

INTEGRAÇÃO ENTRE BIG DATA, INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E BLOCKCHAIN NA CADEIA DE SUPRIMENTOS: CAMINHOS PARA A EFICIÊNCIA, RASTREABILIDADE E RESILIÊNCIA LOGÍSTICA

Davi de Albuquerque Gomes
FATEC Guarulhos

Elzo Brito dos Santos
CGTIC - CPS

Gleidmilson de Azevedo
ETEC Guarulhos

Thiago Bergoci
Universidade de São Paulo

Marcos Donizete de Sousa
ETEC Guarulhos

RESUMO: O artigo analisa a integração entre Big Data, Inteligência Artificial (IA) e Blockchain na Gestão da Cadeia de Suprimentos (GCS), tema relevante diante da crescente complexidade, globalização e necessidade de transparência e sustentabilidade nas operações logísticas. O problema central consiste em compreender como a combinação dessas três tecnologias pode ampliar a rastreabilidade, mitigar fraudes e otimizar a tomada de decisão em tempo real. O estudo tem como objetivo geral demonstrar de que forma essa integração fortalece a eficiência, a resiliência e a segurança informacional das cadeias de suprimentos digitais. A metodologia utilizou pesquisa com abordagem qualitativa, exploratória e descritiva, baseada em revisão bibliográfica sistemática realizada entre agosto e outubro de 2025 nas bases Scopus, CAPES e Google Acadêmico, resultando na seleção de 43 artigos publicados entre 2019 e 2025. Os resultados apontam que o Big Data sustenta a coleta e análise massiva de informações, a IA aprimora previsões e decisões logísticas e o Blockchain garante imutabilidade e confiança nas transações. A integração entre essas tecnologias mostrou-se capaz de reduzir custos, elevar a agilidade operacional e promover cadeias mais transparentes e sustentáveis.

Contudo, foram identificadas barreiras como altos custos de implementação, falta de interoperabilidade e carência de profissionais especializados. Conclui-se que a convergência entre Big Data, IA e Blockchain constitui um pilar estratégico da transformação digital e da competitividade na Indústria 5.0, exigindo investimentos em infraestrutura, governança de dados e capacitação técnica para sua plena consolidação.

PALAVRAS-CHAVE: Cadeia de Suprimentos; Inteligência Artificial; Blockchain; Big Data; Transformação Digital.

Integration of Big Data, Artificial Intelligence, and Blockchain in the Supply Chain: Paths to Efficiency, Traceability, and Logistics Resilience

ABSTRACT: The study addresses the digital transformation of Supply Chains Management (SCM) in the face of the complexity imposed by globalization, market volatility, and increasing demands for transparency and sustainability. The research problem investigates how the integration of Big Data, Artificial Intelligence (AI), and Blockchain can enhance traceability, mitigate fraud, and optimize real-time decision-making in digital supply chains. The main objective is to demonstrate how this triple integration strengthens operational efficiency, security, and resilience. The methodology is based on a literature review of recent studies and technical reports, which allowed for the analysis of the roles and practical applications of these technologies. The results indicate that the combination of Big Data, AI, and Blockchain improves demand forecasting, reduces waste, enhances traceability, and prevents cyberattacks, while simultaneously advancing sustainability and governance in global supply networks. It is concluded that the integration of these technologies forms an essential pillar for organizational competitiveness, driving the transition toward intelligent, secure, and sustainable supply chains characteristic of Industry 5.0. The article analyzes the integration of Big Data, Artificial Intelligence (AI), and Blockchain as a strategic driver of digital transformation in Supply Chain Management (SCM), considering the growing complexity, globalization, and demand for transparency and sustainability. The study addresses the research problem of how this integration can enhance traceability, mitigate fraud, and optimize real-time decision-making. The general objective is to demonstrate how the combined use of these technologies strengthens the efficiency, resilience, and information security of supply chains. The methodology employed was qualitative, exploratory, and descriptive, based on a systematic literature review conducted in the Scopus, CAPES, and Google Scholar databases between August and October 2025, encompassing 43 articles published between 2019 and 2025. The results show that Big Data

expands analytical and predictive capacity, AI automates and improves decision-making processes, and Blockchain ensures information integrity and traceability. It was found that the triple integration of these technologies enhances operational efficiency and transactional trust, although barriers such as high implementation costs, lack of qualified professionals, and absence of standardization still limit their full adoption. Emerging trends include the use of digital twins, Green Blockchain, Explainable AI, and smart contracts, which are expected to foster collaborative, sustainable, and human-centered supply chains. The study concludes that the synergy between Big Data, AI, and Blockchain constitutes a strategic pillar for resilience and competitiveness in Industry 5.0.

KEYWORDS: Supply Chain; Artificial Intelligence; Blockchain; Big Data; Digital Transformation.

INTRODUÇÃO

A gestão da Cadeia de Suprimentos (GCS) moderna está imersa em um ambiente de alta complexidade, intensificado pela globalização, pela volatilidade dos mercados e pelas crescentes exigências de consumidores e reguladores por transparência e sustentabilidade. Essa conjuntura demanda uma reestruturação digital das cadeias, capazes de responder a rupturas, fraudes e desperdícios em escala global. A transformação digital tornou-se, portanto, um imperativo estratégico para garantir a competitividade e a resiliência organizacional (Campos; Silva, 2024; Socca Junior, 2024).

A expansão da economia digital elevou exponencialmente o volume de dados corporativos. O IDC projeta que a Global DataSphere alcance aproximadamente 181 zettabytes em 2025 (Em comparação com 64,2 ZB em 2020), resultado da disseminação de sensores, dispositivos IoT e sistemas integrados (IDC, Global DataSphere Forecast 2021–2025). Em 2024, foram gerados, capturados, copiados ou consumidos por volta de 402,89 milhões de terabytes por dia, cerca de 147 ZB/ano, com projeção de 181 ZB em 2025 (SOAX Research, 2025).

No entanto, apenas uma pequena fração desse volume é utilizada para a tomada de decisão, o que revela uma lacuna na capacidade analítica das empresas. De acordo com Ferreira e Ferreira (2024), cerca de 13% das organizações brasileiras conseguem extrair plenamente o valor de suas iniciativas de digitalização logística, o que resulta em perdas expressivas de produtividade, estoques obsoletos e falhas no atendimento ao cliente.

A globalização das cadeias de suprimentos trouxe ganhos de escala, mas também aumentou a vulnerabilidade a fraudes, falsificações e interrupções operacionais. Setores como o alimentício e o farmacêutico são particularmente afetados pela falta de rastreabilidade e pelo risco de contaminação ou falsificação de produtos (Yang et al., 2021; Vignesh et al., 2025). Estudos recentes indicam que, apenas em 2022, mais de 1 bilhão de toneladas de alimentos foram desperdiçadas globalmente por falhas na rastreabilidade e no transporte (ONU, 2023). Tais perdas econômicas e ambientais reforçam a necessidade de maior transparência e controle ao longo de toda a cadeia. Além disso, o avanço das ameaças cibernéticas e dos ataques de ransomware representam um grande desafio crítico. Wang et al. (2024) destacam que as infraestruturas logísticas se tornaram alvos frequentes de ataques, comprometendo dados sensíveis de fornecedores e clientes, nesse contexto, a integração de tecnologias inteligentes e seguras surge como prioridade para gestores logísticos. A Grande Massa de Dados (Big Data), Inteligência Artificial (IA) e o Blockchain (BC) despontam como pilares dessa transformação, permitindo não apenas a análise preditiva de grandes massas de dados, mas também o registro imutável e auditável das transações em rede (Rustice et al., 2024; Marchand et al., 2025).

Evidências recentes, indicam que infraestruturas logísticas se tornaram alvos recorrentes de ataques cibernéticos, com comprometimento de dados sensíveis de fornecedores e clientes (ENISA, 2023). Casos como os ataques a Change Healthcare — exfiltração de aproximadamente 6 TB de dados, pagamento de US\$ 22 milhões e perdas superiores a US\$ 2 bilhões — e à CDK Global — paralisação de quase 15.000 concessionárias e prejuízos estimados acima de US\$ 1 bilhão — ilustram a magnitude do risco (Pró Writers, 2025). No contexto europeu, registram-se aumento de 48% nos incidentes do setor em cinco anos, concentração de 21% dos ataques DDoS em transporte e logística, crescimento de 467% em ransomware marítimo e custo médio de violação de dados de US\$ 4,18 milhões (Eye Security, 2025); adicionalmente, o ransomware já responde por 38% dos ataques contra transportes, muitos iniciados por phishing, com custo médio de € 2,88 milhões por incidente (Aware Train, 2024), diante desse cenário, a integração de tecnologias inteligentes e seguras torna-se prioridade para gestores logísticos.

