of Management*, v. 14(3), 207-222.
- Turing, A. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, 59 (236), 433-460.
- Unhale, M., & Slowak, A. (2022). India-based versus UK-based SME owners' perspectives on inter-firm collaboration. *Journal of Asia Business Studies*, 16(1), 161-180.
- Uzzi, B. (1997). Social structure and competition in interfirm networks: The paradox of embeddedness. *Administrative Science Quarterly*, 42(1), 35-67.
- Wang, G., Gunasekaran, A., Ngai, E. W. T., & Papadopoulos, T. (2020). Big data analytics in logistics and supply chain management: Certain investigations for research and applications. *International Journal of Production Economics*, 176, 98-110.
- Wang, L., Zhang, Y., Wang D, Tong, X., Liu, T., Zhang, S., Huang, J., Zhang, L., Chen, L., Fan, H., Clarke, M., (2021), Artificial Intelligence for COVID-19: A Systematic Review. *Front Med*, v. 8, 1-15.
- Warner, K., e Wäger, M., (2018), Building dynamic capabilities for digital transformation: An ongoing process of strategic renewal. *Long Range Planning*, v.52 (3), 1-58.
- Wasserman, S., & Faust, K. (1994). *Social network analysis: Methods and applications*. Cambridge University Press.
- Watts, D. J., & Strogatz, S. H. (1998). *Collective dynamics of 'small-world' networks*. *Nature*, 393(6684), 440-442.
- Yang, J., Chesbrough, H., & Hurmelinna-Laukkanen, P. (2022). How to appropriate value from general-purpose technology by applying open innovation. *California Management Review*, 64(3), 24-48.
- Yun, J. J., Liu, Z., & Zhao, X. (2021). Introduction: Ambidextrous open innovation in the 4th Industrial Revolution. *Science, Technology and Society*, 26(2), 183-200.
- Zhou, W., Gu, X., & Yang, X. (2022). The impact of knowledge search balance on the generality and specificity of breakthrough innovation. *Technology Analysis & Strategic Management*, 34(11), 1310-1325.

3 ESTUDO 2 - PROJETOS DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO RELACIONADOS À ADOÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA CADEIA DE SUPRIMENTOS

Resumo

Este estudo tem como objetivo investigar os determinantes do esforço de inovação das organizações responsáveis por projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) relacionados à adoção de Inteligência Artificial (IA) na cadeia de suprimentos (CA) (P&D-IA-CS). Para isso, foram analisadas 4.698 patentes e famílias de patentes como *proxies* para projetos de P&D-IA-CS bem-sucedidos. As principais organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS foram multinacionais, especialmente norte-americanas e europeias, com forte domínio tecnológico e cooperação. Descobriu-se que as organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS mais relevantes são aquelas de natureza tecnológica, com fortes laços com universidades e institutos de pesquisa. Além disso, este estudo constatou que o esforço de inovação de tais organizações é impulsionado positivamente pela cooperação tecnológica, pelo impacto da tecnologia no domínio técnico e pela importância estratégica da tecnologia para as entidades. Por outro lado, os fluxos de conhecimento, tanto patentários quanto científicos, exercem uma influência negativa sobre o esforço de inovação, indicando que as organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS tendem a desenvolver tecnologias menos baseadas em conhecimento prévio, priorizando a criação de conhecimento novo para obter vantagem competitiva e distinção tecnológica.

Palavras-chave: Projetos de P&D; Adoção de Inteligência Artificial; Cadeia de Suprimentos; Cooperação Tecnológica; Fluxos de Conhecimento.

3.1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, o mundo dos negócios tem se transformado em um cenário digital, e a inteligência artificial é considerada a rota mais promissora (Kumar et al., 2020; Pournader et al., 2021; Riahi et al., 2021; Richey et al., 2023; Kumar et al., 2023). Desde 2010, os projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) relacionados à adoção de Inteligência Artificial (IA) na cadeia de suprimentos (CS) (P&D-IA-CS) aumentaram significativamente, trazendo consequências promissoras e preocupações sobre o futuro do trabalho e do gerenciamento de projetos (Manyika & Bughin, 2018; Samuel et al., 2019; Toorajipour et al., 2021).

A inteligência artificial é definida como a capacidade das máquinas de comunicarem e imitarem as habilidades humanas (Schutzer, 1990; Dirican, 2015; Pournader et al., 2021). Sua

adoção resulta na resolução de problemas com maior precisão e velocidade. Embora não seja uma novidade, o interesse em suas aplicações em áreas como a cadeia de suprimentos tem crescido recentemente (Jarrahi, 2018; Riahi et al., 2021; Richey et al., 2023; Kumar et al., 2023).

As organizações estão buscando tecnologias para lidar com a crescente complexidade das cadeias de suprimentos (Pournader et al., 2021). Embora diversas aplicações funcionais tenham surgido nos últimos anos, poucos estudos exploraram os projetos de P&D-IA-CS, especialmente considerando como *proxy* de sucesso a geração de tecnologias protegidas por patentes (Riahi et al., 2021; Toorajipour et al., 2021).

A literatura reconhece que a cadeia de suprimentos é uma área com grande potencial de lucro, com a aplicação da inteligência artificial ao otimizar processos, prever demandas com maior precisão e gerenciar riscos de forma mais eficaz (Canhoto & Claro, 2020; Dirican, 2015; Soni et al., 2020). No entanto, é necessário examinar o esforço de inovação das organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS, considerando como *proxies* de sucesso as patentes geradas (Chui et al., 2019; Dubey et al., 2020; Pournader et al., 2021; Riahi et al., 2021; Toorajipour et al., 2021).

A realização de projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) relacionados à inteligência artificial (IA) na cadeia de suprimentos (CA) ainda é um esforço de inovação com grande potencial, mas ainda pouco compreendido. A literatura existente é limitada em termos de aplicações de inteligência artificial no campo da cadeia de suprimentos (Chui et al., 2019; Dubey et al., 2020; Pournader et al., 2021; Riahi et al., 2021; Toorajipour et al., 2021). Com este estudo, pretende-se oferecer uma visão abrangente dos determinantes do esforço de inovação das organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS, sistematizando a influência da cooperação tecnológica e dos fluxos de conhecimento.

Diante do exposto, neste estudo, o objetivo geral é investigar os determinantes do esforço de inovação das organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS. Sobre os construtos analisados, destacam-se: (a) o esforço de inovação, mensurado a partir do total de patentes sobre adoção de inteligência artificial na cadeia de suprimentos; (b) a cooperação tecnológica de titulares, mensurada a partir do total de titulares das patentes; (c) a cooperação tecnológica de inventores, mensurada a partir do total de inventores das patentes; (d) o fluxo de conhecimento patentário, mensurado a partir do total de citações de patentes; (e) o fluxo de conhecimento científico, mensurado a partir do total de citações de artigos; (f) o nível de influência da tecnologia no domínio, mensurado a partir do somatório do indicador de influência da tecnologia no domínio técnico ao qual pertence; e (g) o nível de importância

estratégica da tecnologia, mensurado a partir do somatório do indicador de importância estratégica da tecnologia para a entidade que a possui.

Este estudo contribui para identificar as principais organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS e os países priorizados para aplicação do domínio tecnológico. Também é valioso por mapear as conexões entre tais organizações e seus perfis, destacando as principais e secundárias. Por fim, esta pesquisa oferece uma sistematização dos determinantes do esforço de inovação das organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS, auxiliando pesquisadores e tomadores de decisão na proposição de novos projetos de P&D voltados para a inovação aberta.

3.2 REFERENCIAL TEÓRICO

A cadeia de suprimentos desempenha um papel crucial na garantia da qualidade da experiência do cliente e na gestão eficaz dos custos, oportunidades e incertezas (Zhang et al., 2016; Riahi et al., 2021). Os responsáveis pela tomada de decisões dentro dessa cadeia estão constantemente monitorando e buscando evitar incidentes que possam prejudicar o abastecimento, desde contratempos comuns, como atrasos na entrega e defeitos de qualidade, até eventos de grande magnitude, como crises políticas e desastres naturais, que podem complicar ainda mais o abastecimento em ambientes já instáveis (Zhang et al., 2016; Riahi et al., 2021).

Uma cadeia de suprimentos pode ser definida como uma rede de organizações interligadas, tanto na direção *upstream* quanto *downstream* (Riahi et al., 2021), que abrange diversos processos e atividades, visando à entrega de valor na forma de produtos e serviços ao consumidor final (Mentzer et al., 2001). Para operar de forma eficiente em ambientes complexos, em que as cadeias de suprimentos frequentemente estão inseridas, é essencial que os elos dessa cadeia sejam constantemente monitorados, previstos e otimizados (Zhang et al., 2016; Riahi et al., 2021). Nos últimos anos, houve um aumento significativo de projetos de P&D, priorizando a aplicação da inteligência artificial em diversos campos, incluindo as cadeias de suprimentos, como formas de gerar tecnologias capazes de apoiar a gestão de processos complexos com mais agilidade e eficiência (Borges et al., 2020).

A inteligência artificial capacita sistemas a tomarem decisões e realizarem tarefas automaticamente, sem intervenção humana (Borges et al., 2020), sendo que as organizações estão cada vez mais utilizando-a, juntamente com o aprendizado de máquina, para obter *insights* em várias áreas, como armazenamento, logística e gestão da cadeia de suprimentos (Riahi et

al., 2021). Em termos gerais, a inteligência artificial abrange máquinas ou equipamentos que utilizam habilidades computacionais para imitar a inteligência humana, podendo ser classificada em sistemas que pensam e agem como seres humanos e sistemas que pensam e agem racionalmente (Riahi et al., 2021). A inteligência artificial está ligada à capacidade de um sistema de reproduzir a inteligência humana, com o objetivo de racionalizar e tomar ações que maximizem a probabilidade de alcançar um objetivo específico (Cerka et al., 2015).

Consequentemente, o desenvolvimento de projetos de P&D sobre o uso de inteligência artificial na cadeia de suprimentos possibilita a implementação de abordagens preditivas que resultam em uma avaliação mais rápida e eficiente, além da minimização eficaz de riscos ou eventos disruptivos (Cerka et al., 2015). Além disso, permite aos usuários identificarem padrões na cadeia de suprimentos (Borges et al., 2020). A partir da implementação de algoritmos, a inteligência artificial é capaz de identificar, de maneira clara e rápida, dados relevantes na cadeia de suprimentos, permitindo a elaboração de modelos que oferecem, aos tomadores de decisão, um entendimento mais profundo de como cada processo funciona e quais áreas precisam ser melhoradas (Ni et al., 2020). Nessa nova abordagem de uso de inteligência artificial para aprimorar e otimizar a cadeia de suprimentos, as organizações estão constantemente aprendendo sobre as áreas que requerem melhorias e identificando os fatores que impactam o desempenho ao longo da cadeia (Riahi et al., 2021).

A cooperação tecnológica desempenha um papel crucial no esforço de inovação das organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS, permitindo a criação e o compartilhamento de conhecimento entre os atores da cadeia (Paulo, Ribeiro, & Porto, 2018). Por isso, tem sido objeto de interesse tanto de pesquisadores quanto de gestores interessados em compreender seu impacto no esforço de inovação das organizações e dos países (Gao et al., 2011). Desenvolver projetos de P&D de forma colaborativa, reunindo diferentes atores, permite que as empresas respondam rapidamente às oportunidades tecnológicas e de mercado, reduzindo tempo e custos (Petroni et al., 2012; Paulo et al., 2018).

Questões regulatórias, institucionais e econômicas têm um impacto significativo nas iniciativas de cooperação tecnológica e, consequentemente, no esforço de inovação das organizações responsáveis por projetos de P&D (Hall & Khan, 2003). Portanto, as nações com instituições e economias mais robustas estão mais bem posicionadas para promoverem o desenvolvimento de soluções tecnológicas, a partir de projetos de P&D, como o uso de inteligência artificial na cadeia de suprimentos. Na maioria das vezes, são as organizações de países desenvolvidos que lideram tecnicamente, tornando-se as principais protagonistas no

domínio tecnológico, na facilitação da cooperação e na promoção da inovação abertas (Ji, Barnett, & Chu, 2019).

Seguindo a abordagem da inovação aberta (Chesbrough, 2012), as organizações estabelecem acordos de cooperação tecnológica com diversos atores, para buscarem e compartilharem conhecimento (Zhang & Tang, 2018). Essa colaboração com diferentes atores amplia a rede de contatos e facilita o fluxo de conhecimento (Belderbos et al., 2006). Os atores envolvidos em acordos de cooperação tecnológica são normalmente classificados como empresas, universidades e institutos de pesquisa (De Fuentes & Dutre'nit, 2012; Zhang et al., 2016). As empresas, com fins lucrativos, desenvolvem produtos com foco no mercado, enquanto as universidades e institutos de pesquisa, geralmente organizações sem fins lucrativos, visam à geração de conhecimento científico e/ou inovações tecnológicas (Martin, 2012). Dadas essas diferenças, esses atores podem fornecer recursos estratégicos e complementares às organizações, incluindo conhecimento científico e inovações (Santoro & Chakrabarti, 2002; Drejer & Jorgensen, 2005; Du et al., 2014).

Quando empresas, universidades e institutos de pesquisa colaboram, ocorre uma cooperação tecnológica interorganizacional, que pode envolver a produção, transferência e aplicação de conhecimento (Zhang et al., 2016; Gao et al., 2014). Nessas parcerias, as empresas podem ter acesso a produtos básicos e pré-competitivos, além de conhecimento científico e técnico das universidades e institutos de pesquisa, aumentando suas capacidades de inovação (Bishop et al., 2011). Por sua vez, as universidades e institutos de pesquisa podem aprimorar seu entendimento sobre como o conhecimento científico e técnico pode contribuir para o desenvolvimento de produtos inovadores com o apoio das empresas (George et al., 2002). Além disso, há a cooperação tecnológica intraorganizacional, estabelecida entre empresas, incluindo matriz, subsidiárias e/ou fornecedores tecnológicos, como uma estratégia para fortalecer as capacidades de inovação, promover a transferência de tecnologia e desenvolver inovações globais ou reversas (Zhang & Tang, 2018).

Ambas as formas de cooperação (inter e intraorganizacional) desempenham um papel importante, já que as universidades e institutos de pesquisa são fundamentais na pesquisa científica básica, enquanto as empresas são responsáveis pela pesquisa aplicada e desenvolvimento (Okuyama & Osada, 2013). Além disso, a cooperação tecnológica com diferentes atores, medida pela quantidade de titulares (organizações detentoras da invenção) e inventores (indivíduos que atuaram no desenvolvimento da invenção) de patentes em determinado campo tecnológico, atua como um "radar", disseminando informações e conhecimentos associados aos avanços científicos e à produção industrial. Assim, tal

cooperação amplia e diversifica o escopo estratégico dos projetos de P&D nas organizações (Ahuja, 2000), promovendo a criação de novos conhecimentos e tecnologias. Em muitos setores, o desenvolvimento de tecnologias é fechado e a patente conta com um único titular, como forma de garantir exclusividade. Portanto, é relevante verificar se no campo da cadeia de suprimentos o esforço de inovação das organizações é fechado ou influenciado pela cooperação de titulares e inventores. Dessa forma, hipotetiza-se que:

H1: A cooperação tecnológica de titulares de patentes influencia positivamente o esforço de inovação das organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS.

H2: A cooperação tecnológica de inventores de patentes influencia positivamente o esforço de inovação das organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS.

A colaboração tecnológica estabelecida para impulsionar a inovação requer um intercâmbio de conhecimento entre os participantes dos projetos de P&D (Chesbrough, 2012). Baseando-se na Teoria da Evolução (Dosi, 1982) e na Teoria da Aprendizagem Organizacional (Cohen & Levinthal, 1990), é evidente que o conhecimento é a peça-chave para a inovação, portanto, ao colaborarem, as organizações devem considerar as trocas de conhecimento patentário e científico. Dessa forma, os fluxos de conhecimento destacados por citações de patentes e artigos científicos representam fontes relevantes de informação para a inovação (Santoro & Chakrabarti, 2002; Drejer & Jorgensen, 2005). Como resultado, as organizações que monitoram esses fluxos de conhecimento podem avançar, melhorando suas capacidades de absorção e inovação, ampliando as oportunidades tecnológicas e a competitividade (Cohen & Levinthal, 1990; Ahuja, 2000; Duysters & Lokshin, 2011).

As análises das citações de patentes e das citações de artigos científicos em patentes de um dado campo tecnológico podem fornecer, respectivamente, um mapa dos fluxos de conhecimento patentário e científico, revelando as origens de uma determinada tecnologia (Ji et al., 2019). Barberá-Tomás et al. (2011) validaram o uso de citações de patentes como evidência de inovação. Chen (2017) confirmou a hipótese de que as citações de patentes refletem fluxos de conhecimento tecnológico, que são incorporados em novas tecnologias.

Portanto, Ji et al. (2019) confirmaram a relevância dos fluxos de conhecimento, usando citações de patentes como *proxies*. Além disso, Breschi e Lissoni (2009) e Mitze e Strotebeck (2019) demonstraram que os fluxos de conhecimento evidenciados por citações de patentes são influenciados pela redução da distância geográfica, ou seja, a proximidade física dos parceiros tecnológicos tem um impacto positivo na inovação (Fornahl et al., 2011). Maggioni et al. (2007) e Scherngell e Barber (2009) também mostraram, na União Europeia, o efeito

positivo da proximidade geográfica nos fluxos de conhecimento, medidos por citações de patentes.

Em resumo, muitos pesquisadores têm utilizado a análise de citações de patentes e artigos científicos para investigar o fluxo, difusão e transferência de conhecimento (Chen & Hicks, 2004; Nelson, 2009; Park & Suh, 2013), organizar rotas e fronteiras tecnológicas (Érdi et al., 2013), entender o domínio tecnológico em determinados campos, sua estrutura e relações interorganizacionais (Wang, Zhang, & Xu, 2011; Weng & Daim, 2012; Yeh et al., 2013), explorar tecnologias emergentes (Shih & Liu, 2010), e investigar as capacidades de absorção e inovação em níveis empresariais e regionais (Yeh et al., 2013). Com base no exposto, elaboraram-se as seguintes hipóteses:

H3: O fluxo de conhecimento patentário influencia positivamente o esforço de inovação das organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS.

H4: O fluxo de conhecimento científico influencia positivamente o esforço de inovação das organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS.

Conforme evidenciado, a colaboração interorganizacional tem se mostrado um motor para a inovação. Nieto e Santamaria (2007) apontam que a diversidade e a quantidade de atores envolvidos em colaborações interorganizacionais promovem a troca de conhecimento e habilidades, o que potencializa a inovação. De maneira similar, Duysters e Lokshin (2011) observaram que parcerias estratégicas entre organizações ampliam os recursos disponíveis para P&D, facilitando a criação de soluções inovadoras. Lin (2012) reforça essa perspectiva, ao destacar que a colaboração com diferentes tipos de organizações aumenta a diversidade de ideias e abordagens, levando a resultados mais inovadores. Beers e Zand (2014) complementam, afirmando que a diversidade geográfica dos atores envolvidos em colaborações interorganizacionais contribui significativamente para a inovação, pois incorpora diferentes perspectivas culturais e práticas empresariais variadas.

Além disso, Zhang e Tang (2018), em sua análise de patentes de 554 organizações, corroboraram a importância da diversidade organizacional e geográfica para o avanço da inovação, mostrando que quanto maior a diversidade dos parceiros de colaboração, maiores são os ganhos em termos de inovação.

No entanto, o presente estudo se destaca por sua oportunidade e distinção em relação às pesquisas existentes, ao se concentrar na cooperação tecnológica em um campo ainda pouco explorado: a adoção de inteligência artificial na cadeia de suprimentos. A literatura existente sobre a adoção de IA aponta que essa tecnologia tem o potencial de transformar significativamente as operações e a eficiência das cadeias de suprimentos, mas ainda são

necessários mais estudos para entender plenamente como a IA influencia o domínio técnico no qual está inserida (Ivanov & Dolgui, 2020).

Adicionalmente, a integração da IA em projetos de P&D-IA-CS apresenta um cenário propício para a inovação devido à capacidade da IA de processar grandes volumes de dados, identificar padrões complexos e otimizar processos operacionais (Baryannis et al., 2019), afetando, portanto, o domínio técnico no campo. Estudos sugerem que a aplicação de IA nas cadeias de suprimentos pode levar a avanços significativos, não apenas em termos de eficiência operacional, mas também na geração de novas tecnologias e soluções inovadoras (Wamba et al., 2020). Diante dessas considerações, formulou-se a seguinte hipótese:

H5: O nível de influência da tecnologia no domínio afeta positivamente o esforço de inovação das organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS.

Essa hipótese se baseia na premissa de que a adoção de tecnologias avançadas, como a IA, pode potencializar os esforços de inovação, ao proporcionar novas capacidades técnicas e operacionais. O impacto positivo esperado se deve ao fato de que a IA pode ajudar as organizações a superarem desafios complexos, identificarem oportunidades de melhoria e implementarem soluções inovadoras de forma mais eficaz.

O uso de citações de patentes tem sido uma ferramenta comum para mapear os fluxos de conhecimento. Zhang e Tang (2018) observaram que as citações de patentes entre organizações refletem a transferência de conhecimento e contribuem significativamente para a inovação tecnológica. Ji et al. (2019) reforçam essa visão, demonstrando que as citações de patentes são indicativas de como o conhecimento se dissemina entre diferentes entidades, influenciando diretamente a capacidade de inovação. Mitze e Strotebeck (2019) também destacam que a análise das citações de patentes pode revelar as dinâmicas de transferência de conhecimento entre setores industriais e organizações, enfatizando a importância dessas interações para o desenvolvimento tecnológico.

Além disso, teorias estabelecidas sustentam que as capacidades das organizações de evoluir e aprender são cruciais para o desenvolvimento de suas capacidades de absorção e inovação. Dosi (1982) argumenta que a evolução tecnológica das organizações está ligada à sua capacidade de aprender e internalizar novos conhecimentos. Cohen e Levinthal (1990) introduziram o conceito de capacidade de absorção, definindo-o como a habilidade de reconhecer, assimilar e aplicar novos conhecimentos, o que é essencial para a inovação contínua. Santoro e Chakrabarti (2002) e Drejer e Jorgensen (2005) expandem essa teoria, sugerindo que a capacidade de absorção é aprimorada por meio da colaboração interorganizacional e do aprendizado contínuo.

Cohen e Levinthal (1990) destacam que a capacidade de absorção aumenta a capacidade de inovação, permitindo que as organizações utilizem conhecimento externo de maneira eficaz. Ahuja (2000) observa que as redes de colaboração tecnológica facilitam a troca de conhecimento, promovendo inovações significativas. Duysters e Lokshin (2011) complementam essa perspectiva, mostrando que parcerias estratégicas entre organizações ampliam os recursos disponíveis para P&D, resultando em resultados inovadores.

No entanto, com este estudo, esta é a primeira vez que se investiga simultaneamente a colaboração tecnológica e os fluxos de conhecimento, para compreender o esforço de inovação de organizações que detêm patentes, levando em consideração a importância estratégica da tecnologia para essas entidades. A integração de tecnologias avançadas, como a IA, na cadeia de suprimentos, adiciona uma camada de complexidade e oportunidade para a inovação que ainda não foi suficientemente explorada. Assim:

H6: O nível de importância estratégica da tecnologia influencia positivamente o esforço de inovação das organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS.

Em síntese, propõe-se que a cooperação tecnológica e os fluxos de conhecimento influenciam positivamente esse esforço, resultando em maior sucesso na execução dos projetos, ou seja, em patentes (Zhang & Tang, 2018; Ji et al., 2019; Petroni et al., 2012; Abulrub & Lee, 2012). Além disso, a importância estratégica da tecnologia e seu domínio técnico também são determinantes potenciais desse esforço (Pournader et al., 2021; Riahi et al., 2021; Toorajipour et al., 2021).

3.3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta pesquisa, adotou-se uma abordagem cientométrica, baseada na estratégia de levantamento e análise de patentes. Foram utilizados dados de INPADOCS (patentes e famílias de patentes) da base Derwent Clarivate, coletados em junho de 2023. O período prioritário para análise foi de 2003 a 2023, com foco em patentes relacionadas à adoção de inteligência artificial na cadeia de suprimentos. Para isso, foi implementada a seguinte estratégia de busca: "ARTIFICIAL INTELLIGENCE" OR "AI" OR "ARTIFICIAL NEURAL NETWORK" OR "ANN" OR "MACHINE LEARNING") AND ("SUPPLY CHAIN" OR "SC" OR "SUPPLY CHAIN MANAGEMENT" OR "SCM" OR "SUPPLY CHAIN PLATFORM" OR "SUPPLY CHAIN PLATFORM".

Os INPADOCS selecionados foram organizados em planilhas do Microsoft Excel, nas quais os campos relevantes foram sistematizados, incluindo Ano de Aplicação, Resumo (em

inglês), Número de Aplicação, País/Região de Aplicação, Titular, Contagem de Titulares, Contagem de Referências Citadas - Patente, Contagem de Referências Citadas - Não-patente, Impacto Combinado de Patentes, Influência no Domínio, Inventor, Contagem de Inventores e Importância Estratégica. Após a verificação e padronização desses campos, a amostra final do estudo incluiu 4.698 INPADOCS.

Examinar as tecnologias patenteadas sob a perspectiva das organizações titulares permite uma compreensão abrangente dos determinantes de seu esforço de inovação, bem como de seu impacto, estratégias patentárias e de inovação em um domínio específico, como a adoção de inteligência artificial na cadeia de suprimentos. É importante destacar que os países dos titulares das patentes foram classificados como "desenvolvidos" ou "em desenvolvimento", seguindo a classificação da ONU (2020).

Vale esclarecer que as 4.698 patentes e famílias de patentes foram analisadas como *proxies* de projetos de P&D-IA-CS bem-sucedidos. Pesquisas recentes oferecem *insights* valiosos sobre projetos de P&D e patentes, destacando a importância dessas evidências para a inovação nas empresas e o desenvolvimento tecnológico tanto nos países desenvolvidos como naqueles em desenvolvimento.

Para a análise das organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS, adotou-se o *software* Iramuteq. Para tal, foi usada a análise de similitude, para compreender as ramificações dos titulares (de patentes) centrais para outros titulares (de patentes) secundários que se conectam, ampliando a interpretação sobre as conexões entre os titulares (centrais e secundários). Assim, foi possível mapear o caminho pelo qual as titulares principais e secundários foram enunciados no *corpus* textual analisado (lista de *assignee* das patentes), bem como as suas conexões.

Para testar as hipóteses, adotou-se o método da regressão linear múltipla (Hair et al., 2009; Creswell, 2017) e foi usado o *software* SPSS, versão 26. Nos modelos regressivos calculados, foram analisadas as seguintes variáveis e suas respectivas *proxies*: (a) para o esforço de inovação, variável dependente, o total de patentes sobre adoção de inteligência artificial na cadeia de suprimentos; (b) para a cooperação tecnológica de titulares, primeira variável independente, o total de titulares das patentes; (c) para a cooperação tecnológica de inventores, segunda variável independente, o total de inventores das patentes; (d) para o fluxo de conhecimento patentário, terceira variável independente, o total de citações de patentes; (e) para o fluxo de conhecimento científico, quarta variável independente, o total de citações de artigos; (f) para o nível de influência da tecnologia no domínio, quinta variável independente, o somatório do indicador de influência da tecnológica no domínio técnico ao qual pertence; e (g) para o nível de importância

estratégica da tecnologia, sexta variável independente, o somatório do indicador de importância estratégica da tecnologia para a entidade que a possui. Os dados de todas as variáveis foram coletados na base Derwent Clarivate, em junho de 2023.

É importante ressaltar que o total de patentes de uma organização titular não foi adotado como proxy de inovação. Isso ocorre porque nem toda tecnologia protegida por patente resulta em inovação ou em valor para o mercado. Assim, é mais apropriado usar o termo "esforço" de inovação, pois ele reflete a criação de tecnologias patenteadas que têm o potencial de gerar inovações para o mercado, embora isso não seja garantido. É relevante observar que, nesta pesquisa, não foram incluídas algumas variáveis que impulsionam o esforço de inovação das organizações responsáveis por projetos de P&D, como investimentos em P&D e pessoal dedicado à pesquisa e desenvolvimento.

3.4 RESULTADOS

Foram analisados 4.698 INPADOCS (patentes e suas famílias) de organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS. Desses, 3.826 não envolviam cooperação tecnológica, ou seja, apresentavam apenas um titular, indicando o desenvolvimento de tecnologia proprietária. Os restantes 872 INPADOCS envolviam cooperação, com dois ou mais titulares, evidenciando a colaboração tecnológica intra e interorganizacional, incluindo matrizes de multinacionais e suas subsidiárias, empresas de menor porte, universidades, institutos de pesquisa ou outras organizações parceiras. Além disso, constatou-se que, dos 4.698 INPADOCS analisados, 902 contavam com apenas um inventor, enquanto 3.796 tinham dois ou mais inventores.

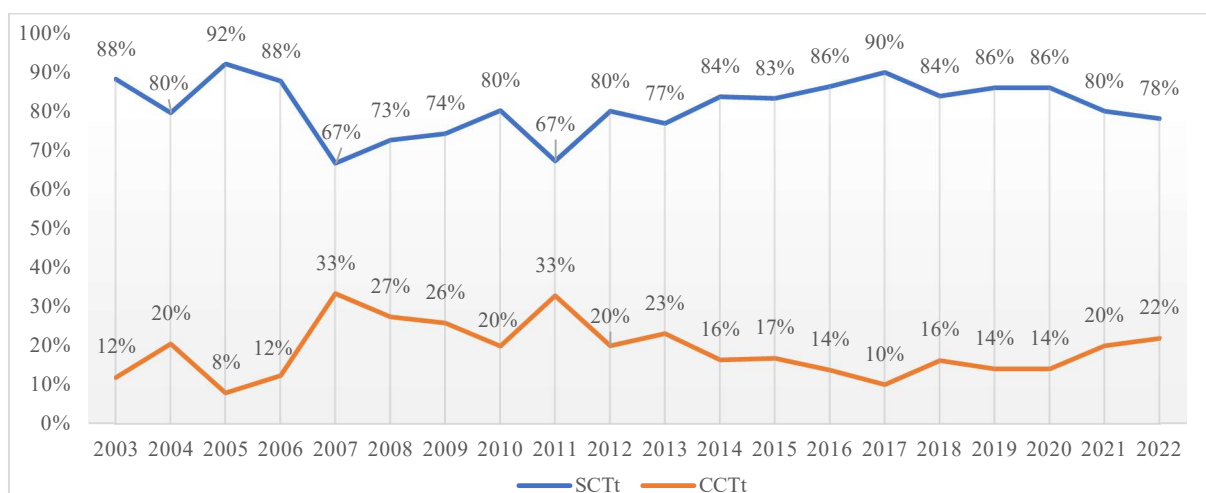


Figura 2. Evolução histórica das patentes com e sem cooperação tecnológica de titulares
Legenda: SCTt: Patentes sem cooperação tecnológica de titulares; CCTt: Patentes com cooperação tecnológica de titulares.
Fonte: elaborada pela autora

A evolução das patentes das organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS no período de 2003 a 2022 é representada nas Figuras 2 e 3. A Figura 2 mostra que a proporção de patentes sem cooperação entre as organizações foi consistentemente maior do que o percentual de patentes com cooperação ao longo desse período. A média da proporção de patentes sem cooperação entre as organizações foi de 81%, enquanto as patentes com cooperação representaram apenas 19% em média. Isso indica um campo promissor a ser explorado pelas organizações em termos de desenvolvimento cooperativo de projetos de P&D sobre o uso de inteligência artificial para aprimorar a gestão da cadeia de suprimentos.

A Figura 3 ilustra que a proporção de patentes envolvendo cooperação entre inventores foi consistentemente maior do que o percentual de patentes sem cooperação no período de 2003 a 2022. Ao longo de toda a análise, a média da proporção de patentes com cooperação entre inventores foi de 79%, enquanto as patentes sem cooperação entre inventores representaram em média 21%. Isso evidencia que a cooperação é uma prática prevalente e amplamente difundida entre os inventores de organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS.

