

ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS BLOCKCHAIN NA RASTREABILIDADE EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS BRASILEIRAS

Roberta Lima Gomes¹

Universidade Federal do Espírito Santo
roberta.gomes@ufes.br

Rodolfo da Silva Villaca²

Instituição
rodolfo.villaca@ufes.br

Gustavo Santa Clara Alochio³

LuizaLabs
gustavo.alochio@gmail.com

Leonardo Lima Gomes⁴

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro
(PUC-Rio)
leonardolima@iag.puc-rio.br

Gesiane Silveira Pereira⁵

Universidade Vila Velha
gesiane.silveira@gmail.com

Resumo

A rastreabilidade é uma característica essencial para uma gestão eficaz das cadeias de suprimento, mas sua implementação pode enfrentar alguns desafios como garantia de integridade e acessibilidade dos registros. As blockchains, com sua estrutura descentralizada e imutável, prometem superar esses desafios, reforçando a segurança e a transparência dos dados. Apesar do crescente aumento dos estudos sobre a aplicação de blockchains em cadeias de suprimentos nos últimos anos, ainda há poucos trabalhos que explorem sua adoção no Brasil. Da mesma forma, o desenvolvimento de soluções voltadas para o mercado brasileiro é limitado, com poucos sistemas adaptados às suas necessidades específicas. Tendo isso em vista, o presente trabalho apresenta uma análise da adoção de blockchains no suporte à rastreabilidade em cadeias de suprimentos brasileiras, abordando tanto pesquisas acadêmicas quanto soluções desenvolvidas no país, fazendo, ao mesmo tempo, um paralelo com a adoção dessa tecnologia nas cadeias de suprimento estrangeiras. Com base nesse estudo, foram identificadas as potenciais dificuldades e barreiras à adoção de tecnologias blockchains nas cadeias de suprimento brasileiras.

Palavras-chave: rastreabilidade; cadeias de suprimentos; blockchain.

¹ Possui graduação em Engenharia de Computação pela Universidade Federal do Espírito Santo (1999), Mestrado em Informática pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (2001) e Doutorado em Systèmes Informatiques pela Université Paul Sabatier, realizado no Laboratoire d'Analyse et d'Architecture des Systems localizado em Toulouse-FR (2006). Atualmente é Professora Titular no Departamento de Informática da UFES.

² Graduação em Engenharia de Computação (1998) e mestrado em Engenharia Elétrica (2004), ambos pela Universidade Federal do Espírito Santo e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (Unicamp, 2013). Atualmente é professor efetivo da Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes), lotado no Departamento de Informática (DI/CT) e docente permanente do Programa de Pós-Graduação em Informática (PPGI) da Universidade Federal do Espírito Santo (Ufes).

³ Possui graduação em Ciência da Computação pela Universidade Federal do Espírito Santo (2021). Atualmente é Engenheiro de Software na indústria atuando na área de inovação da Magazine Luiza (LuizaLabs).

⁴ Professor de finanças e inovação do Departamento de Administração (IAG) da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-Rio) e do seu Programa de Pós-Graduação desde 2008. Doutorado e Mestrado em Engenharia de Produção (ênfase Finanças) na PUC-Rio (2002; 1998) e Graduação em Engenharia Mecânica (ênfase Produção e Materiais) na UFES (1995).

⁵ raduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Espírito Santo (1999), Mestrado em Engenharia de Transportes pelo Instituto Militar de Engenharia (2001), Master degree in International Management na Steinbeis School of International Business and Entrepreneurship - SIBE (2018) e doutorado em Engenharia de Produção pela Universidade Federal Fluminense (2015). Professora de disciplinas da área de engenharia de transportes; logística; administração da produção e pesquisa operacional. É Pró-reitora acadêmica da Universidade Vila Velha.



BLOCKCHAIN TECHNOLOGIES ADOPTION FOR TRACEABILITY IN BRAZILIAN SUPPLY CHAINS

Abstract

Traceability is an essential feature for effective supply chain management, but its implementation may face challenges such as record integrity and accessibility, which blockchain technology, with its decentralized and immutable structure, promise to overcome, enhancing data security and transparency. Despite the growing number of studies on the use of blockchains in supply chains in recent years, there are still few works that explore their adoption in Brazil. Similarly, the development of solutions tailored to the Brazilian market is limited, with few systems adapted to its specific needs. With this in mind, the present work provides an analysis of the adoption of blockchains in supporting traceability in Brazilian supply chains, addressing both academic research and solutions developed in the country, while drawing a parallel with the blockchain adoption in foreign supply chains. Based on the described analysis, we identified the potential challenges and barriers to the adoption of blockchain technologies in the Brazilian supply chains.

Keywords: traceability; supply chains; blockchain.

ADOPCIÓN DE TECNOLOGÍAS BLOCKCHAIN EN TRAZABILIDAD EM CADENAS DE SUMINISTRO BRASILEÑAS

Resumen

La trazabilidad (*traceability*) es una característica esencial para una gestión eficaz de las cadenas de suministro, pero su implementación puede enfrentar desafíos como la integridad y accesibilidad de los registros. Las blockchains, con su estructura descentralizada e inmutable, prometen superar estos desafíos, reforzando la seguridad y transparencia de los datos. A pesar del creciente número de estudios sobre la aplicación de blockchains en las cadenas de suministro en los últimos años, aún existen pocos trabajos que exploran su adopción en Brasil. Del mismo modo, el desarrollo de soluciones dirigidas al mercado brasileño es limitado, con pocos sistemas adaptados a sus necesidades específicas. Con esto en mente, el presente trabajo analiza la adopción de blockchains para apoyar la trazabilidad en las cadenas de suministro brasileñas, abordando tanto investigaciones académicas como soluciones desarrolladas en el país, al mismo tiempo que compara esta adopción con la de cadenas de suministro extranjeras. A partir de este estudio, se identificaron las posibles dificultades y barreras para la adopción de blockchains en las cadenas de suministro de Brasil.

Palabras clave: trazabilidad; cadenas de suministro; blockchain.

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a digitalização das cadeias de suprimentos (*Supply Chains* - SC) tem sido impulsionada por tecnologias como IoT, Inteligência Artificial e Blockchains, que permitem a coleta de dados em tempo real, automação de processos e maior transparência, otimizando suas operações logísticas (Misra et al., 2022). No Brasil, esse impacto pode ser ainda mais relevante devido à sua vasta extensão geográfica e diversidade industrial, com setores-chave como agroindústria, petróleo e gás, e indústria automobilística, que possuem redes complexas de produção e exportação. Portanto, garantir qualidade e segurança nas SCs brasileiras é essencial para a competitividade global dessas indústrias.

Dentro desse contexto, um conceito importante para as cadeias de suprimento é o de rastreabilidade (*traceability*), que se refere à habilidade de “seguir o rastro” dos produtos desde sua origem até o destino, registrando cada etapa desse histórico de processamento (GS1, 2017). A rastreabilidade permite que as empresas identifiquem e resolvam rapidamente problemas de qualidade e segurança, ao mesmo tempo em que demonstram práticas transparentes e confiáveis (Hastig; Sodhi, 2020).

No entanto, uma implementação eficaz da rastreabilidade impõe desafios importantes, como a necessidade de se garantir integridade, imutabilidade e acessibilidade dos registros em um ambiente distribuído e exposto a ataques. Nesse sentido, uma das tecnologias mais promissoras no suporte a esses requisitos são as blockchains (Cole *et al.*, 2019). Elas representam um registro descentralizado e à prova de adulteração, fornecendo um histórico confiável e transparente das transações. Isso reforça a segurança e a integridade dos dados de rastreabilidade, permitindo que as empresas consigam cumprir regulamentações rigorosas e atendam às expectativas crescentes dos consumidores por produtos seguros e de qualidade.

Apesar do aumento dos estudos sobre blockchains aplicadas a SCs nos últimos anos (Risso *et al.*, 2023), há poucos trabalhos abordando especificamente sua adoção no Brasil. Da mesma forma, o desenvolvimento de soluções direcionadas ao mercado brasileiro não é tão abrangente, havendo poucos sistemas adaptados às necessidades específicas desse mercado. Tendo isso em vista, o presente trabalho apresenta um estudo sobre a adoção de Blockchains para o suporte à rastreabilidade em SCs brasileiras, tendo como foco trabalhos acadêmicos e soluções desenvolvidas no Brasil, fazendo, ao mesmo tempo, um paralelo com a adoção dessa tecnologia nas SCs do mercado internacional. Com base neste estudo, foram identificadas as principais dificuldades e barreiras para um uso mais efetivo das tecnologias blockchains no suporte à rastreabilidade em nossas SCs.