A Inteligência Artificial (IA) e o Blockchain despontam como pilares dessa transformação ao combinar análise preditiva de grandes massas de dados com registro imutável e auditável, inclusive via contratos inteligentes, reforçando rastreabilidade, conformidade e confiança nas cadeias de suprimentos (Karaduman, 2025; Guo, 2025).

O Big Data, quando processado pela IA, contribui para prever demandas, otimizar estoques e rotas; reduz custos operacionais e cria um ecossistema logístico mais ágil e responsivo, (Jackson et al., 2024). O Blockchain adiciona uma camada de confiança autenticando dados e transações, sem intermediários, e garantindo

rastreabilidade e segurança (Al Shareef et al., 2024; Massa Deh et al., 2024), quando integradas, essas tecnologias potencializam a visibilidade ponta a ponta da cadeia, ampliando a eficiência e a sustentabilidade organizacional.

Diante desse cenário, o problema de pesquisa que orienta este estudo é: de que forma a integração entre Big Data, Inteligência Artificial e Blockchain pode aumentar a rastreabilidade, mitigar fraudes e otimizar a tomada de decisão em tempo real nas cadeias de suprimentos digitais?

O objetivo geral consiste em demonstrar como a integração entre Big Data, Inteligência Artificial e Blockchain fortalece a eficiência, a rastreabilidade e a resiliência das cadeias de suprimentos digitais, contribuindo para a mitigação de fraudes e a otimização da tomada de decisão em tempo real. Os objetivos específicos são:

- (a) revisar o papel do Big Data, da IA e do Blockchain como tecnologias habilitadoras da cadeia moderna;
- (b) identificar aplicações práticas e casos de uso dessa integração tríplice, com foco na segurança e rastreabilidade;
- (c) discutir os desafios e as perspectivas futuras dessa sinergia tecnológica.

A justificativa deste estudo baseia-se na urgência de modernizar as cadeias de suprimentos diante das pressões de um mercado global digitalizado. Conforme Grosse *et al.* (2023), a transição da Indústria 4.0 para a Indústria 5.0 exigirá cadeias colaborativas, sustentáveis e centradas no ser humano, integrando Inteligência Artificial, Blockchain e análise de dados em larga escala, assim, compreender essa integração não é apenas um diferencial competitivo, mas um requisito estratégico para a sobrevivência das organizações em um cenário de constante transformação.

REFERENCIAL TEÓRICO

A Gestão da Cadeia de Suprimentos (GCS) é um tema de importância estratégica fundamental para o êxito das organizações, tendo em vista que impacta diretamente na experiência do cliente, no controle de custos e na capacidade de resposta da empresa frente às incertezas do mercado (Socca Junior, 2024).

Segundo Ferreira e Ferreira (2024) e Santos *et al.* (2024), ela abrange o gerenciamento coordenado de todas as atividades, desde a aquisição de matérias-primas até a entrega final ao consumidor, com o objetivo de gerar valor superior ao cliente e alcançar o menor custo ao longo de toda a cadeia.

Em um contexto mais amplo, Novaes (2007) define a Logística como o processo de planejar, implementar e controlar de forma eficiente e eficaz o fluxo e a armazenagem de produtos, serviços e informações, abrangendo desde o ponto de origem até o consumo, com o propósito de satisfazer as exigências do cliente.

A GCS, por sua vez, é definida como a gestão estratégica das relações com fornecedores e clientes, buscando proporcionar valor superior ao consumidor final com o menor custo em toda a cadeia de suprimentos. Ballou (2006) afirma que a GCS aglutina em si as atividades relacionadas à transformação de mercadorias desde a extração da matéria-prima até o usuário final, integrando essas atividades.

Cadeia de suprimentos moderna: Supply Chain tradicional vs digital; desafios contemporâneos

Historicamente, a logística é uma área adaptativa que evoluiu em quatro fases descritas por Santos et al. (2024) como:

Logística 1.0: caracterizada pela mecanização dos transportes, com a inovação de veículos a vapor, que substituíram a força de trabalho humana e animal no final do século XIX e início do século XX;

Logística 2.0: marcada pela automatização do sistema de manuseio e impulsionada pelo advento da eletricidade e da produção em massa;

Logística 3.0: abrangendo o final do século XX, foi conceituada como o “Sistema de gestão logística”, desencadeada pela invenção dos computadores e pelo desenvolvimento e implementação da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC). Sistemas como *Warehouse Management System* (WMS) e *Transport Management System* (TMS) foram alianças fundamentais para a eficiência da gestão logística, inventário e expedição;

Logística 4.0: sendo a mais recente, resultado da Quarta Revolução Industrial (Indústria 4.0) e a partir do avanço das tecnologias digitais. Sua implementação visa a criação de cadeias de suprimentos inteligentes (Santos et al., 2024).

Para Rustice et al. (2024), a logística 4.0 se distingue da gestão tradicional pelo uso intensivo de Tecnologias Digitais (TD). Tecnologias habilitadoras como Internet das Coisas (IoT), Sistemas Ciberfísicos (CPS), Big Data e Computação em Nuvem (*Cloud Computing*) oferece possibilidades para novas análises e automação, impulsionando a Transformação Digital (TD) na GCS (Mattos; Caveiro, 2023; Sabbatino et al., 2022; Santos et al., 2024).

A evolução prospectiva já aponta para a Logística 5.0, que se baseará na combinação de cadeias colaborativas e ágeis, com potencial para transformações ainda mais significativas impulsionadas por IA, Big Data, IoT, *Automated Guided Vehicles* (AGVs), Drones, Robôs colaborativos (Cobots), Realidade Virtual Aumentada, *Cloud Computing* e *Blockchain* (Santos et al., 2024). O foco está em ações voltadas para a sustentabilidade e com uma abordagem antropocêntrica, ou seja, com objetivo de equilibrar automação com supervisão humana (Grosse et al., 2023; Geffroy; Azarian; Yu, 2022).

Nesse cenário contemporâneo, a complexidade dos mercados e a intensificação da globalização exigem que a GCS seja cada vez mais ágil, eficiente, precisa e sustentável. A globalização expandiu as cadeias para além das fronteiras nacionais, resultando em um aumento de *stakeholders* e desafios logísticos complexos. Adicionalmente, eventos de ruptura, como a pandemia de COVID-19, reiteraram a necessidade essencial de agilidade e resiliência nas operações logísticas (Socca Junior, 2024). A TD na cadeia de suprimentos é motivada pela busca por maior eficiência, transparência e sustentabilidade (Campos; Silva, 2024; Jefroy; Azarian; Yu, 2022).

Apesar do potencial transformador, Ferreira e Ferreira (2024) e Socca Junior (2024) afirmam que a adoção de novas tecnologias, incluindo a IA, é dificultada por barreiras significativas. Entre os principais desafios estão os altos custos iniciais de implementação, a necessidade de investimentos em infraestrutura tecnológica e em recursos humanos qualificados, e a complexidade de integrar novos sistemas com sistemas legados, afirmação corroborada por Rustice et al. (2024). Outras barreiras incluem a dependência de dados de alta qualidade para o treinamento e funcionamento dos modelos e a resistência organizacional à mudança (Ferreira, 2024; Mattos; Caveiro, 2023). Em face da complexidade e do volume crescente de dados (estruturados e não estruturados) gerados diariamente pelas cadeias, a Inteligência Artificial (IA) emerge como uma solução crucial para transformar esse volume de informações em insights estratégicos (Santos et al, 2024).

Inteligência Artificial no Supply Chain: Previsão de demanda, otimização de estoques e transporte com IA.

A possibilidade de tomadas de decisões mais velozes, precisas e adaptáveis viabilizadas pelo uso de Inteligência Artificial (IA) na cadeia de suprimentos, mudando radicalmente a forma como as empresas atendem à demanda, otimizam estoques e gerenciam o transporte, promovendo redução de custos e maior resiliência diante das incertezas impostas pelo mercado, têm sido consideradas revolucionária na GCS (Ferreira, 2024).

Modelos de *machine learning* e *deep learning*, como LSTM (*Long Short-Term Memory*) e redes neurais, possuem capacidade de analisar dados em grandes volumes. Isso permite que a previsão da demanda seja muito mais precisa, tendo em vista que a IA analisa dados históricos, tendências de mercado, previsões meteorológicas em tempo real e até redes sociais (Jackson et al., 2024; Olaleye et al., 2024).