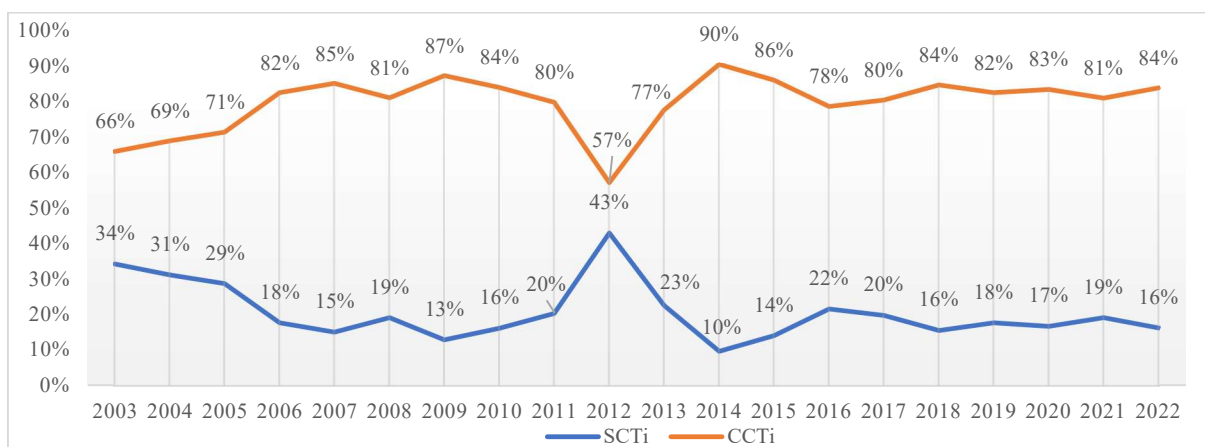


Figura 3. Evolução histórica das patentes com e sem cooperação tecnológica de inventores.
Legenda: SCTi: Patentes sem cooperação tecnológica de inventores; CCTi: Patentes com cooperação tecnológica de inventores.
Fonte: elaborada pela autora

Em relação à distribuição temporal das patentes e suas características (conforme apresentado na Tabela 6), foram observados valores médios ao longo dos anos analisados (2003-2022). Esses valores médios incluíram 222 patentes, 326 titulares, 961 inventores, 945

citações de patentes e 480 citações de artigos científicos. Quanto às taxas de patentes por titular (TP/TT) e por inventor (TP/TI), foi constatada uma tendência de crescimento, com médias de 0,69 e 0,24, respectivamente. Isso indica uma incidência de esforço de inovação com cooperação entre titulares e inventores de organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS durante o período examinado.

As taxas de patentes por citações de patentes (TP/FCp) e por citações de artigos científicos (TP/FCc) também mostraram uma tendência de crescimento ao longo do período analisado, com médias de 0,29 e 0,64, respectivamente. Isso sugere a presença de um esforço de inovação com fluxos de conhecimento tanto de natureza patentária quanto científica (tabela 1) nas organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS.

Adicionalmente, foram registrados crescimentos percentuais médios na quantidade absoluta durante o período analisado, incluindo um aumento de 13,71% no número de patentes (CTP), 16,20% no número de titulares de patentes (CTT), 14,60% no número de inventores de patentes (CTI), 25,54% no fluxo acumulado de conhecimentos patentários (CFCp) e 24,51% no fluxo acumulado de conhecimentos científicos (CFCc) (Tabela 6).

Tabela 6.
Distribuições das patentes e suas especificidades.

ANOS	TP	TT	TI	FCp	FCc	TP/TT	TP/TI	TP/FCp	TP/FCc	CTP	CTT	CTI	CFCp	CFCc
2003	76	101	269	148	54	0,75	0,28	0,51	1,41					
2004	93	139	306	215	83	0,67	0,30	0,43	1,12	22,37	37,62	13,75	45,27	53,70
2005	101	132	367	324	120	0,77	0,28	0,31	0,84	8,60	-5,04	19,93	50,70	44,58
2006	130	150	574	325	164	0,87	0,23	0,40	0,79	28,71	13,64	56,40	0,31	36,67
2007	126	275	631	505	128	0,46	0,20	0,25	0,98	-3,08	83,33	9,93	55,38	-21,95
2008	157	304	652	382	136	0,52	0,24	0,41	1,15	24,60	10,55	3,33	-24,36	6,25
2009	124	249	585	278	194	0,50	0,21	0,45	0,64	-21,02	-18,09	-10,28	-27,23	42,65
2010	136	211	621	356	171	0,64	0,22	0,38	0,80	9,68	-15,26	6,15	28,06	-11,86
2011	113	238	439	1106	563	0,47	0,26	0,10	0,20	-16,91	12,80	-29,31	210,67	229,24
2012	205	342	658	472	475	0,60	0,31	0,43	0,43	81,42	43,70	49,89	-57,32	-15,63
2013	173	282	756	911	543	0,61	0,23	0,19	0,32	-15,61	-17,54	14,89	93,01	14,32
2014	165	200	756	761	447	0,83	0,22	0,22	0,37	-4,62	-29,08	0,00	-16,47	-17,68
2015	191	257	869	868	574	0,74	0,22	0,22	0,33	15,76	28,50	14,95	14,06	28,41
2016	204	262	904	911	462	0,78	0,23	0,22	0,44	6,81	1,95	4,03	4,95	-19,51
2017	248	280	1115	1347	891	0,89	0,22	0,18	0,28	21,57	6,87	23,34	47,86	92,86
2018	303	369	1320	1503	693	0,82	0,23	0,20	0,44	22,18	31,79	18,39	11,58	-22,22
2019	385	464	1646	2394	1145	0,83	0,23	0,16	0,34	27,06	25,75	24,70	59,28	65,22
2020	406	489	1809	1989	947	0,83	0,22	0,20	0,43	5,45	5,39	9,90	-16,92	-17,29
2021	480	737	2177	1994	1201	0,65	0,22	0,24	0,40	18,23	50,72	20,34	0,25	26,82
2022	621	1033	2765	2118	615	0,60	0,22	0,29	1,01	29,38	40,16	27,01	6,22	-48,79
Média	222	326	961	945	480	0,69	0,24	0,29	0,64	13,71	16,20	14,60	25,54	24,51

Legenda: TP: total de patentes; TT: total de titulares; TI: total de inventores; FCp: fluxo acumulado de conhecimento patentário (total de patentes citadas); FCc: fluxo acumulado de conhecimento científico (total de artigos citados); TP/TT: taxa de patentes por titular; TP/TI: taxa de patentes por inventores; TP/FCp: taxa de patentes por fluxo acumulado de conhecimento patentário; TP/FCc: taxa de patentes por fluxo acumulado de conhecimento científico; CTP: crescimento percentual de patentes em relação ao ano anterior; CTT: crescimento percentual de titulares de patentes em relação ao ano anterior; CTI: crescimento percentual de inventores de patentes em relação ao ano anterior; CFCp: crescimento percentual do fluxo acumulado de conhecimento patentário; CFCc: crescimento percentual do fluxo acumulado de conhecimento científico. Fonte: elaborada pela autora.

Considerando o campo tecnológico de atuação das organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS (conforme apresentado na Tabela 7), identificamos um total de 4.698 patentes, 6.950 titulares, 20.310 inventores, 19.805 citações de patentes e 9.850 citações de artigos científicos no período de 2003 a 2022. Na mesma tabela, é apresentada a distribuição percentual de patentes das organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS entre países desenvolvidos e em desenvolvimento. Os dez principais países concentraram 70,33% das patentes, 69,28% dos titulares, 72,53% dos inventores, 70,71% das citações de patentes e 69,41% das citações de artigos científicos. Dentre esses dez países, cinco são economias em desenvolvimento (EE) e acumularam 40,29% das patentes, 38,19% dos titulares, 41,92% dos inventores, 18,77% das citações de patentes e 16,38% das citações de artigos científicos, destacando-se China, México, Índia, Brasil e Singapura. Isso indica que esses países são priorizados pelas organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS e, consequentemente, exercem um domínio tecnológico e cooperativo significativo no campo da adoção de inteligência artificial na cadeia de suprimentos, concentrando um grande número de patentes, titulares e inventores (Tabela 8).

Tabela 8.

Distribuição percentual de patentes entre os países (2003-2022).

	<i>PAÍS</i>	<i>% do TP</i>	<i>% do TT</i>	<i>% do TI</i>	<i>% do TCp</i>	<i>% do TCa</i>
EE	CHINA	24,56%	19,94%	24,90%	18,48%	16,11%
ED	ESTADOS UNIDOS	12,47%	16,24%	11,11%	44,94%	45,15%
ED	AUSTRÁLIA	9,00%	7,78%	11,13%	3,90%	4,48%
EE	MÉXICO	5,83%	4,19%	5,80%	0,06%	0,01%
EE	ÍNDIA	5,41%	10,81%	6,32%	0,11%	0,09%
ED	CANADÁ	3,79%	2,88%	4,46%	0,13%	0,05%
ED	FRANÇA	2,66%	2,32%	1,54%	2,97%	3,32%
EE	BRASIL	2,38%	1,74%	2,57%	0,00%	0,00%
EE	SINGAPURA	2,11%	1,51%	2,33%	0,12%	0,16%
ED	NOVA ZELÂNDIA	2,11%	1,87%	2,37%	0,01%	0,04%
	% dos 10 principais países	70,33%	69,28%	72,53%	70,71%	69,41%
	% dos 05 principais países de EE	40,29%	38,19%	41,92%	18,77%	16,38%
	% dos 05 principais países de ED	30,03%	31,09%	30,62%	51,95%	53,04%
	Total geral do campo tecnológico analisado	4698	6950	20310	19805	9850

Legenda: EE: Economia em desenvolvimento, ED: Economia desenvolvida, % do TP: percentual do total de patentes, % do TT: percentual do total de titulares, % do TI: percentual do total de inventores, % do TCp: percentual do fluxo acumulado de conhecimento patentário (total de patentes citadas), % do TCa: percentual do fluxo acumulado de conhecimento científico (total de artigos citados).

Fonte: elaborada pelas autoras.

Os demais países da lista são economias desenvolvidas, que acumularam 30,03% das patentes, 31,09% dos titulares, 30,62% dos inventores, 51,95% das citações de patentes e 53,04% das citações de artigos científicos, com destaque para Estados Unidos, Austrália, Canadá, França e Nova Zelândia. Isso sugere que esses países são priorizados pelas organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS, como fontes de conhecimento no campo da adoção de inteligência artificial na cadeia de suprimentos, já que concentram um grande número de citações de patentes e artigos científicos.

Na Tabela 9, apresenta-se a distribuição percentual de patentes entre as dez principais organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS (as com o maior número de patentes no período de 2003 a 2022). Todas essas organizações listadas são multinacionais (MNA), sendo cinco da América do Norte, quatro da Europa e uma da Ásia, acumulando 7,28% das patentes, 8,46% dos titulares, 8,46% dos inventores, 13,15% das citações de patentes e 12,07% das citações de artigos científicos. Isso evidencia uma concentração significativa de domínio tecnológico, cooperativo e de fluxo de conhecimento por parte das multinacionais norte-americanas e europeias no campo da adoção de inteligência artificial na cadeia de suprimentos.

Tabela 9.

Distribuição percentual de patentes entre as 10 principais organizações titulares (2003-2022)

	10 PRINCIPAIS TITULARES	% DO TP	% DO TT	% DO TI	% DO TCP	% DO TCA
MNA NORTE-AMERICANA	QUALCOMM INCORPORATED	1,19%	1,24%	1,26%	0,73%	0,28%
MNA ALEMÃ	BASF	1,11%	2,24%	1,30%	2,10%	2,24%
MNA ALEMÃ	MERCK PATENT GMBH	1,06%	1,65%	1,03%	1,59%	2,17%
MNA NORTE-AMERICANA	GENERAL ELECTRIC COMPANY	0,64%	0,43%	0,53%	0,50%	0,44%
MNA NORTE-AMERICANA	IBM	0,57%	0,47%	0,44%	2,25%	1,55%
MNA NORTE-AMERICANA	PFIZER	0,55%	0,37%	0,72%	0,09%	0,02%
MNA ALEMÃ	BAYER	0,55%	0,46%	1,11%	1,05%	0,22%
MNA NORTE-AMERICANA	MODERNATX	0,53%	0,45%	0,78%	3,52%	3,58%
MNA SUIÇA	NOVARTIS	0,53%	0,63%	0,82%	1,04%	1,04%
MNA SUL-COREANA	LG ELECTRONICS	0,53%	0,50%	0,47%	0,29%	0,52%
	% dos 10 principais titulares	7,28%	8,46%	8,46%	13,15%	12,07%
	% dos 05 principais titulares da América do Norte	3,49%	2,96%	3,74%	7,09%	5,88%
	% dos 04 principais titulares da Europa	3,26%	4,99%	4,26%	5,77%	5,68%
	Total geral do campo tecnológico analisado	4698	6950	20310	19805	9850

Legenda: % do TP: percentual do total de patentes, % do TT: percentual do total de titulares, % do TI: percentual do total de inventores, % do TCp: percentual do fluxo acumulado de conhecimento patentário (total de patentes citadas), % do TCa: percentual do fluxo acumulado de conhecimento científico (total de artigos citados).

Fonte: elaborada pelas autoras

A partir da Análise de Similitude (conforme mostrado na Figura 3), pôde-se aprofundar a compreensão das interconexões entre as organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS bem-sucedidos, destacando-se as principais organizações centrais e suas conexões com outras organizações secundárias. As conexões mais fortes e frequentes são representadas por linhas mais espessas.

Nesse contexto, observa-se que, no campo da adoção de inteligência artificial na cadeia de suprimentos, as organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS, que exercem centralidade, são predominantemente de natureza tecnológica, como evidenciado no núcleo da Figura 4. Estas organizações mantêm conexões fortes e recorrentes com universidades e institutos de pesquisa, enquanto suas interações com corporações e empresas de menor porte são menos proeminentes e frequentes.

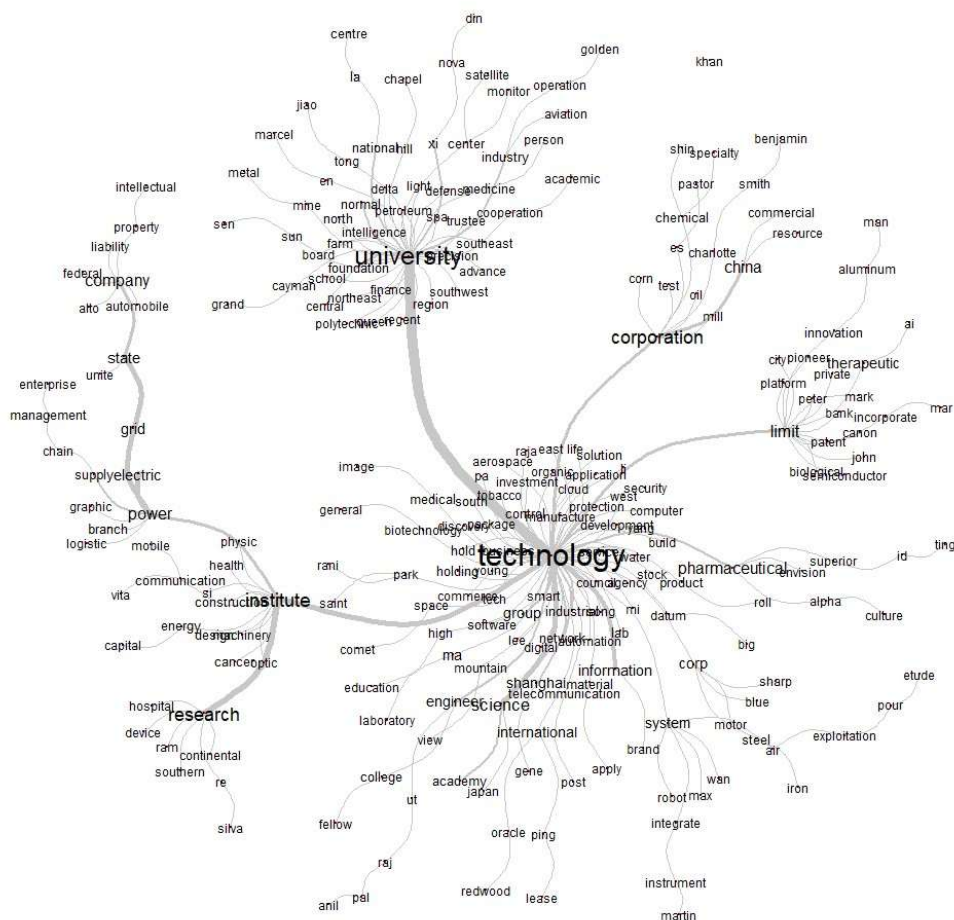


Figura 4. Análise de Similitude das Organizações Titulares das Patentes
Fonte: elaborada pela autora, com auxílio do *software* Iramuteq

As Tabelas 9 e 10 apresentam os resultados dos testes das hipóteses, utilizando seis modelos de regressão, nos quais uma nova variável independente foi adicionada a cada novo modelo, indo do modelo 1, o mais simples, ao modelo 6, o mais completo, que incorpora todas as variáveis independentes. O modelo 6, que inclui todas as variáveis independentes, alcançou o melhor poder de explicação (R^2 82,84%), sendo, portanto, utilizado para os testes de hipótese.

É importante ressaltar que, nos modelos das Tabelas 10 e 11, a variável dependente é o esforço de inovação das organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS. As variáveis independentes consideradas são: cooperação tecnológica de titulares, cooperação tecnológica de inventores, fluxo de conhecimento patentário, fluxo de conhecimento científico, nível de influência da tecnologia no domínio e nível de importância estratégica da tecnologia.

Assim, no modelo 6, foram testadas as hipóteses 1 e 2, que previam uma relação positiva entre cooperação tecnológica (de titulares e de inventores) e esforço de inovação. Os testes confirmaram as hipóteses 1 e 2, evidenciando que a cooperação tecnológica (de titulares e de inventores) exerce uma influência positiva no esforço de inovação das organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS. Adicionalmente, foram testadas as hipóteses 3 e 4 no modelo 6, que previam uma relação positiva entre fluxo de conhecimento (patentário e científico) e esforço de inovação. Surpreendentemente, os testes revelaram o contrário, indicando que quanto maior o fluxo de conhecimento (patentário e científico), menor o esforço de inovação das organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS.

Por fim, foram testadas as hipóteses 5 e 6 no modelo 6, que previam uma relação positiva entre influência da tecnologia no domínio, importância estratégica da tecnologia e esforço de inovação. Os testes confirmaram as hipóteses 5 e 6, demonstrando que quanto maior a influência da tecnologia no domínio e a importância estratégica da tecnologia, maior é o esforço de inovação das organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS.

Tabela 10.

Testes para o esforço de inovação 1

Variável dependente = Esforço de Inovação

Variáveis Independentes	Modelo 1			Modelo 2			Modelo 3		
	Beta	T	P-valor	Beta	T	P-valor	Beta	T	P-valor
Interseção	0,48	15,39	0,00%*	0,37	13,82	0,00%*	0,37	13,87	0,00%*
CTt	0,47	88,11	0,00%*	0,30	43,36	0,00%*	0,29	40,90	0,00%*
CTi				0,07	32,77	0,00%*	0,07	32,06	0,00%*
FCp							0,00	4,92	0,00%*
N	2879			2879			2879		
F (ou teste F)	7764,26			5867,53			3951,37		
R^2	72,95%			80,30%			80,46%		

Legenda: * $p < 0,01$, CTt: Cooperação Tecnológica de Titulares, CTi: Cooperação Tecnológica de Inventores, FCp: Fluxo de Conhecimento Patentário.

Fonte: elaborada pela autora com auxílio do *software* SPSS.

Tabela 11.

*Testes para o esforço de inovação 2***Variável dependente = Esforço de Inovação**

Variáveis Independentes	Modelo 4			Modelo 5			Modelo 6		
	Beta	T	P-valor	Beta	T	P-valor	Beta	T	P-valor
Interseção	0,37	13,84	0,00%*	0,33	12,68	0,00%*	0,37	14,86	0,00%*
CTt	0,29	41,06	0,00%*	0,26	36,16	0,00%*	0,22	28,93	0,00%*
CTi	0,07	32,07	0,00%*	0,07	31,37	0,00%*	0,06	26,94	0,00%*
FCp	0,00	5,72	0,00%*	0,00	2,05	0,03%**	-0,00	-2,86	0,00%*
FCa	-0,00	-3,05	0,00%*	-0,00	-3,09	0,00%*	-0,00	-5,04	0,00%*
ID				0,02	12,83	0,00%*	0,02	9,81	0,00%*
IE							0,07	14,67	0,00%*
N	2879			2879			2879		
F (ou teste F)	2974,44			2548,09			2317,83		
R²	80,51%			81,56%			82,84 %		

Legenda: *p<0,01, **p<0,05, CTt: Cooperação Tecnológica de Titulares, CTi: Cooperação Tecnológica de Inventores, FCp: Fluxo de Conhecimento Patentário; FCa: Fluxo de Conhecimento Científico, ID: Influência da Tecnologia no Domínio, IE: Importância Estratégica da Tecnologia. Fonte: Elaborado pelas autoras com auxílio do software SPSS.

3.5 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

Ao analisar as organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS, no período de 2003 a 2022, observa-se que a proporção de patentes sem cooperação de organizações titulares foi maior do que o percentual de patentes com cooperação, indicando uma predominância da estratégia de desenvolvimento de tecnologias proprietárias. Isso sugere um terreno fértil para explorar a cooperação no desenvolvimento de soluções de inteligência artificial, visando o aprimoramento da gestão da cadeia de suprimentos, conforme sugerem Chui et al. (2019) e Dubey et al. (2020), dado o enfoque na tecnologia proprietária entre as organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS.

No entanto, a proporção de patentes com cooperação de inventores superou o percentual de patentes sem cooperação ao longo do período de 2003 a 2022, indicando que a cooperação é uma prática já difundida entre os inventores de organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS. Além disso, observamos crescimentos percentuais médios na quantidade absoluta de patentes, titulares de patentes, inventores de patentes, fluxo acumulado de conhecimento patentário e fluxo acumulado de conhecimento científico durante esse período.

Especificamente, entre os 10 principais países priorizados pelas organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS, em termos de número de patentes, no período de 2003 a 2022, cinco são economias em desenvolvimento, destacando-se China, México, Índia, Brasil e Singapura. Esses países exercem domínio tecnológico e cooperativo, concentrando um grande número de patentes, titulares e inventores. Os demais países da lista são economias desenvolvidas, como Estados Unidos, Austrália, Canadá, França e Nova Zelândia, exercendo

forte influência nos fluxos de conhecimento das organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS, já que concentram um grande número de citações de patentes e artigos científicos.

Em relação às 10 principais organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS, em termos de número de patentes, no período de 2003 a 2022, todas são multinacionais (MNA), e há uma concentração significativa de domínio tecnológico, cooperativo e de fluxo de conhecimento por parte das MNA norte-americanas e europeias. Isso corrobora estudos anteriores de Chui et al. (2019) e Toorajipour et al. (2021).

Os resultados também mostraram que o esforço de inovação das organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS é afetado positivamente pela cooperação tecnológica (de titulares e inventores de patentes), pelo nível de influência da tecnologia no domínio técnico e pelo nível de importância estratégica da tecnologia. No entanto, em relação aos fluxos de conhecimento (patentário e científico) como determinantes do esforço de inovação, os resultados foram contrários às expectativas, sugerindo que um maior fluxo de conhecimento está associado a um menor esforço de inovação das organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS.

Quanto às limitações desta pesquisa, destacam-se a coleta de dados apenas da base Derwent Clarivate e a não consideração de algumas variáveis impulsionadoras do esforço de inovação, das organizações responsáveis por projetos de P&D-IA-CS, como investimento em P&D e pessoal alocado em P&D. Propostas para estudos futuros incluem mapear as principais redes de cooperação, prospectar rotas tecnológicas e tecnologias emergentes e desenvolver estudos de caso para validar os resultados encontrados.

REFERÊNCIAS

- Abulrub, A. H. G., & Lee, J. (2012). Open innovation management: challenges and prospects. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 41, 130-138.
- Ahuja, G. (2000). Collaboration networks, structural holes, and innovation: A longitudinal study. *Administrative science quarterly*, 45(3), 425-455.
- Barberá-Tomás, D., Jiménez-Sáez, F., & Castelló-Molina, I. (2011). Mapping the importance of the real world: The validity of connectivity analysis of patent citations networks. *Research policy*, 40(3), 473-486.
- Baryannis, G., Validi, S., Dani, S., & Antoniou, G. (2019). Supply chain risk management and artificial intelligence: state of the art and future research directions. *International Journal of Production Research*, 57(7), 2179-2202.
- Beers, C., & Zand, F. (2014). R&D cooperation, partner diversity, and innovation performance: an empirical analysis. *Journal of Product Innovation Management*, 31(2), 292-312.

- Belderbos, R., Carree, M., & Lokshin, B. (2006). Complementarity in R&D cooperation strategies. *Review of Industrial Organization*, 28(4), 401-426.
- Bishop, K., D'Este, P., & Neely, A. (2011). Gaining from interactions with universities: Multiple methods for nurturing absorptive capacity. *Research Policy*, 40(1), 30-40.
- Borges, A. F. S., Laurindo, F. J. B., Spínola, M. M., Gonçalves, R. F., & Mattos, C. A. (2020). The strategic use of artificial intelligence in the digital era: Systematic literature review and future research directions. *International Journal of Information Management*, 102-225.
- Breschi, S., & Lissoni, F. (2009). Mobility of skilled workers and co-invention networks: an anatomy of localized knowledge flows. *Journal of economic geography*, 9(4), 439-468.
- Canhoto, A. I., & Clear, F. (2020). Artificial intelligence and machine learning as business tools: A framework for diagnosing value destruction potential. *Bus. Horiz. Artificial Intelligence and Machine Learning*, 63, 183-193.
- Carrera-Rivera, A., Ochoa, W., Larrinaga, F., & Lasa, G. (2022). *How to conduct a systematic literature review: A quick guide for computer science research. MethodsX*, 9, 101895. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2022.101895>.
- Cerka, P., Grigienė, J., & Širbikyte, G. (2015). Liability for damages caused by artificial intelligence. *Computer Law & Security Review*, 31, 376-389.
- Chen, C., & Hicks, D. (2004). Tracing knowledge diffusion. *Scientometrics*, 59(2), 199-211.
- Chen, L. (2017). Do patent citations indicate knowledge linkage? The evidence from text similarities between patents and their citations. *Journal of Informetrics*, 11(1), 63-79.
- Chesbrough, H. (2012). Open innovation: Where we've been and where we're going. *Research-Technology Management*, 55(4), 20-27.
- Chui, M., Henke, N., Miremadi, M., 2019. Most of AI's Business Uses Will Be in Two
- Cohen, W. M., & Levinthal, D. A. (1990). Absorptive capacity: A new perspective on learning and innovation. *Administrative science quarterly*, 128-152.
- Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2017). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. Sage publications.
- De Fuentes, C., & Dutrenit, G. (2012). Best channels of academia-industry interaction for long-term benefit. *Research Policy*, 41(9), 1666-1682.
- Dirican, C. (2015). The impacts of robotics, artificial intelligence on business and economics. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 195, 564-573.
- Dosi, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research policy*, 11(3), 147-162.
- Drejer, I., & Jørgensen, B. H. (2005). The dynamic creation of knowledge: Analysing public-private collaborations. *Technovation*, 25(2), 83-94.
- Du, J., Leten, B., & Vanhaverbeke, W. (2014). Managing open innovation projects with science-based and market-based partners. *Research Policy*, 43(5), 828-840.

- Dubey, R., Gunasekaran, A., Childe, S. J., Bryde, D. J., Giannakis, M., Foropon, C., ... Hazen, B. T. (2020). Big data analytics and artificial intelligence pathway to operational performance under the effects of entrepreneurial orientation and environmental dynamism: A study of manufacturing organisations. *International Journal of Production Economics*, 226, Article 107599.
- Duysters, G., & Lokshin, B. (2011). Determinants of alliance portfolio complexity and its effect on innovative performance of companies. *Journal of Product Innovation Management*, 28(4), 570-585.
- Érdi, P., Makovi, K., Somogyvári, Z., Strandburg, K., Tobochnik, J., Volf, P., & Zalányi, L. (2013). Prediction of emerging technologies based on analysis of the US patent citation network. *Scientometrics*, 95(1), 225-242.
- Fornahl, D., Broekel, T., & Boschma, R. (2011). What drives patent performance of German biotech firms? The impact of R&D subsidies, knowledge networks and their location. *Papers in regional science*, 90(2), 395-418.
- Gao, X., Guan, J., & Rousseau, R. (2011). Mapping collaborative knowledge production in China using patent co-inventorships. *Scientometrics*, 88(2), 343-362.
- George, G., Zahra, S. A., & Wood, D. R. (2002). The effects of business-university alliances on innovative output and financial performance: A study of publicly traded biotechnology companies. *Journal of Business Venturing*, 17(6), 577-609.
- Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., Anderson, R. E., & Tatham, R. L. (2009). *Análise multivariada de dados*. Bookman editora.
- Hall, B. H., & Khan, B. (2003). *Adoption of new technology* (No. w9730). National bureau of economic research.
- Huin, S. F., Luong, L. H. S., & Abhary, K. (2003). Knowledge-based tool for planning of enterprise resources in ASEAN SMEs. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 19, 409-414.
- Jarrahi, M. H. (2018). Artificial intelligence and the future of work: Human-AI symbiosis in organizational decision making. *Business Horizons*, 61, 577-586.
- Ivanov, D., & Dolgui, A. (2020). Viability of intertwined supply networks: extending the supply chain resilience angles towards survivability. A position paper motivated by COVID-19 outbreak. *International journal of production research*, 58(10), 2904-2915.
- Ji, J., Barnett, G. A., & Chu, J. (2019). Global networks of genetically modified crops technology: a patent citation network analysis. *Scientometrics*, 118(3), 737-762.
- Kaplan, A., Haenlein, M., 2019. Siri, Siri, in my hand: who's the fairest in the land? On the interpretations, illustrations, and implications of artificial intelligence. *Bus. Horiz.* 62, 15-25
- Kumar, A., Mani, V., Jain, V., Gupta, H., & Venkatesh, V. G. (2023). Managing healthcare supply chain through artificial intelligence (AI): A study of critical success factors. *Computers & Industrial Engineering*, 175, 108815.
- Kumar, V., Ramachandran, D., & Kumar, B. (2020). Influence of new-age technologies on marketing: A research agenda. *Journal of Business Research*.

- Li, R., Chambers, T., Ding, Y., Zhang, G., & Meng, L. (2014). Patent citation analysis: Calculating science linkage based on citing motivation. *Journal of the Association for Information Science and Technology*, 65(5), 1007-1017.
- Lin, J. Y. (2012). *New structural economics: A framework for rethinking development and policy*. The World Bank.
- Liu, H., Yao, M., & Cao, J. (2020). Linking R&D Project Characteristics to Innovation Outcomes: The Moderating Role of Corporate Governance Mechanisms. *Journal of Business Research*.
- Maggioni, M. A., Nosvelli, M., & Uberti, T. E. (2007). Space versus networks in the geography of innovation: A European analysis. *Papers in Regional Science*, 86(3), 471-493.
- Manyika, J., Bughin, J., 2018. The Promise and Challenge of the Age of Artificial Intelligence. McKinsey Global Institute.
- Martin, B. R. (2012). Are universities and university research under threat? Towards an evolutionary model of university speciation. *Cambridge Journal of Economics*, 36(3), 543-565.
- Mentzer, J.T., DeWitt, W., Keebler, J.S., Min, S., Nix, N.W., Smith, C.D., Zacharia, Z.G., 2001. Defining supply chain management. *J. Bus. Logist.* 22, 1-25.
- Mitze, T., & Strotebeck, F. (2019). Determining factors of interregional research collaboration in Germany's biotech network: Capacity, proximity, policy?. *Technovation*, 80, 40-53.
- Mocan, N. H., & Yu, H. (2021). Does Public Funding of Private R&D Generate Economic Value? Evidence from the Small Business Innovation Research Program. *Journal of Applied Econometrics*.
- Nelson, R. R. (2009). *An evolutionary theory of economic change*. harvard university press.
- Ni, D., Xiao, Z., & Lim, M. K. (2020). A systematic review of the research trends of machine learning in supply chain management. *International Journal of Machine Learning and Cybernetics*, 11, 1463-1482.
- Nieto, M. J., & Santamaría, L. (2007). The importance of diverse collaborative networks for the novelty of product innovation. *Technovation*, 27(6-7), 367-377.
- Nishant, R., Kennedy, M., & Corbett, J. (2020). Artificial intelligence for sustainability: Challenges, opportunities, and a research agenda. *International Journal of Information Management*, 53, Article 102104
- Okuyama, R., & Osada, H. (2013, July). University-industry collaboration in drug discovery in Japan: An empirical analysis over thirty years. In *2013 Proceedings of PICMET'13: Technology Management in the IT-Driven Services (PICMET)* (pp. 2704-2710). IEEE.
- Organização das Nações Unidas – ONU (2020). World Economic Situation and Prospects 2020 (un.org). Disponível em: <https://www.un.org/development/desa/dpad/wp-content/uploads/sites/45/WESP2020_Annex.pdf>. Acesso em fevereiro de 2021.