Este artigo encontra-se organizado conforme a seguir. Na seção 2 são apresentadas algumas definições, além de trabalhos relacionados à implementação de rastreabilidade em SCs. A seção 3 descreve primeiramente a metodologia utilizada para a realização do estudo, apresentando em seguida os resultados encontrados. A seção 4 apresenta algumas constatações com base no estudo feito, apontando também os próximos passos deste trabalho.

2 TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta sessão são apresentadas as diferentes definições, abordagens e aplicações de rastreabilidade em SCs encontradas na literatura. Na sequência, é discutido como as

blockchains têm sido adotadas para potencializar a implementação da rastreabilidade, oferecendo maior segurança, transparência e eficiência às SCs.

2.1 RASTREABILIDADE

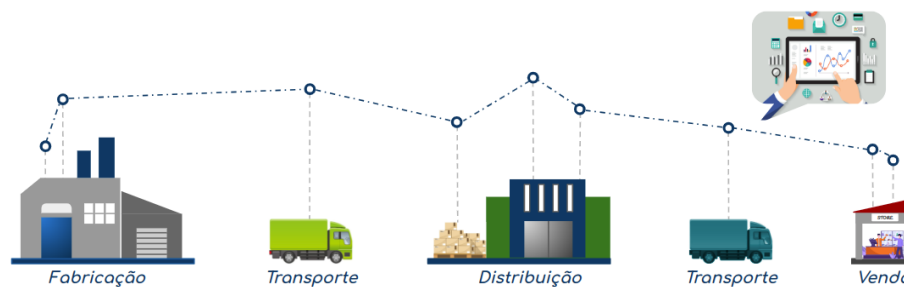
Diferentes definições de rastreabilidade (*traceability*) podem ser encontradas na literatura (Behnke; Janssen, 2020; Olsen; Borit, 2013). Mas de uma forma geral, a rastreabilidade é associada à capacidade de se identificar um produto e rastrear sua procedência, condições de armazenamento, movimentação e distribuição. Normalmente, ela é associada ao princípio prático “*one step back – one step forward*” (Demestichas *et al.*, 2020), utilizado no desenvolvimento de sistemas capazes de rastrear um produto até sua origem, e/ou de acompanhar um produto até seu destino. Sua implementação não apenas assegura o cumprimento de regulamentações e normas, como estabelecido pela *European Food Safety Authority* (EFSA)⁶ ou pela agência americana *Food and Drug Administration* (FDA)⁷, mas também viabiliza a otimização de processos e respostas mais ágeis a problemas como *recalls*.

O conceito de rastreabilidade tem sido amplamente discutido no contexto da produção de alimentos (ISO, 2007), em virtude do impacto que falhas na cadeia de produção e distribuição pode ter na saúde pública em geral (Duan *et al.*, 2020). As regulamentações nesse setor são rigorosas, exigindo-se o emprego de sistemas que deem suporte à rastreabilidade de alimentos atendendo aos padrões de segurança e qualidade (Bosona & Gebresenbet, 2023). No caso específico do Brasil, legislações como a Resolução de Diretoria Colegiada (RDC) n.º 655 de 24 de março de 2022, requisitam que a rastreabilidade de produtos seja mantida ao longo de todas as fases da cadeia (Brasil, 2022). Além da alimentação, outros setores como o farmacêutico e a manufatura estão cada vez mais reconhecendo a importância da rastreabilidade em suas SCs (Gonczol *et al.*, 2020; Tönnissen; Teuteberg, 2020).

⁶ Regulation (EC) No 178/2002 of the European Parliament and of the Council of 28 January 2002: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32002R0178>

⁷ Food Safety Modernization Act (FSMA): <https://www.fda.gov/food/guidance-regulation-food-and-dietary-supplements/food-safety-modernization-act-fsma>

Figura 1 – Rastreabilidade e transparência implementandas por meio de mecanismos de controle e análise do percurso dos produtos em uma *supply chain*.



Fonte: Elaborada pelos autores (2024).

A rastreabilidade está intrinsecamente ligada ao conceito de transparência, sendo estes termos algumas vezes utilizados como sinônimos (Musamih *et al.*, 2021). Essa relação fica evidenciada uma vez que a rastreabilidade implica na criação de registros que podem ser compartilhados com as partes interessadas, promovendo assim a transparência (Sunny *et al.*, 2020). Enquanto a rastreabilidade foca na captura e registro das informações sobre a jornada de um produto, a transparência refere-se ao acesso a essas informações, sendo ambos essenciais para mecanismos de controle e análise das SCs (Fig. 1). A rastreabilidade fornece a base para a transparência, tendo em vista que os dados rastreados alimentam as informações “transparentes”. Por sua vez, a transparência, por exemplo, permite que a origem das matérias-primas seja conhecida, viabilizando a rastreabilidade (Centobelli *et al.*, 2022).

Em um cenário global de consumidores cada vez mais exigentes, ambos os conceitos são fundamentais para se melhorar o nível de confiança das SCs (Centobelli *et al.*, 2022; Kwon; Suh, 2004). Além disso, a rastreabilidade, apoiada na transparência, é um importante facilitador de desempenho e resiliência (Bosona; Gebresenbet, 2023; Razak *et al.*, 2023).

2.2 SUPPLY CHAINS SUPOSTADAS POR BLOCKCHAINS

Blockchains são uma forma específica de *Distributed Ledger Technology* (DLT), ou de registro distribuído, que utiliza blocos encadeados por meio de ponteiros criptográficos (*hash pointers*) – cada bloco contém um tipo de “assinatura imutável” do bloco imediatamente anterior (Zhang; Xue; Liu, 2019). Esse encadeamento permite que transações sejam registradas de forma que qualquer adulteração da informação original implicaria em uma inconsistência na cadeia de blocos, representando assim uma estrutura à prova de adulteração (*tamper-proof*) (Zhang; Xue; Liu, 2019). Os dados são compartilhados em uma rede *peer-to-peer* governada por um protocolo de consenso que determina como e quais transações e blocos são validados e adicionados à cadeia de blocos. A rede pode ser pública e não-permissionada,

quando qualquer nó pode participar, validar transações e manter os registros de transações; ou permissionada, em que o acesso é restrito a participantes autorizados. Todo esse mecanismo é fundamentado por criptografia (Zhang; Xue; Liu, 2019).

Além dos registros à prova de adulteração e da sincronização de informações, outra inovação promovida pela tecnologia blockchain são os contratos inteligentes (Zou et al., 2021). Esses contratos digitais, executados na blockchain, são capazes de controlar direitos, obrigações e ativos digitais (*e.g.*, criptomoedas, documentos *etc.*). Por meio de regras codificadas à prova de adulteração, os contratos inteligentes oferecem uma automatização transparente e segura para os sistemas.

Em sendo distribuída, verificável e imutável, as blockchains têm sido apontadas como uma tecnologia potencialmente disruptiva para os negócios em diferentes setores da indústria (Choi *et al.*, 2022) e do agronegócio (Kamble *et al.*, 2020), com um notável impacto para suas cadeias de suprimentos. A disrupção que pode ser gerada pelas blockchains na sustentabilidade das SCs também tem sido enfatizada (Saber *et al.*, 2019). Helo e Hao (2019) resumem os cinco principais benefícios obtidos com o uso de blockchains em SC: melhorar a qualidade geral, reduzir custos, diminuir o tempo de entrega, reduzir riscos, e aumentar a confiança. Esses benefícios estão intrinsecamente ligados à capacidade das blockchains de facilitar a desintermediação e a digitalização (Wang; Han; Beynon-Davies, 2019).

De fato, nos últimos anos, é possível encontrar na literatura muitos trabalhos abordando a integração de blockchains e SCs, algo evidente pela variedade de surveys publicados na área (Saber *et al.*, 2019; Tijan *et al.*, 2019; Wang; Han; Beynon-Davies, 2019; Gonczol *et al.*, 2020; Pournader *et al.*, 2020; Tönnissen; Teuteberg, 2020; Dasaklis *et al.*, 2022; Risso *et al.*, 2023). Dentre essa vasta literatura, destaca-se a capacidade das blockchains de prover rastreabilidade de forma robusta e confiável, tornando-a, possivelmente, a tecnologia mais promissora para esse tipo de serviço em SCs (Dasaklis et al., 2022).