Além disso, de acordo com Li (2025), a IA possibilita a automatização do controle de estoques em tempo real. Ao ajustar os níveis com base em previsões dinâmicas de demanda, os pontos de reposição são otimizados, o que impacta positivamente aumentando o giro de estoque, reduzindo custos de armazenagem e mitigando

o risco de falta de produtos. Mohammad et al. (2024), afirmam que as decisões baseadas em dados permitem que as empresas permaneçam ágeis em dinâmicas de mercado em constante mudança, conferindo maior capacidade de ação.

Na gestão de transportes, apontada por Santos et al. (2024) como a área da logística com a maior possibilidade de aplicação de IA, as soluções passam pela otimização de rotas, programação de entregas e a alocação de recursos considerando múltiplas variáveis. Eyo-Udo (2024) afirma que essas ações podem ser aplicadas em vários processos da cadeia de suprimentos. Algoritmos de IA analisam diversos fatores, como condições de tráfego, horários de entrega e preferências dos clientes, para determinar as rotas mais eficientes e econômicas.

Isso não apenas reduz os custos operacionais, mas também melhora a satisfação do cliente, oferecendo serviços de entrega mais rápidos e flexíveis (Campos; Silva, 2024; Rustice et al., 2024), além disso, Santos et al. (2024) apontam que a IA pode ser usada também na segurança do transporte com a integração de câmeras e rastreadores, permitindo a identificação em tempo real de possíveis ocorrências no caminhão e no motorista.

A capacidade da IA de processar grandes volumes de dados para otimizar processos preditivos, de estoque e de transporte, aumentando a agilidade e a resiliência da cadeia, aponta para a integração com tecnologias que também promovem a transparência e a segurança.

Nesse sentido, a IA pode ser utilizada em combinação com a tecnologia Blockchain na GCS. Algoritmos de IA podem ser integrados a blockchain para automatizar processos de auditoria, verificação de conformidade e rastreamento de produtos em toda a cadeia de suprimentos (Ferreira, 2024; Nguyen et al., 2022; Rustice et al., 2024).

Contudo, existem barreiras que precisam ser superadas. Os desafios para essa transição incluem o tratamento e interpretação de qualidade dos dados, integração de sistemas, custos de implementação e necessidade de mão de obra qualificada (Akhter et al., 2025; Maddala, 2025). Entretanto, as perspectivas apontam para uma IA cada vez mais integrada, sustentável e explicável, ampliando a resiliência e a inovação na cadeia de suprimentos.

Blockchain na cadeia de suprimentos

A Gestão da Cadeia de Suprimentos (*Supply Chain Management* – SCM) envolve o planejamento e o gerenciamento de todas as atividades ligadas à logística, aquisição e colaboração entre organizações, fornecedores, clientes e prestadores de serviços, buscando a otimização do fluxo de finanças, informações, materiais e serviços, entre produtores e consumidores (Massadeh et al., 2024).

Inicialmente utilizada no setor financeiro para garantir transações seguras (Zhang et al., 2020), a tecnologia *Blockchain* tem se destacado como uma solução promissora para lidar com os desafios relacionados à transparência, rastreabilidade e segurança, e no contexto atual, emerge como uma tecnologia com propriedades como descentralização, imutabilidade e rastreabilidade, capazes de resolver problemas estruturais nos sistemas tradicionais da SCM (Yang et al., 2021).

A rastreabilidade atestada em *blockchain* é documentada em um registro cronológico de transações, onde cada bloco é criptograficamente unido ao anterior, compondo uma cadeia inviolável de informações (Mas Eh et al., 2024). Essa estrutura garante a integridade dos dados e permite o monitoramento detalhado de produtos ao longo de toda a cadeia logística (TSAI e CHEN, 2024), se destacando no combate à falsificação e no aumento da confiança entre os parceiros comerciais (Duan et al., 2020; Vignesh et al., 2025).

A arquitetura técnica do *blockchain* consiste em um livro-razão descentralizado e distribuído entre vários nós interligados ponto a ponto, que registra transações em múltiplos computadores de forma imutável, eliminando a necessidade de intermediários (Alizadeh e Khabbazi, 2025; Alshehri, 2023). A autenticidade das transações se dá por meio de algoritmos de consenso e prova de trabalho. Cada bloco armazena dados e os *hashes* dos blocos anteriores, atestando a sequência e a imutabilidade da informação (Adow et al., 2022; Zhu et al., 2020; Marino e Diaz Paz, 2025).

A implementação dessa tecnologia pode ser em diversos formatos: pública, de consórcio ou privada, conforme os participantes da rede (Wang et al., 2019).

A criptografia reforça a segurança por meio de mecanismos de consenso que elimina a necessidade de uma autoridade central. Isso minimiza a desigualdade de informações e ameaças de fraudes, fortalecendo ao longo do tempo, a confiança entre os operadores da SCM (Wang et al., 2024).

Em casos específicos, como na indústria alimentícia ou farmacêutica, essas aplicações são fundamentais para garantir a autenticidade dos produtos e a conformidade regulatória (Zhang et al., 2020).

Os contratos inteligentes (*smart contracts*) é mais um elemento-chave do *blockchain*, que eliminando a necessidade de intermediários, automatizam o cumprimento das cláusulas contratuais. Esses contratos são programas orientados por eventos e condições previamente acordadas, executados de forma autônoma em redes distribuídas (Yang et al., 2021; Fernández-Caramés et al., 2019). Sua aplicação possibilita agilizar transações, garante a conformidade contratual e reduz custos operacionais (Prashar et al., 2020; Duan et al., 2020; Tsai e Chen, 2024). Contribuem, também, com a confiabilidade no monitoramento de fatores de risco e cumprimento de regras estabelecidas entre os participantes e na transparência (Wang et al., 2024).

Um dos pilares do *blockchain* é a descentralização, que dispensa a figura de uma autoridade central e possibilita interações diretas entre as partes envolvidas. Promovendo assim, a equidade na troca de informações, reduzindo a vulnerabilidade a falhas e ataques, além de fortalecer a resiliência dos sistemas (Duan et al., 2020; Marino e Diaz Paz, 2025). Essa arquitetura é especialmente funcional em modelos de economia circular, onde é essencial obter transparência e a rastreabilidade para evitar desperdícios, aumentar a segurança das transações e assegurar a sustentabilidade (Massadeh et al., 2024).

Todos esses atributos tornam o *blockchain* um suporte tecnológico estratégico para a transformação digital da SCM, principalmente se for integrado a outras tecnologias, como a Inteligência Artificial.

Big Data na cadeia de suprimentos

A Gestão da Cadeia de Suprimentos (GCS) concentra o planejamento, organização e direção do fluxo de bens, serviços e informações, desde o fornecedor ao consumidor final, engloba a coordenação com provedores de logística e de TI e nos últimos anos, convertendo-se em componente organizador central na economia global (Sedan; Fakheri, 2020; Magento, 2021; Lee; Mangalaraj, 2022).

Nesse cenário a *Big Data Analytics* (BDA) surge como alicerce para expandir visão, velocidade e qualidade decisória no decorrer de processos entre organizações altamente digitalizadas. *Big Data* é habitualmente caracterizado pelos “5Vs” — volume, velocidade, variedade, valor e veracidade — que necessita de novos métodos para produzir *insights*, apoiar decisões e automatizar processos (Seyedan; Mafakheri, 2020; Alsolbi et al., 2023). Historicamente, o termo aparece ligado ao desafio de conjuntos de dados que “não cabiam na memória principal” (Cox; Ellsworth, 1997, apud Khalafi; Rahmati, 2023), e atualmente envolve dados provenientes de dispositivos conectados, mídias sociais, voz, vídeo e sensores, entre outras fontes (Alsolbi et al., 2023).

A BDA agrupa técnicas e ferramentas para obter resultados expressivos de grandes bases de dados repartido entre parceiros, propiciando decisões rápidas e coordenadas (Seyedan; Mafakheri, 2020; Lee; Mangalaraj, 2022). Em logística e manufatura, ela embasa conceitos de logística inteligente e manufatura inteligente, aprisionando dados “de ponta a ponta” — em todo ciclo de vida do produto — para aprimorar processos, coordenar ativos e reduzir perdas (Magenta, 2021). Em termos operacionais, a BDA:

- Amplia a previsão de demanda, mitigando custos associados a erros de previsão e superando limitações de métodos probabilísticos tradicionais (Ahmed et al., 2024);
- Preserva registros sobre produto (insumos, processos, uso, resíduos), auxiliando para aperfeiçoamento do desempenho e decisões mais informadas (Khan; Tahir; Sheikh, 2024);
- Possibilita partilhar dados em tempo real devido à computação em nuvem e ao armazenamento, barateando coleta, processamento e transmissão entre múltiplos elos (Lee; Mangalaraj, 2022; Mageto, 2021).