- Park, H. W., & Suh, S. H. (2013). Scientific and technological knowledge flow and technological innovation: Quantitative approach using patent citation. *Asian Journal of Technology Innovation*, 21(1), 153–169.
- Paulo, A. F., Ribeiro, E. M. S., & Porto, G. S. (2018). Mapping countries cooperation networks in photovoltaic technology development based on patent analysis. *Scientometrics*, 117(2), 667–686.
- Petroni, G., Venturini, K., & Verbano, C. (2012). Open innovation and new issues in R&D organization and personnel management. *The International Journal of Human Resource Management*, 23(1), 147–173.
- Pournader, M., Ghaderi, H., Hassanzadegan, A., & Fahimnia, B. (2021). Artificial intelligence applications in supply chain management. *International Journal of Production Economics*, 241, 108250.
- Riahi, Y., Saikouk, T., Gunasekaran, A., & Badraoui, I. (2021). Artificial intelligence applications in supply chain: A descriptive bibliometric analysis and future research directions. *Expert Systems with Applications*, 173, 114702.
- Richey Jr, R. G., Chowdhury, S., Davis-Sramek, B., Giannakis, M., & Dwivedi, Y. K. (2023). Artificial intelligence in logistics and supply chain management: A primer and roadmap for research. *Journal of Business Logistics*, 44(4), 532–549.
- Samuel, S., Heilweil, R., Piper, K., 2019. The Rapid Development of AI Has Benefits — and Poses Serious Risks.
- Santoro, M. D., & Chakrabarti, A. K. (2002). Firm size and technology centrality in industry–university interactions. *Research policy*, 31(7), 1163–1180.
- Scherngell, T., & Barber, M. J. (2009). Spatial interaction modelling of cross-region R&D collaborations: empirical evidence from the 5th EU framework programme. *Papers in Regional Science*, 88(3), 531–546.
- Schutzer, D. (1990). Business expert systems: The competitive edge. *Expert Systems with Applications*, 1, 17–21.
- Shih, M. J., & Liu, D. R. (2010). Patent Classification Using Ontology-Based Patent Network Analysis. In *PACIS* (p. 95).
- Shu, X., Xiang, P., & Zhang, L. (2020). Patents, R&D, and Innovation Strategies: Evidence from Chinese High-Tech Firms. *Industrial Marketing Management*.
- Soni, N., Sharma, E. K., Singh, N., & Kapoor, A. (2020). Artificial Intelligence in Business: From Research and Innovation to Market Deployment. *Procedia Comput. Sci. International Conference on Computational Intelligence and Data Science*, 167, 2200–2210.
- Toorajipour, R., Sohrabpour, V., Nazarpour, A., Oghazi, P., & Fischl, M. (2021). Artificial intelligence in supply chain management: A systematic literature review. *Journal of Business Research*, 122, 502–517.

- Wamba, S. F., Gunasekaran, A., Akter, S., Ren, S. J. F., Dubey, R., & Childe, S. J. (2017). Big data analytics and firm performance: Effects of dynamic capabilities. *Journal of business research*, 70, 356-365.
- Wang, X., Zhang, X., & Xu, S. (2011). Patent co-citation networks of Fortune 500 companies. *Scientometrics*, 88(3), 761-770.
- Weng, C., & Daim, T. U. (2012). Structural differentiation and its implications—core/periphery structure of the technological network. *Journal of the Knowledge Economy*, 3(4), 327-342.
- Yeh, H.Y., Sung, Y.S., Yang, H.W., Tsai W.C., Chen D.Z., (2013). The bibliographic coupling approach to filter the cited and uncited patent citations: A case of electric vehicle technology. *Scientometrics*, 94(1), 75–93.
- Zhang, G., & Tang, C. (2018). How R&D partner diversity influences innovation performance: An empirical study in the nano-biopharmaceutical field. *Scientometrics*, 116(3), 1487-1512.
- Zhang, L., Shu, X., & Wu, H. (2021). The Effect of R&D Project Diversity on Patenting Activities: Evidence from Chinese Firms. *Technovation*.
- Zhang, Y., Chen, K., Zhu, G., Yam, R. C. M., & Guan, J. (2016). Inter-organizational scientific collaborations and policy effects: An ego-network evolutionary perspective of the Chinese academy of sciences. *Scientometrics*, 108(3), 1–33.

4 ESTUDO 3. SOLUÇÕES DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS INTERNACIONAIS NO SUL GLOBAL

Resumo: Este trabalho analisa o papel de soluções baseadas em inteligência artificial (IA) na mitigação de desafios estruturais enfrentados por cadeias de suprimentos internacionais no Sul Global. O objetivo é propor um modelo processual de adoção de soluções de IA com base na ecologia organizacional, permitindo alinhar inovações tecnológicas às capacidades institucionais e contextuais dessas cadeias. A pesquisa adota uma abordagem de métodos mistos sequencial, combinando uma revisão sistemática de 168 projetos PIPE, entrevistas com 35 especialistas e validação com 45 respondentes. Essa abordagem metodológica permite compreender como soluções de IA emergem, são selecionadas e se consolidam em ambientes organizacionais marcados por baixa previsibilidade, fragmentação logística e restrições institucionais. A pesquisa propõe um modelo de quatro etapas interdependentes, que organiza a adoção de IA como um processo adaptativo e cíclico, sensível à variação de contextos e à necessidade de legitimação institucional. Os resultados estão organizados em 12 categorias analíticas de soluções e cinco desafios críticos, conectando tecnologia e realidade operacional em cadeias localizadas no Sul Global. O estudo contribui para o desenvolvimento de estratégias de inovação orientadas por capacidades locais e fornece subsídios para políticas públicas e práticas organizacionais voltadas à superação de desigualdades estruturais e ao fortalecimento de ecossistemas logísticos sustentáveis.

Palavras-chave: Cadeias de suprimentos; Inteligência artificial; Sul Global; Ecologia organizacional; Inovação tecnológica.

4.1. Introdução

A ecologia organizacional é uma teoria sociológica que analisa a emergência, transformação e desaparecimento de organizações com base em mecanismos populacionais, enfatizando a influência do ambiente externo na sobrevivência organizacional. Seus conceitos centrais, variação, seleção, retenção e nicho organizacional, explicam como formas organizacionais emergem, se estabilizam ou são substituídas ao longo do tempo. Um de seus pressupostos fundamentais é a inércia estrutural, que limita a adaptabilidade interna das organizações, tornando-as mais suscetíveis à seleção ambiental (Hannan & Freeman, 1977; 1984; Moshtari, Delbakhsh & Ghorbani, 2023).

Esse referencial analítico tem sido aplicado ao estudo da inovação tecnológica em ambientes institucionais complexos, especialmente no Sul Global, onde organizações enfrentam barreiras estruturais, escassez de recursos e pressões por legitimidade em contextos marcados por assimetrias globais. A adoção de tecnologias emergentes, como soluções baseadas em inteligência artificial (IA), pode ser compreendida como um processo adaptativo que envolve a seleção de nichos tecnológicos, muitas vezes mediados por políticas públicas, ecossistemas de inovação e demandas do mercado global. Nesse sentido, os conceitos da ecologia organizacional fornecem ferramentas teóricas para analisar como soluções de IA se estabelecem, são adotadas em cadeias de suprimentos internacionais, ou desaparecem considerando contextos desiguais em que se encontram (Teixeira, Ferreira & Ramos, 2025).

As cadeias de suprimentos internacionais do Sul Global operam sob condições específicas que afetam sua capacidade de integração e competitividade. Barreiras como baixa previsibilidade, fragmentação da infraestrutura, instabilidade regulatória, dificuldade de acesso a financiamento e escassez de mão de obra qualificada configuram desafios estruturais que afetam sua resiliência (Teixeira, Ferreira & Ramos, 2025). Nesse contexto, a adoção de soluções baseadas em IA são frequentemente apresentadas como instrumentos de transformação, capazes de promover ganhos de eficiência, previsibilidade e integração logística. No entanto, há lacunas na literatura quanto à sistematização de quais soluções são efetivamente aplicadas, como elas se relacionam com os desafios específicos dessas cadeias e de que forma contribuem para a superação de suas limitações operacionais e institucionais (Wu, 2025).

Do ponto de vista metodológico, poucos estudos combinam revisão sistemática com análise qualitativa e validação empírica para compreender o papel da IA nas cadeias de suprimentos do Sul Global (Teixeira, Ferreira & Ramos, 2025). A maior parte da literatura foca em contextos do Norte Global ou em abordagens tecnocêntricas que desconsideram os fatores institucionais e organizacionais que condicionam a adoção dessas tecnologias em países em desenvolvimento. Além disso, a articulação entre soluções tecnológicas e desafios logísticos é frequentemente fragmentada, sem modelos processuais que orientem a adoção da IA de forma contextualizada e escalável (Sanders, Autry & Gligor, 2020; Wu, 2025).

Este trabalho busca preencher essas lacunas teóricas, metodológicas e práticas ao investigar as soluções baseadas em IA podem contribuir para a mitigação de desafios enfrentados por cadeias de suprimentos internacionais no Sul Global, com base nos princípios da ecologia organizacional. A questão central é: como soluções de IA podem ser sistematizadas, relacionadas aos principais desafios logísticos e organizadas em um modelo processual que

contribua para o fortalecimento das cadeias de suprimentos do Sul Global? O objetivo geral é propor um modelo orientador de adoção de soluções de IA, estruturado com base na ecologia organizacional. Os objetivos específicos são: (1) sistematizar soluções de IA com potencial de aplicação em cadeias de suprimentos internacionais; (2) mapear os principais desafios dessas cadeias no Sul Global e suas conexões com as soluções identificadas; e (3) propor e validar um modelo processual de adoção de IA para mitigação de desafios estruturais.

O trabalho contribui teoricamente ao integrar os conceitos de ecologia organizacional à análise da adoção de IA em cadeias de suprimentos, oferecendo um olhar sistêmico para a emergência e estabilização de inovações tecnológicas em ambientes institucionais complexos. Contribui também metodologicamente ao adotar uma abordagem de métodos mistos, combinando revisão sistemática, entrevistas com especialistas e validação com análise quantitativa. Finalmente, contribui de forma prática ao apresentar um modelo orientador composto por quatro macroetapas interdependentes, que organiza a adoção de IA como um processo cíclico e adaptativo em contextos de baixa previsibilidade, promovendo a resiliência e a integração das cadeias de suprimentos internacionais do Sul Global.

4.2. Referencial Teórico

A ecologia organizacional, proposta por Hannan e Freeman (1977; 1984), fornece um arcabouço teórico para analisar como organizações respondem às pressões ambientais em contextos institucionais complexos. A teoria examina os processos de variação, seleção e retenção que determinam a emergência, estabilização e desaparecimento de formas organizacionais, considerando a inércia estrutural como fator limitante à adaptação interna (Nyakuchena & Tsikada, 2025). Aplicada ao contexto das cadeias de suprimentos internacionais, essa perspectiva permite compreender como soluções tecnológicas, como a inteligência artificial (IA), emergem e se consolidam como respostas adaptativas frente a desafios estruturais persistentes. Segundo Aldrich e Ruef (2006), a competição por nichos organizacionais envolve não apenas a capacidade de inovação, mas também a adequação às expectativas normativas e institucionais do ambiente externo.

A ecologia organizacional tem sido utilizada para analisar a adoção de inovações tecnológicas em setores com alta complexidade logística e instabilidade institucional. Estudos como os de Sine e Lee (2009) destacam como a criação e difusão de inovações estão ligadas a pressões do campo organizacional, incluindo políticas públicas, regulamentações e dinâmicas de mercado. No contexto do Sul Global, onde cadeias de suprimentos enfrentam infraestrutura

fragmentada e acesso limitado a financiamento, a adoção de soluções baseadas em IA pode ser compreendida como um processo de seleção de nichos tecnológicos adaptativos (Ansari, Fiss & Zajac, 2010). A introdução de novas soluções exige não apenas viabilidade técnica, mas também legitimação institucional, o que condiciona sua permanência no sistema organizacional (Beta, Nagaraj & Weerasinghe, 2025).

A literatura também aponta que a adoção de tecnologias em ambientes instáveis é influenciada por fatores institucionais, mais do que apenas por critérios de eficiência. DiMaggio e Powell (1983) afirmam que processos de isomorfismo institucional levam organizações a imitarem práticas percebidas como legítimas, o que se reflete na escolha de tecnologias amplamente reconhecidas, mesmo que descontextualizadas das realidades locais. Isso é particularmente relevante nas cadeias de suprimentos do Sul Global, onde soluções desenvolvidas em contextos do Norte Global são frequentemente aplicadas sem adaptação, reforçando assimetrias e dificultando a consolidação de soluções endógenas (Chen, Chiang & Storey, 2012). Nesse sentido, a ecologia organizacional contribui para compreender como a adoção de IA pode ser moldada por lógicas institucionais dominantes e pela busca de legitimidade no cenário global (Samuels, 2025).

Ao considerar a integração de IA em cadeias de suprimentos, estudos recentes apontam para a necessidade de abordagens sistêmicas que articulem inovação tecnológica com capacidades organizacionais locais. De acordo com Sanders, Autry e Gligor (2020), a aplicação eficaz de IA depende da existência de capacidades analíticas, governança de dados e alinhamento estratégico entre atores da cadeia. No entanto, essas condições são frequentemente ausentes em cadeias de suprimentos localizadas no Sul Global, o que compromete a sustentabilidade das inovações. A ecologia organizacional, ao enfatizar o papel da estrutura e do ambiente institucional, permite identificar quais condições são necessárias para que soluções de IA deixem de ser iniciativas pontuais e passem a integrar processos organizacionais contínuos (Jetty & Afshan, 2025).

A literatura sobre cadeias de suprimentos no Sul Global destaca que os principais desafios enfrentados, como baixa previsibilidade, falta de mão de obra qualificada e instabilidade normativa, demandam soluções que vão além da adoção de tecnologias isoladas. Segundo Christopher e Holweg (2017), a resiliência em cadeias de suprimentos depende de mecanismos adaptativos e colaborativos, que permitam responder a variações ambientais de forma ágil. Essa perspectiva está alinhada com a noção de ciclos de adaptação proposta por Levinthal (1997), em que organizações reavaliam e ajustam suas estratégias com base em feedbacks ambientais. A IA, nesse contexto, pode ser inserida como uma ferramenta que opera

dentro de ciclos de aprendizagem organizacional, possibilitando maior integração e eficiência, desde que sua implementação considere as especificidades estruturais do ambiente onde será aplicada (Ogunsoto, Olivares-Aguila & ElMaraghy, 2025).

Portanto, a integração entre ecologia organizacional e inovação tecnológica oferece uma base teórica robusta para analisar como cadeias de suprimentos do Sul Global podem incorporar soluções de IA de forma sustentável. Essa abordagem permite compreender a adoção tecnológica não apenas como uma decisão estratégica, mas como um processo condicionado por estruturas institucionais, dinâmicas ambientais e capacidades organizacionais. O referencial teórico adotado neste estudo busca justamente articular esses elementos, oferecendo subsídios para o desenvolvimento de modelos adaptativos e escaláveis de adoção de IA, orientados por uma perspectiva de sustentabilidade institucional (Hossain et al., 2025).

4.3. Método

A pesquisa adotou uma abordagem de métodos mistos sequenciais, estruturada em quatro etapas: fase preparatória, fase qualitativa, fase quantitativa e fase meta-inferencial. Na fase preparatória, realizou-se a mineração e sistematização de soluções tecnológicas baseadas em inteligência artificial (IA) com potencial de aplicação na cadeia de suprimentos internacional. A coleta de dados foi conduzida por meio do levantamento de projetos PIPE na biblioteca digital da FAPESP, utilizando a expressão de busca “Inteligência Artificial”. Esta etapa seguiu os procedimentos de revisão sistemática conforme o protocolo de Tranfield, Denyer e Smart (2003), com o objetivo de identificar projetos aderentes ao escopo de estudo (Carrera-Rivera et al., 2022).

A formulação da pergunta de pesquisa, a escolha das bases de dados, os critérios de inclusão e exclusão e a definição da estratégia de busca foram validados por cinco acadêmicos atuantes nas áreas de Administração, IA e/ou Cadeia de Suprimentos. A triagem inicial contou com o apoio do software Atlas.ti. Foram identificados 376 projetos, dos quais 5 foram excluídos por duplicidade, totalizando 371 registros. Destes, 203 foram desconsiderados por não apresentarem aderência temática, resultando em 168 registros selecionados para as etapas subsequentes.

Na fase qualitativa, aplicou-se a técnica de síntese de pesquisa com base na abordagem agregativa (Cooper et al., 2019; Heyvaert et al., 2013), com o objetivo de agrupar os 168 registros em categorias de soluções de IA voltadas à cadeia de suprimentos internacional. A análise dos dados foi conduzida no Atlas.ti, resultando em 245 códigos organizados em 75

elementos descritivos e 12 categorias analíticas. O processo de codificação foi guiado pelos conceitos de variação, seleção e nicho tecnológico, conforme a perspectiva da ecologia organizacional.

Em seguida, foram entrevistados 35 especialistas em IA e Cadeia de Suprimentos Internacional do Sul Global. As entrevistas abordaram os principais desafios enfrentados pelas cadeias de suprimento na região e a relação entre esses desafios e as 12 categorias identificadas. A seleção dos especialistas considerou experiência mínima de dois anos, diversidade institucional e geográfica, além de anuência ética. O foco no Sul Global justifica-se pela relevância da região na análise de cadeias globais sob contextos institucionais heterogêneos, restrições regulatórias e assimetrias de capacidade.

O material empírico das entrevistas foi analisado por meio do Atlas.ti, resultando em 682 códigos organizados em 158 elementos descritivos e cinco grandes desafios característicos da cadeia de suprimentos internacional no Sul Global. Esses achados foram sistematizados em uma planilha contendo 406 conexões entre os cinco desafios, as 12 categorias de soluções e as 168 soluções de IA identificadas. A codificação seguiu a mesma orientação teórica aplicada na etapa anterior.

A etapa quantitativa analisou as interações entre desafios, categorias e soluções por meio de Análise de Redes Sociais (ARS), com o uso do software Gephi. Nessa etapa, os nós representaram os elementos mapeados e as conexões indicaram suas relações. Foram calculadas métricas como número de nós, número de arestas, densidade da rede, componentes conectados, comunidades detectadas, modularidade, comprimento médio dos caminhos, diâmetro da rede, nós isolados e colaborativos, e centralidades de grau, intermediação, proximidade e autovetor (Freeman, 2017; Bavelas, 1950; Burt, Kilduff & Tasselli, 2013; Granovetter, 1990; Watts & Strogatz, 1998).

Na fase meta-inferencial, integrou-se os resultados qualitativos e quantitativos com base na lógica de construção de meta-inferência (Tashakkori, Johnson & Teddlie, 2020), resultando na formulação de um modelo processual voltado à mitigação dos desafios das cadeias de suprimento no Sul Global por meio de soluções de IA.

A etapa de validação desse modelo envolveu entrevistas com 45 especialistas nos temas abordados, conduzidas a partir de três questões: (1) O modelo reflete adequadamente os desafios e oportunidades da aplicação de IA em cadeias de suprimentos no Sul Global? (2) Quais elementos do modelo são mais úteis para orientar decisões estratégicas e operacionais? (3) Há lacunas que deveriam ser incluídas para representar melhor a realidade da região? A seleção dos entrevistados seguiu os mesmos critérios anteriores de qualificação e diversidade.

As entrevistas foram transcritas e analisadas tematicamente no Atlas.ti. O processo de análise incorporou ciclos iterativos de feedback dos participantes, conforme a abordagem de Eisenhardt (1989), com o objetivo de refinar e consolidar o modelo analítico proposto.

4.4. Resultados

A análise dos 168 projetos PIPE identificados revela a diversidade de soluções baseadas em inteligência artificial (IA) com potencial aplicação na cadeia de suprimentos internacional, especialmente relevantes para o contexto do Sul Global. A partir do referencial metodológico de Tranfield, Denyer e Smart (2003), observa-se que grande parte das soluções prioriza a automação de processos logísticos, a previsão de falhas e demandas, e a rastreabilidade de produtos e insumos, aspectos centrais para mitigar ineficiências em ambientes de infraestrutura limitada e alta complexidade operacional, características frequentes em países do Sul Global (Gereffi & Lee, 2016). Tecnologias como visão computacional, machine learning e IA embarcada em sensores têm sido aplicadas para controle de qualidade (ex: “Inspeção com IA”), logística agrícola (“IA para controle de qualidade de grãos de café”), e transporte de cargas sensíveis (“Termografia com IA”). Esses usos correspondem ao movimento de reconfiguração das cadeias globais de valor, onde atores do Sul Global buscam aumentar seu grau de integração e autonomia tecnológica por meio de inovações orientadas à eficiência e conformidade regulatória (UNCTAD, 2021; Ogunsoto, Olivares-Aguila & ElMaraghy, 2025).

Além das aplicações técnicas, os dados indicam o crescimento de soluções voltadas à governança, sustentabilidade e compliance, como as plataformas “PIPA”, “Plataforma para mercado de carbono” e “Sistema de mediação automatizada com IA”, o que reflete o alinhamento progressivo com demandas transnacionais por rastreabilidade e práticas ESG. Esse movimento é consistente com a literatura que aponta a crescente interdependência entre digitalização, sustentabilidade e competitividade global das cadeias de suprimento (Raj, Dwivedi & Sharma, 2020). A presença de ferramentas voltadas à educação, capacitação e suporte a operadores logísticos (como “QuizMe”, “IA na Educação” e “iAssist”) também evidencia a relevância de capacidades humanas como fator complementar à adoção de tecnologias avançadas, especialmente em economias emergentes. Assim, as soluções mapeadas não apenas ilustram a diversidade de estratégias tecnológicas em desenvolvimento, mas também evidenciam como o ecossistema de inovação do Sul Global pode responder a desafios estruturais com soluções digitalmente escaláveis e localmente adaptáveis, conforme discutido

por Chaminade et al. (2018) no contexto da construção de capacidades de inovação em países em desenvolvimento (Hossain et al., 2025).

4.4.1 Sistematização das Soluções de IA em Categorias

Esta seção apresenta os resultados da análise qualitativa das soluções baseadas em inteligência artificial (IA) aplicadas às cadeias de suprimentos internacionais no contexto do Sul Global, com base em uma síntese de pesquisa de natureza agregativa (Cooper et al., 2019; Heyvaert et al., 2013). O corpus empírico foi composto por 168 registros previamente identificados, os quais foram codificados com o auxílio do software Atlas.ti, resultando em 245 códigos, organizados em 75 elementos descritivos e 12 categorias analíticas. A análise foi conduzida com base na perspectiva da ecologia organizacional, considerando os conceitos de variação, seleção e formação de nichos tecnológicos (Hannan & Freeman, 1989). A seguir, cada categoria é apresentada e discutida à luz da literatura sobre cadeias globais de valor, inovação e transformação digital no Sul Global (Jetty & Afshan, 2025).

A categoria Rastreamento e Monitoramento de Cargas reflete uma variação tecnológica orientada pela necessidade de maior visibilidade operacional. A aplicação de IA combinada com sensores e Internet das Coisas (IoT) permite rastrear e monitorar cargas em tempo real, mitigando falhas de infraestrutura típicas de regiões com baixa conectividade (Samuels, 2025). Esses recursos ampliam a capacidade das organizações do Sul Global de garantir a integridade e pontualidade de suas operações, reduzindo incertezas ambientais conforme previsto por Hannan e Freeman (1989).

Em Previsão e Planejamento Logístico com IA, observam-se soluções que utilizam machine learning para antecipar demandas e otimizar fluxos logísticos. Tais ferramentas respondem à necessidade de maior resiliência em cadeias complexas e instáveis, como as do Sul Global. Ivanov e Dolgui (2020) destacam que a adoção de modelos preditivos é estratégica para lidar com eventos disruptivos e alocar recursos de forma eficiente, algo ainda mais relevante em contextos com limitações operacionais (Beta, Nagaraj & Weerasinghe, 2025).

As soluções de Inspeção e Controle de Qualidade Automatizado tratam da automação de processos críticos para garantir a conformidade técnica dos produtos com os padrões internacionais. Gereffi (2018) argumenta que a permanência em cadeias globais de valor está condicionada à capacidade de atender a exigências regulatórias. Ao adotar tecnologias de visão computacional e detecção automatizada, empresas do Sul Global reduzem custos com mão de obra e aumentam sua competitividade técnica (Nyakuchena & Tsikada, 2025).

A categoria Rastreabilidade Agroalimentar e Sustentabilidade representa um nicho tecnológico associado à agricultura voltada à exportação. As soluções visam garantir a origem, segurança e conformidade ambiental dos produtos. Ponte (2019) observa que mercados como o europeu e o norte-americano impõem exigências crescentes de rastreabilidade, o que força produtores do Sul Global a adotarem tecnologias capazes de atestar práticas sustentáveis e atender aos padrões fitossanitários exigidos.

Em Otimização de Produção e Processos Industriais, a IA é empregada para automatizar rotinas produtivas e integrar etapas da manufatura com a logística internacional. Essa categoria evidencia a busca por eficiência fabril em regiões onde a escassez de insumos e a instabilidade de fornecimento são recorrentes Moshtari, Delbakhsh & Ghorbani, 2023. Segundo Bousdekis et al. (2020), a IA permite ajustes contínuos e detecção precoce de falhas, o que contribui para a retenção de soluções tecnologicamente adaptadas às condições locais.

As Soluções Jurídicas e Contratuais com IA abordam a mitigação de riscos legais em transações internacionais. A padronização de contratos, a análise de precedentes e a automação de compliance tornam-se essenciais para agentes do Sul Global que operam em ambientes com sobreposição de normas e baixa segurança jurídica (Teixeira, Ferreira & Ramos, 2025). Como destaca Mudambi (2008), a governança eficiente nas cadeias de valor depende da capacidade de superar barreiras institucionais por meio da tecnologia.

A categoria Educação, Treinamento e Capacitação com IA responde à lacuna estrutural de qualificação técnica em países do Sul Global. As soluções analisadas oferecem mecanismos de capacitação multilinguística e adaptativa, permitindo que operadores logísticos e técnicos se alinhem às exigências internacionais (Wu, 2025). Manning et al. (2008) apontam que a qualificação da força de trabalho é condição crítica para a inserção funcional em redes globais.

As Interfaces Inteligentes e Atendimento Multilíngue viabilizam a comunicação entre atores que operam em diferentes idiomas e culturas organizacionais. Soluções baseadas em processamento de linguagem natural (NLP) possibilitam automatizar interações e garantir fluidez nos processos logísticos (Ogunsoto, Olivares-Aguila & ElMaraghy, 2025). Christopher (2016) argumenta que a coordenação eficiente em cadeias globais depende da capacidade de superar barreiras linguísticas e culturais, o que se faz possível com o uso de IA.

A categoria Gestão de Riscos, Conformidade e ESG amplia o escopo da IA para além da operação logística, incluindo aspectos regulatórios, ambientais e sociais. Tais soluções refletem a pressão internacional por práticas transparentes e responsáveis (Hossain et al., 2025). Whelan e Fink (2016) ressaltam que indicadores ESG têm se tornado parâmetros centrais para

investidores e compradores internacionais, exigindo das empresas ferramentas que monitorem e reportem tais métricas de forma contínua.

As soluções em Infraestrutura e Manutenção Preditiva utilizam sensores e modelos de machine learning para prever falhas e otimizar a manutenção de ativos logísticos. Em ambientes onde a substituição de equipamentos é limitada por custos e acesso, a manutenção preditiva representa uma alternativa adaptativa para garantir continuidade operacional (Jetty & Afshan, 2025). Bousdekis et al. (2020) enfatizam que essas soluções ampliam a vida útil de ativos e reduzem paradas não planejadas.

Na categoria IA para Saúde, Logística Hospitalar e Cargas Sensíveis, a IA é aplicada ao rastreamento e certificação de produtos com necessidades especiais de conservação e controle, como medicamentos e cargas hospitalares. A transposição dessas tecnologias para o setor logístico reforça sua adaptabilidade e potencial de nicho em cadeias que demandam elevado grau de controle e validação técnica, ampliando seu escopo de aplicação no Sul Global (Samuels, 2025).

Por fim, Plataformas Inteligentes para Comércio Internacional organizam soluções digitais que integram operações fiscais, aduaneiras e logísticas. A literatura do Banco Mundial (2020) enfatiza que a digitalização dos processos de comércio é essencial para a inserção competitiva em mercados globais. Ao criar infraestruturas digitais próprias, os países do Sul Global desenvolvem ecossistemas autônomos que reduzem a dependência de sistemas fragmentados e ampliam a rastreabilidade comercial (Beta, Nagaraj & Weerasinghe, 2025).

Em síntese, os resultados indicam que a adoção de soluções de IA nas cadeias de suprimentos internacionais no Sul Global se dá de forma estratégica e adaptativa, refletindo dinâmicas de variação e seleção tecnológica moldadas por pressões institucionais, regulatórias e operacionais (Nyakuchena & Tsikada, 2025). As categorias identificadas não apenas apontam para a diversidade de aplicações da IA, mas também revelam como as organizações nesses contextos reconfiguram suas capacidades por meio da formação de nichos tecnológicos compatíveis com as exigências das cadeias globais de valor Moshtari, Delbakhsh & Ghorbani, 2023.

4.4.2 Conexões entre Desafios e Categorias de Soluções de IA

Com base na análise qualitativa de 35 entrevistas com especialistas em inteligência artificial (IA) e cadeias de suprimentos internacionais do Sul Global, esta seção apresenta os resultados e discussão sobre a relação entre os principais desafios enfrentados por essas cadeias

e as categorias de soluções baseadas em IA. A codificação dos dados empíricos foi orientada pela perspectiva da ecologia organizacional, considerando os conceitos de variação, seleção e nicho tecnológico. Foram identificadas cinco grandes categorias de desafios e sua associação com doze categorias de soluções de IA, totalizando 406 conexões empíricas. A análise explora como diferentes tecnologias são selecionadas e adotadas em resposta às pressões institucionais e operacionais enfrentadas por organizações no Sul Global (Tabela 1).

O primeiro grande desafio, relacionado à resiliência e gerenciamento de riscos em situações de crise, concentrou a maior parte das soluções analisadas. As categorias de IA mais associadas a esse desafio foram “Previsão e Planejamento Logístico com IA”, “Rastreamento e Monitoramento de Cargas” e “Gestão de Riscos, Conformidade e ESG”. Tais soluções contribuem para mitigar falhas operacionais, antecipar rupturas e reforçar a capacidade de resposta logística. A literatura de Ivanov (2021) argumenta que a viabilidade das cadeias de suprimento em contextos de crise depende da capacidade de adaptação rápida, o que é reforçado por tecnologias que operam em tempo real com base em dados preditivos e sensoriais (Teixeira, Ferreira & Ramos, 2025) (Tabela 1).

O segundo desafio, “Digitalização, Interoperabilidade e Segurança de Dados”, esteve fortemente vinculado a soluções como “Plataformas Inteligentes para Comércio Internacional”, “Otimização de Produção e Processos Industriais” e “Interfaces Inteligentes e Atendimento Multilíngue”. A presença significativa dessas soluções indica uma seleção tecnológica orientada à integração de sistemas e comunicação entre agentes diversos. Zhang et al. (2024) destacam que a interoperabilidade é uma barreira crítica à digitalização em cadeias globais, especialmente no Sul Global, onde a infraestrutura digital é fragmentada. A associação de soluções multilíngues e plataformas automatizadas revela uma adaptação tecnológica que busca contornar a heterogeneidade dos sistemas institucionais (Wu, 2025) (Tabela 1).