Uma parte importante dos trabalhos publicados discute aspectos mais teóricos ou conceituais relacionados à aplicação de blockchains em SC (Dolgui *et al.*, 2020; Pournader *et al.*, 2020; Tönnissen; Teuteberg, 2020). Já a literatura mais recente (Goldmann *et al.*, 2024) também tem se dedicado a propostas de *frameworks* (Hader *et al.*, 2022) e arquiteturas de implementação (Helo; Shamsuzzoha, 2020), ou ao desenvolvimento de soluções aplicadas a casos de uso reais. Geralmente, essas soluções envolvem a integração de sistemas RFID (*Radio-Frequency IDentification*) ou IoT (*Internet of Things*) (Helo; Shamsuzzoha, 2020; Sunny *et al.*, 2020; Baygin *et al.*, 2022; Wang *et al.*, 2023).

Com relação mais especificamente ao tipo de blockchain utilizada, tanto considerando os trabalhos acadêmicos quanto casos de uso já consolidados no mercado (Goldmann *et al.*, 2024), não há de fato um consenso. Uma parte das soluções se apoia em tecnologias já estabelecidas, como o Ethereum (Buterin, 2013), criado em 2013 como a primeira blockchain a usar *smart contracts*, ou o Hyperledger Fabric, um projeto *open source* iniciado em 2015 pela Linux Foundation (Androulaki, 2018). Alguns exemplos são a CargoX⁸, IBM Food Trust⁹ e OriginTrail¹⁰. Mas também há soluções que optam por utilizar blockchains próprias (*e.g.* VeChain¹¹; Gai *et al.*, 2023; Mondal *et al.*, 2019). Outra questão é a rede em si, que pode ser pública, privada ou em *consortium*, neste último caso, usadas exclusivamente pelas organizações que constituem o consórcio (Wang; Chen; Zghari-Sales, 2020). Se por um lado a rede pública assegura maior distribuição e transparência, as redes privadas (ou em *consortium*) promovem mais confidencialidade e segurança. Mas independentemente do tipo de rede, a grande maioria das soluções se apoia em uma estrutura permissionada, em que as partes (no caso as organizações envolvidas com a SC) são identificadas (Goldmann *et al.*, 2024). Isso se justifica pelo fato de que blockchains permissionadas proporcionam um controle de acesso mais fino aos dados de transações/eventos de SC, que podem ser comercialmente sensíveis (Wang; Chen; Zghari-Sales, 2020).

7

Uma desvantagem normalmente associada ao uso de blockchains públicas são os custos relacionados ao armazenamento e execução de contratos inteligentes (Musamih *et al.*, 2021). Isso se torna um agravante considerando-se que o volume de dados de rastreabilidade capturados no decorrer do tempo em uma SC pode ser bastante significativa (GS1, 2017). Para contornar esse problema, diferentes trabalhos propõem a integração de blockchains a sistemas *off-chain*, em que parte dos dados é armazenada fora da blockchain principal. O IPFS¹² (*Decentralized Storage System*) aparece como um dos mais utilizados (*e.g.* Shahid *et al.* (2020), Musamih *et al.* (2021), Yao e Zhang (2022) e Alsadi *et al.* (2023)), uma vez que ele fornece armazenamento de baixo custo e distribuído, além de garantir a integridade e imutabilidade dos arquivos usando *hashes* criptográficos (Zheng *et al.*, 2018). Essas soluções propõem que apenas dados considerados chave (como identificadores de produtos e organizações, *hashes* dos

⁸ <https://cargox.io/>

⁹ <https://www.ibm.com/products/supply-chain-intelligence-suite/food-trust>

¹⁰ <https://origintrail.io/>

¹¹ <https://vechain.org/>

¹² <https://ipfs.tech/>

arquivos no IPFS, *etc.*) sejam mantidos na blockchain, enquanto as informações detalhando os eventos de rastreabilidade sejam armazenadas no IPFS.

Um desafio também ressaltado na literatura é a falta de padronização dos processos e dos dados de rastreabilidade (Behnke & Janssen, 2020; Goldmann *et al.*, 2024; Gonczol *et al.*, 2020; Hastig; Sodhi, 2020). Isso pode comprometer a consistência dos dados e a interoperabilidade entre os sistemas de diferentes organizações, dificultando a rastreabilidade na SC. Além disso, como muitas cadeias estão sujeitas a regulamentações específicas, seguir padrões reconhecidos internacionalmente como os definidos pela GS1 (*Global Standards 1*) ou pela ISO (*International Organization for Standardization*), pode aumentar a conformidade regulatória por parte das organizações. Desta forma, alguns trabalhos se baseiam em padrões como o GTIN (*Global Trade Item Number*¹³) e o EPCIS (*Event-driven Process Chain Information Services* (GS1, 2017)) para implementar soluções de rastreabilidade utilizando blockchains. As estratégias de integração são variadas. Lin *et al.* (2019) e OriginTrail, por exemplo, armazenam na blockchain dados (ou *hashes* desses dados) de rastreabilidade extraídos de repositórios EPCIS *off-chain* para garantir a integridade dessas informações. Já outros trabalhos propõem a substituição dos repositórios EPCIS por estruturas implementadas diretamente nas blockchains (Chua *et al.*, 2019; Dietrich *et al.*, 2023).

3 BLOCKCHAINS EM SCs NO BRASIL

O Brasil é o maior mercado da América do Sul, destacando-se economicamente e territorialmente, além de ser um importante exportador de produtos e commodities. Com a diversificação das atividades econômicas e a expansão dos setores agrícola, industrial e comercial, suas SCs enfrentam desafios, como a dificuldade de garantir rastreabilidade (Matzembacher *et al.*, 2018). No entanto, a rastreabilidade é crucial para SCs complexas como as brasileiras, assegurando a procedência e qualidade dos produtos, além de fortalecer a confiança comercial. Economias como o Brasil, que buscam SCs mais sustentáveis (Ardekani *et al.*, 2023), veem na rastreabilidade uma aliada no monitoramento socioambiental.

Diante desse cenário, este trabalho apresenta um panorama sobre o uso de blockchains nas SCs brasileiras, com o objetivo de se compreender as perspectivas, demandas e o nível de aceitação dessa tecnologia no setor. A pesquisa foi estruturada em duas partes: a primeira focada no estudo de publicações acadêmicas, e a segunda voltada para soluções de mercado.

¹³ <https://www.gs1.org/standards/id-keys/gtin>

3.1 TRABALHOS ACADÊMICOS

A coleta dos trabalhos acadêmicos foi realizada na base de dados *Scopus*, em janeiro de 2024, utilizando as seguintes *strings* de busca:

Quadro 1 – *Strings* de busca utilizadas na base de dados Scopus

ALL (brazilian OR brazil OR brasil OR brasileira OR brasileiro) AND TITLE-ABS-KEY(blockchains OR blockchain OR "distributed ledger" OR "distributed ledgers" AND brazilian OR brazil OR brasil OR brasileira OR brasileiro))
(ALL ("supply chain" OR "supply chains") AND TITLE-ABS-KEY (blockchains OR blockchain OR "distributed ledger" OR "distributed ledgers" AND brazilian OR brazil OR brasil OR brasileira OR brasileiro))

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Foram inicialmente listados 266 artigos, sendo estes então analisados individualmente, com base nos títulos, resumos e palavras-chave. Nessa etapa, notou-se uma boa presença de autores com filiação em instituições do Brasil (69 artigos). No entanto, durante a análise dos artigos observou-se que a maioria dos trabalhos não tinha como foco o estudo ou aplicação de blockchains em SCs do Brasil especificamente. Após a análise, 17 artigos foram selecionados, incluindo-se apenas os trabalhos desenvolvidos considerando-se as SC brasileiras.

O Quadro 2 apresenta um resumo dos trabalhos encontrados, classificados conforme os grupos apresentados por Gonczol *et al.* (2020). O grupo “G1”, que compreende os trabalhos acadêmicos teóricos ou conceituais relacionados à aplicação de blockchains em SC, apresenta as seguintes subdivisões: *Casos de Uso Conceituais* (G1A), *Propostas Conceituais de Sistema* (G1B), *Requisitos e Desafios de Adoção* (G1C), *Perspectivas do Usuário* (G1D) e *Facilitadores de Adoção e Benefícios* (G1E). Já o grupo “G2” compreende trabalhos acadêmicos ou soluções de mercado com casos de uso e implementações reais de sistemas integrando blockchains a SCs. Este último grupo é subdividido em: *Aplicações e Casos de Uso Acadêmicos* (G2A), e *Aplicações e Casos de Uso Industriais* (G2B). Os sistemas que se enquadram na categoria G2B serão abordados separadamente na Seção 3.2.