Com as evoluções de IA, IoT, *Blockchain* e Computação em Nuvem, *Big Data* deixou de ser um conceitual e tornou-se uma ferramenta prática de transformação (He et al., 2024; Stefanovich et al., 2025). Dispositivos conectados e “inteligentes” aumentam a captura constante de dados; algoritmos de aprendizado de máquina convertem dados não estruturados em previsões e recomendações; estruturas em nuvem garantem colaboração escalabilidade entre empresas; e o *blockchain* permite rastreabilidade e acrescenta níveis de integridade aos dados logísticos. A associação desses componentes promove eficiência de transporte e estoques e colaboração entre operadores logísticos e fornecedores, criando cadeias com mais transparência, confiança e mais agilidade (He et al., 2024; Mageto, 2021; Lee; Mangalaraj, 2022; Stefanovich et al., 2025).

Estudos apresentam benefícios em três aspectos principais:

1. Eficiência operacional — racionalização de compras, estoques, planejamento, produção e transporte; reduzindo a variabilidade e acelerando o tempo de resposta (Seyedan; Mafakheri, 2020; Lee; Mangalaraj, 2022; Zhang; Gong; Tong, 2023).
2. Economia circular e sustentabilidade — BDA sustenta encerramentos de ciclo (*closed-loop supply chains, reverse omnichannel*), apoia metas ambientais com indicadores rastreáveis e minimiza incertezas/ riscos (Khan; Tahir; Sheikh, 2024; Stefanovich et al., 2025; Mageto, 2021).
3. Resiliência — ao agregar dados estruturados/ não estruturados, a BDA melhora a percepção de riscos, mantém a continuidade operacional e antecipa rupturas (Stefanovich et al., 2025; He et al., 2024).

Mas, além do grande potencial, existem algumas barreiras:

- (i) Limitação da capacidade analítica (integração legada, habilidades, processos);

- (ii) Falhas de governança e segurança (*compliance*, confidencialidade, privacidade, entre parceiros); e
- (iii) empecilhos na identificação de dados realmente relevantes — o que contribui para a adoção ainda incipiente (Alsolbi et al., 2023).

Estudos atuais propõem projetar estruturas em nuvem adaptativas para BDA sustentável (Stefanovich et al., 2025), consolidar a integração com *blockchain* e inteligência artificial, alinhando ambiental, desempenho econômico e social, conciliando escala analítica com rastreabilidade e integridade dos dados (He et al., 2024; Mageto, 2021).

Integração entre inteligência artificial, *blockchain* e *big data*

Para a Lei de Inteligência Artificial da Comissão Europeia, um sistema de Inteligência Artificial (IA) é uma tecnologia suportada por equipamento projetado para atingir objetivos explícitos ou implícitos, processando entradas para gerar saídas como previsões, conteúdos, recomendações ou decisões capazes de influenciar ambientes físicos e virtuais (Romano, 2025).

A IA se estabeleceu como agente gerador de informação, sendo capaz de produzir bases de dados artificiais para validação de modelos, treinamento e pesquisa, em variadas áreas, como engenharia de *software*, indústria e saúde (BMJ Evidence-Based Medicine, 2025; JCO Clinical Cancer Informatics, 2023). Atua como sistemas computacionais projetados para executar tarefas que requerem inteligência semelhante à humana (Ayed et al., 2025), com apto a produzir dados sintéticos que reproduzem características e relações estatísticas de populações reais (Foraker et al., 2025).

A obtenção de dados de alta qualidade é um fator determinante para o êxito de aplicações em segmentos como finanças, saúde e segurança cibernética, sobretudo quando envolvem aprendizado de máquina (Goyal e Mahmoud, 2024). Em função disso, os modelos generativos com base em redes neurais multicamadas vêm se destacando por sua aptidão em aprender a distribuição de dados reais e gerar novos conjuntos de dados simulados, mantendo as características estatísticas originais (D'amico et al., 2023). Os dados sintéticos também aceleram pesquisas e reforçam a proteção de privacidade, equivalentes aos dados reais somente em parâmetros importantes para a sua aplicação (Achterberg et al., 2025).

O procedimento de criação, denominado como síntese de dados, utiliza-se de técnicas de aprendizado profundo, árvores de decisão e modelos generativos, somando-se em bases de dados artificiais aptas para experimentação e modelagem (Romano, 2025; Pilgram et al., 2025). Estudos também demonstram limitações, indicando que modelos treinados somente com dados sintéticos, mesmo obtendo-se inúmeras vantagens, revelam desempenho inferior aos treinados com dados reais em aplicações de alto risco (Voutsas et al., 2025).

Entre os destaques estão os Modelos de Linguagem de Grande Escala (LLM's), que processam grandes volumes de dados textuais e são aplicados em aprendizado profundo, classificação e processamento de linguagem natural, reduzindo o esforço humano na interpretação de dados e em anotação (Guo et al., 2024). Associadas a modelos de linguagem pré-treinados supervisionados, essas tecnologias podem representar documentos em vetores semânticos, ampliando a eficiência interpretativa e analítica (Guo et al., 2024).

A BDA trata de altos volumes, velocidades e variedades de dados, capturando *insights* acionáveis; a IA fornece modelos preditivos e prescritivos de suporte às decisões; e o *blockchain* possibilita imutabilidade, auditabilidade, eficiência, segurança nos fluxos de informação e transparência entre organizações — atributos relevantes em redes com assimetria de informação e múltiplos atores (Wamba; Zamani et al., 2023; Chen e Sun, 2025; Wang, 2025; Karaduman; Gulhas, 2025; Al Shareef et al., 2024; Marchang et al., 2025).

A integridade dos registros é assegurada por sistemas de consenso, que asseguram transações em redes Ponto a Ponto (P2P) sem autoridade central, validando que todos os nós concordem quanto à autenticidade das informações (Marchang et al., 2025; NAZ e LEE, 2025). Esses algoritmos resguardam a segurança dos dados, otimizam a escalabilidade das transações e evitam gastos duplos (Villegas-Ch et al., 2025).

Em todo esse processo a atuação dos validadores é fundamental, examinando transações e assegurando a aceitação da rede. Sua atuação mantém a confiabilidade, descentralização e integridade do sistema (Alizadeh e Khabbazzian, 2025; Jumani e Raza, 2025).

A IA combinada com BDA pode simular cenários e identificar padrões de dados (estoques, demanda e transporte), otimizando os tempos de resposta e custos (Wamba; Queiroz, 2022; Zamani et al., 2023). Já o *Blockchain* atua como camada de proteção, elevando a transparência do comprador–fornecedor e capacidade de responsabilização. Entretanto, para uma tomada de decisões baseada em dados concretos, existe a dependência da qualidade, governança e integridade dos dados compartilhados. (Wamba; Queiroz, 2022; Karaduman; Gülhas, 2025).

Estudos avaliam como promissor as estruturas que integram nuvem, BDA, IA e *blockchain*, com foco em validação/auditoria de dados e automatização de conformidade por meio de contratos inteligentes — principalmente em setores regulados e cadeias globais (Wamba; Queiroz, 2022; Chen; Sun, 2025; Wang, 2025; Al Shareef et al., 2024; Marchang et al., 2025).

A integração entre inteligência artificial, blockchain, nuvem e big data analytics tem deslocado a competitividade setorial para a capacidade de adquirir, orquestrar e transformar dados em produtividade (Chen; Sun, 2025; Wang, 2025). O conjunto melhora planejamento e previsão (IA/BDA), coordenação e confiança (blockchain), e sustenta rastreabilidade verificável para conformidade, sustentabilidade e resposta a crises — elementos centrais de resiliência (Wamba; Queiroz, 2022; Zamani et al., 2023; Al Shareef et al., 2024; Marchang et al., 2025).

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia adotada neste estudo possui abordagem qualitativa, exploratória e descritiva, fundamentada em pesquisa bibliográfica sistemática voltada à identificação de padrões, lacunas e tendências sobre a integração entre Big Data, Inteligência Artificial (IA) e Blockchain na Gestão da Cadeia de Suprimentos (GCS). Essa abordagem foi escolhida por permitir a análise interpretativa de múltiplas fontes, integrando evidências recentes que sustentam o problema de pesquisa e os objetivos propostos neste artigo.

As bases de dados utilizadas foram Scopus, Portal de Periódicos da CAPES e Google Acadêmico, por se destacarem na abrangência e qualidade das publicações indexadas em temas ligados à logística, tecnologia e transformação digital. A pesquisa foi conduzida entre os meses de agosto e outubro de 2025.