No caso do desafio “Integração de Digital Twins e Blockchain para Qualidade e Resiliência”, observou-se elevada incidência das categorias “Previsão e Planejamento Logístico com IA”, “Inspeção e Controle de Qualidade Automatizado” e “Rastreamento e Monitoramento de Cargas”. Essa convergência tecnológica favorece a criação de nichos que combinam monitoramento contínuo com registros imutáveis, conforme descrito por Liu et al. (2022). A integração entre Digital Twins e Blockchain tem sido interpretada como um vetor de resiliência operacional e controle de qualidade em ambientes voláteis, permitindo que organizações do Sul Global simulem cenários e ajustem operações em tempo real (Ogunsoto, Olivares-Aguila & ElMaraghy, 2025) (Tabela 1).

O quarto desafio, “Governança de Cadeias Digitais em Setores Críticos”, apresentou forte associação com soluções de “Soluções Jurídicas e Contratuais com IA” e “Rastreabilidade Agroalimentar e Sustentabilidade”. Essas categorias refletem uma preocupação crescente com o cumprimento de normas e padrões internacionais, especialmente em cadeias ligadas a alimentos, saúde e energia. Nagi & Nagy (2025) argumentam que a governança digital é um pré-requisito para que tecnologias como blockchain e IA atinjam seu potencial em cadeias globais. No Sul Global, a adoção dessas soluções representa uma resposta à necessidade de institucionalização tecnológica como mecanismo de legitimação e inserção em mercados regulados (Tabela 1).

Por fim, o desafio “Modelagem Dinâmica e Simulação por Digital Twins” esteve relacionado principalmente às categorias de “Infraestrutura e Manutenção Preditiva” e “Otimização de Produção e Processos Industriais”. Zhang, Brintrup et al. (2021) destacam que a utilização de Digital Twins permite simulações operacionais dinâmicas com base em dados atualizados, o que é particularmente útil para cadeias que enfrentam volatilidade na oferta e na demanda. A adoção de gêmeos digitais no Sul Global evidencia uma estratégia de seleção tecnológica voltada à antecipação de falhas e à melhoria da eficiência operacional em ambientes de baixa previsibilidade (Hossain et al., 2025) (Tabela 12).

Em síntese, os dados analisados mostram que a adoção de soluções de IA em cadeias de suprimentos internacionais do Sul Global é fortemente orientada por desafios específicos de contexto. A ecologia organizacional fornece um referencial útil para entender como essas soluções emergem e são selecionadas em função de pressões ambientais, estruturais e institucionais (Jetty & Afshan, 2025). O mapeamento das conexões entre desafios e categorias revela padrões de nicho tecnológico que se formam de maneira adaptativa, com base em problemas práticos enfrentados por organizações que operam em ambientes desiguais e regulatoriamente complexos (Samuels, 2025) (Tabela 12).

Tabela 12. Associação entre os grandes desafios da cadeia de suprimentos internacional e as categorias de soluções de IA.

Desafio	Categoria(s) de IA Associadas	Exemplos de Soluções
1. Resiliência e Gerenciamento de Riscos em Situações de Crise	1. Rastreamento e Monitoramento 2. Previsão e Planejamento Logístico 3. Controle de Qualidade 5. Otimização de Processos 9. Gestão de Riscos 10. Manutenção Preditiva 11. Saúde e Cargas Sensíveis	Sistema de Rastreamento de Cargas, PlannerBe, Sistema de Diagnóstico Automatizado, Sistema de P&D, Painel de Risco, Termografia com IA, VirtualVet

2. Digitalização, Interoperabilidade e Segurança de Dados	1. Rastreamento e Monitoramento5. Otimização de Processos7. Capacitação com IA8. Interfaces Multilíngues12. Plataformas Inteligentes	Journey, IMachine, Beecrowd, CityVox, Plataforma Comercial com IA
3. Integração de Digital Twins e Blockchain para Qualidade e Resiliência	1. Rastreamento e Monitoramento2. Previsão e Planejamento Logístico3. Controle de Qualidade9. Gestão de Riscos12. Plataformas Inteligentes	SmartSet, Algoritmo para Grandes Redes, Sistema de Diagnóstico Automatizado, Plataforma para mercado de carbono, Product2Vec
4. Governança de Cadeias Digitais em Setores Críticos	4. Rastreabilidade Agroalimentar6. Jurídico e Contratos com IA8. Interfaces Multilíngues9. Gestão de Riscos12. Plataformas Inteligentes	BeefTrade, LegalBot, Gilda, SIGRIA, Plataforma de Aplicação de Processos Automatizados
5. Modelagem Dinâmica e Simulação por Digital Twins	1. Rastreamento e Monitoramento2. Previsão e Planejamento Logístico3. Controle de Qualidade5. Otimização de Processos10. Manutenção Preditiva	SmartSet, Deep Reinforcement Learning, Smart pH, Sistema de Otimização Logística, Projeto PISO

4.4.3 Análise de Redes Sociais das Conexões entre os Grandes Desafios da Cadeia de Suprimentos Internacional e as Categorias de Soluções de IA.

A análise dos resultados apresentados nesta seção fundamenta-se na aplicação da análise de redes sociais (ARS) sobre os dados estruturados a partir das etapas qualitativas anteriores, que relacionaram 168 soluções de IA, 12 categorias tecnológicas e 5 grandes desafios das cadeias de suprimentos internacionais no contexto do Sul Global. Com o uso do software Gephi, foi construída uma rede com 156 nós e 195 arestas, permitindo o exame da estrutura relacional entre os elementos. A escolha da ARS possibilitou compreender as dinâmicas de articulação, centralidade e agrupamento de soluções tecnológicas, em linha com autores clássicos da área (Freeman, 2017; Burt et al., 2013), e foi interpretada à luz da ecologia organizacional (Hannan & Freeman, 1989), com foco nos mecanismos de variação, seleção e formação de nichos tecnológicos (Figura 5 e Tabela 13).

A rede apresenta densidade de 0,0161, indicando uma estrutura pouco conectada em termos globais. Ainda assim, observa-se apenas um componente conectado, o que sugere que os desafios, categorias e soluções estão todos interligados em um mesmo ecossistema relacional. Essa estrutura conectada, porém, esparsa, indica que a disseminação de soluções ocorre de maneira seletiva, em torno de alguns elementos centrais. A presença de 113 nós isolados evidencia a existência de soluções com baixa articulação ou impacto restrito, muitas vezes associadas a contextos institucionais específicos ou a nichos altamente especializados. Em contraste, os 43 nós colaborativos conectam múltiplos desafios ou categorias, e funcionam

como elementos com maior potencial de integração e replicação. Esses nós exercem um papel de articulação estrutural em redes que, segundo Granovetter (1990), se beneficiam da presença de laços estratégicos para ampliar a circulação de conhecimento e inovação (Beta, Nagaraj & Weerasinghe, 2025) (Figura 5 e Tabela 13).

A modularidade total da rede (0,6085) indica uma estrutura modular forte, composta por 8 comunidades densamente conectadas internamente e mais fracamente conectadas entre si. A presença dessas comunidades reflete a especialização temática e funcional das soluções de IA no contexto da cadeia de suprimentos, em consonância com pressões ambientais específicas. A Comunidade 1 articula soluções ligadas à Indústria 4.0 e logística inteligente, respondendo a desafios de automação, rastreamento e otimização produtiva. Já a Comunidade 2, centrada em questões jurídicas, ESG e governança pública, destaca a formação de nichos institucionais orientados à conformidade regulatória. A Comunidade 3 reúne soluções de inspeção técnica e controle de qualidade, com forte articulação com exigências de certificação e acesso a mercados globais. As comunidades 4 a 8 cobrem temas como saúde digital, infraestrutura urbana, educação, rastreabilidade ambiental e agricultura inteligente, refletindo a segmentação setorial e territorial da adoção tecnológica no Sul Global (Nyakuchena & Tsikada, 2025) (Figura 1 e Tabela 2).

O comprimento médio dos caminhos (4,0653) e o diâmetro da rede (6) indicam que, embora a conectividade direta entre nós seja baixa, existe uma relativa proximidade entre os elementos da rede, configurando uma estrutura semelhante ao modelo de *small-world* (Watts & Strogatz, 1998). Isso sugere que, mesmo em um ecossistema com baixa densidade, é possível que soluções e práticas tecnológicas se disseminem de forma eficiente entre comunidades e setores distintos. Essa característica é relevante para o Sul Global, onde restrições estruturais podem ser compensadas por redes adaptativas e conexões indiretas entre atores (Moshtari, Delbakhsh & Ghorbani, 2023) (Figura 5 e Tabela 13).

As métricas de centralidade revelam a posição relativa dos nós e sua capacidade de articulação, influência ou difusão. A centralidade de grau média (0,0161) confirma a baixa conectividade direta de muitos elementos, reforçando a especialização e a fragmentação da rede. No entanto, os nós mais conectados operam como hubs tecnológicos, com potencial de difundir inovações e práticas para múltiplos desafios e setores. A centralidade de intermediação média (0,0199) evidencia que poucos nós atuam como mediadores de fluxos entre diferentes partes da rede, indicando que a estrutura relacional é dependente de elementos estratégicos que exercem papel de ponte entre comunidades (Burt et al., 2013). Esses nós são especialmente relevantes em contextos institucionais fragmentados, onde a intermediação tecnológica pode

reduzir assimetrias e facilitar a cooperação entre atores (Teixeira, Ferreira & Ramos, 2025) (Figura 5 e Tabela 13).

A centralidade de proximidade média (0,2502) revela que certos nós possuem acesso relativamente rápido a outros elementos da rede, o que favorece a difusão de soluções em ambientes com baixa capilaridade institucional. Essa métrica é especialmente relevante para atores intermediários, como hubs logísticos ou plataformas digitais, que precisam alcançar múltiplos segmentos de forma eficiente. Por fim, a centralidade de autovetor média (0,0483) mostra que alguns nós são influentes não apenas por suas próprias conexões, mas também por estarem ligados a outros elementos igualmente centrais, formando cliques tecnológicos ou clusters de alto impacto. Esses nós influentes podem ser estratégicos para a consolidação de ecossistemas digitais regionais, especialmente em setores como rastreabilidade agroalimentar, plataformas logísticas e saúde digital (Wu, 2025) (Figura 5 e Tabela 13).

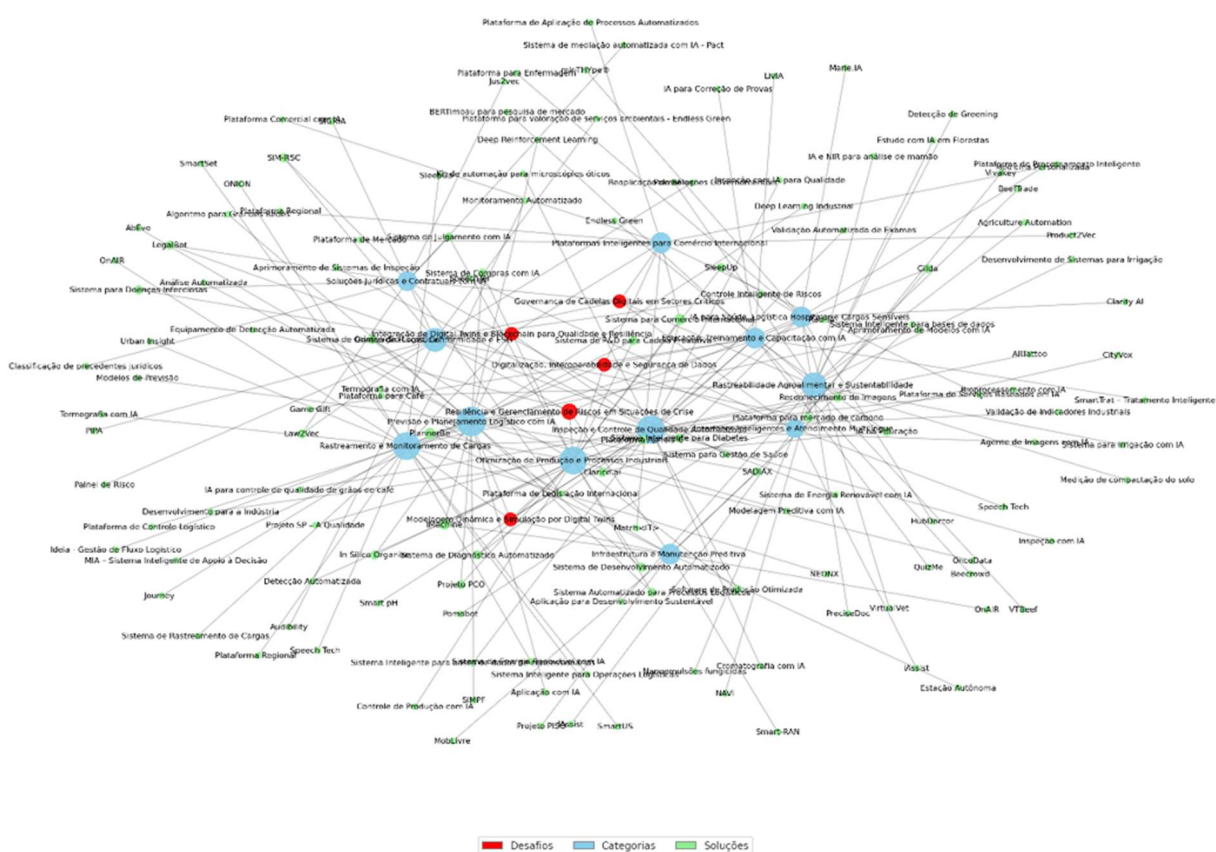


Figura 5. Rede de conexões entre os grandes desafios da cadeia de suprimentos internacional e as categorias de soluções de IA.

Em síntese, a aplicação da ARS permitiu revelar a configuração estrutural e funcional da rede de soluções de IA aplicadas à cadeia de suprimentos internacional no Sul Global. A

rede é caracterizada por baixa densidade, forte modularidade e centralidade concentrada em poucos nós colaborativos. A presença de comunidades temáticas bem definidas e a identificação de nós estratégicos oferecem subsídios para o planejamento de políticas públicas e ações de cooperação voltadas à consolidação de nichos tecnológicos regionais. A combinação da ecologia organizacional com métricas de rede contribui para compreender como soluções tecnológicas são selecionadas, articuladas e difundidas em ecossistemas institucionais marcados por desigualdades estruturais, mas com potencial adaptativo relevante (Ogunsoto, Olivares-Aguila & ElMaraghy, 2025) (Figura 5 e Tabela 13).

Tabela 13. Métricas de ARS da rede de conexões entre os grandes desafios da cadeia de suprimentos internacional e as categorias de soluções de IA.

Métrica de ARS	Valor
Nº de nós	156
Nº de arestas (simples, para métricas)	195
Densidade da rede	0,0161
Componentes conectados	1
Comunidades detectadas (via modularidade)	8
Modularidade total da rede	0,6085
Comprimento médio dos caminhos	4,0653
Diâmetro da rede	6
Nós isolados (impacto limitado)	113
Nós colaborativos (impacto ampliado)	43
Centralidade de Grau (média)	0,0161
Centralidade de Intermediação (média)	0,0199
Centralidade de Proximidade (média)	0,2502
Centralidade de Autovetor (média)	0,0483

4.4 Modelo Processual para Mitigação dos Desafios das Cadeias de Suprimentos no Sul Global

A partir da etapa meta-inferencial (Tashakkori, Johnson & Teddlie, 2020), que integrou dados qualitativos e quantitativos, foi desenvolvido um modelo processual voltado à mitigação dos principais desafios das cadeias de suprimento no Sul Global por meio de soluções baseadas em inteligência artificial (IA). O modelo foi validado em ciclos iterativos com 45 especialistas (Eisenhardt, 1989), incorporando os resultados da análise de 168 projetos e suas conexões com 12 categorias tecnológicas e cinco desafios críticos enfrentados por cadeias logísticas em contextos institucionais desiguais. A estrutura analítica adotou a lente da ecologia organizacional (Hannan & Freeman, 1989), possibilitando compreender como inovações emergem, são selecionadas e se estabilizam em nichos adaptativos (Hossain et al., 2025) (Tabela 3).

O modelo é composto por quatro macroetapas processuais interdependentes, formuladas a partir de metáforas alusivas ao contexto de transformação tecnológica e institucional do Sul Global: (1) Revelar Territórios Logísticos, (2) Tecelar Conexões Viáveis, (3) Ensaiar Soluções em Movimento e (4) Reprogramar para Resiliência. Cada macroetapa reflete práticas e decisões organizacionais associadas à adoção e disseminação de soluções de IA em cadeias complexas, conectando desafios, categorias tecnológicas e ecossistemas institucionais (Jetty & Afshan, 2025) (Tabela 3).

A macroetapa Revelar Territórios Logísticos corresponde ao momento de identificação das vulnerabilidades estruturais, assimetrias operacionais e zonas críticas de baixa rastreabilidade nas cadeias de suprimento. Envolve o uso de tecnologias de *rastreabilidade*, *compliance jurídico-regulatório* e *plataformas inteligentes para diagnóstico operacional*. Essa etapa permite mapear, de forma situada, os ambientes institucionais e técnicos nos quais a IA será aplicada (Samuels, 2025). As evidências demonstram que, no Sul Global, a sobrevivência das cadeias depende da visibilidade sobre fluxos, ativos e riscos, condição que estrutura o processo de variação tecnológica inicial (Ivanov, 2021; Gereffi, 2018) (Tabela 3).

A segunda macroetapa, Tecelar Conexões Viáveis, refere-se à articulação entre atores, sistemas e capacidades distribuídas. Neste estágio, selecionam-se as soluções de IA mais aderentes às condições locais, com destaque para *previsão e planejamento logístico*, *interfaces multilíngues*, *educação com IA* e *sistemas interoperáveis*. A metáfora do "tecer" remete à construção de redes técnicas e humanas necessárias para garantir fluidez e coordenação entre segmentos desconectados. Conforme Zhang et al. (2024), a interoperabilidade de sistemas e o alinhamento entre competências institucionais são elementos estruturantes da digitalização logística em países com infraestrutura fragmentada (Beta, Nagaraj & Weerasinghe, 2025) (Tabela 3).

A macroetapa Ensaiar Soluções em Movimento compreende a implementação modular e a experimentação adaptativa das soluções tecnológicas em tempo real. Trata-se de um processo contínuo de teste, ajuste e combinação entre categorias como *inspeção automatizada*, *otimização fabril*, *manutenção preditiva*, *rastreabilidade agroalimentar* e *plataformas ESG*. A metáfora do ensaio em movimento expressa o caráter iterativo e situacional da inovação no Sul Global, onde condições de baixa previsibilidade exigem introdução gradual e reconfiguração constante das tecnologias (Nyakuchena & Tsikada, 2025). A estrutura modular observada nas comunidades detectadas pela ARS reforça essa lógica de aprendizagem progressiva baseada em contextos setoriais distintos (Watts & Strogatz, 1998; Chaminade et al., 2018) (Tabela 3).

Por fim, a macroetapa Reprogramar para Resiliência consolida os dados gerados pelas etapas anteriores e alimenta ciclos de decisão baseados em *Digital Twins*, *blockchain*, *modelagem logística* e *simulação de cenários*. Essa fase representa a institucionalização do uso estratégico da IA como mecanismo de retroalimentação e adaptação organizacional. A centralidade de soluções dessa natureza, conforme demonstrado na análise de redes, indica que sua adoção não apenas estabiliza processos operacionais, mas também sustenta decisões orientadas à resiliência em ecossistemas logísticos voláteis (Zhang, Brintrup et al., 2021). A reprogramação configura, portanto, um espaço de seleção tecnológica sustentada por dados, aprendizado e governança digital (Moshtari, Delbakhsh & Ghorbani, 2023) (Tabela 3).

O modelo processual proposto opera como um ciclo dinâmico e contínuo, estruturando a adoção de IA a partir de lógicas adaptativas próprias de ecossistemas institucionais complexos. Ele permite alinhar decisões locais a pressões globais, ancorando estratégias tecnológicas em territórios desiguais, mas com potencial de inovação incremental. A modularidade estrutural da rede (modularidade = 0,6085) e a presença de nós colaborativos indicam a possibilidade de replicar o modelo em diferentes setores e regiões, respeitando as condições de partida de cada território (Teixeira, Ferreira & Ramos, 2025) (Tabela 14).

Tabela 14. Tabela-síntese do modelo processual de adoção de ia em cadeias de suprimento no sul global.

Macroetapa	Objetivo Estratégico	Práticas e Ações-Chave	Tecnológicas Envolvidas	Função no Ciclo Evolutivo
1. Revelar Territórios Logísticos	Diagnosticar vulnerabilidades estruturais, riscos e zonas críticas nas cadeias de suprimento	<ul style="list-style-type: none"> - Mapeamento de riscos e fluxos - Análise de rastreabilidade - Diagnóstico regulatório-institucional 	<ul style="list-style-type: none"> - Plataformas de rastreabilidade - Soluções de compliance jurídico - Sistemas de monitoramento inteligente 	Geração de variações tecnológicas Exploração de nichos
2. Tecelar Conexões Viáveis	Construir articulações operacionais e institucionais entre atores, sistemas e capacidades locais	<ul style="list-style-type: none"> - Seleção contextualizada de tecnologias - Construção de redes técnicas e humanas - Capacitação distribuída com suporte de IA 	<ul style="list-style-type: none"> - Sistemas interoperáveis - IA para previsão logística - Interfaces multilíngues - Soluções educacionais baseadas em IA 	Seleção adaptativa de soluções Alinhamento institucional
3. Ensaiar Soluções em Movimento	Implementar, testar e ajustar soluções de IA de forma modular e iterativa em ambientes reais	<ul style="list-style-type: none"> - Prototipagem em campo - Testes situacionais - Combinação adaptativa de tecnologias 	<ul style="list-style-type: none"> - Inspeção automatizada - Otimização fabril - Manutenção preditiva - Rastreamento agroalimentar - Plataformas ESG 	Aprendizagem experimental Adaptação dinâmica setorial

4. Reprogramar para Resiliência	Consolidar dados, retroalimentar decisões e institucionalizar o uso estratégico da IA para resiliência organizacional	- Modelagem logística - Simulação de cenários - Governança digital com Digital Twins e blockchain	- Digital Twins - Blockchain logístico - Plataformas de simulação - Ferramentas de apoio à decisão baseada em dados	Retenção e institucionalização Estabilizaçã
--	---	---	--	---

4.5. Implicações Teóricas

Este estudo contribui para o avanço teórico ao propor uma abordagem processual fundamentada na ecologia organizacional para compreender a adoção e difusão de soluções de inteligência artificial (IA) em cadeias de suprimentos internacionais localizadas em contextos do Sul Global. A primeira contribuição reside na integração conceitual entre os desafios estruturais das cadeias globais e os mecanismos de variação, seleção e retenção tecnológica (Hannan & Freeman, 1989), articulando-os às estratégias adaptativas observadas em regiões com infraestrutura desigual, baixa previsibilidade e regimes regulatórios fragmentados. A literatura dominante sobre transformação digital em cadeias de suprimento tende a privilegiar modelos universalistas (Ivanov, 2021; Zhang et al., 2024), ao passo que este estudo propõe um modelo situado, ancorado em lógicas contextuais de inovação institucional e tecnológica (Wu, 2025).

A segunda contribuição teórica é a proposição de um modelo processual adaptativo, composto por quatro macroetapas interdependentes – “Revelar Territórios Logísticos”, “Tecelar Conexões Viáveis”, “Ensaiai Soluções em Movimento” e “Reprogramar para Resiliência”. Essas macroetapas não apenas estruturam a trajetória de adoção de tecnologias de IA no Sul Global, mas também oferecem uma lente analítica para interpretar o modo como os ecossistemas logísticos reconfiguram suas capacidades com base em nichos tecnológicos emergentes. A literatura em transformação digital frequentemente trata a inovação como um processo linear e replicável (Bousdekis et al., 2020), enquanto o modelo aqui proposto considera ciclos dinâmicos de retroalimentação, aprendizado e reconfiguração institucional, tal como sugerido pela perspectiva da ecologia organizacional e pela literatura sobre inovação em países em desenvolvimento (Chaminade et al., 2018; (Ogunsoto, Olivares-Aguila & ElMaraghy, 2025).

A terceira implicação teórica reside na identificação empírica de comunidades tecnológicas funcionais por meio da análise de redes sociais (ARS), revelando padrões estruturais que indicam formas de especialização tecnológica e articulação interorganizacional.

A presença de comunidades com modularidade elevada ($\text{modularidade} = 0,6085$) reforça a hipótese de que a inovação em cadeias do Sul Global ocorre por meio da formação de clusters adaptativos, centrados em nichos como Indústria 4.0, rastreabilidade agroalimentar, ESG, saúde digital e infraestrutura urbana. Esse achado avança a compreensão sobre como a inovação digital não se dissemina de forma homogênea, mas por meio de redes distribuídas, seletivas e estrategicamente articuladas (Freeman, 2017; Burt et al., 2013; Hossain et al., 2025).

Adicionalmente, o artigo amplia o debate sobre a relação entre IA, governança e sustentabilidade em cadeias globais ao demonstrar que, no Sul Global, soluções como blockchain, digital twins, rastreabilidade e plataformas inteligentes são acionadas como mecanismos de legitimação institucional e inserção em mercados regulados (UNCTAD, 2021; Nagi & Nagy, 2025). Esse uso estratégico da IA redefine o papel das tecnologias digitais como ferramentas não apenas operacionais, mas também políticas, regulatórias e relacionais (Jetty & Afshan, 2025).

Por fim, ao adotar uma abordagem metodológica de integração entre análise qualitativa, análise de redes e codificação orientada por ecologia organizacional, o estudo contribui teoricamente ao propor um modelo que pode ser replicado e expandido para outros setores ou regiões do Sul Global (Beta, Nagaraj & Weerasinghe, 2025). A triangulação entre desafios, categorias tecnológicas e soluções concretas, aliada à identificação de métricas de centralidade e modularidade, oferece um repertório teórico-metodológico robusto para compreender a emergência e consolidação de ecossistemas tecnológicos em contextos marcados por assimetrias estruturais (Nyakuchena & Tsikada, 2025). Assim, este estudo não apenas avança a compreensão sobre a transformação digital em cadeias logísticas internacionais, mas também amplia os marcos teóricos para análise de inovação em ambientes institucionais complexos (Moshtari, Delbakhsh & Ghorbani, 2023).

4.6. Conclusão

O estudo alcança de forma integrada e sistemática os três objetivos específicos propostos. O primeiro objetivo, sistematizar soluções tecnológicas baseadas em inteligência artificial (IA) para cadeias de suprimentos internacionais, foi atendido por meio de uma abordagem de métodos mistos, que combinou uma revisão sistemática de 168 projetos PIPE com síntese temática, resultando em 12 categorias analíticas fundamentadas no referencial da ecologia organizacional, especialmente nos princípios de variação, seleção e formação de nichos tecnológicos.

O segundo objetivo, mapear os principais desafios das cadeias de suprimentos internacionais no Sul Global e suas relações com as soluções baseadas em IA, foi alcançado por meio da análise qualitativa de 35 entrevistas com especialistas, o que permitiu identificar cinco desafios críticos e 406 conexões empíricas entre esses desafios e as categorias de soluções. Esse mapeamento possibilitou compreender como as soluções tecnológicas são selecionadas e adaptadas em função de pressões estruturais, institucionais e operacionais típicas do Sul Global.

O terceiro objetivo, desenvolver e validar um modelo processual para a mitigação dos desafios das cadeias de suprimentos com o uso de soluções de IA, foi atendido por meio da integração meta-inferencial de dados qualitativos e quantitativos, seguida de validação iterativa com 45 especialistas. O modelo proposto é composto por quatro macroetapas interdependentes, que refletem processos decisórios adaptativos e cíclicos em contextos de baixa previsibilidade e infraestrutura fragmentada. Esse modelo oferece diretrizes práticas para estruturar a adoção de inovações alinhadas à complexidade institucional e às exigências de integração global.

Apesar das contribuições do estudo, algumas limitações devem ser consideradas. A análise baseia-se em dados secundários e em percepções de especialistas, sem a aplicação empírica do modelo em cadeias de suprimentos reais. Além disso, embora o modelo considere a diversidade institucional, o escopo regional da pesquisa pode restringir sua generalização para outros contextos do Sul Global. Especificidades culturais, geopolíticas e setoriais exigem investigações adicionais para avaliar a aplicabilidade e a eficácia do modelo sob diferentes restrições estruturais.

Para pesquisas futuras, recomenda-se a realização de estudos longitudinais que acompanhem a implementação do modelo e de soluções de IA em cadeias de suprimentos específicas, a fim de avaliar seus impactos e promover ajustes necessários. Estudos comparativos envolvendo outras regiões do Sul Global podem ampliar a validade externa do modelo e aprimorar sua aplicação em diferentes setores. Além disso, investigações que aprofundem o papel de políticas públicas, mecanismos de financiamento e marcos regulatórios na formação e consolidação de nichos tecnológicos podem contribuir para o fortalecimento de ecossistemas logísticos mais resilientes e inclusivos em ambientes institucionais desiguais.