Quadro 2 – Resumo dos trabalhos acadêmicos, classificados de acordo com Gonczol *et al.* (2020).

Grupo	Ref.	Subdivisão	Tipo de Blockchain	Tecnologia	Tipo de SC
G1	(Nyland; Badejo; Corrêa, 2023)	G1B	N/A	N/A	Agronegócio (óleo de oliva)
	(Rocha <i>et al.</i> , 2023)	G1C, G1E	N/A	N/A	Agronegócio (geral)
	(Avila; Filho; Picchi, 2022)	G1B	privada, pública /permissionada	Hyperledger Fabric	Agronegócio (proteína animal)
	(Kumar, 2022)	G1A, G1B	N/A	N/A	Agronegócio (soja)
	(Silveira; Costa; Resende, 2022)	G1E	N/A	N/A	Setor público (compras públicas)
	(Descovi <i>et al.</i> , 2021)	G1B, G1E	privada / permissionada		Agronegócio (certificado sanitário animal)
	(Diniz <i>et al.</i> , 2021)	G1B, G1D	pública / permissionada	N/A	Energia (certificação de energia renovável)
	(Felippe; Demanboro, 2021)	G1B	N/A	N/A	Agronegócio (carne bovina)
	(Queiroz <i>et al.</i> , 2021)	G1C	N/A	N/A	N/A
	(Oliveira <i>et al.</i> , 2021)	G1D, G1E	N/A	N/A	N/A
G2	(Vivaldini, 2021)	G1E	N/A	N/A	Alimentos (distribuição)
	(Yamaguchi; Santos; Carvalho, 2021)	G1C, G1E	N/A	N/A	Energia (certificação de energia renovável)
	(Costa <i>et al.</i> , 2022)	G2A	privada / permissionada	Hyperledger Fabric	Saúde (vacinação)
	(Gomes <i>et al.</i> , 2022)	G2A	privada, consórcio / permissionada	Hyperledger Fabric	Construção civil
	(Monteiro <i>et al.</i> , 2021)	G2A, (G1B)	pública, consórcio / permissionada	Ethereum	Agronegócio (logística reversa de agroquímicos)
	(Santos; Torrisi; Pantoni, 2021)	G2A	pública / não-permissionada	Ethereum	Agronegócio (certificação agroalimentar)
	(Neto <i>et al.</i> , 2020)	G2A	privada / permissionada	Hyperledger Fabric	Saúde (redistribuição de medicamento)

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Além disso, no Quadro 2 também são ressaltados os tipos de blockchain e as tecnologias utilizadas ou recomendadas nos artigos. Observa-se aqui as diferentes possibilidades de combinação entre o tipo de rede (pública, privada ou em *consortium*), e o tipo de acesso (permissionado ou não-permissionado), com uma preferência para redes permissionadas. Por fim, o quadro destaca os tipos de SCs abordadas, com a maioria dos trabalhos focando em SCs do agronegócio, refletindo o crescente interesse da comunidade acadêmica brasileira no uso de blockchains nesse setor (Barbosa, 2021). Todos os artigos citados abordam ou citam a importância de se implementar rastreabilidade e transparência nas SCs, colocando as blockchains como tecnologia viabilizadora. No entanto, não existe um padrão de fato nem consenso sobre qual tecnologia blockchain utilizar (Rocha *et al.*, 2023), sendo a falta de

padronização nos sistemas de gestão um problema que atinge as SCs brasileiras de uma forma geral. Cada indústria ou empresa pode definir e utilizar diferentes sistemas *Supply Chain Management* (SCM) ou *Enterprise Resource Planning* (ERP), geralmente não havendo uma integração entre eles (Felippe; Demanboro, 2021; Vivaldini, 2021; Yamaguchi; Santos; Carvalho, 2021). Quanto aos dados de rastreabilidade, mais da metade dos trabalhos consideram ou sugerem a coleta automatizada por meio de RFID ou IoT em geral, sendo que dois deles explicitam o uso (ou a falta) de padrões para o formato dos dados, como os definidos pela GS1 (Vivaldini, 2021; Costa *et al.*, 2022).

Se por um lado a tecnologia blockchain contribui para a efetividade das ações de governança nas SCs (com o aumento da transparência (Oliveira *et al.*, 2021)), SCs variadas e complexas demandam modelos diversos de governança (Avila; Filho; Picchi, 2022). E um aspecto em particular diz respeito aos mecanismos de governança de privacidade, com suporte a níveis diferentes de controle de acesso. Alguns dados de rastreabilidade podem ser sensíveis (Vivaldini, 2021; Gomes *et al.*, 2022), havendo *stakeholders* não necessariamente interessados nessa transparência (Diniz *et al.*, 2021).

Além disso, tratando-se de um mercado emergente, as SCs tendem a ser dinâmicas e flexíveis, podendo haver rotatividade dos *stakeholders* (Santos; Torrisi; Pantoni, 2021). Essa complexidade e dinamicidade das SCs também resulta em potenciais perdas de confiança nos produtos ou nos próprios integrantes das SCs (Avila; Filho; Picchi, 2022), tornando fundamental o apoio a processos de auditoria por parte dos sistemas de rastreabilidade.

Apesar da perspectiva de aumento de eficiência e redução de custos de operação das SCs com a adoção de blockchains (Oliveira *et al.*, 2021; Kumar, 2022), um ponto recorrente nos artigos é a preocupação com os custos relacionados à sua adoção – custos de implantação em si (Nyland; Badejo; Corrêa, 2023; Rocha *et al.*, 2023) e custos associados à transição, uma vez que a substituição de sistemas consolidados pode colocar em risco a operação da SC (Vivaldini, 2021). A falta de mão de obra especializada também representa pode ser um problema (Rocha *et al.*, 2023). Dessa forma, o esforço de implantação deve ser reduzido, para que a tecnologia seja realmente aceita pelos *stakeholders* (Queiroz *et al.*, 2021).

Alguns autores apontam como uma solução viável a integração das blockchains com sistemas já implantados, utilizando, por exemplo, uma API (*Application Programming Interface*) de integração, tornando a solução mais versátil (Neto *et al.*, 2020; Descovi *et al.*, 2021; Vivaldini, 2021). Esse tipo de solução poderia inclusive contribuir para a criação de uma infraestrutura pública integrando diferentes ERPs e blockchains (Monteiro *et al.*, 2021),

facilitando e barateando os processos de auditoria, considerados como processos custosos (Yamaguchi; Santos; Carvalho, 2021; Gomes *et al.*, 2022).

Outra preocupação destacada está relacionada às dimensões continentais do país, incorrendo em dificuldades de acesso à Internet em certas regiões (Vivaldini, 2021). Com isso a notificação de dados de rastreabilidade em tempo real pode ser comprometida, sendo importante possibilitar a notificação *offline* (Costa *et al.*, 2022). Também se observou uma preocupação com a sustentabilidade das SCs, apontada em dez dos estudos levantados. Isso reflete uma tendência mundial em direção ao desenvolvimento sustentável, provavelmente decorrente de uma maior conscientização da sociedade sobre o impacto dos modelos de produção e consumo sobre o meio ambiente (Silveira; Costa; Resende, 2022).

De uma forma geral, os desafios e propostas discutidos nos trabalhos apresentados se alinham com a literatura internacional, mas algumas especificidades também foram encontradas. Um exemplo foi a preocupação com a eliminação de intermediários, o que também pode representar uma desvantagem (Rocha *et al.*, 2023). Em países em desenvolvimento como o Brasil, a eliminação de intermediários pode levar à redução de empregos em certos setores, especialmente entre os pequenos e médios comerciantes e distribuidores. Muitas vezes, os intermediários têm relações comerciais estabelecidas com fornecedores e clientes ao longo do tempo. Eliminá-los pode resultar na perda dessas relações, afetando negativamente a confiança e a continuidade de determinados negócios. Dentro desse contexto, Queiroz *et al.* (2021) ressaltam a importância de se incluir aspectos culturais nas novas soluções ou sistemas que integrem blockchains às SCs brasileiras.