Foram empregados como descritores principais as expressões: “Big Data na Cadeia de Suprimentos”, “Inteligência Artificial na Cadeia de Suprimentos” e “Blockchain na Cadeia de Suprimentos”, pesquisadas individualmente em cada plataforma. O resultado totalizou 43 artigos selecionados, com variação entre 10 e 25 publicações relevantes por tema, todos com resultados positivos quanto à contribuição tecnológica para a eficiência, rastreabilidade e resiliência logística.

Quando foram aplicados os três descritores de forma conjunta (Big Data, IA e Blockchain simultaneamente relacionados à Cadeia de Suprimentos**), não foram encontrados resultados diretamente convergentes, especialmente na base do Portal de Periódicos da CAPES. Esse dado evidencia a escassez de estudos integrados e reforça a originalidade e relevância da presente pesquisa.

Foram excluídos os artigos que, embora tratassem de uma ou mais das tecnologias em análise, não apresentavam conexão direta com o contexto logístico ou com a gestão da cadeia de suprimentos. A delimitação temporal privilegiou publicações compreendidas entre 2019 e 2025, considerando o período de maior produção científica relacionada à Logística 4.0, à Indústria 5.0 e às tecnologias emergentes aplicadas à gestão digital das cadeias.

A etapa de análise seguiu o procedimento de revisão teórico-descritiva, com leitura integral e categorização temática dos estudos, priorizando as evidências empíricas e conceituais que sustentam os objetivos específicos:

- (a) compreender o papel de cada tecnologia na GCS;
- (b) identificar casos de integração e desafios; e
- (c) apontar tendências e oportunidades futuras.

Os resultados foram sistematizados em eixos temáticos que fundamentaram a seção “Resultados e Discussões”, permitindo a construção de um panorama crítico sobre as sinergias entre Big Data, IA e Blockchain e seus impactos sobre a eficiência, rastreabilidade e resiliência das cadeias de suprimentos digitais

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Introdução e análise

A Gestão da Cadeia de Suprimentos (GCS) contemporânea caracteriza-se pela complexidade decorrente da globalização e pela crescente demanda por transparência e sustentabilidade — elementos centrais da transformação digital (Gomes et al., 2024).

O cenário atual da Quarta Revolução Industrial (Indústria 4.0) e a transição para a Logística 5.0 exigem o uso intensivo de Tecnologias Digitais (TD), como Internet das Coisas (IoT), Big Data e Inteligência Artificial (Santos et al., 2024; Hellweg et al., 2021).

Diante desse contexto, o problema de pesquisa que orienta este estudo questiona de que forma a integração entre Big Data, IA e Blockchain pode aumentar a rastreabilidade, mitigar fraudes e otimizar a tomada de decisão em tempo real nas cadeias de suprimentos digitais.

Esta seção apresenta a análise de um conjunto de artigos científicos que tratam da aplicação do Big Data (BD), da Inteligência Artificial (IA) e do Blockchain (BC) na cadeia de suprimentos, com o objetivo de identificar padrões, lacunas e tendências na literatura. A revisão bibliográfica, adotada como metodologia de apoio, confirma a relevância do tema diante do aumento da produção científica a partir de 2015, especialmente em tópicos como Big Data Analytics e tecnologias emergentes, indicando que se consolidam como eixos centrais nas próximas décadas (Guedes, 2023; Luz et al., 2024). A análise temática e estrutural reforça a centralidade dessas tecnologias como alicerces para a inovação e o avanço competitivo nas cadeias de suprimentos (Härting et al., 2020).

Panorama dos resultados

Os resultados obtidos confirmam o papel transformador e complementar do Big Data, da IA e do Blockchain na GCS, alinhados ao objetivo deste artigo de fortalecer a eficiência, a rastreabilidade e a resiliência organizacional.

O Big Data Analytics (BDA), caracterizado pelos “5Vs” (volume, velocidade, variedade, valor e veracidade), sustenta a capacidade analítica das organizações ao permitir o processamento de grandes volumes de dados em tempo real, melhorando previsões e decisões estratégicas (Seyedan; Mafakheri, 2020; Alsolbi et al., 2023). A literatura demonstra que o BDA aprimora o gerenciamento de fornecedores e a previsão de demanda, resultando em redução de custos e estoques de segurança (Rossmann et al., 2018; Ahmed et al., 2024). Além disso, mantém registros detalhados de produtos e processos, subsidiando decisões mais informadas (Khan; Tahir; Sheikh, 2024).

A Inteligência Artificial é essencial para lidar com a complexidade da cadeia de suprimentos moderna. Por meio de algoritmos de aprendizado de máquina, a IA processa o Big Data, automatiza tarefas, otimiza rotas de transporte, reduz custos operacionais e aumenta a satisfação do cliente (Jackson et al., 2024; Rustice et al., 2024; Campos; Silva, 2024).

O Blockchain, por sua vez, é reconhecido como uma tecnologia que assegura a rastreabilidade, a transparência e a confiança nas transações logísticas (Yang et al., 2021). Suas propriedades de descentralização e imutabilidade impedem alterações indevidas nos registros, fortalecendo o combate a fraudes e falsificações (Rejeb et al., 2019; Massa’deh et al., 2024). Além disso, aumenta a confiabilidade entre parceiros e facilita a auditoria automatizada de dados (Xia; Li; He, 2023; Treiblmaier, 2018).

O ponto de maior relevância para o problema de pesquisa é a integração entre as três tecnologias. Estudos demonstram que algoritmos de IA aliados ao Blockchain podem automatizar auditorias e rastreamentos, utilizando registros imutáveis para validação de conformidades (Nguyen et al., 2022; Ferreira, 2024). A combinação entre IA e BDA reduz tempos de resposta e custos operacionais, enquanto o Blockchain acrescenta uma camada de segurança e confiança, formando uma estrutura integrada capaz de aprimorar a previsibilidade e a rastreabilidade da cadeia (Wamba; Queiroz, 2022; Karaduman; Gülhas, 2025).

Lacunas identificadas

Apesar do potencial transformador, a literatura destaca lacunas críticas que limitam a adoção plena da integração entre Big Data, IA e Blockchain na GCS,

afetando diretamente a mitigação de fraudes e a otimização da tomada de decisão — aspectos centrais deste artigo.

Um dos principais desafios é o elevado custo de investimento em infraestrutura tecnológica e em capacitação de recursos humanos (Shatat; Shatat, 2022; Ferreira, 2024). Muitas organizações enfrentam dificuldades para justificar os gastos iniciais e ainda carecem de maturidade tecnológica (Deng et al., 2022).

A interoperabilidade e a falta de padronização entre sistemas também são barreiras recorrentes (Hassani et al., 2018; Akter et al., 2025).

A integração com sistemas legados é complexa, e há carência de diretrizes industriais unificadas para a adoção do Blockchain (Kopyto et al., 2023; Xu et al., 2022).

Outro ponto crítico é a escassez de profissionais especializados em IA, análise de dados e segurança digital (Paiva, 2020).

A falta de formação técnica adequada compromete a implementação das soluções, além disso, persistem preocupações éticas e de privacidade, visto que a eficácia da IA e do BDA depende da qualidade e da governança dos dados (Alsolbi et al., 2023). Essas lacunas estão diretamente relacionadas ao problema central do estudo: a rastreabilidade e a segurança das transações dependem de dados confiáveis, interoperáveis e bem governados.

A ausência de estrutura tecnológica adequada e de profissionais capacitados inviabiliza a consolidação de cadeias de suprimentos inteligentes e transparentes.

Tendências e direções futuras

A literatura recente aponta tendências que buscam superar as lacunas descritas e avançar para cadeias de suprimentos mais inteligentes e sustentáveis. Entre as principais direções estão a integração do Blockchain com a IoT e o Big Data, favorecendo a criação de ecossistemas digitais interconectados e sustentáveis (Esmailian et al., 2020; Santos et al., 2024).

O conceito de gêmeos digitais surge como ferramenta para simulação e otimização de processos logísticos, representando um elo entre o mundo físico e o virtual (Santana et al., 2023).

Em paralelo, o conceito de Blockchain Verde emerge como tendência de sustentabilidade, ao reduzir emissões e aumentar a rastreabilidade ambiental de produtos (Jasrotia et al., 2024; Myvizhi; Ahmed, 2023).

A Inteligência Artificial Explicável (XAI) também desponta como resposta à necessidade de transparência nos modelos de decisão automatizados, reduzindo

vieses e fortalecendo a confiança nos sistemas (Akter et al., 2025), por fim, os contratos inteligentes (smart contracts) são apontados como elemento essencial da Blockchain, garantindo conformidade automática e diminuindo custos operacionais (Clohessy et al., 2020; Prashar et al., 2020; Wang et al., 2024). Essas inovações têm potencial para elevar a eficiência e a rastreabilidade, contribuindo para o desenvolvimento de cadeias colaborativas e resilientes.