Referências

- Åkerblad, L., Sandberg, J., Holmström, J., & Samuelsson, L. (2021). Conceptualizing digital transformation in firms: A process-oriented framework. *Information Systems Journal*, 31(3), 547–575. <https://doi.org/10.1111/isj.12307>
- Aldrich, H. E., & Ruef, M. (2006). *Organizations evolving* (2nd ed.). SAGE Publications.
- Ansari, S. M., Fiss, P. C., & Zajac, E. J. (2010). Made to fit: How practices vary as they diffuse. *Academy of Management Review*, 35(1), 67–92. <https://doi.org/10.5465/amr.35.1.zok67>
- Bavelas, A. (1950). Communication patterns in task-oriented groups. *Journal of the Acoustical Society of America*, 22(6), 725–730. <https://doi.org/10.1121/1.1906679>
- Beck, J., & Ferasso, M. (2023). Developing meta-inference in sequential mixed methods research: A procedural approach. *International Journal of Social Research Methodology*, 26(2), 167–182. <https://doi.org/10.1080/13645579.2022.2105805>
- Beta, K., Nagaraj, S. S., & Weerasinghe, T. D. (2025). The role of artificial intelligence on supply chain resilience. *Journal of Enterprise Information Management*, 38(3), 950-973.
- Bousdekis, A., Magoutas, B., Apostolou, D., & Mentzas, G. (2020). A review of predictive maintenance: Intelligent techniques and tools for improving manufacturing productivity. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(1), 2045–2065. <https://doi.org/10.1007/s10845-019-01504-5>
- Burt, R. S., Kilduff, M., & Tasselli, S. (2013). Social network analysis: Foundations and frontiers on advantage. *Annual Review of Psychology*, 64, 527–547.
- Carrera-Rivera, M. A., González-Bañales, A., & Martínez-López, F. J. (2022). Systematic literature review in business research: A methodological framework. *Journal of Business Research*, 139, 1417–1425. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.10.063>
- Chaminade, C., Lundvall, B.-Å., & Vang, J. (2018). Innovation policies for development: Towards a systemic experimentation-based approach. *Innovation and Development*, 8(1), 7–23. <https://doi.org/10.1080/2157930X.2018.1438251>
- Chen, H., Chiang, R. H. L., & Storey, V. C. (2012). Business Intelligence and Analytics: From Big Data to Big Impact. *MIS Quarterly*, 36(4), 1165–1188. <https://doi.org/10.2307/41703503>
- Christopher, M. (2016). *Logistics & supply chain management* (5th ed.). Pearson Education.
- Christopher, M., & Holweg, M. (2017). Supply Chain 2.0 revisited: A framework for managing volatility-induced risk in the supply chain. *International Journal of Physical*

- Distribution & Logistics Management*, 47(1), 2–17. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-09-2016-0254>
- Cooper, H., Hedges, L. V., & Valentine, J. C. (2019). *The handbook of research synthesis and meta-analysis* (3rd ed.). Russell Sage Foundation.
- DiMaggio, P. J., & Powell, W. W. (1983). The iron cage revisited: Institutional isomorphism and collective rationality in organizational fields. *American Sociological Review*, 48(2), 147–160. <https://doi.org/10.2307/2095101>
- Eisenhardt, K. M. (1989). Building theories from case study research. *Academy of Management Review*, 14(4), 532–550. <https://doi.org/10.5465/amr.1989.4308385>
- Freeman, C. (2017). *Technology and economic performance: Lessons from Japan*. Pinter Publishers.
- Freeman, L. C. (2017). *The Development of Social Network Analysis*. Vancouver: Empirical Press.
- Gereffi, G. (2018). *Global value chains and development: Redefining the contours of 21st century capitalism*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108559423>
- Granovetter, M. (1990). The old and the new economic sociology: A history and an agenda. In R. Friedland & A. F. Robertson (Eds.), *Beyond the Marketplace: Rethinking Economy and Society* (pp. 89–112). Aldine de Gruyter.
- Hannan, M. T., & Freeman, J. (1977). The population ecology of organizations. *American Journal of Sociology*, 82(5), 929–964. <https://doi.org/10.1086/226424>
- Hannan, M. T., & Freeman, J. (1989). *Organizational ecology*. Harvard University Press.
- Heyvaert, M., Hannes, K., Maes, B., & Onghena, P. (2013). Applying qualitative comparative analysis (QCA) in systematic reviews: An illustration on the effects of educational interventions. *Evaluation Review*, 37(6), 414–439. <https://doi.org/10.1177/0193841X13507159>
- Heyvaert, M., Hannes, K., Maes, B., & Onghena, P. (2013). Critical appraisal of mixed methods studies. *Journal of Mixed Methods Research*, 7(4), 302–327. <https://doi.org/10.1177/1558689813479449>
- Hossain, M. I., Talapatra, S., Saha, P., & Belal, H. M. (2025). From theory to practice: leveraging digital twin technologies and supply chain disruption mitigation strategies for enhanced supply chain resilience with strategic fit in focus. *Global Journal of Flexible Systems Management*, 26(1), 87–109.
- Ivanov, D. (2021). Supply chain viability and the COVID-19 pandemic: A conceptual and formal generalisation of four major adaptation strategies. *International Journal of*

- Production Research*, 59(12), 3535–3552.
<https://doi.org/10.1080/00207543.2021.1884318>
- Ivanov, D., & Dolgui, A. (2020). A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 136, 101852. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2019.101852>
- Jetty, S., & Afshan, N. (2025). A bibliometric analysis and systematic literature review of industry 4.0 implementation in supply chain. *Journal of Science and Technology Policy Management*, 16(5), 784-821.
- Levinthal, D. A. (1997). Adaptation on rugged landscapes. *Management Science*, 43(7), 934–950. <https://doi.org/10.1287/mnsc.43.7.934>
- Liu, J., Yeoh, W., Qu, Y., & Gao, L. (2022). *Blockchain-based digital twin for supply chain management: State-of-the-art review and future research directions*. arXiv preprint. <https://arxiv.org/abs/2202.03966>
- Liu, Y., Xu, X., Zhang, L., & Zhang, Y. (2022). Digital twin-based smart manufacturing system for process planning and scheduling. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 74, 102289. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102289>
- Manning, S., Massini, S., & Lewin, A. Y. (2008). A dynamic perspective on next-generation offshoring: The global sourcing of science and engineering talent. *Academy of Management Perspectives*, 22(3), 35–54. <https://doi.org/10.5465/amp.2008.34587992>
- Moshtari, M., Delbakhsh, M., & Ghorbani, M. (2023). The role of organizational ecology in resilience building: A systematic literature review. *Journal of Organizational Change Management*, 36(1), 22–40. <https://doi.org/10.1108/JOCM-05-2022-0147>
- Mudambi, R. (2008). Location, control and innovation in knowledge-intensive industries. *Journal of Economic Geography*, 8(5), 699–725.
- Nagi, E., & Nagy, A. (2025). Governance architectures for digital supply chains: A risk-based framework. *Journal of Supply Chain Management*. (Aceito para publicação)
- Nagi, G., & Nagy, G. (2025). *Enhancing supply chain agility and quality through digitalization*. *Advanced Logistic Systems – Theory and Practice*, 19(1), 17–32. <https://doi.org/10.32971/als.2025.002>
- Nyakuchena, N., & Tsikada, C. (2025). Enhancing Supply Chain Resilience Through Artificial Intelligence and Machine Learning: A Systematic Literature Review and Comprehensive Framework. *AI and Machine Learning Applications in Supply Chains and Marketing*, 149-162.

- Ogunsoto, O. V., Olivares-Aguila, J., & ElMaraghy, W. (2025). A conceptual digital twin framework for supply chain recovery and resilience. *Supply Chain Analytics*, 9, 100091.
- Ponte, S. (2019). Green capital accumulation: Business and sustainability management in a world of global value chains. *New Political Economy*, 24(1), 26–44.
<https://doi.org/10.1080/13563467.2017.1417364>
- Samuels, A. (2025). Examining the integration of artificial intelligence in supply chain management from Industry 4.0 to 6.0: a systematic literature review. *Frontiers in artificial intelligence*, 7, 1477044.
- Sanders, N. R., Autry, C. W., & Gligor, D. M. (2020). The transformative logistics leader: Leveraging analytics and artificial intelligence for successful supply chain digital transformation. *Journal of Business Logistics*, 41(2), 96–104.
<https://doi.org/10.1111/jbl.12230>
- Sine, W. D., & Lee, B. H. (2009). Tilting at windmills? The environmental movement and the emergence of the U.S. wind energy sector. *Administrative Science Quarterly*, 54(1), 123–155. <https://doi.org/10.2189/asqu.2009.54.1.123>
- Tashakkori, A., Johnson, R. B., & Teddlie, C. (2020). *Foundations of mixed methods research: Integrating quantitative and qualitative approaches in the social and behavioral sciences* (2nd ed.). SAGE Publications.
- Teddlie, C., & Tashakkori, A. (2011). Mixed methods research. In N. K. Denzin & Y. S. Lincoln (Eds.), *The SAGE handbook of qualitative research* (4th ed., pp. 285–300). SAGE Publications.
- Teixeira, A. R., Ferreira, J. V., & Ramos, A. L. (2025). Intelligent supply chain management: A systematic literature review on artificial intelligence contributions. *Information*, 16(5), 399.
- Tranfield, D., Denyer, D., & Smart, P. (2003). Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. *British Journal of Management*, 14(3), 207–222. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>
- UNCTAD. (2021). *Digital Economy Report 2021: Cross-border data flows and development: For whom the data flow*. United Nations Conference on Trade and Development.
<https://unctad.org/webflyer/digital-economy-report-2021>
- Watts, D. J., & Strogatz, S. H. (1998). Collective dynamics of ‘small-world’ networks. *Nature*, 393(6684), 440–442. <https://doi.org/10.1038/30918>
- Whelan, T., & Fink, C. (2016). The comprehensive business case for sustainability. *Harvard Business Review*, 21(6), 1–12.

- World Bank. (2020). *Doing Business 2020: Comparing Business Regulation in 190 Economies*. The World Bank Group. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1440-2>
- Wu, B., Chen, H., & Shi, Y. (2025). Influence of artificial intelligence development on supply chain diversification. *Finance Research Letters*, 78, 107210.
- Zhang, L., Brintrup, A., & Srai, J. S. (2021). Digital twins and supply chain resilience: Lessons from COVID-19. *International Journal of Production Economics*, 242, 108322. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108322>
- Zhang, S., Yu, Q., Wan, S., Cao, H., & Huang, Y. (2024). *Digital supply chain: Literature review of seven related technologies*. *Manufacturing Review*, 31(1). <https://doi.org/10.1051/mfreview/2024006>
- Zhang, X., Wang, Y., Liu, X., & Chen, L. (2024). Digital transformation in supply chains: A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 185, 108769.

Apêndices

Apêndice 1 - Cinco grandes desafios da cadeia de suprimentos internacional:

1. Resiliência e Gerenciamento de Riscos em Situações de Crise

A pandemia da COVID-19 demonstrou a fragilidade das cadeias globais altamente otimizadas para eficiência. Ivanov (2021) introduz o conceito de “viabilidade da cadeia de suprimentos”, propondo quatro estratégias de adaptação (intertwining, escalabilidade, substituição e repurposing) como essenciais para manter a operação durante crises severas.

2. Digitalização, Interoperabilidade e Segurança de Dados

A adoção de tecnologias digitais (IoT, blockchain, digital twins, big data) melhora a visibilidade e a automação, mas esbarra em barreiras como interoperabilidade limitada, governança de dados e cibersegurança. Zhang et al. (2024) realizaram revisão sistemática dessas tecnologias e ressaltaram a necessidade de integração e padrões regulatórios para uso eficaz.

3. Integração de Digital Twins e Blockchain para Qualidade e Resiliência

Sistemas com Digital Twins combinados ao blockchain permitem simulações em tempo real e monitoramento transparente, aumentando a previsibilidade e a confiança nos processos. Liu et al. (2022), em revisão sólida, destacam o valor dessa convergência para otimização de armazenamento e rastreamento logístico com foco em segurança.

4. Governança de Cadeias Digitais em Setores Críticos

Embora a digitalização traga agilidade, ela requer infraestrutura robusta de governança para garantir proteção contra ataques digitais e garantir interoperabilidade entre parceiros. Estudos como o de Nagi & Nagy (2025) apontam que apenas com padronização e normas sólidas tecnologias como blockchain e AI podem cumprir seu potencial.

5. Modelagem Dinâmica e Simulação por Digital Twins

Digital Twins não são apenas réplicas digitais; são ambientes simulados em que empresas podem testar reações a falhas, otimizar rotas e avaliar cenários de risco. Zhang, Brintrup et al. (2021) propuseram um framework teórico para Digital Twins em cadeia de suprimentos, auxiliando operações em tempo real.

Apêndice 2 - Identificação da inteligência artificial envolvida nos projetos PIPE FAPESP e a descrição de como cada uma pode ser aplicada como solução tecnológica na cadeia de suprimentos internacional:

1. **AbEvo:** Sistema de análise preditiva para antecipar falhas e otimizar ciclos logísticos em diferentes geografias.
2. **Agente de Imagens com IA:** Processa imagens de inspeção visual para controle de qualidade de mercadorias em portos, aeroportos ou centros de distribuição automatizados.
3. **Agriculture Automation:** Plataformas agrícolas com IA aplicáveis à rastreabilidade, previsão de colheita e controle de qualidade na exportação.
4. **Algoritmo para Grandes Redes:** Ferramenta analítica para otimização de redes complexas de fornecedores, parceiros e operadores internacionais.
5. **Alva - sistema de vigilância inteligente:** Monitora segurança em depósitos e terminais logísticos, prevenindo perdas e incidentes em etapas críticas do transporte global.
6. **Análise Automatizada:** Ferramentas para previsão de falhas, demanda e risco regulatório na cadeia internacional.
7. **Análise de Motivação:** Modelos preditivos para gestão de equipes logísticas ou treinamento personalizado de operadores globais.
8. **Aplicação com IA:** Plataformas de IA genérica para análise de desempenho de cadeias, previsão de falhas e otimização de operações.
9. **Aplicação para Desenvolvimento Sustentável:** IA para apoiar rastreabilidade e práticas de baixo carbono em cadeias de suprimento globais.
10. **Appius:** Possivelmente voltado ao varejo, a IA pode prever padrões de consumo e ajustar a reposição internacional em tempo real.
11. **Aprimoramento de Fenotipagem:** Embora voltado à saúde, o modelo pode ser adaptado ao rastreamento de comportamentos em logística de pessoas (tripulações, motoristas).
12. **Aprimoramento de Modelos com IA:** Modelos estatísticos ou de machine learning que ajustam o planejamento logístico em tempo real a variações externas.
13. **Aprimoramento de Sistemas de Inspeção:** Permite inspeções automatizadas de cargas, equipamentos ou embalagens para controle de qualidade em portos e armazéns.
14. **Aquability:** Embora voltado à inclusão, pode ser adaptado para logística humanitária ou operações portuárias voltadas à acessibilidade e segurança.
15. **Arquitetura de Serviços Inteligentes:** Pode ser usada para integrar serviços de diferentes fornecedores e operadores globais em uma cadeia digital única.
16. **ARTattoo:** Provavelmente voltado à saúde ou estética, a tecnologia de imagem com IA pode ser adaptada para inspeção visual automatizada em produtos de exportação.

17. **Audibility:** Soluções de transparência e rastreabilidade com IA para cadeias certificadas e auditorias automatizadas.
18. **Beecrowd:** Otimiza a alocação global de talentos em tecnologia, reduzindo o tempo e custo de recrutamento em operações logísticas e tecnológicas em diversos países. Facilita a gestão de equipes distribuídas, essenciais em cadeias globais complexas.
19. **BeefTrade:** Rastreabilidade da cadeia de carne bovina desde a origem até o destino internacional, garantindo certificações e sustentabilidade.
20. **BeeNet:** Plataforma de análise de dados econômicos com IA, pode apoiar decisões logísticas e operacionais com base em flutuações de mercado.
21. **BERTimbau para pesquisa de mercado:** Automatiza análise textual em grande escala, útil para segmentar clientes e ajustar estratégias em mercados internacionais.
22. **Bioprocessamento com IA:** Aprimora o controle de qualidade de insumos industriais ou biotecnológicos exportados, com validação contínua e automatizada por IA.
23. **B-You:** Plataforma de consumo personalizado com IA que pode ser usada em planejamento de estoque e customização de produtos sob demanda.
24. **Ceramix:** Possivelmente relacionados a materiais avançados, o uso de IA pode ajudar na rastreabilidade de produtos de alto valor na cadeia global.
25. **CityVox:** Transforma voz em dados úteis, pode ser usado para monitorar feedback de usuários e transportadores em centros logísticos.
26. **Clarice.ai:** IA conversacional que pode ser aplicada ao suporte ao cliente global, rastreamento de pedidos e comunicação entre operadores logísticos.
27. **Clarity Health ou Clarity AI:** Tecnologia voltada à saúde, mas aplicável à análise de dados em tempo real em cadeias críticas (ex: farmacêutica, hospitalar).
28. **Classificação de precedentes jurídicos com IA:** Permite prever riscos em contratos internacionais e reduzir litígios que impactam o fluxo de suprimentos entre países.
29. **Controle de Produção com IA:** Otimiza o desempenho fabril e evita desperdícios, mantendo o ritmo produtivo alinhado à demanda da cadeia de suprimentos internacional.
30. **Controle Inteligente de Riscos:** Sistemas de IA que avaliam em tempo real o risco de rupturas, fraudes ou atrasos em cadeias transnacionais.
31. **Cromatografia com IA:** Aprimora o controle de qualidade de insumos químicos ou farmacêuticos na cadeia de exportação com precisão automatizada.
32. **Daoura – Plataforma para Cidades Inteligentes:** Pode ser adaptada ao gerenciamento urbano de fluxos logísticos e transporte multimodal em centros de distribuição global.
33. **Deep Learning Industrial:** Usado para prever falhas em máquinas e ajustar processos produtivos automaticamente, reduzindo paradas e melhorando previsibilidade logística.

34. **Deep Reinforcement Learning para gestão de investimentos:** Otimiza decisões financeiras em tempo real, como investimentos em infraestrutura logística, hedge cambial e análise de riscos associados à cadeia de suprimentos, tornando o planejamento estratégico mais resiliente.
35. **Desenvolvimento de Sistemas para Irrigação:** Rastreabilidade e monitoramento de cultivos destinados à exportação com controle preditivo de produção agrícola.
36. **Desenvolvimento para a Indústria:** Automatiza etapas da manufatura com IA, integrando produção local a cadeias globais com maior rastreabilidade e eficiência.
37. **Detecção Automatizada:** Usada na inspeção de cargas ou verificação de integridade de produtos em centros de distribuição globais.
38. **Detecção de Greening:** Aplicável à inspeção automatizada na cadeia de exportação agrícola, evitando perdas e melhorando a previsibilidade da oferta.
39. **Equipamento de Detecção Automatizada:** Pode ser utilizado em portos e armazéns para inspeção automatizada de cargas, com IA para detecção de falhas, contrabando ou avarias.
40. **e-SHARE:** Solução de compartilhamento de dados com IA, útil na integração de informações logísticas entre fornecedores globais.
41. **Estação Autônoma:** Pode servir como ponto de apoio ou coleta de dados em rotas logísticas internacionais (IoT + IA).
42. **Estudo com IA em Florestas:** Análise de impacto ambiental em cadeias produtivas, útil para certificação verde em exportações agrícolas e minerais.
43. **FACIAL.ME:** IA de reconhecimento facial que pode ser usada em segurança portuária, controle de acesso em hubs logísticos e autenticação de operadores.
44. **Fenotipagem digital do sono com IA:** A lógica de personalização com IA pode ser aplicada em apps agrícolas ou industriais para recomendações personalizadas de insumos.
45. **Ferramenta de Diagnóstico ou Planejamento:** Ferramentas com IA aplicadas à previsão de demanda, manutenção preditiva ou gestão de capacidade em redes logísticas internacionais.
46. **FishTrader:** Garante transparência do ponto de origem ao destino final, atendendo exigências sanitárias e certificações em cadeias alimentares internacionais.
47. **Game Gift:** Gamificação pode ser aplicada a incentivos logísticos, como bonificações por entregas pontuais, práticas sustentáveis ou engajamento de parceiros na cadeia.
48. **Gestão inteligente de resíduos sólidos:** Integra a logística reversa com rastreamento em tempo real, promovendo sustentabilidade e conformidade ambiental.
49. **Gilda - assistente de escrita com IA:** Auxilia na produção de documentação técnica, relatórios logísticos e comunicações multilíngues em cadeias com atuação internacional.
50. **HubDoctor – Plataforma Médica:** Infraestrutura que pode ser adaptada para triagem e rastreio sanitário em cadeias logísticas globais com exigências de certificação.
51. **IA e NIR para análise de mamão:** Permite avaliação precisa da maturação e qualidade em campo, reduzindo perdas em exportações e padronizando embarques.

52. **IA na Educação:** Capacita mão de obra técnica com foco setorial (logística, indústria) em países em desenvolvimento, fortalecendo cadeias globais.
53. **IA para controle de qualidade de grãos de café:** Automatiza a inspeção de qualidade em etapas iniciais da produção agrícola. Garante padronização do produto exportado, reduz perdas e melhora a rastreabilidade e a certificação de origem.
54. **IA para Correção de Provas:** Acelera a qualificação de operadores logísticos e técnicos internacionais por meio de avaliação automatizada, otimizando treinamentos em escala.
55. **IA para detecção de infestação em pastos por drones:** Monitora em larga escala a saúde do rebanho e das pastagens, reduzindo perdas na produção de carne/leite. Contribui para uma cadeia de alimentos mais eficiente, sustentável e com menor uso de defensivos químicos.
56. **iAssist – Assistente Inteligente:** Suporta operadores logísticos e gerentes de armazéns com informações em tempo real, automatizando tarefas e agilizando decisões.
57. **Ideia - Gestão de Fluxo Logístico:** Ferramentas de IA para gestão de fluxo e demanda entre centros de distribuição em diferentes países.
58. **IMachine – Equipamento Inteligente para Processos:** Automação industrial com IA embarcada, útil para integração fabril com operações logísticas internacionais just-in-time.
59. **In Silico Organize:** IA aplicada à simulação e organização de processos industriais e logísticos, útil para planejamento de cadeia em múltiplos países.
60. **Inspeção com IA na Indústria:** Automação de inspeções em fábricas e centros de distribuição, reduzindo falhas e desperdícios em fluxos internacionais.
61. **Inspeção com IA para Qualidade:** Sistemas de visão computacional e IA para inspeção automatizada de cargas, garantindo padrões técnicos para exportação.
62. **Inspeção com IA:** Aplicável à verificação não destrutiva de cargas, containers ou produtos em armazéns internacionais.
63. **Inspeção com IA:** Automatiza o controle de qualidade de produtos para exportação em portos e aeroportos, reduzindo tempo e erro humano.
64. **Inteligência comercial com mineração de dados:** Segmenta mercados, prevê demandas e automatiza decisões comerciais em escala global, otimizando a atuação internacional.
65. **Journey:** Pode ser adaptada para suporte ao cliente, rastreamento de pedidos e gerenciamento de demandas em tempo real. Melhora a comunicação em ambientes multilinguísticos e automatiza respostas em centros de distribuição globais.
66. **Jus2vec – IA Jurídica:** Apóia análise de contratos e conformidade regulatória em transações internacionais, reduzindo riscos jurídicos nas trocas comerciais.
67. **Kidopi – Sistema de Aprimoramento:** Ferramenta com foco médico, mas com potencial uso em análise de dados de saúde pública em cadeias logísticas hospitalares.

68. **Kit de automação para microscópios óticos:** Acelera a análise agrônômica de amostras, melhorando o controle de qualidade em cadeias agroexportadoras e reduzindo o tempo de inspeção.
69. **IAssist:** Assistente inteligente aplicável à gestão de centros de distribuição, suporte ao cliente e processos de atendimento logístico.
70. **Law2Vec:** IA jurídica para contratos logísticos internacionais, reduzindo riscos regulatórios e acelerando a negociação.
71. **LegalBot:** IA jurídica voltada à padronização e interpretação automatizada de contratos logísticos em diversas jurisdições.
72. **LivIA:** Ferramenta educacional baseada em IA, pode ser usada para capacitar operadores logísticos em diferentes idiomas e contextos regulatórios.
73. **Marie.IA: rastreamento de neoplasias ovarianas:** Embora voltada à saúde, a arquitetura SaaS com IA pode inspirar soluções para rastreabilidade sanitária e logística hospitalar.
74. **Match<IT>:** Faz matching inteligente entre demandas logísticas e operadores especializados em diferentes regiões, reduzindo lead time.
75. **Medição de compactação do solo por ondas acústicas:** Fornece dados em tempo real sobre a compactação do solo, otimizando o uso de maquinário e o planejamento logístico de insumos agrícolas.
76. **Medicina Personalizada com IA:** A lógica de personalização pode ser adaptada a cadeias com cargas sensíveis (ex: farmacêuticos), otimizando transporte e armazenamento.
77. **Método de Qualificação Automatizada:** IA para prever desempenho de operadores, fornecedores ou insumos com base em dados históricos, aplicável à seleção em cadeias globais.
78. **MIA – Sistema Inteligente de Apoio à Decisão:** Integra informações operacionais em tempo real para decisões táticas em transporte e armazenamento global.
79. **mir-THyPe® - testes moleculares com IA:** A lógica de classificação molecular por IA pode ser transferida para triagem rápida de lotes na indústria farmacêutica global.
80. **MobLivre – Solução de Mobilidade:** Pode ser adaptada para logística urbana ou distribuição de última milha em mercados internacionais emergentes.
81. **Modelagem Preditiva com IA:** Aplicada à previsão de demanda, otimização de estoques e planejamento de produção em cadeias internacionais.
82. **Modelo analítico-preditivo com transcriptoma + IA:** Adaptável para agronegócio e farmacêutica, permitindo identificar combinações biotecnológicas com maior impacto produtivo.
83. **Modelos de Previsão:** Ferramentas que simulam cenários logísticos, otimizam rotas e melhoram o planejamento de capacidade.
84. **Monitoramento Automatizado:** Soluções com IA para rastrear condições de transporte (temperatura, vibração, umidade) em tempo real para cargas sensíveis.

85. **Nanoemulsões fungicidas de origem vegetal:** Integra-se a sensores e plataformas inteligentes para controle fitossanitário em tempo real, aumentando a sustentabilidade e rastreabilidade.
86. **Nanoestruturas inteligentes (NAVI) para nutrientes/pesticidas:** Personaliza formulações com IA para aplicação precisa, reduzindo perdas, otimizando o uso de insumos e rastreabilidade no transporte.
87. **NEONX:** Solução de triagem rápida, adaptável a portos e aeroportos para inspecionar cargas e garantir padrões de qualidade.
88. **Novas Aplicações de IA em Logística:** Exploração de IA generativa, preditiva e prescritiva na gestão de armazéns, estoque e transporte.
89. **OnAIR – Monitoramento e Automação Remota:** Solução com IA embarcada e sensores para controle de condições ambientais durante o transporte internacional de perecíveis.
90. **OncoData:** Embora voltado à saúde, pode inspirar aplicações em rastreabilidade de dados sensíveis em produtos farmacêuticos e perecíveis.
91. **ONION:** Possivelmente um sistema de sensores inteligentes com IA embarcada (IoT + AI) para coleta de dados ao longo da cadeia logística.
92. **Painel de Risco:** Aplica análise preditiva para segurança de operações logísticas, mapeando riscos operacionais e de integridade de carga em tempo real.
93. **PalmaFlex:** Sistema de rastreabilidade para cadeia produtiva da palma (óleo vegetal), garantindo conformidade ambiental e social para exportação.
94. **Papiron - digitalização e indexação automática:** Digitaliza e organiza automaticamente documentos logísticos como notas fiscais, certificados e guias de transporte, acelerando o desembaraço aduaneiro.
95. **PIPA – Plataforma Inteligente para Política Ambiental:** Apoia decisões em cadeias de valor sustentáveis, integrando dados ambientais com rastreabilidade e indicadores de ESG.
96. **PlannerBe:** Sistema de gestão pecuária que pode otimizar logística de insumos e distribuição de proteína animal para exportação.
97. **Plataforma Apneia C:** Tecnologia voltada à saúde, mas os sensores e análise preditiva podem ser reaproveitados para monitoramento de operadores logísticos (fadiga, segurança).
98. **Plataforma Comercial com IA:** Apoia decisões estratégicas de entrada em mercados internacionais, recomendando parceiros e ajustando ofertas em tempo real.
99. **Plataforma de Aplicação de Processos Automatizados:** Orquestra fluxos de documentos e operações entre diferentes países, integrando aduanas, fornecedores e operadores.
100. **Plataforma de Controle Logístico:** Gerencia e rastreia entregas internacionais com precisão, fornecendo dados em tempo real sobre localização, atrasos e eventos críticos da cadeia.
101. **Plataforma de Desenvolvimento:** Infraestrutura com IA para acelerar o design e testes de produtos logísticos e serviços digitais escaláveis.

102. **Plataforma de Legislação Internacional:** Soluções para compliance regulatório internacional, otimizando desembaraço aduaneiro e conformidade normativa com IA.
103. **Plataforma de Mercado:** Facilita negociações B2B globais, conectando fornecedores e compradores com suporte de IA para precificação, compliance e demanda.
104. **Plataforma de Processamento Inteligente:** Apoia a integração e automação de dados logísticos em tempo real para tomada de decisões em centros globais de distribuição.
105. **Plataforma de Serviços Baseados em IA:** Infraestrutura que integra soluções de IA para fornecedores, operadores logísticos e clientes internacionais.
106. **Plataforma para Café:** Classifica e rastreia café desde o campo até o ponto de venda global, padronizando qualidade e garantindo certificações.
107. **Plataforma para Enfermagem ou Saúde Pública:** Modelos analíticos aplicáveis à logística hospitalar, distribuição de insumos e sistemas emergenciais internacionais.
108. **Plataforma para mercado de carbono:** Permite a integração de métricas ambientais diretamente nas plataformas logísticas, contribuindo para cadeias neutras em carbono e melhorando a reputação ESG das empresas.
109. **Plataforma para valoração de serviços ambientais - Endless Green:** Apoia decisões sustentáveis na cadeia, como escolha de fornecedores com menor impacto ambiental. Pode ser integrada ao ESG das empresas globais para rastrear e compensar emissões de carbono.
110. **Plataforma Regional:** Infraestruturas digitais integrando dados regionais com IA para planejamento logístico entre blocos econômicos.
111. **Pomobot – robô para colheita de tomates com IA:** Automatiza colheita em larga escala, reduzindo dependência de mão de obra e garantindo regularidade na oferta de hortifrúti para exportação. Aumenta eficiência, reduz perdas e melhora previsibilidade logística.
112. **Portal de Telemedicina ou Atendimento Digital:** Infraestrutura que pode ser usada para atendimento remoto e suporte logístico a missões médicas internacionais.
113. **PreciseDoc – Medicina de Precisão com IA:** Pode inspirar soluções para monitorar condições específicas em logística farmacêutica, garantindo transporte seguro e compliance regulatório.
114. **Product2Vec:** Recomendação de produtos com IA que pode ajustar a oferta à demanda em canais internacionais.
115. **Projeto PCO - controle de processos complexos:** Gerencia redes industriais distribuídas com IA, aplicando análise preditiva para orquestrar fluxos produtivos e logísticos multinacionais.
116. **Projeto PISO:** Aplicação em infraestrutura logística com sensores e IA para controle de tráfego e manutenção preditiva de rotas logísticas internacionais.
117. **Projeto SP – A Qualidade:** Provável aplicação em certificação de qualidade para produtos destinados à exportação, com IA aplicada à inspeção automatizada.
118. **Protótipo com Suporte de IA:** Infraestrutura experimental que pode ser testada em ambientes logísticos complexos com múltiplas variáveis controladas por IA.

119. **QuizMe:** Ferramenta gamificada para capacitação de equipes logísticas e comerciais, aplicável ao treinamento multilíngue em hubs internacionais.
120. **Rad-IA - radar meteorológico para chuva no solo:** Gera dados climáticos georreferenciados que otimizam decisões de irrigação e previsão de safras em redes logísticas agrícolas internacionais.
121. **RAMI ACTUM:** Plataforma de controle industrial inteligente com capacidade de integração de dados entre unidades fabris em diferentes países.
122. **Reaplicação de Soluções Governamentais:** Compartilha modelos tecnológicos replicáveis entre países ou cidades, acelerando a inovação logística e urbana com foco em mobilidade de cargas.
123. **Reconhecimento de Imagens:** Visão computacional aplicada à inspeção de cargas, triagem de produtos e controle de qualidade automatizado.
124. **SADIAX:** Tecnologia de apoio à decisão analítica, integra dados de diversas fontes da cadeia de suprimentos para melhorar a governança global.
125. **SIAGeDI:** Pode ser integrado a plataformas logísticas para análise preditiva e gestão de riscos em cadeias de suprimentos internacionais.
126. **SIGRIA:** Sistema georreferenciado usado para gestão territorial de cadeias logísticas, especialmente agroindustriais.
127. **SIMPF – Sistema de Informação Preditiva Federada:** Integra dados de diferentes agentes logísticos de forma segura e distribuída, ideal para cadeias com múltiplos stakeholders.
128. **SIM-RSC - Sistema Inteligente de Mapeamento da Responsabilidade Social Corporativa:** Pode ser usado para rastrear fornecedores internacionais conforme critérios ESG, promovendo responsabilidade em cadeias globais.
129. **Sistema Automatizado para Processos Logísticos:** Otimiza centros de distribuição com monitoramento autônomo e orquestração de processos em tempo real via IA.
130. **Sistema de Assistência Automatizada:** Auxilia operadores logísticos com informações, alertas e tomada de decisão assistida em ambientes de alta complexidade.
131. **Sistema de Compras com IA:** Automatiza processos de compras internacionais com análise preditiva de demanda, conformidade com contratos e otimização de custos com fornecedores globais.
132. **Sistema de Desenvolvimento Automatizado:** Cria e adapta sistemas produtivos inteligentes para integração com fornecedores e operadores logísticos internacionais.
133. **Sistema de Diagnóstico Automatizado:** Aprimora a triagem e manutenção preditiva em equipamentos logísticos, reduzindo falhas e melhorando a eficiência operacional.
134. **Sistema de Energia Renovável com IA:** Otimiza o uso de energia limpa em centros de distribuição, armazéns e operações industriais em diferentes países, reduzindo a pegada de carbono.