12

3.2 SOLUÇÕES ENCONTRADAS NO MERCADO

A rastreabilidade das cadeias de suprimentos brasileiras já está há algum tempo no radar do mercado internacional, sobretudo devido à capacidade dessas cadeias de produzir e exportar grandes volumes de commodities importantes como soja, café, carne bovina e minério de ferro. Por exemplo, em 2017, a IBM já estava realizando um projeto-piloto aplicando o Food Trust para rastrear alimentos da BRF¹⁴ dentro da rede de supermercados Carrefour. O projeto evoluiu, se tornando uma plataforma baseada em tecnologia blockchain para melhorar a transparência, rastreabilidade e eficiência na cadeia de suprimentos alimentares¹⁵. Um ano depois, em 2018, a rede de supermercados holandesa *Albert Heijn* introduziu a tecnologia blockchain para

¹⁴ <https://www.brf-global.com/>

¹⁵ <https://www.ibm.com/br-pt/products/supply-chain-intelligence-suite/food-trust>

permitir que os clientes rastreiem a jornada dos sucos de laranja desde as fazendas no Brasil até as prateleiras de seus supermercados na Holanda¹⁶.

Mesmo no mercado interno a preocupação em se implantar soluções de rastreabilidade já é latente. Em Meireles e Dantas, 2023, os autores fazem um levantamento dentre as 100 maiores empresas da indústria alimentícia no Estado de São Paulo, identificando aquelas que utilizam a tecnologia blockchain no rastreamento de alimentos. O estudo mostra que o uso de dessa tecnologia para a rastreabilidade traz impactos positivos, sobretudo em questões fitossanitárias, promovendo também maior conscientização sobre escolhas sustentáveis.

Não somente os grandes atores do nosso mercado têm se preocupado com a rastreabilidade de suas cadeias. Produtores de pequeno e médio porte podem contar com soluções como a plataforma oferecida pela *Dimitra Incorporated*¹⁷, que usa blockchain, além de outras tecnologias (como aprendizado de máquina e IoT) para auxiliar os agricultores a aumentarem a produção e melhorar a logística, reduzindo despesas e mitigando riscos. Um dos parceiros importantes da empresa é a Associação Brasileira dos Produtores e Exportadores de Frutas (representando mais de 85% do total de frutas exportadas pelo Brasil).

Assim como no resto do mundo, um importante catalisador para a utilização de soluções inovadoras baseadas em blockchain tem sido a demanda por sustentabilidade nas SCs brasileiras. ONGs como o *Instituto Escolha* e o *Instituto Igarapé*, publicaram estudos evidenciando o papel das blockchains no apoio à sustentabilidade da cadeia produtiva do ouro brasileiro¹⁸, e das cadeias de produção de soja, madeira e carne bovina brasileira¹⁹. A atuação de *Fintechs* sociais como o *Plastic Bank*²⁰ também representa uma resposta a essa demanda. No Brasil, o Plastic Bank atua em parceria com empresas e comunidades para criar redes de coleta de resíduos plásticos, especialmente em áreas costeiras, usando a tecnologia blockchain para prover registro confiável do percurso dos resíduos com incentivos para os coletores.

Mas para entender melhor o impacto das tecnologias blockchains nas SCs brasileiras, é importante conhecer as soluções desenvolvidas especificamente para este mercado. Desta forma, como parte deste trabalho, foi feito um levantamento por meio de consultas diretas ao Google, retornando sites oficiais dos sistemas ou notícias veiculadas em mídias online (jornais, blogs, etc.). Também foram consultados sites de empresas, *hubs* e comunidades envolvidas com

¹⁶ <https://www.ledgerinsights.com/supermarket-albert-heijn-blockchain-food-traceability/>

¹⁷ <https://dimitra.io/>

¹⁸ <https://www.escolhas.org/wp-content/uploads/Blockchain-traceability-and-monitoring-for-Brazilian-gold.pdf>

¹⁹ <https://igarape.org.br/wp-content/uploads/2020/08/2020-08-24-AE-48Amazonia-Technology-Solutions.pdf>

²⁰ <https://plasticbank.com/>

inovação contendo levantamentos de startups envolvidas com blockchains. Além disso, foram registradas referências a sistemas encontrados nos trabalhos acadêmicos apresentados na seção anterior. O Quadro 3 apresenta um resumo das soluções de mercado encontradas. Apesar de não se tratar de uma lista exaustiva, os sistemas listados fornecem uma amostragem representativa das soluções brasileiras existentes.

Quadro 3 – Resumo das soluções de mercado encontradas.

Ref.	Local	Tipo de Blockchain	Tecnologia	Tipo de SC
AgTrace	Florianópolis/SC	Permissionada	Hyperledger	Agronegócio
Amachains	Belém/PA	Permissionada/ Híbrida	Hyperledger/ Ethereum	Créditos de Carbono
Arabyka	Londrina/PR	Privada	Ripple	Agronegócio
Cultecoin	São Paulo/SP	Pública	Binance Smart Chain	Agronegócio
DeTrash	Salvador/BA	Pública	Binance Smart Chain	Logística reversa
Ecotrace	Vinhedo/SP	Privada	Hyperledger	Agronegócio
Eureciclo	São Paulo/SP	N/A	Ethereum	Logística reversa
GoGas	Brasília/DF	Permissionada	Hyperledger	Petróleo/Gás
Green-c	Altamira/PA	Pública	Polygon	Amazônia
GreenChain - BVRio	Rio de Janeiro/RJ	Pública	Ethereum	Madeira
Huru Systems	Florianópolis/SC	N/A	N/A	N/A
Milkchain	Juiz de fora/MG -- São Paulo/SP	N/A	N/A	Agronegócio
PlataformaVerde (GreenPlat)	São Paulo/SP	Privada Permissionada	Hyperledger	Logística reversa
Paripassu	Florianópolis/SC	N/A	N/A	Agronegócio
Polen	Rio de Janeiro/RJ	Pública	N/A	Madeira
Safe Trace	Itajubá, MG	N/A	N/A	Alimentos/ Agronegócio
SELVA	Manaus/AM	N/A	Ethereum	Amazônia
SIBRAAR	São José dos Pinhais /PR -- Brasília/DF	Permissionada	Ethereum	Agronegócio
Terocarbon	Manaus/AM	Pública	Ethereum	Créditos de carbono

Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Considerando-se a lista apresentada, observamos uma predominância de soluções em SCs do agronegócio, além de iniciativas diretamente associadas à sustentabilidade, como rastreabilidade de produtos com origem na região amazônica, rastreabilidade em logística reversa, ou plataformas para a gestão de créditos de carbono. Quanto às tecnologias, com base

nas informações encontradas, o Ethereum e o Hyperledger Fabric são os mais utilizados, variando-se os tipos de rede entre pública, permissionada e privada²¹.

A maioria dos sistemas encontrados foram desenvolvidos por *startups*. Mas também é interessante destacar os sistemas desenvolvidos e utilizados por grandes empresas. Um exemplo é a Marfrig que utiliza o sistema da Safe Trace, desenvolvido em parceria com o Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPqD). A plataforma blockchain é utilizada para monitorar as etapas de produção da carne considerando aspectos socioambientais, sanitários e de qualidade²². Outros dois exemplos envolvem diretamente o setor público. A Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) desenvolveu SIBRAAR²³, que oferece às agroindústrias um sistema baseado em blockchain para oferecer mecanismos de comprovação de origem, qualidade e sustentabilidade dos produtos agropecuários brasileiros. Recentemente o SIBRAAR passou a poder operar internacionalmente, graças à adoção de padrões globais de identificação do GS1. Outro exemplo é a Petrobrás, que vem desenvolvendo projetos como o GoGas²⁴, para permitir maior rastreabilidade e transparência nas suas cadeias de suprimentos de petróleo e gás.

3.3 RESULTADOS DAS ANÁLISES

Os trabalhos acadêmicos e soluções de mercado analisados mostram que, indiscutivelmente, a rastreabilidade do ciclo de vida dos produtos ao longo das cadeias de suprimentos é o caso de uso mais frequente da tecnologia blockchain nas SCs brasileiras, destacando-se os setores alimentícios e do agronegócio. No entanto, algumas barreiras que dificultam uma aplicação efetiva dessa tecnologia nas SCs brasileiras foram identificadas:

- Muitas SCs já fazem uso de sistemas legados de gestão (SCMs, ERPs, *etc.*). Substituí-los ou adaptá-los pode exigir investimentos substanciais em tempo, recursos e treinamento. Também pode haver uma resistência cultural à mudança, associada a uma desconfiança em relação a novas tecnologias blockchains.
- Há uma falta de padronização nos sistemas de gestão e nos formatos de dados utilizados nas SCs brasileiras.