Consolidação da Análise

O problema de pesquisa que orienta este artigo — compreender como a integração entre Big Data, IA e Blockchain aprimora a rastreabilidade, mitiga fraudes e otimiza decisões — foi amplamente abordado nos estudos analisados.

A literatura confirma que essa integração é promissora e essencial para a transformação digital das cadeias de suprimentos.

O Big Data fornece a base informacional, enquanto a IA transforma esses dados em insights e o Blockchain adiciona a camada de confiança e rastreabilidade (Wamba; Queiroz, 2022; Chen; Sun, 2025; Kshetri, 2018; Al Shareef et al., 2024).

Contudo, a concretização desses benefícios depende da maturidade tecnológica e da governança de dados das empresas.

A literatura evidencia que a adoção da Blockchain ainda é incipiente para a maioria das organizações (Oliveira et al., 2023) e que a ausência de profissionais qualificados compromete o aproveitamento pleno das tecnologias de IA e Big Data (Ferreira, 2024).

Em síntese, a integração tripla entre Big Data, IA e Blockchain representa um caminho estratégico para a competitividade e resiliência. Entretanto, sua consolidação requer investimentos consistentes, padronização técnica e capacitação profissional.

O alinhamento entre estratégia organizacional, governança digital e inovação tecnológica é determinante para que as cadeias de suprimentos se tornem realmente inteligentes, transparentes e sustentáveis.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo apresentou uma análise aprofundada sobre a integração entre Big Data, Inteligência Artificial e Blockchain como vetor estratégico para a transformação digital da Cadeia de Suprimentos (GCS). Com base na revisão de 43 artigos publicados entre 2019 e 2025, observou-se que essas três tecnologias, embora frequentemente analisadas de forma isolada, revelam-se complementares e interdependentes na construção de cadeias mais inteligentes, transparentes e sustentáveis.

A pesquisa demonstrou que o Big Data atua como a principal fonte informacional, permitindo a captura, armazenamento e análise de grandes volumes de dados em tempo real. A Inteligência Artificial confere capacidade analítica e preditiva, transformando esses dados em insights acionáveis e decisões mais rápidas e precisas. O Blockchain, por sua vez, adiciona a camada de confiança e rastreabilidade, assegurando a integridade e a imutabilidade das informações ao longo da cadeia.

Os resultados indicam que a integração tríplice dessas tecnologias potencializa a eficiência operacional, fortalece a segurança informacional e amplia a capacidade de resposta das empresas diante das incertezas e rupturas do mercado global. Entretanto, as lacunas identificadas — como os altos custos de implementação, a falta de interoperabilidade, a carência de profissionais qualificados e os desafios éticos e regulatórios — ainda representam barreiras significativas à adoção plena desse modelo.

As tendências emergentes destacam caminhos para superar tais barreiras, com destaque para o uso de gêmeos digitais, o avanço do Blockchain Verde, a disseminação da IA Explicável (XAI) e a aplicação de contratos inteligentes como instrumentos de automação e governança digital. Essas inovações tendem a redefinir o papel das cadeias de suprimentos no contexto da Indústria 5.0, tornando-as mais colaborativas, seguras e centradas no ser humano.

Conclui-se que a integração entre Big Data, IA e Blockchain constitui um pilar estratégico da resiliência logística moderna. Sua consolidação depende da maturidade tecnológica das organizações, do investimento em infraestrutura e capacitação profissional e da padronização de processos e políticas de governança de dados.

Ao integrar análise preditiva, automação e rastreabilidade em um ecossistema unificado, essas tecnologias consolidam-se como vetores essenciais da competitividade organizacional e da sustentabilidade global das cadeias de suprimentos.

REFERÊNCIAS

ABEYRATNE, S.; MONFARED, R. **Blockchain ready manufacturing supply chain using distributed ledger**. International Journal of Research in Engineering and Technology, London, p. 1-10, 2016.

ACHTERBERG, Jim et al. Fidelity-agnostic synthetic data generation improves utility while retaining privacy. **Patterns**, 2025.

ADARYANI, R.L.; Palouj.; Kabasioun, M.; Gholami, A.A.; Kianirad, A.; Damirchi, M.J. **Antecedents of blockchain adoption in the poultry supply chain: An extended UTAUT model**, *Technological Forecasting and Social Change*, Vol 202, 2024.

ADOW, Anass Hamadelneel et al. [Retracted] Analysis of Agriculture and Food Supply Chain through *Blockchain* and IoT with Light Weight Cluster Head. **Computational intelligence and neuroscience**, v. 2022, n. 1, p. 1296993, 2022.

AHMED, Supriyo; CHAKRABORTTY, Ripon K.; ESSAM, Daryl L. Predictive big data analytics for supply chain demand forecasting. In: **Computational Intelligence Techniques for Sustainable Supply Chain Management**. Academic Press, 2024. p. 301-330.

AKTER, Shifat Shima et al. Integration of advanced Artificial Intelligence in Supply Chain Management, its Challenges and Opportunities. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED COMMUNICATIONS TECHNOLOGY (ICACT), 27., 2025, PyeongChang. **Proceedings [...]**. PyeongChang: IEEE, 2025. p. 426-430. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10936759> Acesso em: 7 out. 2025.

AKTER, S. et al. **Supply chain risk management and visibility through Blockchain and AI: A systematic review**. International Journal of Production Economics, v. 280, p. 109531, 2025.

AL SHAREEF, Al Mothana; SEÇKİNER, Serap; EID, Bilal; ABUMETEIR, Hasan. **Integration of blockchain with artificial intelligence technologies in the energy sector: a systematic review**. *Frontiers in Energy Research*, v. 12, p. –, 23 out. 2024

AL SHARIEF, S. et al. **Towards a resilient and secure smart supply chain: A blockchain and AI-enabled architecture**. Journal of Network and Computer Applications, v. 235, p. 103734, 2024.

ALICKE, K. et al. **Blockchain technology for supply chain transparency**. McKinsey & Company, 2017.

ALIZADEH, Sajjad; KHABBAZIAN, Majid. Solana's transaction network: analysis, insights, and comparison. **EPJ Data Science**, v. 14, n. 1, p. 48, 2025.

ALSHEHRI, Mohammed. Blockchain-assisted cyber security in medical things using artificial intelligence. **Electronic Research Archive**, v. 31, n. 2, 2023.

ALSOLBI, Idrees et al. Big data optimization and management in supply chain management: a systematic literature review. **Artificial Intelligence Review**, v. 56, n. Suppl 1, p. 253-284, 2023.

ALSOLBI, S. et al. **Big data analytics in supply chain management: A review and framework for future research**. Journal of Cleaner Production, v. 410, p. 137279, 2023.

AYED, Ahmad et al. Perceived worries in the adoption of artificial intelligence among nurses in neonatal intensive care units. **BMC nursing**, v. 24, n. 1, p. 777, 2025.

BALLOU, H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Logística Empresarial**. 5 ed. Porto Alegre, Bookman editora, 2006.

CAMPOS, V. S.; SILVA, R. O. **O uso da inteligência artificial (IA) na gestão de cadeias de suprimentos (GCS)**. Congresso Internacional de Administração (ADM), Ponta Grossa: UEPG, 2024. Disponível em https://admpg.com.br/2024/anais/arquivos/07282024_220723_66a6ea5b8706b.pdf. Acesso em: 5 out. 2025.

CATAÑO, A. L. et al. **A review of artificial intelligence applications in supply chain management**. International Journal of Production Economics, v. 201, p. 110-120, 2018.

CHEN, T.; SUN, S. **Blockchain-enabled supply chain transparency and traceability**. Journal of Business Logistics, v. 46, n. 1, p. 55-75, 2025.

CHEN, Xiangbing; SUN, Chen; WANG, Fang. **Digital technology innovation, supply chain resilience and enterprise performance-The case of listed automotive parts manufacturing companies**. PLoS One, v. 20, n. 1, p. e0313929, 2025.

CLOHESSY, T. et al. **Smart contracts in supply chain management: A systematic literature review and research agenda**. Computers in Industry, v. 119, p. 103227, 2020.

D'AMICO, Saverio et al. **Synthetic Data Generation by Artificial Intelligence to Accelerate Research and Precision Medicine in Hematology**. JCO Clinical Cancer Informatics, v. 7, p. 1-22, 2023.

DENG, N. et al. **Determinants of Blockchain technology adoption in small and medium-sized enterprises (SMEs) in the supply chain**. Technological Forecasting and Social Change, v. 182, p. 121856, 2022.