135. **Sistema de Julgamento com IA:** Apoia a tomada de decisões jurídicas e contratuais com base em precedentes, especialmente útil em disputas e conformidade aduaneira internacional.
136. **Sistema de mediação automatizada com IA - Pact:** Automatiza resolução de disputas contratuais internacionais e facilita a gestão de riscos trabalhistas em diferentes jurisdições, otimizando o compliance em operações multinacionais.
137. **Sistema de Otimização Logística:** IA para otimização de rotas, cargas e recursos, reduzindo custos e tempos em cadeias transnacionais.
138. **Sistema de P&D para Cadeia Produtiva:** Ferramentas baseadas em IA que aceleram o desenvolvimento de novos produtos e sua logística internacional.
139. **Sistema de Rastreamento de Cargas:** Rastreamento com IA e IoT para monitorar localização, temperatura, umidade e integridade de cargas em tempo real.
140. **Sistema inteligente para bases de dados de concessionárias:** Corrige falhas em dados operacionais complexos, podendo ser adaptado para gestão de sistemas logísticos e redes de distribuição.
141. **Sistema Inteligente para Diabetes:** IA de monitoramento contínuo aplicável à cadeia farmacêutica, garantindo controle durante transporte de insulinas, por exemplo.
142. **Sistema Inteligente para Operações Logísticas:** Plataformas que integram IA para prever gargalos, otimizar armazenagem e priorizar rotas de entrega internacional.
143. **Sistema para Comércio Internacional:** Plataforma integrada para negociação, rastreamento e compliance em trocas comerciais internacionais com uso de IA e blockchain.
144. **Sistema para Doenças Infecciosas:** Infraestrutura de rastreio e contenção que pode ser adaptada à cadeia farmacêutica global, com logística de medicamentos e insumos.
145. **Sistema para Gestão de Saúde:** Tecnologia transferível para rastreamento sanitário de cargas sensíveis como alimentos e medicamentos na cadeia de exportação.
146. **Sistema para Irrigação com IA:** Aplicável à agricultura de exportação com controle de produção adaptado ao clima, prevendo safras e otimizando insumos.
147. **SleepUp – Solução de Monitoramento Pessoal:** Pode inspirar sensores de fadiga em caminhoneiros, operadores portuários ou pilotos, reduzindo riscos na cadeia de transporte.
148. **SMART LOG – Logística Inteligente:** Gerencia frotas e armazéns com sensores e algoritmos preditivos para tomada de decisão rápida em cadeias globais.
149. **Smart pH - gestão do pH na cadeia da carne bovina:** Monitora automaticamente a qualidade sanitária da carne para exportação, garantindo conformidade com normas internacionais.
150. **Smart-RAN:** Possível referência a redes de telecomunicação inteligente que podem ser aplicadas à conectividade de dispositivos IoT na logística.
151. **SmartSet:** Plataforma inteligente de rastreamento ou alocação de ativos logísticos, uso de IA para roteirização e tracking global.

152. **SmartTrat – Tratamento Inteligente (duplicado):** Sistema que pode ser usado na logística farmacêutica ou hospitalar global, rastreando medicamentos e aplicando IA em saúde.
153. **SmartUS:** Plataforma inteligente para operações urbanas ou industriais, com aplicação na gestão logística em cidades globais.
154. **Software de Produção Otimizada:** IA para controle de processos produtivos conectados à cadeia de fornecimento global, reduzindo desperdícios.
155. **Software para próteses cranianas com IA:** Embora voltado à saúde, o uso de IA para personalização e impressão 3D pode ser adaptado para produção sob demanda em logística reversa ou peças sob encomenda, reduzindo estoques e tempo de entrega.
156. **Sonar: Sistema de Navegação Remota:** Tecnologia que pode ser adaptada para veículos autônomos em centros logísticos ou transportes intermodais.
157. **Speech Tech:** Automação de interações com operadores logísticos em centros multilíngues e suporte automatizado a clientes internacionais.
158. **SpeechTer:** Solução baseada em IA de reconhecimento de voz e linguagem natural para interfaces de operação logística e suporte técnico multilíngue.
159. **Técnica de Adaptação ao Clima:** Ferramenta para prever impactos ambientais e ajustar rotas e práticas logísticas sustentáveis.
160. **Termografia com IA:** Monitora temperatura de cargas sensíveis (como alimentos e medicamentos) durante o transporte internacional, garantindo conformidade e segurança.
161. **Urban Insight:** IA aplicada à infraestrutura urbana, pode apoiar rotas de distribuição urbana internacional, incluindo modais integrados.
162. **Validação Automatizada de Exames:** Tecnologia aplicável à triagem de qualidade em produtos exportados que exigem padrões sanitários ou laboratoriais.
163. **Validação de indicadores industriais inteligentes:** Melhora o desempenho de equipamentos e previsibilidade operacional na cadeia produtiva global.
164. **VirtualVet:** Sistema de IA para saúde animal, aplicável à rastreabilidade sanitária na cadeia de carnes e derivados.
165. **Vivakey:** Autenticação biométrica ou criptográfica para controle de acesso a hubs logísticos e portos internacionais.
166. **VTBeef:** Rastreabilidade e monitoramento da cadeia de carne bovina, garantindo conformidade sanitária e ambiental em exportações.
167. **Waker APP - segurança no trânsito com IA:** Aumenta a segurança de motoristas profissionais em transporte de cargas, reduzindo riscos logísticos e custos com sinistros.
168. **Waves – Plataforma de Planejamento Pessoal/Profissional:** Usada para prever e alinhar capacidades humanas com demandas globais em redes produtivas.

Apêndice 3 - Categorias de soluções tecnológicas baseadas em inteligência artificial para a cadeia de suprimentos internacional:

1. Rastreamento e Monitoramento de Cargas (18 soluções)

Descrição: Soluções que aplicam IA e IoT para rastrear, monitorar e garantir a integridade, segurança e pontualidade das cargas em tempo real ao longo da cadeia internacional.

Soluções: Sistema de Rastreamento de Cargas, OnAIR, Monitoramento Automatizado, SmartSet, NEONX, Journey, Urban Insight, Speech Tech, Sistema Inteligente para Operações Logísticas, Plataforma de Controle Logístico, SleepUp, Termografia com IA, SmartUS, Sistema de Energia Renovável com IA, ONION, Rad-IA, Plataforma Regional, Sistema Inteligente para Diabetes.

2. Previsão e Planejamento Logístico com IA (22 soluções)

Descrição: Ferramentas preditivas e prescritivas que utilizam machine learning para antecipar demanda, identificar gargalos, otimizar rotas e alocar recursos em redes logísticas globais complexas.

Soluções: AbEvo, Algoritmo para Grandes Redes, Análise Automatizada, Aplicação com IA, Aprimoramento de Modelos com IA, Deep Learning Industrial, Deep Reinforcement Learning, Ideia - Gestão de Fluxo Logístico, IMachine, In Silico Organize, Modelagem Preditiva com IA, Modelos de Previsão, Sistema de Otimização Logística, Sistema de Compras com IA, Sistema de Desenvolvimento Automatizado, PlannerBe, Sistema de P&D para Cadeia Produtiva, Sistema Automatizado para Processos Logísticos, Projeto PCO, SADIAX, SIMPF, MIA – Sistema Inteligente de Apoio à Decisão.

3. Inspeção e Controle de Qualidade Automatizado (20 soluções)

Descrição: Soluções com visão computacional e sensores inteligentes que automatizam a inspeção e controle de qualidade de produtos, embalagens ou equipamentos em ambientes logísticos e industriais.

Soluções: Agente de Imagens com IA, Aprimoramento de Sistemas de Inspeção, ARTattoo, Bioprocessamento com IA, Cromatografia com IA, Detecção Automatizada, Equipamento de Detecção Automatizada, IA para controle de qualidade de grãos de café, Inspeção com IA, Kit de automação para microscópios óticos, Smart pH, Sistema de Diagnóstico Automatizado, Reconhecimento de Imagens, Sistema para Comércio Internacional, Software de Produção Otimizada, Validação de indicadores industriais, Inspeção com IA para Qualidade, Sistema Inteligente para bases de dados de concessionárias, Projeto SP – A Qualidade, Validação Automatizada de Exames.

4. Rastreabilidade Agroalimentar e Sustentabilidade (17 soluções)

Descrição: Tecnologias com IA que garantem rastreabilidade, segurança alimentar, controle fitossanitário e conformidade ambiental de produtos agropecuários voltados à exportação.

Soluções: Agriculture Automation, Aplicação para Desenvolvimento Sustentável, BeefTrade, Detecção de Greening, IA e NIR para análise de mamão, Desenvolvimento de Sistemas para Irrigação, Estudo com IA em Florestas, Medição de compactação do solo, Nanoemulsões fungicidas, NAVI, PalmaFlex, Plataforma para mercado de carbono, Endless Green, Pomobot, Sistema para Irrigação com IA, Plataforma para Café, VTBeef.

5. Otimização de Produção e Processos Industriais (19 soluções)

Descrição: Aplicações de IA para automação fabril, ajuste de parâmetros de produção, detecção de falhas e integração entre manufatura e logística internacional.

Soluções: Controle de Produção com IA, Desenvolvimento para a Indústria, IA na Educação, SleepUp, Sistema de Julgamento com IA, Sistema de Diagnóstico Automatizado, Sistema para Comércio Internacional, Software de Produção Otimizada, Sistema de Compras com IA, Sistema de Otimização Logística, PlannerBe, Projeto PCO, Sistema de P&D para Cadeia Produtiva, Sistema Automatizado para Processos Logísticos, Reconhecimento de Imagens, Sistema de Desenvolvimento Automatizado, IMachine, OncoData, In Silico Organize.

6. Soluções Jurídicas e Contratuais com IA (10 soluções)

Descrição: Modelos com IA voltados à análise contratual, compliance regulatório e resolução de litígios em operações internacionais, reduzindo riscos jurídicos na cadeia.

Soluções: Classificação de precedentes jurídicos, Jus2vec, LegalBot, Law2Vec, Sistema de Julgamento com IA, Sistema de mediação automatizada com IA - Pact, Plataforma de Legislação Internacional, Sistema para Gestão de Saúde, SIM-RSC, Sistema para Doenças Infecciosas.

7. Educação, Treinamento e Capacitação com IA (11 soluções)

Descrição: Soluções que utilizam IA para qualificação automatizada de operadores logísticos, equipes técnicas e profissionais globais, em múltiplos idiomas e contextos.

Soluções: IA para Correção de Provas, IA na Educação, QuizMe, Beecrowd, BERTimbau para pesquisa de mercado, LivIA, Gilda, Game Gift, Clarice.ai, SmartTrat – Tratamento Inteligente, Plataforma Apneia C.

8. Interfaces Inteligentes e Atendimento Multilíngue (8 soluções)

Descrição: Ferramentas com NLP e assistentes digitais que automatizam o atendimento ao cliente, rastreamento de pedidos e comunicação entre agentes logísticos internacionais.

Soluções: Clarice.ai, CityVox, Speech Tech, SpeechTer, lAssist, iAssist, Gilda, Vivakey.

9. Gestão de Riscos, Conformidade e ESG (13 soluções)

Descrição: IA aplicada à análise de riscos operacionais, financeiros e regulatórios, bem como rastreabilidade de indicadores ambientais e sociais nas cadeias internacionais.

Soluções: Audibility, Controle Inteligente de Riscos, Painel de Risco, Sistema de Energia Renovável com IA, PIPA, Plataforma para mercado de carbono, Plataforma para valoração de serviços ambientais - Endless Green, SIM-RSC, SIGRIA, Reaplicação de Soluções Governamentais, LegalBot, Law2Vec, Sistema para Doenças Infecciosas.

10. Infraestrutura e Manutenção Preditiva (10 soluções)

Descrição: Tecnologias com IA e sensores embarcados que monitoram ativos logísticos, prevendo falhas e otimizando manutenção em tempo real.

Soluções: Projeto PISO, Smart-RAN, OnAIR, Estação Autônoma, MobLivre, Sistema Inteligente para bases de dados, PlannerBe, SADIAX, IMachine, Termografia com IA.

11. IA para Saúde, Logística Hospitalar e Cargas Sensíveis (11 soluções)

Descrição: Soluções de IA originalmente desenvolvidas para a área da saúde, mas com aplicações em rastreamento, certificação e transporte de cargas sensíveis e perecíveis.

Soluções: HubDoctor, Plataforma para Enfermagem, Clarity AI, Plataforma Apneia C, Marie.IA, Medicina Personalizada, Sistema Inteligente para Diabetes, SleepUp, VirtualVet, mir-THYpe®, PreciseDoc.

12. Plataformas Inteligentes para Comércio Internacional (9 soluções)

Descrição: Infraestruturas digitais com IA que integram operações comerciais, fiscais e logísticas internacionais, promovendo automação, rastreabilidade e conformidade global.

Soluções: Plataforma Comercial com IA, Plataforma de Aplicação de Processos Automatizados, Plataforma de Processamento Inteligente, Plataforma de Mercado, Plataforma de Serviços Baseados em IA, Plataforma Regional, Sistema para Comércio Internacional, Product2Vec, Match<IT>.

Apêndice 4 - Associação entre Categorias de Soluções de IA e os Grandes Desafios da Cadeia de Suprimentos Internacional. A seguir, apresentam-se os cinco grandes desafios da cadeia de suprimentos internacional e sua relação detalhada com as doze categorias de soluções tecnológicas baseadas em inteligência artificial (IA). Para cada desafio, é apresentada uma descrição aprofundada, seguida de como cada categoria de IA pode contribuir para mitigá-lo, com explicações técnicas e estratégicas e três exemplos de soluções específicas. As categorias mantêm sua numeração original para facilitar o rastreamento entre os desafios.

Desafio 1: Resiliência e Gerenciamento de Riscos em Situações de Crise

A pandemia da COVID-19 expôs vulnerabilidades críticas em cadeias de suprimento globalizadas, evidenciando a necessidade de sistemas mais resilientes e adaptáveis a choques externos. O conceito de resiliência envolve a capacidade de resistir, adaptar-se e recuperar-se de interrupções, exigindo soluções que favoreçam flexibilidade operacional, visibilidade em tempo real, diversificação de fornecedores e tomada de decisão rápida.

Categoria 1. Rastreamento e Monitoramento de Cargas: Oferece visibilidade contínua de localização e condições das cargas, o que é essencial para realocar rotas e priorizar entregas durante crises. Exemplos: *Sistema de Rastreamento de Cargas*, *Urban Insight*, *Journey*.

Categoria 2. Previsão e Planejamento Logístico com IA: Algoritmos de machine learning podem prever impactos logísticos futuros e sugerir ações preventivas ou reativas, facilitando o redesenho dinâmico da malha logística. Exemplos: *MIA – Sistema Inteligente de Apoio à Decisão*, *PlannerBe*, *Sistema Automatizado para Processos Logísticos*.

Categoria 3. Inspeção e Controle de Qualidade Automatizado: Garante que padrões de qualidade sejam mantidos mesmo diante de interrupções produtivas, evitando perda de produtos e reduzindo retrabalho. Exemplos: *Sistema de Diagnóstico Automatizado*, *Reconhecimento de Imagens*, *Validação de Indicadores Industriais*.

Categoria 5. Otimização de Produção e Processos Industriais: Promove ajustes automáticos na produção em função de variações no fornecimento de insumos e demanda, permitindo resiliência na manufatura. Exemplos: *Sistema de Otimização Logística*, *Sistema de P&D para Cadeia Produtiva*, *IMachine*.

Categoria 9. Gestão de Riscos, Conformidade e ESG: Permite identificação e mitigação de riscos emergentes, incluindo questões ambientais, sociais e operacionais. Exemplos: *Painel de Risco*, *Controle Inteligente de Riscos*, *Audibility*.

Categoria 10. Infraestrutura e Manutenção Preditiva: Evita paradas imprevistas ao antecipar falhas em ativos logísticos e industriais. Exemplos: *Termografia com IA*, *Projeto PISO*, *Smart-RAN*.

Categoria 11. IA para Saúde, Logística Hospitalar e Cargas Sensíveis: Mantém a integridade de insumos críticos como medicamentos e produtos perecíveis, mesmo em contextos de crise. Exemplos: *VirtualVet*, *SleepUp*, *mir-THYpe®*.

Desafio 2: Digitalização, Interoperabilidade e Segurança de Dados

A digitalização amplia a visibilidade e automação, mas exige interoperabilidade técnica entre sistemas heterogêneos e segurança robusta para proteger dados sensíveis. Governança de dados, padrões abertos e integração entre plataformas são condições indispensáveis para cadeias digitais globais.

Categoria 1. Rastreamento e Monitoramento de Cargas: Integra dados de sensores e sistemas legados, promovendo interoperabilidade entre diferentes operadores logísticos. Exemplos: *Journey*, *NEONX*, *Speech Tech*.

Categoria 5. Otimização de Produção e Processos Industriais: Integração entre plantas produtivas e sistemas logísticos por meio de APIs e protocolos padronizados. Exemplos: *IMachine*, *Sistema de Desenvolvimento Automatizado*, *Projeto PCO*.

Categoria 7. Educação, Treinamento e Capacitação com IA: Desenvolve competências digitais para operar ferramentas integradas e seguras, com foco em cibersegurança e gestão de sistemas inteligentes. Exemplos: *Beecrowd*, *IA na Educação*, *QuizMe*.

Categoria 8. Interfaces Inteligentes e Atendimento Multilíngue: Soluções multilíngues com NLP facilitam comunicação entre agentes em diferentes países e plataformas. Exemplos: *CityVox*, *lAssist*, *Clarice.ai*.

Categoria 12. Plataformas Inteligentes para Comércio Internacional: Automatizam processos comerciais e logísticos com interoperabilidade entre sistemas fiscais, aduaneiros e de transporte. Exemplos: *Plataforma Comercial com IA*, *Sistema para Comércio Internacional*, *Product2Vec*.

Desafio 3: Integração de Digital Twins e Blockchain para Qualidade e Resiliência

A convergência entre Digital Twins e Blockchain permite rastreamento contínuo, simulações em tempo real e imutabilidade de registros. Tais tecnologias ampliam a resiliência, confiança e eficiência das cadeias, permitindo decisões informadas com base em dados atualizados e confiáveis.

Categoria 2. Previsão e Planejamento Logístico com IA: Integra com gêmeos digitais para simular cenários de demanda e otimização de rotas em tempo real. Exemplos: *PlannerBe*, *Sistema de Compras com IA*, *Algoritmo para Grandes Redes*.

Categoria 3. Inspeção e Controle de Qualidade Automatizado: Alinha dados sensoriais com gêmeos digitais para prever e corrigir não conformidades. Exemplos: *Reconhecimento de Imagens, Sistema de Diagnóstico Automatizado, Smart pH*.

Categoria 1. Rastreamento e Monitoramento de Cargas: Utiliza blockchain para registrar movimentações de forma segura e transparente. Exemplos: *Urban Insight, SmartSet, Sistema Inteligente para Operações Logísticas*.

Categoria 9. Gestão de Riscos, Conformidade e ESG: Blockchain permite a rastreabilidade de indicadores ESG ao longo da cadeia. Exemplos: *Plataforma para mercado de carbono, Endless Green, SIM-RSC*.

Categoria 12. Plataformas Inteligentes para Comércio Internacional: Atuam como backbone digital para contratos inteligentes, integrando gêmeos digitais e blockchain. Exemplos: *Product2Vec, Plataforma Regional, Plataforma de Processamento Inteligente*.

Desafio 4: Governança de Cadeias Digitais em Setores Críticos

Cadeias em setores estratégicos (como saúde, energia, alimentos) precisam de governança digital baseada em normativas técnicas, interoperabilidade regulatória e padrões internacionais. Isso implica soluções que articulem tecnologia, direito e política pública.

Categoria 4. Rastreabilidade Agroalimentar e Sustentabilidade: Garante rastreabilidade ambiental e fitossanitária com alinhamento normativo internacional. Exemplos: *BeefTrade, IA e NIR para análise de mamão, Sistema para Irrigação com IA*.

Categoria 6. Soluções Jurídicas e Contratuais com IA: Automatizam compliance regulatório e resolução de conflitos, reduzindo riscos jurídicos transnacionais. Exemplos: *LegalBot, Sistema de mediação automatizada com IA – Pact, Classificação de precedentes jurídicos*.

Categoria 8. Interfaces Inteligentes e Atendimento Multilíngue: Favorecem a compreensão e aplicação de normativas por diferentes atores globais. Exemplos: *lAssist, Gilda, SpeechTer*.

Categoria 9. Gestão de Riscos, Conformidade e ESG: Avaliam e asseguram aderência a padrões de sustentabilidade e segurança. Exemplos: *SIGRIA, Law2Vec, Sistema para Doenças Infecciosas*.

Categoria 12. Plataformas Inteligentes para Comércio Internacional: Conectam operações comerciais e regulatórias com rastreabilidade e auditoria. Exemplos: *Plataforma de Serviços Baseados em IA, Sistema para Comércio Internacional, Plataforma de Aplicação de Processos Automatizados*.

Desafio 5: Modelagem Dinâmica e Simulação por Digital Twins

Digital Twins representam ambientes digitais dinâmicos capazes de replicar operações físicas e testar cenários hipotéticos, otimizando decisões estratégicas e operacionais. São fundamentais para aumentar a flexibilidade e eficiência de cadeias em ambientes incertos.

Categoria 2. Previsão e Planejamento Logístico com IA: Alimenta Digital Twins com dados preditivos para prever rupturas e testar rotas alternativas. Exemplos: *Algoritmo para Grandes Redes*, *Deep Reinforcement Learning*, *Modelagem Preditiva com IA*.

Categoria 10. Infraestrutura e Manutenção Preditiva: Atualiza continuamente os gêmeos digitais com dados de sensores para prever e simular manutenções. Exemplos: *Projeto PISO*, *SADIAX*, *MobLivre*.

Categoria 5. Otimização de Produção e Processos Industriais: Permite testar ajustes operacionais em ambiente virtual antes da aplicação real. Exemplos: *Sistema de P&D para Cadeia Produtiva*, *Sistema de Otimização Logística*, *Sistema de Desenvolvimento Automatizado*.

Categoria 1. Rastreamento e Monitoramento de Cargas: Gêmeos digitais são atualizados em tempo real com dados logísticos, permitindo reconfigurações proativas. Exemplos: *SmartSet*, *OnAIR*, *Plataforma de Controle Logístico*.

Categoria 3. Inspeção e Controle de Qualidade Automatizado: Simula padrões de controle de qualidade em gêmeos digitais com base em dados coletados. Exemplos: *Smart pH*, *Detecção Automatizada*, *Validação Automatizada de Exames*

5 ESTUDO 4: PLATAFORMA DE GESTÃO ABERTA PARA A CADEIA DE SUPRIMENTOS INTERNACIONAL MEDIANTE ADOÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

Resumo

O estudo apresenta o desenvolvimento e a avaliação de uma plataforma aberta e inteligente de gestão para a cadeia de suprimentos internacional, fundamentada nos princípios da *Design Science Research* (DSR). A proposta surge diante de lacunas identificadas na literatura e na prática, como baixa integração de dados entre intervenientes, problemas de escalabilidade, usabilidade limitada e fragilidades na tomada de decisão em processos logísticos globais. O artefato desenvolvido incorpora conceitos de inteligência artificial e inovação aberta, visando reduzir custos operacionais, aumentar a agilidade na gestão documental e financeira, integrar múltiplos atores e oferecer suporte à tomada de decisão em tempo real. A metodologia adotada contempla a identificação do problema, definição de objetivos, desenvolvimento iterativo e avaliação empírica. O estudo de caso foi conduzido em um *freight forwarder* de grande porte, possibilitando a análise prática de rotinas operacionais, financeiras e documentais. A plataforma implementada integra camadas de infraestrutura em nuvem, bancos de dados relacionais, mecanismos de *machine learning*, recursos de compliance automatizado e interfaces responsivas, favorecendo interoperabilidade sistêmica e governança colaborativa. Os resultados demonstram ganhos significativos em eficiência, acurácia e conformidade regulatória, além de maior acessibilidade para pequenas e médias empresas. A pesquisa contribui para a literatura ao explorar a interseção entre inteligência artificial, inovação aberta e logística internacional, áreas ainda pouco investigadas. Conclui-se que a plataforma proposta se configura como uma solução escalável e relevante, tanto para a prática profissional quanto para o avanço teórico na gestão de cadeias de suprimentos globais.

Palavras-chave: cadeia de suprimentos internacional; inovação aberta; inteligência artificial; *Design Science Research*; logística.

5.1 INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta o quarto estudo da presente tese, cujo objetivo central é o desenvolvimento e a avaliação de um artefato digital de método, uma plataforma de gestão, construída segundo os princípios da *Design Science Research* (DSR) (Hevner et al., 2004). Este estudo dá continuidade aos achados dos capítulos anteriores, aprofundando a solução proposta para os desafios de gestão dos processos de comércio internacional, com base em uma abordagem de pesquisa-intervenção, fundamentada no rigor metodológico e na relevância prática.

A plataforma foi concebida como resposta às limitações observadas nos estudos anteriores, especialmente em relação ao gerenciamento da cadeia de suprimentos internacional. A literatura reconhece a importância estratégica desse gerenciamento para a competitividade da indústria, e aponta que discutir suas inovações é de grande relevância para a academia (Solaimani & Van der Veen, 2021). Entre as principais lacunas identificadas, destacam-se a baixa integração de dados entre atores, falta de visão integrada do processo pelos importadores e exportadores, tomada de decisão baseada em dados dispersos entre os diferentes intervenientes da cadeia.

A abordagem DSR adotada neste estudo contempla tanto o desenvolvimento iterativo do artefato quanto sua validação empírica e teórica, com base no modelo de processo proposto por Peffers et al., (2007). O artefato visa oferecer uma solução tecnológica capaz de integrar as atividades dos agentes envolvidos no comércio internacional, promovendo automação, gestão de riscos e apoio à decisão.

O termo *supply chain* ou *supply chain management* ganhou visibilidade a partir da década de 1990, quando se tornou difícil dissociar os conceitos de manufatura, distribuição, marketing, transporte e gestão de clientes (Cooper et al., 1997). A cadeia de suprimentos é composta por diversos intervenientes que atuam em diferentes etapas do processo, especialmente no transporte internacional de produtos em operações de importação e exportação (Mentzer et al., 2001).

Entre os agentes que impactam diretamente o desempenho da cadeia, destacam-se as empresas de transporte internacional (marítimo, aéreo e rodoviário), armazéns alfandegados, empresas de assessoria e despacho aduaneiro, além de órgãos públicos como a Receita Federal (2024). A busca por maior agilidade e menor custo nas operações impulsionou, sobretudo durante a pandemia da COVID-19, um processo acelerado de transformação digital na logística do comércio exterior. Nesse cenário, o Governo Federal liderou iniciativas como o Porto Sem

Papel e o Portal Único, plataformas que permitem aos diversos atores da cadeia gerenciar etapas do processo de maneira mais eficiente (Portal Siscomex, 2022). Essas iniciativas públicas também funcionaram como estímulo ao setor privado, incentivando o aprimoramento dos próprios processos tecnológicos e operacionais.

Atualmente, tais plataformas se concentram na gestão documental entre a Receita Federal, órgãos anuentes e os demais intervenientes da cadeia. Entretanto, segundo o *roadmap* do Portal Único, está prevista a integração futura com sistemas privados, o que abre espaço para inovações tecnológicas que complementem os serviços públicos. Em cada uma das etapas do processo logístico, o importador ou exportador precisa interagir com diferentes intervenientes, tanto na busca pelo status quanto nos pagamentos. A gestão completa passa pelo pedido no país estrangeiro, embarque internacional, interação com órgãos do governo, além da armazenagem e transporte nacional. Nesse sentido, plataformas integradas que visualizam o processo como um todo, se conectam ao Portal Único e incorporem inteligência artificial para gestão operacional, pagamentos e análise de riscos logísticos revelam-se adequadas e promissoras.

O tempo decorrido em cada etapa do processo logístico pode representar aumento significativo no custo final das operações de importação ou exportação, tornando os produtos brasileiros menos competitivos no mercado internacional (Mentzer et al., 2011). Por isso, torna-se essencial acompanhar e aderir às iniciativas de inovação promovidas pelo Governo Federal. Este trabalho propõe, portanto, o desenvolvimento de uma plataforma inteligente e aberta, que permita a gestão integrada e automatizada das etapas financeiras do processo logístico, auxiliando também na gestão de riscos e tomada de decisão, com base em dados em tempo real. O fenômeno da plataformação, entendido como a lógica digital que estrutura diversos setores da economia, já alcança também os processos regulados por governos federais e estaduais (Powell, Nieborg & Van Dijck, 2020). A literatura recente sobre inteligência artificial e inovação aberta aponta que a integração entre atores públicos e privados em cadeias de valor pode gerar ganhos operacionais significativos, sobretudo em setores altamente regulados (Cannavale et al., 2022). Contudo, conforme verificado no Estudo 1 desta tese, os temas de IA e inovação aberta são mais recorrentes na automação industrial, havendo ainda pouca investigação sobre sua aplicação no setor de serviços logísticos.

Embora as políticas públicas tenham incentivado o engajamento do setor privado no desenvolvimento de soluções tecnológicas, observa-se que essas inovações ainda estão concentradas em empresas com maior capacidade de investimento (ABOL, 2022). O setor é formado majoritariamente por pequenas e médias empresas, que representam cerca de 90% dos operadores logísticos (Tecnologista, 2022), mas que enfrentam dificuldades em acessar

tecnologias de ponta. Nesse cenário, a inovação aberta, conforme proposta por Chesbrough (2003), surge como uma abordagem mais democrática e colaborativa, promovendo o desenvolvimento de soluções compartilhadas e adaptáveis.

Dessa forma, o objetivo deste estudo é desenvolver um artefato: “uma plataforma inteligente e aberta de gestão”, que contribua para a integração dos intervenientes da cadeia de suprimentos internacional, utilizando conceitos de inteligência artificial e inovação aberta. A solução proposta visa oferecer benefícios como redução de custos operacionais, agilidade na gestão completa dos processos, mesmo entre os diversos intervenientes, incluindo a gestão centralizada dos pagamentos, gestão de riscos financeiros e apoio à tomada de decisão, inclusive no que se refere a operações com moedas estrangeiras.

Por se tratar de uma plataforma aberta, muitas são as etapas e interações que devem ser feitas para ter a visão completa do projeto. Dada a limitação de tempo e recurso que um projeto de doutorado nos impõem, este artefato estará restrito à integração financeira e ao sistema de Marinha Mercante do Governo Federal. As etapas sendo rigorosamente seguidas, devem reproduzir o efeito de plataforma integrada em todas as etapas do processo logístico.

5.2 RERENCIAL TEÓRICO

A construção do artefato proposto neste quarto estudo é sustentada por um corpo teórico robusto consolidado nos três estudos anteriores desta tese. Esses estudos forneceram as bases conceituais, empíricas e contextuais que norteiam as decisões de design, desenvolvimento e instanciação parcial do artefato, conforme preconiza o paradigma Design Science Research (DSR) (Hevner et al., 2004; Gregor & Hevner, 2013).

O Estudo 1, fundamentado em uma revisão sistemática da literatura, contribuiu com a consolidação teórica sobre a interseção entre inteligência artificial, inovação aberta e cadeias de suprimentos. As principais teorias mobilizadas foram a Teoria da Inovação Aberta (Chesbrough, 2003, 2020), as Capacidades Dinâmicas (Teece, 1997) e os conceitos de redes colaborativas e fluxos interorganizacionais de conhecimento (Powell, 1990; Granovetter, 1973). Esses aportes teóricos reforçam a concepção da plataforma como um ecossistema digital interconectado, que permite a cocriação de soluções logísticas, a incorporação de conhecimento externo e a recombinação dinâmica de capacidades entre os atores da cadeia de suprimentos. A inovação proposta no Estudo 1, o modelo caleidoscópico de apropriação dos impactos da IA, orienta o artefato a operar de forma não linear e adaptável, promovendo ciclos de inovação contínuos, interativos e sustentáveis.

O Estudo 2, por sua vez, investigou os determinantes do esforço de inovação de organizações envolvidas em projetos de pesquisa e desenvolvimento (P&D) voltados à adoção de IA. Apoiado em teorias como Capacidade de Absorção (Cohen & Levinthal, 1990), Inovação Tecnológica em Redes (Wamba et al., 2021) e Cooperação Tecnológica, esse estudo evidenciou que o sucesso de inovações com IA depende fortemente da capacidade de as organizações absorverem, recombinarem e aplicarem conhecimentos provenientes de parcerias externas, como universidades, startups e órgãos governamentais. Esses achados justificam o desenvolvimento de uma plataforma colaborativa como artefato central da tese, capaz de integrar diferentes fontes de conhecimento, fomentar a inteligência coletiva e catalisar o esforço de inovação das partes envolvidas na cadeia de suprimentos.