²¹ Parte dos dados técnicos não foram encontrados ou a empresa contactada não forneceu a informação solicitada.

²² <https://exame.com/negocios/as-tecnologias-por-tras-do-controle-de-origem-da-marfrig-e-como-isso-impacta-o-consumidor/>

²³ <https://sibraar.com.br/>

²⁴ <https://www.gogas.goledger.io/>

- Não é possível determinar uma tecnologia blockchain específica ou o tipo de rede mais adequado para serem utilizados na implementação de rastreabilidade em SCs.
- As estruturas de governança das SCs brasileiras são variadas e dinâmicas, em particular no que diz respeito às políticas de controle de acesso. Nem sempre a otimização dessas estruturas (como a eliminação de intermediários) ou uma transparência "total" é desejada.
- O Brasil é um país inerentemente burocrático, com um ambiente regulatório complexo, dificultando as garantias de conformidade.
- A falta de infraestrutura tecnológica avançada e de acesso a redes de alta velocidade em regiões rurais e remotas, onde muitas SCs operam, dificulta a implementação dessa tecnologia.

Portanto, uma combinação de desafios tecnológicos, econômicos, regulatórios e culturais explica uma adoção mais lenta de blockchains nas SCs do Brasil, em comparação a outros países.

4 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

16

Embora o uso de blockchains no suporte à rastreabilidade em cadeias de suprimentos tenha sido amplamente estudado internacionalmente, há uma lacuna na literatura no tocante ao desenvolvimento de soluções voltadas para o mercado brasileiro. Este estudo abordou essa lacuna ao focar na realidade brasileira. A pesquisa foi conduzida por meio de uma revisão de literatura e uma análise comparativa com estudo de trabalhos acadêmicos e soluções de mercado desenvolvidos para SCs do Brasil.

O levantamento dessas iniciativas, tanto acadêmicas quanto de mercado, revela um movimento em direção à criação de soluções adaptadas às necessidades brasileiras, dada a complexidade e extensão geográfica das cadeias de suprimentos no país. No entanto, esse processo tem sido lento quando comparado com o mercado internacional. Os desafios discutidos nos trabalhos sob o contexto brasileiro se alinham com a literatura internacional, mas destacam algumas preocupações específicas, como a eventual eliminação de intermediários ou transparência “total” da cadeia.

Dentro desse contexto, com base nas principais dificuldades e barreiras identificadas neste estudo, pretende-se, como trabalhos futuros, elaborar um conjunto de requisitos arquiteturais que possam ser utilizados na definição de uma arquitetura geral de integração. A arquitetura a ser proposta poderá ser usada para orientar o desenvolvimento de soluções para

uma integração mais efetiva de tecnologias blockchains com sistemas legados de gestão, buscando-se reduzir os custos de implementação ao mesmo tempo que permitirá a interoperabilidade entre diferentes atores das SCs. Espera-se que a arquitetura facilite e oriente o desenvolvimento de soluções que melhorem a rastreabilidade, transparência e eficiência das cadeias de suprimentos brasileiras, impactando positivamente a segurança dos produtos e a confiança do consumidor.

REFERÊNCIAS

- ALSADI, M.; ARSHAD, J.; ALI, J.; PRINCE, A.; SHISHANK, S. Trucert: Blockchain-based trustworthy product certification within autonomous automotive supply chains. **Computers and Electrical Engineering**, v. 109, p. 108738. 2023. DOI 10.1016/j.compeleceng.2023.108738. Acesso em: 1 jul. 2024.
- ANDROULAKI, E.; BARGER, A.; BORTNIKOV, V.; CACHIN, C; et al. Hyperledger fabric: a distributed operating system for permissioned blockchains. In: Thirteenth EuroSys Conference (EuroSys '18). **Anais eletrônicos [...]**, 2018. p. 1–15. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, Article 30, DOI 10.1145/3190508.3190538. Acesso em: 1 jul. 2024.
- ARDEKANI; Z. F.; SOBHANI, S. M. J.; BARBOSA, M. W.; DE SOUSA, P. R. Transition to a sustainable food supply chain during disruptions: A study on the brazilian food companies in the covid-19 era. **International Journal of Production Economics**, v. 257, p. 108782. 2023. DOI 10.1016/j.ijpe.2023.108782. Acesso em: 1 jul. 2024.
- AVILA, I; FILHO, J. R. F.; PICCHI, V. V. Framework for governance tailoring: case study for a blockchain-based supply chain application. In: 2022 IEEE 1st Global Emerging Technology Blockchain Forum: Blockchain & Beyond (iGETblockchain). **Anais eletrônicos [...]**, 2022, p. 1-6. DOI 10.1109/iGETblockchain56591.2022.10087162. Acesso em: 1 jul. 2024.
- BARBOSA, M. W. Uncovering research streams on agri-food supply chain management: A bibliometric study. **Global Food Security**, v. 28, p. 100517. 2021. DOI 10.1016/j.gfs.2021.100517. Acesso em: 1 jul. 2024.
- BAYGIN, M.; YAMAN, O.; BAYGIN, N.; KARAKOSE, M. A blockchain-based approach to smart cargo transportation using uhf rfid. **Expert Systems with Applications**, v. 188, p. 116030. 2022. DOI 10.1016/j.eswa.2021.116030. Acesso em: 1 jul. 2024.
- BEHNKE, K.; JANSSEN, M. Boundary conditions for traceability in food supply chains using blockchain technology. **International Journal of Information Management**, v. 52, p. 101969. 2020. DOI 10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.025. Acesso em: 1 jul. 2024.
- BOSONA, T.; GEBRESENBET, G. The role of blockchain technology in promoting traceability systems in agri-food production and supply chains. **Sensors**, v. 23, n. 11. 2023. DOI 10.3390/s23115342. Acesso em: 1 jul. 2024.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (Anvisa). **Resolução - rdc nº 655, de 24 de março de 2022**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. 2022. Disponível em: <https://in.gov.br/web/dou/-/resolucao-rdc-n-655-de-24-de-marco-de-2022-389582898>. Acesso em: 30 mar. 2024. Acesso em: 1 jul. 2024.