DUAN, Jiang et al. **A content-analysis based literature review in blockchain adoption within food supply chain**. International journal of environmental research and public health, v. 17, n. 5, p. 1784, 2020.

ESMAELIAN, B.; SARKIS, J.; BEHDAD, S. **Blockchain technology for sustainable supply chain management: A review and proposed framework**. Resources, Conservation and Recycling, v. 154, p. 104595, 2020.

FERNÁNDEZ-CARAMÉS, Tiago M. et al. **Towards an autonomous industry 4.0 warehouse: A UAV and blockchain-based system for inventory and traceability applications in big data-driven supply chain management**. Sensors, v. 19, n. 10, p. 2394, 2019.

FERREIRA, E. R. de A.; FERREIRA, L. A. **Desafios e oportunidades da implementação de inteligência artificial na gestão de suprimentos**. Revista Foco, [S. l.], v. 17, n. 11, p. e6404, 2024. DOI: 10.54751/revistafoco.v17n11-013. Disponível em: <https://ojs.focopublicacoes.com.br/foco/article/view/6404>. Acesso em: 5 out. 2025.

FORAKER, Randi et al. Understanding synthetic data: artificial datasets for real-world evidence. **BMJ Evidence-Based Medicine**, 2025.

GOMES, D. de A. et al. **Integração entre big data, inteligência artificial e blockchain na cadeia de suprimentos: caminhos para a eficiência, rastreabilidade e resiliência logística**, 2024.

GOYAL, Mandeep; MAHMOUD, Qusay H. A systematic review of synthetic data generation techniques using generative AI. **Electronics**, v. 13, n. 17, p. 3509, 2024.

GROSSE, E. H. et al. Projeto e gestão de sistemas de produção e logística centrados no ser humano: a transição da Indústria 4.0 para a Indústria 5.0. **International Journal of Production Research**, v. 61, n. 22, p. 7749–7759, 2023. DOI: 10.1080/00207543.2023.2246783.

GROSSE, E. H. et al. Logistics 5.0: **The human-centric evolution of the digital supply chain**. **International Journal of Logistics Management**, v. 34, n. 2, p. 355-385, 2023.

GUEDES, T. de A. **Gestão logística nas organizações: uma análise do posicionamento temático e agenda de pesquisa**. **Revista Produção Online**, v. 24, n. 1, e-5041, 2024.

GUO, Yuting et al. Evaluating large language models for health-related text classification tasks with public social media data. **Journal of the American Medical Informatics Association**, v. 31, n. 10, p. 2181-2189, 2024.

HACKIUS, N.; PETERSEN, M. **Blockchain in logistics and supply chain: trick or treat?** In: PROCEEDINGS OF THE HAMBURG INTERNATIONAL CONFERENCE OF LOGISTICS (HICL), publi, 2017. p. 3-18.

HÄRTING, R. C. et al. **Blockchain in supply chain management: A conceptual model of its potential**. **International Journal of Production Economics**, v. 222, p. 107521, 2020.

HASSANI, M. S.; HUANG, Z.; SILVA, F. J. **The impact of big data and artificial intelligence on supply chain management: A literature review**. **International Journal of Information Management**, v. 43, p. 345-356, 2018.

HE, Junbo; FAN, Min; FAN, Yaojun. Digital transformation and supply chain efficiency improvement: an empirical study from a-share listed companies in China. **Plos one**, v. 19, n. 4, p. e0302133, 2024.

IDC. **DataSphere and StorageSphere Forecast 2023–2027**. IDC Research, 2023.

JACKSON, Ilia. et al. Inteligência artificial generativa na gestão da cadeia de suprimentos e operações: uma estrutura baseada em capacidades para análise e implementação. **International Journal of Production Research**, v. 62, p. 6120-6145, 2024. DOI: 10.1080/00207543.2024.2309309. Acesso em 06 out. 2025.

JASROTIA, A. et al. **A study on the impact of blockchain adoption on sustainable supply chain practices and environmental performance.** *Journal of Cleaner Production*, v. 435, p. 140321, 2024.

JEFROY, Niloofar; AZARIAN, Mathew; YU, Hao. Moving from Industry 4.0 to Industry 5.0: What Are the Implications for Smart Logistics? **Logistics**, v. 6, n. 2, 2022. DOI: 10.3390/logistics6020026. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2305-6290/6/2/26>. Acesso em: 6 out. 2025.

JUMANI, Fouzia; RAZA, Muhammad. Machine Learning for Anomaly Detection in Blockchain: A Critical Analysis, Empirical Validation, and Future Outlook. **Computers**, v. 14, n. 7, p. 247, 2025.

KARADUMAN, Özgür; GÜLHAS, Gülsena. Blockchain-Enabled Supply Chain Management: A Review of Security, Traceability, and Data Integrity Amid the Evolving Systemic Demand. **Applied Sciences (2076-3417)**, v. 15, n. 9, 2025.

KHALAFI, Mohammad; RAHMATI, Vala. Big Data Analytics in Supply Chain Management: A Systematic Literature Review. **Available at SSRN 4701502**, 2023.

KHAN, Syed Abdul Rehman; TAHIR, Muhammad Sohail; SHEIKH, Adnan Ahmed. Sustainable performance in SMEs using big data analytics for closed-loop supply chains and reverse omnichannel. **Heliyon**, v. 10, n. 16, 2024.

KSHETRI, N. **Blockchain's roles in strengthening cybersecurity and protecting privacy.** *Telecommunications Policy*, v. 42, n. 8, p. 581-596, 2018.

LEE, In; MANGALARAJ, George. Big data analytics in supply chain management: A systematic literature review and research directions. **Big data and cognitive computing**, v. 6, n. 1, p. 17, 2022.

LI, Jie. Construction and practice of supply chain optimization decision system driven by artificial intelligence. **Journal of Artificial Intelligence Practice**, v. 8, n. 2, p. 53-59, 2025. DOI: 10.23977/jaip.2025.080207. Disponível em: <https://www.clausiuspress.com/article/15592.html>. Acesso em: 7 out. 2025.

LUZ, C. A. N. da et al. **Análise bibliométrica do impacto das tecnologias blockchain, big data e cloud computing no gerenciamento da cadeia de suprimentos.** *Brazilian Journal of Production Engineering*, v. 9, n. 5, p. 60-69, 2023.

MADDALA, Suresh Kumar. 7 ways AI is revolutionizing supply chain forecasting and optimization. **World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences**, v. 15, n. 2, p. 680-686, 2025. DOI: 10.30574/wjaets.2025.15.2.0584. Disponível em: https://journalwjaets.com/sites/default/files/fulltext_pdf/WJAETS-2025-0584.pdf. Acesso em: 7 out. 2025.

MAGETO, Joash. Big data analytics in sustainable supply chain management: A focus on manufacturing supply chains. **Sustainability**, v. 13, n. 13, p. 7101, 2021.

MALDICHY, G. O.; RIBEIRO, P. C. C. **Gestão da cadeia de suprimentos integrada à tecnologia da informação**. Rio de Janeiro: Editora Senac Rio, 2020.

MARCHANG, Jims et al. Proof-of-Friendship Consensus Mechanism for Resilient Blockchain Technology. **Electronics**, v. 14, n. 6, 2025.

MARINO, Carlos Antonio; DIAZ PAZ, Claudia. Smart Contracts and Shared Platforms in Sustainable Health Care: Systematic Review. **JMIR Medical Informatics**, v. 13, p. e58575, 2025.

MASA'DEH, Ra'ed et al. The blockchain effect on courier supply chains digitalization and its contribution to industry 4.0 within the circular economy. **Sustainability**, v. 16, n. 16, p. 7218, 2024.

MASA'DEH, R. et al. **Supply chain management in the age of big data and blockchain: A theoretical perspective**. Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, v. 10, n. 2, p. 100155, 2024.

MELOTTI, L. M. D. et al. **Utilização do sistema Blockchain e sua rastreabilidade no agronegócio**. Cadernos de Prospecção, v. 16, n. 5, p. 1543-1554, 2023.

NAZ, Sana; LEE, Scott Uk-Jin. Nazfast: An Exceedingly Scalable, Secure, and Decentralized Consensus for Blockchain Network Powered by S&SEM and Sea Shield. **Applied Sciences**, v. 15, n. 10, p. 5400, 2025.

NGUYEN, T. T. et al. The role of artificial intelligence and blockchain in supply chain sustainability. Journal of Cleaner Production, v. 379, p. 134444, 2022.

NOVAES, Antonio Galvão. **Logística e gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007.