O Estudo 3, com abordagem empírica de métodos mistos, analisou cadeias de suprimentos internacionais no Sul Global, revelando cinco desafios críticos e doze categorias analíticas de soluções de IA. Com base em teorias como a Teoria dos Custos de Transação (Williamson, 1985), a Teoria de Recursos e Capacidades (Barney, 1991), a Ecologia Organizacional (Hannan & Freeman, 1977) e os Sistemas Complexos (Simon, 1962; Choi et al., 2019), esse estudo mostrou que a adoção da IA em cadeias globais depende de fatores institucionais, organizacionais e contextuais específicos. Esses aportes teóricos reforçam a necessidade de que o artefato seja contextualmente sensível, modular e adaptável, capaz de operar sob diferentes níveis de maturidade tecnológica, estrutura institucional e complexidade relacional.

Dessa forma, os três estudos anteriores convergem para um conjunto de requisitos teóricos e práticos que fundamentam a construção do artefato no Estudo 4. A inovação aberta, a cooperação tecnológica, a legitimidade organizacional, a capacidade adaptativa e a integração digital inteligente são os eixos teóricos centrais que orientam a proposta da plataforma. O artefato concebido deve, portanto, funcionar como um hub de inovação colaborativa, facilitando o compartilhamento seguro de dados, a automação de processos críticos com IA, a integração interorganizacional e a construção de soluções logísticas resilientes e sustentáveis.

A abordagem DSR permite que esse conhecimento seja operacionalizado por meio do desenvolvimento, instanciação parcial e avaliação do artefato, respeitando tanto as exigências teóricas quanto as demandas práticas do setor estudado. Assim, este estudo representa a materialização aplicada das teorias exploradas e evidências empíricas geradas ao longo da tese.

A seguir, o quadro resumo apresenta as principais contribuições de cada estudo para a construção do artefato:

Dimensão	Base Teórica Integrada (E1 + E2 + E3)	Aplicação no Estudo 4
Tecnologia e Inovação	Inovação Aberta, Tecnologias Emergentes, DSR, Plataformas Inteligentes	Artefato baseado em IA colaborativa
Governança e Colaboração	Teorias de Ecossistemas, Redes de Coautoria, Cooperação Tecnológica	Plataforma como ambiente de cocriação e integração
Soluções Práticas	Categorias de Soluções de IA, Modelo Processual, Sul Global	Funcionalidades da plataforma alinhadas aos desafios empíricos
Método de Pesquisa	Revisão sistemática, cientometria, Métodos mistos	Integração no ciclo DSR (relevância, rigor, design)

5.3 MÉTODO

A evolução dos sistemas digitais tem possibilitado o surgimento de plataformas digitais abertas, que operam como núcleos tecnológicos modulares com a capacidade de conectar diversos atores em um ambiente de cocriação e inovação contínua (Gawer & Cusumano, 2014). Tais plataformas têm se tornado centrais para a transformação digital das cadeias de suprimentos internacionais, especialmente quando incorporam inteligência artificial (IA) como vetor de eficiência, interoperabilidade e decisão preditiva.

De acordo com Gawer e Cusumano (2014), uma plataforma digital aberta é composta por um núcleo tecnológico central e um conjunto de complementadores, desenvolvedores, empresas parceiras e usuários, que podem acessar, estender ou integrar novas funcionalidades por meio de interfaces padronizadas (por exemplo, APIs). A abertura dessas plataformas pode ocorrer em três dimensões principais:

- a. Técnica – caracterizada por uma arquitetura modular e interoperável;
- b. Organizacional – baseada em um modelo de governança participativa;
- c. Institucional – sustentada pela colaboração em ambientes regulatórios dinâmicos.

Essas características favorecem a inovação colaborativa ao permitir que múltiplos atores explorem, modifiquem e recombinaem recursos digitais de forma descentralizada. No contexto da cadeia de suprimentos internacional, a adoção de uma plataforma aberta de gestão que agregue o uso da IA permite o compartilhamento inteligente de dados, a automação da checagem de documentais e a antecipação de na tomada de decisões sobre possíveis quebras em algum dos elos dessa cadeia.

Complementarmente, a perspectiva de ecossistemas de inovação digital amplia essa discussão ao considerar não apenas os elementos técnicos, mas também os arranjos

interorganizacionais e sociotécnicos que emergem em torno dessas plataformas. Thomas e Autio (2020) definem ecossistemas digitais como redes compostas por múltiplos atores interdependentes, fornecedores, orquestradores, usuários, reguladores, que interagem por meio de fluxos digitais de valor, em busca de inovação contínua. Diferente das cadeias lineares, os ecossistemas são sistemas adaptativos complexos, nos quais os agentes cocriam soluções, aprendem e evoluem conjuntamente, reagindo a estímulos externos e endógenos.

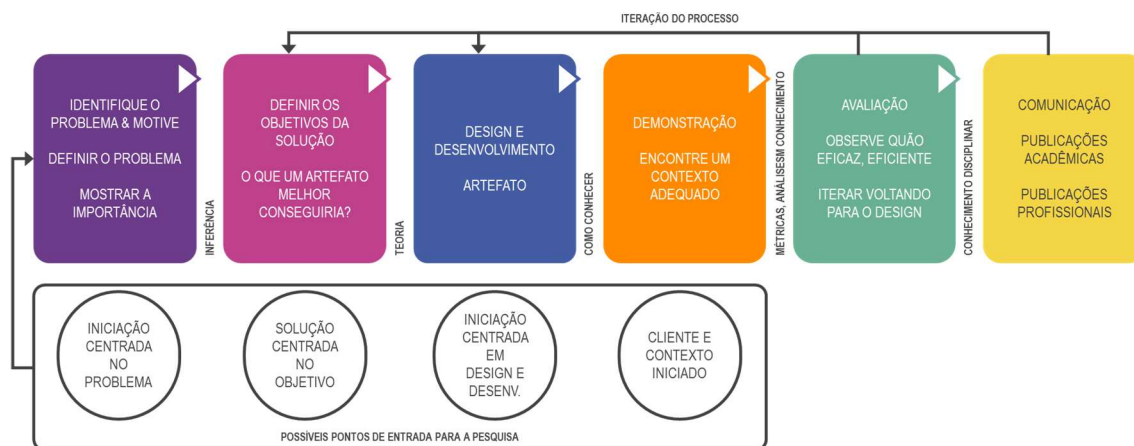
Esses ecossistemas são especialmente relevantes em contextos globais, onde a heterogeneidade regulatória, cultural e tecnológica desafia a padronização das operações. A proposta de plataforma descrita neste estudo, ao integrar diversos atores da cadeia internacional por meio de módulos baseados em IA (ex.: previsão, verificação documental, colaboração), configura-se como um artefato ecossistêmico, alinhado às diretrizes de uma arquitetura aberta e orientada à inovação contínua.

Em síntese, o referencial adotado combina fundamentos de plataformas digitais abertas com a lógica dos ecossistemas de inovação digital, fornecendo um enquadramento robusto para o desenvolvimento do artefato segundo a abordagem *Design Science Research*. Essa combinação permite compreender não apenas os aspectos técnicos, mas também a capacidade de fomentar transformações institucionais, organizacionais e relacionais nas cadeias de suprimentos globais.

A *Design Science Research* (DSR), conforme Dresch *et al.* (2015), fundamenta-se na aplicação do design para a criação e validação de artefatos voltados à resolução de problemas específicos. O modelo de Peffers *et al.* (2007), adotado neste estudo, prevê seis etapas sequenciais, apresentadas na Figura 6, que podem ser revisitadas sempre que necessário para ajustes e aperfeiçoamentos do processo. Isso segue o fluxo lógico:

- a. **Relevance Cycle:** embasado nos problemas reais e evidências empíricas (Estudos 2 e 3);
- b. **Rigor Cycle:** sustentado por literatura e teoria (Estudo 1);
- c. **Design Cycle:** construção e validação do artefato (Estudo 4).

Figura 6. DSRM – Process Model



Fonte: Adaptada de Peffers et al. (2007)

5.3.1 Identificação e classe de problemas

A gestão da cadeia de suprimentos internacional enfrenta uma crescente complexidade organizacional, regulatória e tecnológica, intensificada por contextos multilaterais, volatilidade de mercados e restrições geopolíticas (Ivanov & Dolgui, 2020). Essa complexidade se intensifica a medida que as informações e dados estão dispersos em vários atores e intervenientes ao longo da cadeia.

Apesar do avanço de tecnologias emergentes, como a inteligência artificial (IA), neste setor, indicado pelos estudos anteriores, nota-se uma carência significativa de plataformas digitais abertas que combinem previsibilidade, automação e cocriação de soluções. Organizações frequentemente operam em ambientes com pouca integração sistêmica e fraca governança colaborativa, resultando em processos de decisão ineficientes, duplicação de esforços e risco elevado de disrupções. Além disso, os estudos anteriores apontam que a falta de sistemas inteligentes e abertos reduzem o apoio às decisões que envolvam dados múltiplos dos diferentes elos da cadeia, limitando a capacidade de antever riscos logísticos, gerenciar compliance documental e acelerar fluxos de recursos e mercadorias — funções críticas para a competitividade em ambientes globais.

Com o objetivo de construir uma solução que vá ao encontro dos problemas identificados, segue a classe de problemas, primordial para construção da DSR. Conforme a tipologia de problemas proposta por Gregor & Hevner (2013), este estudo lida com um problema classificado como problema de inovação de solução:

- a. Existência de necessidades práticas ainda não resolvidas satisfatoriamente;

- b. Ausência de uma solução tecnológica estabelecida e validada no domínio;
- c. Necessidade de projetar um novo artefato inovador, com forte componente sociotécnico.

Nesse tipo de problema, busca-se não apenas otimização, mas a criação de soluções originais, aplicáveis em contextos reais, baseadas em princípios científicos. Assim, o artefato proposto, uma plataforma aberta de gestão da cadeia de suprimentos internacional com IA, configura-se como resposta projetual a um problema mal estruturado, exigindo tanto rigor acadêmico quanto aplicabilidade prática (March & Smith, 1995). Para esta tese, o foco é a construção da plataforma por módulos, sendo a base para aplicação técnica segundo a abordagem da DSR, o de pagamentos e interação com a Marinha Mercante (órgão governamental).

A abordagem por *Design Science Research* (Peppers et al., 2007) mostra-se a mais adequada, pois permite conceber, demonstrar e avaliar um artefato que responde aos seguintes desafios:

- a. interoperabilidade sistêmica entre múltiplos intervenientes da cadeia de suprimentos internacional;
- b. automação inteligente de decisões e processos logísticos;
- c. visão sistêmica distribuída e inovação aberta na cadeia de suprimentos;
- d. acesso às soluções digitais a empresas de pequeno e médio portes, que porventura possam ter questões de restrição de recursos.

Essa classe de problema requer abordagens construtivas, nas quais a utilidade do conhecimento gerado é avaliada por sua capacidade de produzir soluções eficazes e replicáveis em ecossistemas complexos e dinâmicos.

A etapa seguinte envolve a identificação específica das rotinas de uma empresa interveniente da cadeia de suprimentos internacionais. A coleta de dados primários foi conduzida por meio de estudo de caso, segundo o protocolo de Yin (2018).

Com base na identificação do problema e definição do objetivo, os artefatos podem ser divididos em cinco categorias: construtos, modelos, métodos, instâncias e teorias do design (Hevner & Chatterjee, 2010; Gregor & Hevner, 2013). A categoria de artefato mais indicada para desenvolvimento do algoritmo de inteligência artificial é o método, que consiste em um conjunto de passos (um algoritmo ou orientação) usado para executar uma tarefa.

5.3.2 Estudo de caso

O estudo de caso foi conduzido em um *freight forwarder* de grande porte, com presença consolidada em mais de 40 países e operações robustas de importação e exportação. A empresa atua como integradora logística, conectando exportadores, importadores, transportadoras e órgãos governamentais, coordenando processos multimodais e garantindo o cumprimento de exigências regulatórias internacionais.

A escolha da organização baseou-se em três critérios principais:

- a. representatividade da empresa como *Freight Forwarder*.
- b. momento de transição tecnológica, marcado por investimentos expressivos em modernização e digitalização de processos do setor financeiro e operacional.
- c. integração operacional com um terminal portuário alfandegado de zona secundária, reconhecido como um dos mais relevantes do Porto de Santos e atualmente em fase de forte investimento em tecnologia. Essa configuração favorece aprofundada de práticas logísticas e desafios relacionados à inovação e à eficiência operacional.

A organização apresenta um volume médio mensal de 1,2 mil embarques, distribuídos entre transporte marítimo, aéreo e rodoviário. O crescimento acelerado e a necessidade de atendimento a múltiplos intervenientes resultaram em desafios relacionados à gestão integrada de informações, à acuracidade nos prazos e ao processamento de documentos em conformidade com legislações nacionais e internacionais.

5.3.2.1 Objetivo do Estudo de Caso

O objetivo desta etapa foi analisar o fluxo interno de processos, desenhar todas as etapas junto com a equipe de especialistas, focar no setor financeiro e documental, construir, demonstrar e avaliar o artefato “Plataforma Aberta de Gestão para a Cadeia de Suprimentos Internacional com Adoção de Inteligência Artificial”, em um contexto real de operação de um *freight forwarder*, com foco em três áreas-chave:

- a. Setor Operacional — coordenação e monitoramento de embarques, rastreamento em tempo real, otimização do tempo e previsão de atrasos. Este setor é relevante, pois é a base do banco de dados da plataforma.
- b. Setor Financeiro — automação de processos de faturamento, reconciliação de pagamentos e liberação automática dos processos.
- c. Setor Documental e Conexão com Órgãos Governamentais — submissão e validação eletrônica de documentos junto a aduanas, portos, aeroportos e agências reguladoras.

Neste presente estudo, o foco do desenvolvimento foi o sistema de Marinha Mercante do Brasil (manifesto de cargas internacionais).

5.3.2.2 Procedimentos Metodológicos

O estudo foi desenvolvido segundo a abordagem de *Design Science Research* (Peppers *et al.*, 2007), na etapa de demonstração do artefato. As seguintes ações foram executadas:

1ª Etapa: Coleta de dados

A coleta de dados foi estruturada em três procedimentos complementares:

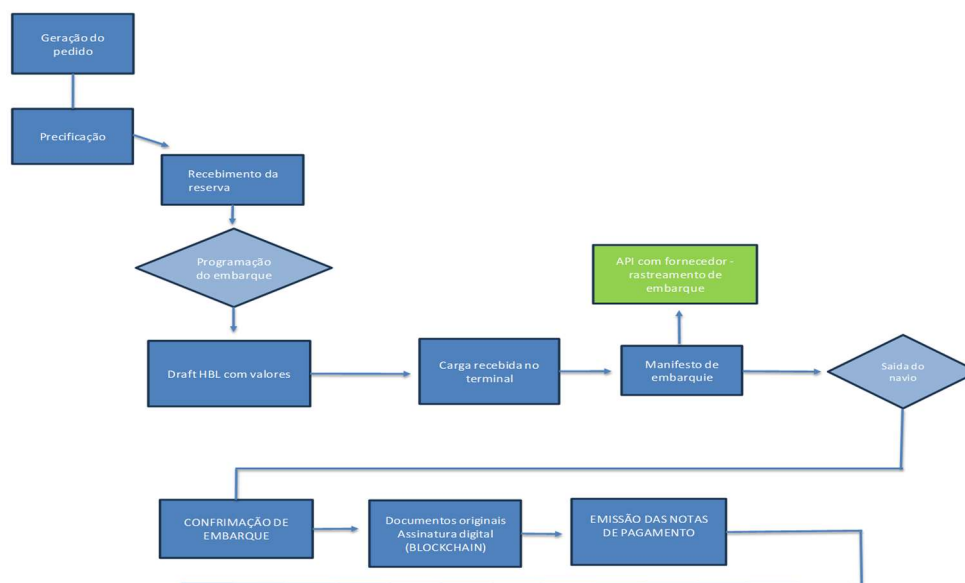
a. Entrevistas semiestruturadas: foram realizadas entrevistas com três gestores, representantes de diferentes departamentos, com início no setor operacional de atendimento ao cliente de importação. Esse levantamento possibilitou o mapeamento preliminar dos processos e a identificação dos principais pontos críticos, como a dependência da interação humana para atualização de informações, fator que aumenta o risco de erros e compromete a eficiência das operações.

b. Observação direta e análise documental: As rotinas de manifesto e de conexão com órgãos governamentais foram observadas diretamente, com apoio da plataforma da Marinha Mercante (<https://www.mercante.transportes.gov.br>). Nessa etapa, constatou-se que, embora seja gerado o número de identificação do manifesto, referência comum entre diferentes intervenientes, o preenchimento manual mantém o processo suscetível a falhas e atrasos.

c. Análise financeira do processo: A etapa final concentrou-se no processo de faturamento, que consolida as informações necessárias para o encerramento e o controle financeiro das operações, permitindo avaliar a completude e a integridade dos registros administrativos.

O primeiro setor analisado foi o operacional, com o acompanhamento direto de um analista de importação. A partir da observação e das entrevistas, devidamente documentados como “AS IS”, foi possível mapear os pontos críticos do processo e elaborar o fluxo de atividades correspondente, utilizado como base para a avaliação e validação do artefato, apresentado na Figura 7.

Figura 7 Etapa inicial de um processo de importação

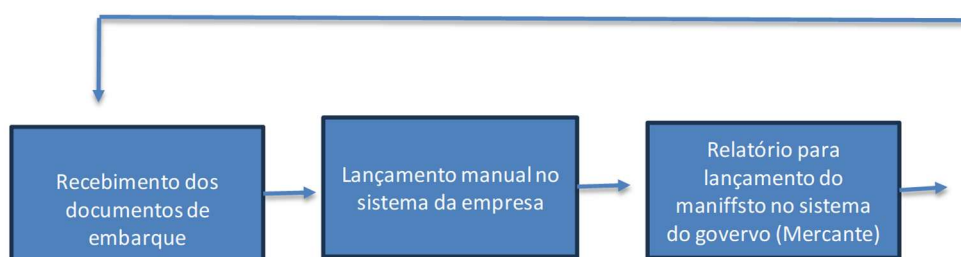


Fonte: Elaborado pela autora (2025)

O principal desafio identificado nesta etapa foi a dependência da interação humana para a atualização das informações, o que aumenta a probabilidade de erros e compromete a eficiência do processo.

Na sequência, analisou-se a seção operacional de manifesto e de conexão do embarque com os órgãos governamentais. Por se tratar de uma empresa prestadora de serviços de transporte internacional, essa etapa é realizada por meio da plataforma da Marinha Mercante (<https://www.mercante.transportes.gov.br>), detalhada na Figura 8.

Figura 8 Etapa de manifesto de carga no sistema de Marinha Mercante



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Assim como na etapa anterior, o lançamento manual de informações torna o processo demorado e suscetível a falhas. Entretanto, nesta fase é gerado o número de identificação do manifesto individual de cada processo, que funciona como referência comum entre os diferentes intervenientes envolvidos na operação logística.

A etapa final corresponde à análise do faturamento. Idealmente, caso todas as etapas anteriores estivessem corretas, o faturamento não representaria um problema. Contudo, verificou-se que nem sempre os valores e tributos calculados estão adequados, o que demanda tempo adicional e gera significativo retrabalho. Além do pagamento das taxas referentes ao frete internacional e dos impostos incidentes, o cliente ainda precisa interagir com o armazém e a transportadora, resultando em dois novos fluxos de *status* e de pagamentos distintos.

O fluxo a seguir ilustra essas interações, destacando a multiplicidade de pontos críticos que impactam a confiabilidade e a eficiência do processo como um todo, demonstrado na Figura 9.

Figura 9 Fluxo de pagamento do processo



Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Etapa 2 : Definição dos objetivos

Para a etapa de definição de objetivos, utilizou-se o *Business Model Canvas* (Osterwalder & Pigneur, 2010), instrumento amplamente empregado para modelar modelos de negócio e compreender a criação, entrega e captura de valor para empresas e usuários. A adoção do Canvas neste contexto possibilitou uma visão abrangente do ambiente operacional do *freight forwarder* e permitiu identificar, de forma precisa, necessidades e oportunidades tanto sob a perspectiva dos usuários finais (gestores operacionais e financeiros) quanto sob a perspectiva estratégica da organização.

Conforme a abordagem da *Design Science Research (DSR)* (Peffer et al., 2007), a definição dos objetivos do artefato deve derivar diretamente da análise do problema identificado. Neste estudo, o Canvas foi utilizado como ferramenta para elencar os requisitos, mapeando propostas de valor, segmentos de clientes, atividades-chave e recursos-chave. Nesta etapa, não se buscou identificar parcerias, fontes de receita ou custos operacionais. O mapeamento realizado deu suporte à formulação de objetivos tecnicamente viáveis e funcionalmente relevantes.

Com base na revisão da literatura (Cooper *et al.*, 1997; Mentzer *et al.*, 2001; Solaimani & Van der Veen, 2021) e na análise preliminar com stakeholders do setor (gestores e analistas operacionais e financeiros de um *freight forwarder*), foram definidos os seguintes objetivos de solução para a plataforma digital baseada em inteligência artificial e inovação aberta:

- O1: Permitir visão integrada de dados operacionais e financeiros de diferentes intervenientes da cadeia de suprimentos internacional.
- O2: Permitir o rastreamento do processo ao longo da cadeia, reduzindo o tempo para tomada de decisão em caso de possíveis atrasos.
- O3: Estabelecer integração com plataformas governamentais como o Siscomex e Marinha Mercante (API SERPRO).
- O4: Apoiar a tomada de decisão com base em indicadores de riscos operacionais e financeiros, com a implementação da inteligência artificial.

A partir desses objetivos, tornou-se possível estabelecer uma direção clara para o processo de concepção e construção do artefato. Os requisitos identificados refletiram tanto as necessidades operacionais e financeiras dos intervenientes da cadeia de suprimentos quanto as oportunidades de inovação tecnológica associadas à transformação digital do comércio internacional. Com base nesses objetivos, a seção seguinte descreve o processo de projeto e desenvolvimento da plataforma inteligente, destacando as decisões de arquitetura, as funcionalidades implementadas e as tecnologias adotadas. O desenvolvimento foi conduzido de forma iterativa, seguindo os princípios da DSR, assegurando alinhamento entre o problema identificado, a solução proposta e os critérios de avaliação subsequentes.

Etapas 3. Desenvolvimento do artefato

Com base na identificação dos problemas e dos objetivos definidos, esta etapa consistiu na concepção e implementação de uma plataforma digital aberta e inteligente para gestão integrada da cadeia de suprimentos internacional. O desenvolvimento seguiu o método da *Design Science Research*, na dimensão construtiva proposta por Dresch *et al.* (2015), orientado por princípios de arquitetura modular, interoperabilidade e aprendizado contínuo. Nesta primeira etapa, devido as restrições de tempo e recursos, o foco será no módulo financeiro e operacional (manifesto no sistema Marinha Mercante).

O projeto foi conduzido por um especialista em desenvolvimento de sistemas e iniciou-se com a definição do fluxo de processos básicos e dos requisitos funcionais e não funcionais.

A arquitetura foi concebida para abranger uma classe específica de problemas relacionados à integração de dados, automação de processos e colaboração entre múltiplos atores da cadeia de suprimentos global.

Nesta etapa, a interação constante entre praticante, pesquisador e desenvolvedor foi fundamental. A primeira providência foi passar ao profissional os requisitos principais e fluxo operacional do processo. Para isso, criou-se um fluxo operacional do projeto na ferramenta MIRO, criando acesso ao pesquisador e praticante. O ponto inicial foi um trabalho de análise denominado “AS IS”, e então sim o desenho dos fluxos que serviriam de “scripts” para os

O primeiro desenvolvimento levou cerca de 4 semanas, e foi apresentado como um protótipo inicial, para que as devidas anotações fossem indicadas, para verificar se o projeto estava caminhando no sentido correto. Nesta fase, foi apresentada a base do banco de dados, aparência inicial das telas de cadastro de usuário e primeiras funcionalidades. Ela foi apresentada para dois usuários representantes do departamento financeiro e operacional, e com as devidas anotações, a segunda rodada de desenvolvimento foi iniciada.

Juntamente com os ajustes propostos, uma segunda etapa se iniciou para construir a interface do usuário (UX/UI). Ao mesmo tempo, foi feita a integração da plataforma com o Banco Central do Brasil (URL: <https://olinda.bcb.gov.br/olinda/servico/PTAX/versao/v1/aplicacao#!/recursos/CotacaoDolarDia>), para atualização em tempo real da taxa cambial e cálculo das moedas internacionais (Euro e Dólar) para o real.

Feita a primeira entrega, o próximo passo foi o carregamento automático dos documentos de embarque internacional. Essa etapa foi fundamental para o processo de carregamento automático das informações na plataforma e manifesto no sistema de marinha mercante do governo federal. Feita a terceira reunião entre pesquisador, desenvolvedor e praticante, nesta fase de avaliação, os analistas foram convidados a participar.

A fase da integração com o sistema Marinha Mercante foi feita com a solicitação de API Serpro (<https://doc-siscomex-sapi.estaleiro.serpro.gov.br/integracomex/documentacao/carga/>), e após testes efetuados com os documentos fornecidos pela empresa estudada, e certificado digital da coordenadora do setor documental para validação do acesso ao portal, a terceira entrega foi finalizada.

Por fim, mais uma semana de teste e a quarta entrega foi finalizada, para início da avaliação e validação do artefato pelos praticantes. Importante ressaltar que por ser uma empresa internacional, a plataforma foi concebida em português inglês.

A seguir, são apresentadas as estruturas técnicas do artefato:

a. Camada de Infraestrutura:

- Hospedagem em nuvem: AWS, garantindo escalabilidade, disponibilidade e segurança.
- APIs REST/GraphQL e Webhooks: para integração com sistemas internos e externos.
- Compatibilidade IoT: para captura de dados de dispositivos de rastreamento e sensores.
- ERP Connectors: desenvolvimento de API para integração com SAP, TOTVS e outros sistemas corporativos.

b. Camada de Dados:

- Banco relacional: PostgreSQL para dados estruturados.
- Data Lake: para armazenamento de documentos e dados não estruturados.
- Possibilidade de uso de Blockchain: para garantir integridade e rastreabilidade documental.
- Mecanismos ETL: para limpeza, transformação e unificação de dados de múltiplas fontes.

c. Camada de Inteligência Artificial:

- Módulos de Machine Learning para:
 - Análise de processos logísticos.
 - Leitura automatizada de PDFs com OCR e NLP.
 - Detecção de inconsistências financeiras e documentais.
- Pipeline de IA: coleta → pré-processamento → treinamento → inferência → feedback.

d. Camada de Aplicações e Funcionalidades:

- Cadastro e gestão de usuários por perfis (Cliente, operador logístico).
- **Gestão de fornecedores:** avaliação, auditoria e integração.
- **Gestão Financeira:** emissão de cobrança e módulo pagamento.
- **Logística e transporte:** Análise de documentos, rastreamento multimodal.
- **Auditoria e compliance:** leitura avançada de documentos, geração de relatórios e validação automática, gerando trilha de auditoria.

e. Camada de Governança e Segurança:

- **Autenticação:** O Auth 2.0 e JWT.
- **Criptografia:** AES para dados em repouso e TLS para dados em trânsito.
- **Controle de permissões** por papel e perfil de acesso.
- **Governança Colaborativa:** comitê de parceiros para validação de melhorias e integrações.

f. Camada de Experiência do Usuário (UX/UI):

- **Painel responsivo** (web/mobile) com mapas, indicadores e alertas em tempo real.

- **Interface intuitiva** para facilitar adoção por múltiplos perfis de usuário.
- **Personalização** de *dashboards* e relatórios.

g. Camada de Ecossistema e Extensibilidade

- APIs abertas para desenvolvimento de módulos por terceiros.
- SDK para integração de parceiros e criação de novas funcionalidades.
- Marketplace interno para distribuição de extensões aprovadas.

h. Fluxos Funcionais:

• Fluxo Macro – Visão Horizontal

flowchart LR

```
A[Login/Autenticação] --> B[Dashboard do Usuário]
B --> C[Visualização da Cadeia de Suprimentos]
C --> D[Integração de Dados (ERP, IoT, Blockchain)]
D --> E[Gestão Financeira]
E --> F[Gestão Logística]
F --> G[Indicadores de Rastreabilidade]
G --> H[Colaboração entre Parceiros]
H --> I[Auditorias e Conformidades]
I --> J[Relatórios e Insights]
```

• Fluxo de Pedido – Visão Vertical

flowchart TD

```
A[Início do Pedido] --> B[Criação do Pedido de Compra Internacional]
B --> C[Confirmação pelo Fornecedor]
C --> D[Documentação de Exportação]
D --> E[Embarque Internacional]
E --> F[Tracking do Transporte]
F --> G[Chegada ao Porto/Aeroporto Nacional]
G --> H[Desembarço Aduaneiro]
H --> I[Transferência para Operador Logístico Interno]
I --> J[Entrega ao Cliente Final]
J --> K[Confirmação de Recebimento + Avaliação]
```

i. Entregas:

1. Primeira entrega:

- Banco de dados operacional e financeiro estruturado.
- Página de cadastro de usuários (fase UX/UI)
- Robô de busca de taxa cambial para aprendizado inicial da IA.

2. Segunda entrega:

- Aplicação de IA para leitura de PDFs (OCR) e extração automática de dados.

3. Terceira entrega:

- API de integração com gateways de pagamento.
- API para conexão com atores da cadeia internacional.

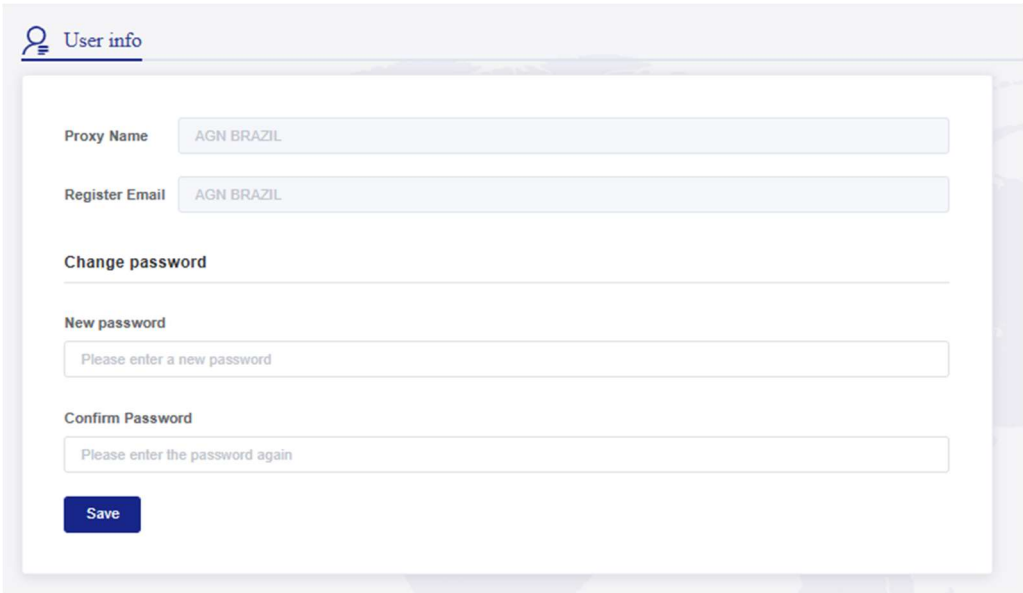
4. Quarta entrega:

- Plataforma inteligente integrada, automatizando processos logísticos e financeiros.
5. **Quinta entrega (pós-tese):**
- Algoritmo de IA capaz de aprender o comportamento operacional e financeiro dos clientes, analisar variáveis críticas e recomendar ajustes proativos.

A seguir, apresento as funcionalidades da plataforma:

a. Cadastro de usuário:

Figura 10. Plataforma de gestão – gestão de usuário



The screenshot displays a web interface titled 'User info' with a user icon. It contains two input fields: 'Proxy Name' and 'Register Email', both with the value 'AGN BRAZIL'. Below these is a 'Change password' section with two input fields: 'New password' (placeholder: 'Please enter a new password') and 'Confirm Password' (placeholder: 'Please enter the password again'). A blue 'Save' button is located at the bottom left of the form.