- BUTERIN, V. Ethereum white paper. GitHub repository 1. 2013. Disponível em: https://ethereum.org/content/whitepaper/whitepaper-pdf/Ethereum_Whitepaper_-_Buterin_2014.pdf. Acesso em: 30 mar. 2024.
- CENTOBELLI, P.; CERCHIONE, R.; DEL VECCHIO, *et al.* Blockchain technology for bridging trust, traceability and transparency in circular supply chain. **Information & Management**, v. 59, n. 7, p. 103508. 2022. DOI 10.1016/j.im.2021.103508. Acesso em: 1 jul. 2024.
- CHOI, T.-M.; KUMAR, S.; YUE, X.; CHAN, H.-L. Disruptive technologies and operations management in the industry 4.0 era and beyond. **Production and Operations Management**, v. 31, n. 1, p. 9–31. 2022. DOI 10.1111/poms.13622. Acesso em: 1 jul. 2024.
- CHUA, P. H. T.; LI, Y.; HE, W. Adopting hyperledger fabric blockchain for epcglobal network. In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON RFID (RFID). **Anais eletrônicos [...]**, 2019, p. 1–8. DOI 10.1109/RFID.2019.8719271. Acesso em: 1 jul. 2024.
- COLE, R.; STEVENSON, M.; AITKEN, J. (). Blockchain technology: Implications for operations and supply chain management. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 24, n. 4, p. 469–483. 2019. DOI 10.1108/SCM-09-2018-0309. Acesso em: 1 jul. 2024.
- COSTA, H. J. D. M.; DA COSTA, C. A.; RIGHI, R. D. R.; *et al.* A Fog and Blockchain Software Architecture for a Global Scale Vaccination Strategy. **IEEE Access**, v. 10, p. 44290–44304, 2022. DOI 10.1109/ACCESS.2022.3169418. Acesso em: 1 jul. 2024.
- DASAKLIS, T. K.; VOUTSINAS, T. G.; TSOULFAS, G. T.; CASINO, F. A systematic literature review of blockchain-enabled supply chain traceability implementations. **Sustainability**, v. 14, n.4. 2022. DOI 10.3390/su14042439. Acesso em: 1 jul. 2024.
- DEMESTICHAS, K.; PEPPE, N.; ALEXAKIS, T.; ADAMOPOULOU, E. Blockchain in agriculture traceability systems: A review. **Applied Sciences**, v. 10, n.12, p. 4113. 2020. DOI 10.3390/app10124113. Acesso em: 1 jul. 2024.
- DESCOVI, G.; MARAN, V.; EBLING, D.; MACHADO, A. Towards a blockchain architecture for animal sanitary control. In: International Conference on Enterprise Information Systems, ICEIS. 2021. **Anais eletrônicos [...]**, 2021. v. 1, p. 305 – 312. DOI 10.5220/0010483303050312. Acesso em: 1 jul. 2024.
- DIETRICH, F.; LOUW, L.; PALM, D. Blockchain-based traceability architecture for mapping object-related supply chain events. **Sensors**, v. 23, n. 3. 2023. DOI 10.3390/s23031410. Acesso em: 1 jul. 2024.
- DINIZ, E. H.; YAMAGUCHI, J. A.; SANTOS, T. R. D.; *et al.* Greening inventories: Blockchain to improve the ghg protocol program in scope 2. **Journal of Cleaner Production**, v. 291, 2021. DOI 10.1016/j.jclepro.2021.125900. Acesso em: 1 jul. 2024.
- DOLGUI, A.; IVANOV, D.; POTRYASAEV, S.; *et al.* Blockchain-oriented dynamic modelling of smart contract design and execution in the supply chain. **International Journal of Production Research**, v. 58, n.7, p. 2184–2199. 2020. DOI 10.1080/00207543.2019.1627439. Acesso em: 1 jul. 2024.
- DUAN, J.; ZHANG, C.; GONG, Y.; *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. DOI 10.3390/ijerph17051784. Acesso em: 1 jul. 2024.
- FELIPPE, A. D.; DEMANBORO, A. C. Smart contracts and blockchain: An application model for traceability in the beef supply chain. **Smart Innovation, Systems and Technologies**, v. 201, p. 499 – 508, 2021. DOI 10.1007/978-3-030-57548-9_47. Acesso em: 1 jul. 2024.

GAI, K.; ZHANG, Y.; QIU, M.; *et al.* Blockchain-enabled service optimizations in supply chain digital twin. **IEEE Transactions on Services Computing**, v. 16, n. 3, p. 1673–1685. 2023. DOI 10.1109/TSC.2022.3192166. Acesso em: 1 jul. 2024.

GOLDMANN, J.; ZARERAVASAN, A.; HOSSEINI BAMAKAN, S. M. A conceptual model for the role of blockchain in overcoming supply chain challenges. In: Goundar, S.; Anandan, R. (eds.). **Integrating blockchain and artificial intelligence for industry 4.0 innovations**. Springer International Publishing. 2024. p. 31–68. DOI 10.1007/978-3-031-35751-0_3. Acesso em: 1 jul. 2024.

GOMES, R. O.; SANTOS, G. C. T. D.; ALBERTE, E. P. V.; *et al.* Blockchain-based framework for a smart supply chain management in construction. In: IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. **Anais eletrônicos [...] 2022**. v. 1101, n. 8, p. 082033. DOI 10.1088/1755-1315/1101/8/082033. Acesso em: 1 jul. 2024.

GONCZOL, P.; KATSIKOULI, P.; HERSKIND, L.; *et al.* Blockchain implementations and use cases for supply chains - A survey. **IEEE Access**, v. 8, p. 11856–11871. 2020. DOI 10.1109/ACCESS.2020.2964880. Acesso em: 1 jul. 2024.

GS1. **Gs1 global traceability standard**: Gs1's framework for the design of interoperable traceability systems for supply chains. (Release 2.0, Ratified No. Release 2.0, Ratified). GS1 Organization, 2017. Disponível em: https://www.gs1.org/sites/default/files/docs/traceability/GS1_Global_Traceability_Standard_i2.pdf. Acesso em: 1 jul. 2024.

HADER, M.; TCHOFFA, D.; MHAMED, A. E.; *et al.* Applying integrated blockchain and big data technologies to improve supply chain traceability and information sharing in the textile sector. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 28, p. 100345. 2022. DOI 10.1016/j.jii.2022.100345. Acesso em: 1 jul. 2024.

HASTIG, G. M.; SODHI, M. S. Blockchain for supply chain traceability: Business requirements and critical success factors. **Production and Operations Management**, v. 29, n. 4, p. 935-954. 2020. DOI 10.1111/poms.13147. Acesso em: 1 jul. 2024.

HELO, P.; HAO, Y. Blockchains in operations and supply chains: A model and reference implementation. **Computers & industrial engineering**, v. 136, p. 242–251. 2019. DOI 10.1016/j.cie.2019.07.023. Acesso em: 1 jul. 2024.

HELO, P.; SHAMSUZZOHA, A. Real-time supply chain—a blockchain architecture for project deliveries. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 63, p. 101909. 2020. DOI 10.1016/j.rcim.2019.101909. Acesso em: 1 jul. 2024.

ISO. **ISO 22005:2007 - traceability in the feed and food chain** - general principles and basic requirements for system design and implementation (tech. rep.). ISO, 2007. Disponível em: <https://webstore.ansi.org/standards/iso/iso220052007>. Acesso em: 1 jul. 2024.

KAMBLE, S. S.; GUNASEKARAN, A.; SHARMA, R. Modeling the blockchain enabled traceability in agriculture supply chain. **International Journal of Information Management**, v. 52, p. 101967. 2020. DOI 10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.023. Acesso em: 1 jul. 2024.

KUMAR, A. Blockchain technology dislocates traditional practice through cost cutting in international commodity exchange. In: _____. **Smart City Infrastructure**. John Wiley Sons, Ltd, 2022. Chap. 7, p. 185–204. ISBN 9781119785569. DOI 10.1002/9781119785569.ch7. Acesso em: 1 jul. 2024.

KWON, I.-W. G.; SUH, T. Factors affecting the level of trust and commitment in supply chain relationships. **Journal of supply chain management**, v. 40, n. 1, p. 4-14. 2004. DOI 10.1111/j.1745-493X.2004.tb00165.x. Acesso em: 1 jul. 2024.