OLALEYE, Iyadunni Adewola et al. Real-time inventory optimization in dynamic supply chains using advanced artificial intelligence. **International Journal of Management & Entrepreneurship Research**, v. 6, n. 12, p. 3830–3843, 2024. DOI: 10.51594/ijmer.v6i12.1741. Disponível em: <https://www.fepbl.com/index.php/ijmer/article/view/1741>. Acesso em: 6 out. 2025.

OLIVEIRA, G. V. de et al. **Aplicação do Business Intelligence na gestão da cadeia de suprimentos**. Brazilian Journal of Production Engineering, v. 9, n. 5, p. 60-69, 2023.

ONU. **Food Waste Index Report 2023**. United Nations Environment Programme (UNEP), 2023.

PAIVA, L. B. **O uso da tecnologia blockchain para monitorar todas as etapas pelas quais os produtos agroalimentares passam pode assegurar transparência e economia nos processos logísticos**. Dissertação (Mestrado em Agronegócios) – Universidade de Brasília, Brasília, 2020.

PILGRAM, Lisa et al. A consensus privacy metrics framework for synthetic data. **Patterns**, 2025.

PRASHAR, Deepak et al. Blockchain-based traceability and visibility for agricultural products: A decentralized way of ensuring food safety in india. **Sustainability**, v. 12, n. 8, p. 3497, 2020.

REJEB, A. et al. **The Internet of Things and the circular economy: A systematic literature review and research agenda**. Journal of Cleaner Production, v. 350, n. 131439, 2019.

ROMANO, Antonello. Synthetic geospatial data and fake geography: A case study on the implications of AI-derived data in a data-intensive society. **Digital Geography and Society**, v. 8, p. 100108, 2025.

ROSSMANN, A. et al. **The future and impact of Big Data analytics on supply chain management: Results of a Delphi study**. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, v. 48, n. 1, p. 25-47, 2018.

RUSTICE, L. A. de O.; CARVALHO, J. S. de; BARCELOS, A. F. V.; SANTANA, V. B. Aplicação de técnicas de inteligência artificial na otimização de processos logísticos. **Observatório de la economía latinoamericana**, [S. l.], v. 22, n. 5, p. e4460, 2024. DOI: 10.55905/oelv22n5-015. Disponível em: <https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/view/4460>. Acesso em: 5 out. 2025.

RUSTICE, R. et al. **A integração entre a inteligência artificial (IA) e a cadeia de suprimentos no contexto da logística 4.0**. In: Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia (SEGET), 21., 2024, Resende. Anais [...]. Resende: AEDB, 2024.

SANTANA, H. L. et al. **Uma perspectiva colaborativa da cadeia de suprimentos para apoiar a indústria 4.0**. Revista Produção Online, v. 19, n. 2, p. 694-721, 2019.

SANTOS, Victor Lucio Bernardo dos et al. A integração entre a inteligência artificial (IA) e a cadeia de suprimentos no contexto da logística 4.0. In: **Simpósio de excelência em gestão e tecnologia (SEGET)**, 21., 2024, Resende. Anais [...]. Resende: AEDB, 2024. Disponível em: <https://www.aedb.br/seget/artigos2024.php?pag=425>. Acesso em: 4 out. 2025.

SEYEDAN, Mahya; MAFAKHERI, Fereshteh. Predictive big data analytics for supply chain demand forecasting: methods, applications, and research opportunities. **Journal of Big Data**, v. 7, n. 1, p. 53, 2020.

SCHMIDT, C.; WAGNER, M. **The blockchain in supply chain management: A comprehensive review of current challenges and future directions**. *Journal of Business Logistics*, v. 40, n. 4, p. 308-327, 2019.

SILVA, P. H. O. da et al. **Blockchain na cadeia de suprimentos no estado de Pernambuco: obstáculos e desafios**. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP), 44., 2024, Porto Alegre.

Socca Junior, João Ricardo. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: impactos na competitividade organizacional e desafios na implementação. **Revista Tópicos**, 2024. DOI: 10.5281/zenodo.13805716. Disponível em: <https://revistatopicos.com.br/artigos/gerenciamento-da-cadeia-de-suprimentos-impactos-na-competitividade-organizacional-e-desafios-na-implementacao>. Acesso em: 5 out. 2025.

SOUZA, F. R. **Aplicação da blockchain e IoT na gestão da cadeia de suprimentos: um estudo de caso sobre rastreabilidade**. *Revista Produção Online*, v. 23, n. 3, e-5016, 2023.

STEFANOVIC, Nenad et al. Adaptive cloud-based big data analytics model for sustainable supply chain management. **Sustainability**, v. 17, n. 1, p. 354, 2025.

TSai, Wen-Chi; SHEN, Chung-Wei. Using a smart contract for the floral supply chain. **Asia Pacific Management Review**, v. 29, n. 3, p. 347-361, 2024.

TREIBLMAIER, H. **The impact of the blockchain on the supply chain: a theory-based research framework and a call for action**. *Supply Chain Management: An International Journal*, v. 23, n. 6, p. 545-559, 2018.

VIGNESH, B. et al. *Blockchain technology in agriculture: ensuring transparency and traceability in the food supply chain*. **Plant Science Today**, v. 12, p. 5970, 2025.

VILLEGAS-Ch, W.; GOVEA, J.; GUTIERREZ, R. Optimizing Consensus in Blockchain with Deep and Reinforcement Learning. **Emerging Science Journal**, v. 9, n. 4, p. 1886-1908, ago. 2025.

VOUTSA, Maria C.; TSAPATSOLIS, Nicolas; DJOUVAS, Constantinos. Biased by Design? Evaluating Bias and Behavioral Diversity in LLM Annotation of Real-World and Synthetic Hotel Reviews. **AI**, v. 6, n. 8, p. 178, 2025.

XIA, T.; LI, J.; HE, Z. **Coordination of supply chain based on blockchain technology**. *International Journal of Production Economics*, v. 257, p. 108781, 2023.

XU, X. et al. **Barriers to blockchain adoption in automotive supply chain management: An empirical study in China.** *Journal of Cleaner Production*, v. 343, p. 130831, 2022.

WAMBA, Samuel Fosso; QUEIROZ, Maciel M. A framework based on blockchain, artificial intelligence, and big data analytics to leverage supply chain resilience considering the COVID-19. *IFAC-PapersOnLine*, v. 55, n. 10, p. 2396–2401, 2022.

WANG, S. et al. *Blockchain-based access control for privacy protection of agricultural products.* **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 20048, 2024.

WANG, Shangping et al. Smart contract-based product traceability system in the supply chain scenario. **IEEE access**, v. 7, p. 115122-115133, 2019.

WANG, J. et al. **The role of blockchain in enhancing supply chain security and visibility: A comprehensive review.** *International Journal of Production Economics*, v. 270, p. 108199, 2024.

WANG, Shaohua et al. Método de controle de acesso por criptografia proxy baseado em blockchain para proteção da privacidade de produtos agrícolas em relação ao risco biológico. **Scientific Reports**, v. 14, n. 1, p. 20048, 2024.

WANG, S. et al. **Análise de Big Data, inteligência artificial, ambidestria e gestão de cadeia de suprimentos verde: implicações na economia responsável.** *Journal of Cleaner Production*, 2024.

YANG, X. et al. *A trusted blockchain-based traceability system for agricultural products.* **IEEE Access**, v. 9, p. 36282–36293, 2021.

YANG, Xinting et al. A trusted blockchain-based traceability system for fruit and vegetable agricultural products. **IEEE access**, v. 9, p. 36282-36293, 2021.

ZAMANI, Efpraxia D.; SMYTH, Conn; GUPTA, Samrat; DENNEHY, Denis. Artificial intelligence and big data analytics for supply chain resilience: a systematic literature review. **Annals of Operations Research**, v. 327, p. 605–632, 2023.

ZHANG, Liuhua; GONG, Tianbao; TONG, Yanan. The impact of digital logistics under the big environment of the economy. **Plos one**, v. 18, n. 4, p. e0283613, 2023.

ZHANG, Xin et al. Blockchain-based safety management system for the grain supply chain. **IEEE Access**, v. 8, p. 36398-36410, 2020.

ZHU, Peng et al. A blockchain based solution for medication anti-counterfeiting and traceability. **IEEE Access**, v. 8, p. 184256-184272, 2020.

“Os conteúdos expressos no trabalho, bem como sua revisão ortográfica e adequação às normas ABNT são de inteira responsabilidade dos autores.”

Declaração de IA generativa e tecnologias assistidas por IA no processo de redação.

Declara-se pelos autores que durante a preparação deste trabalho foi utilizado o NotebookLM, para revisão, certificação de dados e verificação de autenticidade. Após utilizar esta ferramenta/serviço, os autores editaram e revisaram o conteúdo conforme necessário e assumem total responsabilidade pelo conteúdo da publicação.