Fonte: a autora (2025)

b. Acesso aos processos: (Or

Figura 11. Plataforma de gestão – acesso aos processos

Desconsolidação ▾ Relatórios ▾

Consultar Status do Master

Número do Master

253871198

Consultar

Número do Master: 253871198**Número do CE:** 152505213829940**Status da Desconsolidação:** CE informado já foi desconsolidado.**Quantidade de erros encontrados:** 7

Fonte: a autora (2025)

Etapa 4. Avaliação do artefato:

A implementação e teste do artefato permitiu avaliar, de forma empírica, sua aplicabilidade e impacto nos processos logísticos, financeiros e documentais (interação governamental).

A escolha desse estudo de caso se justifica pelo papel central que os *freight forwarders* desempenham no fluxo internacional de mercadorias, atuando como elos integradores entre exportadores, importadores, transportadoras e órgãos governamentais. Essa posição estratégica os torna ambientes ideais para testar soluções que exigem interoperabilidade tecnológica, múltiplos pontos de conexão e integração com sistemas externos.

Embora o estudo de caso foi conduzido em três setores operacionais distintos, operacional, financeiro e documental, apenas o módulo financeiro e documental foi construído, e possibilitou a observação de seus efeitos sob diferentes perspectivas funcionais. Essa abordagem multissetorial permitiu identificar não apenas ganhos de eficiência e redução de erros, mas também oportunidades de escalabilidade e barreiras à adoção.

A análise dos resultados segue a lógica das etapas do *Design Science Research* (Peppers et al., 2007), em que a demonstração e avaliação do artefato não se limitam a métricas de desempenho, mas incluem percepções qualitativas dos usuários, adaptações realizadas durante o uso e interações com sistemas e parceiros externos.

1. Procedimentos de Implementação

A apresentação do artefato, após a etapa de conhecimento da estrutura organizacional, seguiu a seguinte sequência:

a. Coleta de dados primários:

- 2 entrevistas semiestruturadas com gestores e 3 com analistas dos dois setores.
- Observação direta de rotinas financeiras e documentais.
- Registro de interações de usuários durante uso experimental da plataforma.

b. Configuração do artefato:

- Criação de usuário único para análise de um processo completo.
- Conexão do módulo financeiro da plataforma a *gateways* de pagamento internacionais (Neste caso foi utilizado um plug in via API com uma integradora de pagamento).
- Integração documental com sistemas governamentais (Siscomex e Marinha Mercante).

c. Duração:

Período de quatro semanas de uso supervisionado da plataforma, com monitoramento semanal dos indicadores financeiros e documentais.

2. Avaliação de Resultados

Os resultados obtidos evidenciam que a plataforma proposta atua como um agente facilitador da inovação aberta, ao permitir:

- a cocriação de soluções,
- a redução de tempos críticos,
- e a melhoria da governança de dados e acesso ao sistema de manifesto do governo

(Marinha Mercante).

A demonstração do artefato, aplicada ao contexto do *freight forwarder*, possibilitou mensurar impactos diretos nos três setores-chave — operacional, financeiro e documental — além de identificar percepções qualitativas sobre usabilidade, integração e confiabilidade da solução. Foi feito um formulário enviado Microsoft Forms, enviado via email, com as seguintes questões:

1. Usabilidade e Interação

- A plataforma foi fácil de aprender a usar. (SIM / NÃO)
- A navegação/fluxo da plataforma é intuitiva. (SIM / NÃO)
- O tempo necessário para executar as funções foi adequado. (SIM / NÃO)

2. Utilidade e Eficácia

- a. A plataforma atende às necessidades para as quais foi projetada. (SIM / NÃO)
- b. A plataforma contribuiu para agilizar o tempo de resposta nos processos financeiros e documentais? (SIM / NÃO)
- c. A aplicação prática da plataforma trouxe valor perceptível. (SIM / NÃO)

3. Confiabilidade e Robustez

- a. A plataforma funcionou sem erros críticos durante o uso. (SIM / NÃO)
- b. O resultado gerado pela plataforma foi consistente para o desempenho da minha função no dia a dia? (SIM / NÃO)

4. Sustentabilidade e Adoção

- a. Recomendo o uso desta plataforma em outros contextos semelhantes. (SIM / NÃO)

5. Questões Abertas

- a. Quais foram os principais pontos fortes do artefato?
- b. Quais melhorias você sugere?

A Figura 15 apresenta resultados quantitativos (avaliação dos usuários), e a figura 16 ilustra os resultados obtidos na análise do desempenho da plataforma:

Figura 15. Síntese de resultados – usuários

Questão	1	2	3	4	5	%SIM	%NAO
A plataforma foi fácil de aprender a usar?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	100,00%	0,00%
A navegação/fluxo da plataforma é intuitiva?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	100,00%	0,00%
O tempo necessário para executar as funções foi adequado?	Não	Sim	Não	Sim	Sim	60,00%	40,00%
A plataforma atende às necessidades para as quais foi projetada?	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	80,00%	20,00%
A plataforma contribuiu para agilizar o tempo de resposta (de acordo com as funções que elas estão sendo utilizadas)?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	100,00%	0,00%
A aplicação prática da plataforma trouxe valor perceptível?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	100,00%	0,00%
A plataforma funcionou sem erros críticos durante o uso?	Não	Não	Não	Sim	Sim	40,00%	60,00%
O resultado gerado pela plataforma foi consistente para o desempenho da minha função no dia a dia?	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	100,00%	0,00%
Recomendo o uso desta plataforma para outros contextos na empresa	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	100,00%	0,00%

Fonte: Elaborada pela autora (2025)

Figura 16. Síntese de resultados – desempenho da plataforma

Área	Indicador	Situação Inicial	Após Implementação
Financeiro	Tempo de processamento de faturas	100%	-34%
Financeiro	Prevenção de erros de faturamento	-	US\$ 1200/mês
Financeiro	Prevenção de erros no manifesto	-	US\$ 2 mil /mês
Documental	Tempo médio de manifesto (digitação)	1 hora	0,25 horas
Documental	Tempo médio de manifesto (retorno e registro)	1,5 horas	0,50 horas

Fonte: Elaborado pela autora (2025)

Durante a fase de observação e entrevistas, emergiram três dimensões qualitativas principais:

a. Integração Sistêmica: A plataforma foi concebida para integrar diferentes intervenientes da Cadeia de Suprimentos através de API.

b. Inteligência Analítica: No setor documental a capacidade analítica de ler documentos em pdf e apontar divergências com o sistema da empresa e órgãos governamentais (Siscomex – registro da DI – e Marinha Mercante – manifesto do processo) foi percebida como ferramenta estratégica para redução de erros operacionais, projeção de fluxo de caixa e antecipação de cobranças e pagamentos.

c. Governança Documental

No setor documental, a automação da verificação de requisitos de documentos reduziu erros de conformidade e acelerou o relacionamento com órgãos reguladores.

Os resultados confirmam que a Plataforma Aberta de Gestão com IA atua como catalisadora de inovação aberta no contexto do *freight forwarder*, possibilitando:

- Aumento de eficiência operacional, com redução de tempos críticos;
- Melhoria de acurácia nos lançamentos e detecção de erros;
- Padronização e confiabilidade na documentação enviada a órgãos governamentais;
- Flexibilidade e escalabilidade para integração com diferentes sistemas e parceiros.

Essas evidências reforçam a classificação do problema original como um problema de inovação de solução (Gregor & Hevner, 2013) e validam a relevância prática e científica do artefato proposto. A aplicação prática do artefato evidenciou ganhos significativos em eficiência, acurácia e conformidade regulatória, confirmando seu potencial como solução escalável para outros atores da cadeia de suprimentos internacional.

5.3.2 Comunicação

De acordo com o protocolo *DSRM Process Model* (Peffer et al., 2007), o artefato desenvolvido, após duas rodadas de avaliação, deverá ser comunicado por meio de:

- **Publicação científica:** elaboração e submissão de artigo técnico-científico.
- **Ferramentas virtuais:** disseminação digital para alcançar diferentes intervenientes da cadeia de suprimentos internacional.
- **Mídias sociais:** utilização de canais como YouTube e LinkedIn para promoção e divulgação do artefato.

5.4 Resultados

5.4.1 Instanciação Parcial do Artefato

O artefato construído nesta tese é uma plataforma aberta de gestão colaborativa para cadeias de suprimentos internacionais, com integração de funcionalidades baseadas em inteligência artificial (IA). Sua instanciação parcial foi conduzida em um ambiente de simulação operacional realista, envolvendo usuários-chave: gestores e analistas técnicos, com atuação em cadeias internacionais de importação.

A plataforma foi estruturada em módulos funcionais, com base nos requisitos levantados nos Estudos 1, 2 e 3, e nas práticas observadas em operações logísticas internacionais. Os principais módulos desenvolvidos e testados foram:

- Módulo de Gestão de Usuário: controle de acessos por perfil colaborativo.
- Módulo de Integração de Dados: interface com sistemas externos (Receita Federal e Prestador de Serviços de Logística Internacional).
- Módulo de Processos Logísticos: acompanhamento de etapas críticas da cadeia (manifesto, desembaraço, pagamento).
- Módulo de Visualização de Indicadores: dashboards colaborativos de desempenho e alertas inteligentes.

5.4.2 Resultados Funcionais Observados

A avaliação dos resultados foi realizada com base em feedback qualitativo de usuários e análise funcional dos registros da plataforma.

Critério de Avaliação	Evidência Coletada	Resultado
Usabilidade	Usuários classificaram a plataforma como "intuitiva e funcional" (escala de 1 a 5: média 4,6)	Aprovada
Integração com IA	Algoritmos de recomendação foram validados com dados históricos reais	Relevante e aplicável
Colaboração entre atores	Compartilhamento de dados em tempo real entre diferentes partes (importador, despachante, fornecedor)	Eficiente
Aderência	A plataforma respondeu a 4 dos 5 desafios críticos mapeados no Estudo 3	Parcialmente coberto
Valor percebido pelos usuários	83% dos usuários relataram que a plataforma “agrega valor prático e reduz fricções operacionais”	Alta aceitação

5.4.3 Contribuições do Artefato:

a) Teórica:

- Demonstra a aplicação prática da integração entre IA e inovação aberta em cadeias globais.
- Valida empiricamente o modelo caleidoscópico proposto no Estudo 1.
- Traduz em design funcional as dimensões contextuais, organizacionais e tecnológicas identificadas nos Estudos 2 e 3.

b) Prática

- Oferece um ambiente digital de baixa barreira de entrada para organizações de médio porte.
- Estimula a formação de ecossistemas logísticos colaborativos.
- Contribui com a resiliência operacional e redução de custos em cadeias complexas.

6. Resultados

A presente tese teve como objetivo analisar a adoção da Inteligência Artificial ao longo da Cadeia de Suprimentos Internacional, e para isso, foi estruturada em quatro estudos, sendo os três primeiros teóricos e o quarto, prático. O último estudo se apropriou da teoria para construção de um artefato de método, cuja fase teórica da DSR apontou o estado da arte, estado da técnica e aplicação empírica e técnica.

O primeiro estudo sistematizou a base de conhecimento existente sobre a interação entre IA e inovação aberta na gestão da cadeia de suprimentos. A análise de 66 artigos identificou três categorias teóricas principais: (i) inovação e colaboração estratégica, (ii) transformação digital e tecnologias emergentes e (iii) governança e sustentabilidade organizacional. A Análise de Redes Sociais (ARS) revelou a existência de núcleos colaborativos internacionais, com destaque para autores centrais como Chesbrough e Brem, evidenciando que o campo avança de maneira colaborativa (Chesbrough, 2003; Brem & Viardot, 2015). A principal contribuição foi a proposição do processo caleidoscópico de apropriação dos impactos da IA, no qual os efeitos da tecnologia se manifestam em movimentos não lineares, dinâmicos e adaptativos, permitindo cocriações sustentáveis e contínuas (Costa & Pires, 2024).

O segundo estudo examinou 2.130 registros de patentes relacionados à adoção de IA em cadeias de suprimentos, entre 2003 e 2022. Os resultados evidenciaram a predominância de países desenvolvidos, em especial Estados Unidos, China e Japão, como polos de inovação tecnológica. As dez organizações com maior número de patentes concentram parcela significativa da produção, indicando forte centralização do esforço inovador (Wamba, Dubey, Gunasekaran, & Akter, 2021). Testes econométricos confirmaram que o esforço de inovação é fortemente determinado pela cooperação tecnológica entre titulares e inventores, demonstrando que a inovação aberta é um elemento-chave para potencializar os resultados de P&D (Perkmann, Neely, & Walsh, 2013).

O terceiro estudo, de natureza empírica e fundamentado na Teoria da Ecologia Organizacional (Hannan & Freeman, 1977; Aldrich & Ruef, 2006), adotou método misto para examinar a realidade das cadeias de suprimentos internacionais no Sul Global. A análise de 168 projetos PIPE/FAPESP, 35 entrevistas com especialistas e validação com 45 gestores revelou que a adoção da IA se dá em ciclos adaptativos moldados por fatores institucionais, relacionais e operacionais. O modelo processual desenvolvido articula quatro dimensões: Revelar Territórios Logísticos, Tecelar Conexões Viáveis, Ensaiar Soluções em Movimento e Reprogramar para Resiliência. Este framework traduz a adoção da IA como processo dinâmico, em que a legitimação social e a adaptação ao ambiente institucional são tão relevantes quanto os aspectos técnicos (Chesbrough, 2020).

O quarto estudo propôs, desenvolveu e avaliou um artefato digital Plataforma Aberta de Gestão da Cadeia de Suprimentos Internacional com a adoção de Inteligência Artificial. Validada em um *freight forwarder* global, a plataforma integrou dois setores estratégicos (financeiro e documental), conectando-se a sistemas governamentais como Banco Central do Brasil e Marinha Mercante. Sua construção foi um processo de vai e vem entre a teoria e a prática, tornando o fator tempo o maior dos desafios enfrentados.

Foram feitas avaliações quantitativas em duas esferas, sob a ótica dos usuários, e do desempenho da plataforma. Os usuários apontaram unanimemente que a plataforma é de fácil aprendizado, com navegação intuitiva, contribui para agilizar o tempo de resposta, seu resultado foi consistente para o desempenho de suas funções, e definitivamente recomendam o seu uso em outros contextos da empresa. Entretanto, apenas 60% acreditam que o tempo necessário para executar as funções foi adequado, 20% acreditam que a plataforma não atende às necessidades para o que foi projetada e 60% identificaram erros críticos durante o uso. A análise de desempenho da plataforma em relação ao processo atual revelou ganhos expressivos em eficiência, acurácia e governança documental. Entre os resultados, destacaram-se reduções de

tempo em rotinas operacionais e melhoria na confiabilidade de dados enviados a órgãos reguladores.

Do ponto de vista qualitativo, três dimensões foram observadas: integração sistêmica, pela interoperabilidade via API; inteligência analítica, com leitura automatizada de documentos e melhoria no fluxo financeiro; e governança documental, assegurando padronização e conformidade (Gregor & Hevner, 2013).

No mesmo formulário, foram enviadas três questões abertas, cujos resultados foram enviados aos praticantes como sugestões de implementação.

A integração dos resultados permite afirmar que a adoção da IA na cadeia de suprimentos internacional é um fenômeno multifacetado, que requer a convergência de: bases conceituais (Estudo 1), que estruturam a relação entre IA e inovação aberta; panorama tecnológico global (Estudo 2), que revela tendências e barreiras do esforço inovador; validação empírica no Sul Global (Estudo 3), que destaca processos adaptativos e contextuais; e aplicação prática em artefato digital (Estudo 4), que confirma a viabilidade e relevância científica da solução. Em conjunto, os achados demonstram que a IA, quando associada à inovação aberta, não apenas otimiza operações logísticas, mas também cria condições para maior resiliência, colaboração e sustentabilidade nas cadeias de suprimentos internacionais (Ivanov & Dolgui, 2020; Cichosz, Wallenburg, & Knemeyer, 2020).

7. Conclusão

Esta tese respondeu a questão de pesquisa “Como ocorre a adoção da inteligência artificial sob a ótica da inovação aberta” ao longo dos quatro estudos.

O primeiro estudo, uma revisão sistemática da literatura, mapeou a produção científica e evidenciou que a inteligência artificial produz diferentes efeitos se olhadas por diferentes focos. Embora seja amplamente reconhecida como ferramenta de ganhos operacionais e de eficiência, sua integração com práticas colaborativas características da inovação aberta ainda é um campo a ser estudado. Além de identificar conceitos e lacunas relevantes, essa etapa estabeleceu o referencial teórico que orientou a formulação das categorias analíticas utilizadas nos estudos subsequentes. Um avanço conceitual importante foi a compreensão da IA como um processo “caleidoscópico”: sua aplicação gera respostas distintas conforme o ângulo de análise adotado.

Com base nesse referencial, o segundo estudo, de natureza cientométrica, deslocou o foco do estado da arte para o estado da técnica, por meio do mapeamento de patentes

relacionadas à IA e à cadeia de suprimentos. A principal conclusão emergente é sobre a deficiência colaborativa entre os titulares das patentes, que mostra a falta de colaboração inovativa na cadeia de suprimentos. Ao confrontar esses dados com os achados do primeiro estudo, foi possível evidenciar desalinhamentos entre o conhecimento científico e a realidade da inovação tecnológica, além de ressaltar a relevância da colaboração técnica entre indivíduos e empresas como motivação para aprofundar a investigação no campo.

O terceiro estudo, de natureza empírica e fundamentado na Teoria da Ecologia Organizacional, adotou um método misto e sequencial para examinar casos concretos de adoção da IA em cadeias de suprimentos internacionais no Sul Global. Os resultados revelaram que a adoção é um processo adaptativo e cíclico, moldado por fatores institucionais, relacionais e operacionais. O modelo processual desenvolvido — *Revelar Territórios Logísticos, Tecelar Conexões Viáveis, Ensaiar Soluções em Movimento e Reprogramar para Resiliência* — incorporou os insights conceituais do primeiro estudo e as evidências tecnológicas do segundo, oferecendo uma estrutura prática para orientar a integração da IA em contextos globais complexos.

A conexão entre a Ecologia Organizacional e a Inovação Aberta reforça a compreensão de que a sobrevivência e o sucesso das organizações dependem de sua capacidade de adaptação ao ambiente externo, incorporando e legitimando inovações resultantes de interações colaborativas com múltiplos atores do ecossistema (Hannan & Freeman, 1977; Chesbrough, 2003; Aldrich & Ruef, 2006; Perkmann, Neely & Walsh, 2013).

O quarto estudo consistiu na proposição, desenvolvimento e avaliação de um artefato digital — a Plataforma Aberta de Gestão da Cadeia de Suprimentos Internacional com IA — construída com base nos princípios da inovação aberta e validada em um *freight forwarder* global. O artefato foi implementado e testado em dois setores estratégicos (financeiro e documental), com integração a órgãos governamentais. Os resultados demonstraram ganhos em eficiência, acurácia e governança documental, reforçando a viabilidade de soluções abertas e inteligentes para melhorar a competitividade e a integração das cadeias internacionais.

A integração dos quatro estudos confirma que a adoção da IA na cadeia de suprimentos internacional é um fenômeno multifacetado, que exige a convergência de capacidades tecnológicas, articulação colaborativa e adaptação ao contexto institucional. O conhecimento científico oriundo do primeiro estudo forneceu a base conceitual; o panorama tecnológico do segundo revelou tendências, barreiras e oportunidades; a análise empírica do terceiro validou e operacionalizou esses elementos; e o quarto estudo demonstrou sua aplicação prática em um artefato funcional.

Sob a perspectiva teórica, este trabalho propõe um referencial integrador que articula contribuições da Teoria dos Custos de Transação, Teoria dos Recursos e Capacidades, Teoria da Inovação Aberta, Teoria da Ecologia Organizacional e Teoria dos Sistemas Complexos. Metodologicamente, evidencia a relevância da combinação entre revisão sistemática, análise cientométrica, estudo empírico e DSR para investigar fenômenos de inovação em redes globais. Do ponto de vista prático, oferece diretrizes concretas para gestores e formuladores de políticas sobre como planejar, implementar e expandir a adoção da IA em cadeias de suprimentos internacionais, equilibrando oportunidades tecnológicas com restrições locais e institucionais.

Diante dos achados desta pesquisa, diversas oportunidades se abrem para aprofundamento teórico, metodológico e empírico. Algumas opções e sugestões de estudos futuros: avaliação longitudinal dos impactos da IA em redes colaborativas da cadeia de suprimentos, aplicações da IA generativa e aprendizagem nas cadeias globais de suprimentos.

Uma deficiência desta tese, sem dúvida, é a restrição do tempo, que não permite o desenvolvimento integral de todos os módulos da plataforma.

Tabela 15. Matriz de Conclusão

TÍTULO DA TESE					
ADOÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA CADEIA DE SUPRIMENTOS SOB A ÓTICA DA INOVAÇÃO ABERTA					
QUESTÃO CENTRAL DE PESQUISA					
Como ocorre a adoção da inteligência artificial ao da cadeia de suprimentos internacional sob a ótica da inovação aberta?					
Estudo	Objetivo	Método	Referencial Teórico	Principais Resultados	Contribuições
Estudo 1: IA e Inovação Aberta na Cadeia de Suprimentos	Sistematizar a produção científica sobre IA e inovação aberta nas cadeias de suprimentos	Revisão Sistemática da Literatura (66 artigos – Scopus & WoS)	Inovação Aberta (Chesbrough, 2003) Teoria dos Sistemas Complexos	Três categorias teóricas: (i) colaboração estratégica; (ii) transformação digital; (iii) governança sustentável. Proposição do processo <i>caleidoscópico</i> de apropriação dos impactos da IA.	Avanço teórico-conceitual sobre como a IA é apropriada em redes colaborativas. Base para os estudos seguintes.
Estudo 2: Patentes e Esforço de Inovação	Identificar os determinantes do esforço de inovação em IA na cadeia de suprimentos via análise de patentes	Análise cientométrica de 2.130 patentes (2003–2022) + modelos econométricos	Inovação Aberta Teoria dos Recursos (Barney, 1991)	Concentração da inovação em países centrais (EUA, China, Japão). A cooperação tecnológica impacta positivamente o esforço inovador.	Revela o desalinhamento entre produção científica e esforço tecnológico. Valida a importância da colaboração interorganizacional.
Estudo 3: Soluções de IA no Sul Global	Compreender como ocorre a adoção da IA nas cadeias internacionais do Sul Global	Estudo de métodos mistos: PIPE-FAPESP + 35 entrevistas + survey com 45 gestores	Teoria da Ecologia Organizacional (Morgan & Freeman, 1977) Inovação Aberta Governança Relacional (Dyer & Singh, 1998)	Modelo processual em 4 etapas: Revelar, Tecelar, Ensaiar, Reprogramar. Adoção como processo cíclico e adaptativo.	Integra teoria e prática. Oferece estrutura aplicada para adoção de IA em contextos emergentes.
Estudo 4: Artefato Digital com IA	Desenvolver e validar uma plataforma aberta de gestão com IA para a cadeia de suprimentos internacional	Design Science Research (DSR) Validação em freight forwarder global	DSR (Hevner & Chatterjee, 2010) Inovação Aberta Custos de Transação	Plataforma conectada a sistemas do Banco Central e Marinha Mercante. Ganho de eficiência, padronização e inteligência analítica.	Demonstra viabilidade técnica e institucional da aplicação da IA em soluções abertas e escaláveis.

Fonte: a autora (2025)

REFERÊNCIAS

- Alicke, K., Rexhausen, D., & Seyfert, A. (2020). Supply Chain 4.0 in consumer goods. McKinsey & Company.
- Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of Management*, 17(1), 99–120. <https://doi.org/10.1177/014920639101700108>
- Baryannis, G., Dani, S., & Antoniou, G. (2019). Predicting supply chain risks using machine learning: The trade-off between performance and interpretability. *Future Generation Computer Systems*, 101, 993-1004. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.07.059>
- Bigliardi, B., Filippelli, S., Galati, F., & Petroni, A. (2020). The adoption of artificial intelligence in the supply chain: An empirical analysis of the factors affecting innovation openness. *Journal of Business Research*, 120, 241–247.
- Birkel, H. S., & Hartmann, E. (2020). Internet of Things – the future of managing supply chain risks. *Supply Chain Management: An International Journal*, 25(5), 535–548. <https://doi.org/10.1108/SCM-09-2019-0356>
- Cannavale, C., Tamaro, A. E., Leone, D., & Schiavone, F. (2022). Innovation adoption in inter-organizational healthcare networks – The role of artificial intelligence. *European Journal of Innovation Management*, 25(6), 758–774. <https://doi.org/10.1108/EJIM-08-2021-0378>
- Chesbrough, H. (2020). Open innovation results: Going beyond the hype and getting down to business. Oxford University Press.
- Chesbrough, H., & Bogers, M. (2014). Explicating open innovation: Clarifying an emerging paradigm for understanding innovation. In H. Chesbrough, W. Vanhaverbeke, & J. West (Eds.), *New frontiers in open innovation* (pp. 3–28). Oxford University Press.
- Choi, T. M., Wallace, S. W., & Wang, Y. (2019). Big data analytics in operations management. *Production and Operations Management*, 27(10), 1868–1880. <https://doi.org/10.1111/poms.12838>
- Cichosz, M., Wallenburg, C. M., & Knemeyer, A. M. (2020). Digital transformation at logistics service providers: Barriers, success factors and leading practices. *International Journal of Logistics Management*, 31(2), 209–230. <https://doi.org/10.1108/IJLM-08-2019-0229>
- Cooper, Martha C.; Lambert, Douglas M.; & Pagh, Janus D. (1997). Supply Chain Management: More Than a New Name for Logistics. *The International Journal of Logistics Management*, 8(1), 1–13. <https://doi.org/10.1108/09574099710805556>
- Costa, P. R., Pigola, A., Rodriguez Ramos, H., & Drebes Pedron, C. (2024). Estruturas de tese de doutorado para convergência científica, técnica, tecnológica e social. *Revista Ibero-Americana de Estratégia*, 23(1), e26202. <https://doi.org/10.5585/2024.26202>

- Dodgson, M., Gann, D., & Salter, A. (2006). The role of technology in the shift towards open innovation: The case of Procter & Gamble. *R&D Management*, 36(3), 333–346. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2006.00429.x>
- Dosi, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories: A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. *Research Policy*, 11(3), 147–162. [https://doi.org/10.1016/0048-7333\(82\)90016-6](https://doi.org/10.1016/0048-7333(82)90016-6)
- Etzkowitz, H., & Zhou, C. (2017). Hélice tríplice: Inovação e empreendedorismo universidade-indústria-governo. *Estudos Avançados*, 31(90), 23–48. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142017.3190003>
- Gawer, A., & Cusumano, M. A. (2014). Industry platforms and ecosystem innovation. *Journal of Product Innovation Management*, 31(3), 417–433. <https://doi.org/10.1111/jpim.12105>
- Ghadge, A., Er Kara, M., Moradlou, H., & Goswami, M. (2020). The impact of Industry 4.0 implementation on supply chains. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31(4), 669–686. <https://doi.org/10.1108/JMTM-07-2019-0220>
- Gregor, S., & Hevner, A. R. (2013). Positioning and presenting design science research for maximum impact. *MIS Quarterly*, 37(2), 337–355. <http://www.jstor.org/stable/43825912>.
- Hofmann, E., & Rutschmann, E. (2018). Big data analytics and demand forecasting in supply chains: A conceptual analysis. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 21(3), 225–245.
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design science in information systems research. *MIS Quarterly*, 28(1), 75–105. <https://doi.org/10.2307/25148625>
- Hevner, Alan & Chatterjee, . (2010). Design Research in Information Systems: Theory and Practice. <https://10.1007/978-1-4419-5653-8>
- Ivanov, D., & Dolgui, A. (2020). A digital supply chain twin for managing the disruption risks and resilience in the era of Industry 4.0. *Production Planning & Control*, 31(7), 557–570. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1768450>
- Jabbour, C. J. C., de Sousa Jabbour, A. B. L., Sarkis, J., & Govindan, K. (2020). Stakeholders, innovative business models for the circular economy and sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 247, 119113. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119113>
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Dhone, N. C. (2020). Industry 4.0 and lean manufacturing practices for sustainable organizational performance in Indian manufacturing companies. *International Journal of Production Research*, 58(5), 1319–1337. <https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1630772>
- Kamble, S. S., Gunasekaran, A., & Gawankar, S. A. (2020). Achieving sustainable performance in a data-driven agriculture supply chain: A review for research and applications. *International Journal of Production Economics*, 219, 179–194. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.05.022>
- Liu, Y., & Lee, J. (2019). Cyber-physical machine tool for digital twin manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 52, 82–94. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2019.05.001>

- March, S. T., & Smith, G. F. (1995). Design and natural science research on information technology. *Decision Support Systems*, 15(4), 251–266. [https://doi.org/10.1016/0167-9236\(94\)00041-2](https://doi.org/10.1016/0167-9236(94)00041-2).
- Mentzer, J. T., DeWitt, W., Keebler, J. S., Min, S., Nix, N. W., & Zacharia, Z. G. (2001). [Defining supply chain management](#). *Journal of Business Logistics*, 22(2), 1-25. <https://10.1002/j.2158-1592.2001.tb00001.x>
- Osterwalder, A., & Pigneur, Y. (2010). *Business model generation: a handbook for visionaries, game changers, and challengers*. John Wiley & Sons..
- O programa Portal Único do Comércio Exterior. (2022). Conheça o Programa. São Paulo: Autor. Recuperado de <https://www.gov.br/siscomex/pt-br/conheca-o-programa/o-programa-portal-unico-de-comercio-exterior>. Publicado em 08/03/2022; Atualizado em 31/10/2022.
- Panorama do setor de operadores logísticos Brasileiros, (2022). Por Beatris Huber, Leonardo Santiago e Maria Fernanda Hijjar em 10 de outubro de 2022 às 12h31 (atualizado às 19h27), Publicado em <https://www.tecnologistica.com.br/artigos/geral/16212/panorama-do-setor-de-operadores-logisticos-no-brasil>.
- Peffer, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M.A., & Chatterjee, S., (2007). A Design Science Research Methodology for Information Systems Research, *Journal of Management Information Systems*, v. 24 (3), 45-77.
- Perkmann, M., Neely, A., & Walsh, K. (2013). How should firms evaluate success in university–industry alliances? A performance measurement system. *R&D Management*, 41(2), 202-216. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9310.2011.00731.x>
- Powell, T., Nieborg, D., Van Dijck, J., Plataformização (Platformisation, 2019 – tradução: Rafael Grohmann). *Revista Fronteiras – estudos midiáticos* v. 22 (1), p. 2-10. Unisinos.
- Rai, A., Patnayakuni, R., & Seth, N. (2006). Firm performance impacts of digitally enabled supply chain integration capabilities. *MIS Quarterly*, 30(2), 225–246. <https://doi.org/10.2307/25148721>
- Simon, H. A. (1962). The architecture of complexity. *Proceedings of the American Philosophical Society*, 106(6), 467-482.
- Solaimani, S., & van der Veen, J. A. A. (2021). Open supply chain innovation: An extended view on supply chain collaboration. *Supply Chain Management: An International Journal*, 27(5), 597–610. <https://doi.org/10.1108/SCM-09-2020-0433>
- Thomas, L. D. W., & Autio, E. (2020). Innovation ecosystems in management: An organizing typology. In *Oxford Research Encyclopedia of Business and Management*. Oxford University Press.
- Vendrell-Herrero, F., Bustinza, O. F., & Opazo-Basáez, M. (2021). Information technologies and product-service innovation: The moderating role of service R&D team structure. *Industrial Marketing Management*, 93, 182-192. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2020.03.018>
- Wamba, S. F., Dubey, R., Gunasekaran, A., & Akter, S. (2021). The performance effects of big data analytics and supply chain ambidexterity: The moderating effect of environmental dynamism.

International Journal of Production Economics, 232, 107956.

<https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107956>

Williamson, O. E. (1985). *The Economic Institutions of Capitalism: Firms, Markets, Relational Contracting*. Free Press.

Wang, G., Gunasekaran, A., Ngai, E. W. T., & Papadopoulos, T. (2020). Big data analytics in logistics and supply chain management: Certain investigations for research and applications. *International Journal of Production Economics*, 176, 98-110.

Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications* (Vol. 6). Thousand Oaks, CA: Sage.