- LIN, Q.; WANG, H.; PEI, X.; WANG, J. Food safety traceability system based on blockchain and EPCIS. **IEEE access**, v.7, p. 20698-20707. 2019. DOI 10.1109/ACCESS.2019.2897792. Acesso em: 1 jul. 2024.
- MATZEMBACHER, D. E.; DO CARMO STANGHERLIN, I.; SLONGO, L. A.; CATALDI, R. An integration of traceability elements and their impact in consumer's trust. **Food Control**, v. 92, p. 420-429. 2018. DOI 10.1016/j.foodcont.2018.05.014. Acesso em: 1 jul. 2024.
- MEIRELES, L.; DANTAS, M. Traceability technology using blockchain: An overview of food industries in the state of São Paulo, Brazil. **Open Science Research X**, v. 10, n. 1, p. 1497-1505. 2023. DOI 10.37885/230211938. Acesso em: 1 jul. 2024.
- MISRA, N. N.; DIXIT, Y.; AL-MALLAHI, A.; BHULLAR, M. S.; UPADHYAY, R.; MARTYNENKO, A. Iot, big data, and artificial intelligence in agriculture and food industry. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 9, n. 9, p. 6305-6324. 2022. DOI 10.1109/JIOT.2020.2998584. Acesso em: 1 jul. 2024.
- MONDAL, S.; WIJEWARDENA, K. P.; KARUPPUSWAMI, S.; KRITI, N.; KUMAR, D.; CHAHAL, P. Blockchain inspired rfid-based information architecture for food supply chain. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 6, n. 3, p. 5803-5813. 2019. DOI 10.1109/JIOT.2019.2907658. Acesso em: 1 jul. 2024.
- MONTEIRO, E.S.; RIGHI, R.D.R.; BARBOSA, J.L.V.; et al. Aptm: A model for pervasive traceability of agrochemicals. **Applied Sciences** (Switzerland), v.11, n.17, 2021. DOI 10.3390/app11178149. Acesso em: 1 jul. 2024.
- MUSAMIH, A.; SALAH, K.; JAYARAMAN, R.; ARSHAD, J.; DEBE, M.; AL-HAMMADI, Y.; ELLAHHAM, S. A blockchain-based approach for drug traceability in healthcare supply chain. **IEEE access**, v. 9, p. 9728-9743. 2021. DOI 10.1109/ACCESS.2021.3049920. Acesso em: 1 jul. 2024.
- NETO, J. G.; BARBOSA, R. C.; MARINO, F. C.; ZANUTIM, N. L. Prevention of medication loss through a marketplace and blockchain. In: 2019 2nd International Conference on Blockchain Technology and Applications (ICBTA '19), China. **Anais eletrônicos [...]**, New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2020. p. 124-128. DOI 10.1145/3376044.3376059. Acesso em: 1 jul. 2024.
- NYLAND, J. J. A. O. L.; BADEJO, M. S.; DE FARIA CORRÊA, R. G. Blockchain Application for Traceability and Olive Oil Production in Brazil; [Aplicação Blockchain para Rastreabilidade e Produção de Azeite no Brasil]. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 17, n. 8, 2023. DOI 10.24857/rgsa.v17n8-002. Acesso em: 1 jul. 2024.
- OLIVEIRA, F. C. D.; ZANONI, R.; DALLA-ROSA, R.; VERSCHOORE, J. R. Blockchain technology and relational gains in business interactions: a fuzzy set qualitative comparative analysis of supply chain specialists' perceptions. **International Journal of Advanced Operations Management**, v. 13, n. 4, p. 372 - 390, 2021. DOI 10.1504/IJAOM.2021.120777. Acesso em: 1 jul. 2024.
- OLSEN, P.; BORIT, M. How to define traceability. **Trends in food science & technology**, v. 29, n. 2, p. 142-150, 2013. DOI 10.1016/j.tifs.2012.10.003. Acesso em: 1 jul. 2024.
- POURNADER, S. S. M.; SHI, Y.; SEURING, S.; KOH, S. L. Blockchain applications in supply chains, transport and logistics: A systematic review of the literature. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 7, p. 2063-2081. 2020. DOI 10.1080/00207543.2019.1650976. Acesso em: 1 jul. 2024.
- QUEIROZ, M. M.; WAMBA, S. F.; BOURMONT, M. D.; TELLES, R. Blockchain adoption in operations and supply chain management: empirical evidence from an emerging economy.

- International Journal of Production Research**, v. 59, n. 20, p. 6087–6103, 2021. DOI 10.1080/00207543.2020.1803511. Acesso em: 1 jul. 2024.
- RAZAK, G. M.; HENDRY, L. C.; & STEVENSON, M. Supply chain traceability: A review of the benefits and its relationship with supply chain resilience. **Production Planning & Control**, v. 34, n. 11, p. 1114–1134, 2023. DOI 10.1080/09537287.2021.1983661. Acesso em: 1 jul. 2024.
- RISSO, L. A.; GANGA, G. M. D.; GODINHO FILHO, M.; *et al.* Present and future perspectives of blockchain in supply chain management: A review of reviews and research agenda. **Computers & Industrial Engineering**, v. 179, n. 109195, p. 109195, 2023. DOI 10.1016/j.cie.2023.109195. Acesso em: 1 jul. 2024.
- ROCHA, G. da S. R.; MÜHL, D. D.; CHINGAMBA, H. A.; *et al.* Blockchain, Quo Vadis? Recent Changes in Perspectives on the Application of Technology in Agribusiness. **Future Internet**, v. 15, n. 1, 2023. DOI 10.3390/fi15010038. Acesso em: 1 jul. 2024.
- SABERI, S.; KOUHIZADEH, M.; SARKIS, J.; & SHEN, L. Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. **International journal of production research**, v. 57, n. 7, p. 2117–2135, 2019. DOI 10.1080/00207543.2018.1533261. Acesso em: 1 jul. 2024.
- SANTOS, R. B. D.; TORRISI, N. M.; PANTONI, R. P. Third party certification of agri-food supply chain using smart contracts and blockchain tokens. **Sensors**, v. 21, n. 16, 2021. DOI 10.3390/s21165307. Acesso em: 1 jul. 2024.
- SHAHID, A.; ALMOGREN, A.; JAVAID, N.; *et al.* Blockchain-based agri-food supply chain: A complete solution. **IEEE Access**, v. 8, p. 69230–69243, 2020. DOI 10.1109/ACCESS.2020.2986257. Acesso em: 1 jul. 2024.
- SILVEIRA, V. A. D.; COSTA, S. R. R. D.; RESENDE, D. Blockchain Technology in Innovation Ecosystems for Sustainable Purchases through the Perception of Public Managers. **WSEAS Transactions on Business and Economics**, vol. 19, p. 790–804, 2022. DOI 10.37394/23207.2022.19.69. Acesso em: 1 jul. 2024.
- SUNNY, J.; UNDRALLA, N.; PILLAI, V. M. Supply chain transparency through blockchain-based traceability: An overview with demonstration. **Computers & Industrial Engineering**, v. 150, n. 106895, p. 106895, 2020. DOI 10.1016/j.cie.2020.106895. Acesso em: 1 jul. 2024.
- TIJAN, E.; AKSENTIJEVIC', S.; IVANIC', K.; & JARDAS, M. Blockchain technology implementation in logistics. **Sustainability**, v. 11, n. 4, p. 1185, 2019. DOI 10.3390/su11041185. Acesso em: 1 jul. 2024.
- TÖNNISSEN, S.; TEUTEBERG, F. Analysing the impact of blockchain-technology for operations and supply chain management: An explanatory model drawn from multiple case studies. **International Journal of Information Management**, v. 52, n. 101953, p. 101953, 2020. DOI 10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.009. Acesso em: 1 jul. 2024.
- VIVALDINI, M. Blockchain in operations for food service distribution: steps before implementation. **International Journal of Logistics Management**, v. 32, n. 3, p. 995–1029, 2021. DOI 10.1108/IJLM-07-2020-0299. Acesso em: 1 jul. 2024.
- WANG, G.; SHI, S.; WANG, M.; *et al.* Rf-chain: Decentralized, credible, and counterfeit-proof supply chain management with commodity RFIDs. **Proceedings of the ACM on interactive, mobile, wearable and ubiquitous technologies**, v. 6, n. 4, p. 1–28, 2023. DOI 10.1145/3569493. Acesso em: 1 jul. 2024.

WANG, Y.; CHEN, C. H.; ZGHARI-SALES, A. Designing a blockchain enabled supply chain. **International Journal of Production Research**, v. 59, n. 5, p. 1450–1475, 2020. DOI 10.1080/00207543.2020.1824086. Acesso em: 1 jul. 2024.

WANG, Y., HAN, J. H.; BEYNON-DAVIES, P. Understanding blockchain technology for future supply chains: A systematic literature review and research agenda. **Supply Chain Management: An International Journal**, v. 24, n. 1, p. 62–84, 2019. DOI 10.1108/SCM-03-2018-0148. Acesso em: 1 jul. 2024.

YAMAGUCHI, J. A. R.; SANTOS, T. R.; CARVALHO, A. P. D. Blockchain technology in renewable energy certificates in brazil. **BAR - Brazilian Administration Review**, v. 18, n. Special Issue, 2021. DOI 10.1590/1807-7692bar2021200069. Acesso em: 1 jul. 2024.

YAO, Q., ZHANG, H. Improving agricultural product traceability using blockchain. **Sensors**, v. 22, n. 9, p. 3388, 2022. DOI 10.3390/s22093388. Acesso em: 1 jul. 2024.

ZHANG, R.; XUE, R.; LIU, L. Security and privacy on blockchain. 2019. **ACM Computing Surveys (CSUR)**, v. 52, n. 3, p. 1–34, 2020. DOI 10.1145/3316481. Acesso em: 1 jul. 2024.

ZHENG, Q., LI, Y., CHEN, P., & DONG, X. An innovative ipfs-based storage model for blockchain. In: 2018 IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence (WI), 2018. **Anais eletrônicos [...]**, 2018. p. 704–708. DOI 10.1109/WI.2018.000-8. Acesso em: 1 jul. 2024.

ZOU, W.; LO, D.; KOCHHAR, P. S.; LE, X.-B. D.; *et al.* Smart contract development: Challenges and opportunities. **IEEE Transactions on Software Engineering**, v. 47, n. 10, p. 2084–2106, 2021. DOI 10.1109/TSE.2019.2942301. Acesso em: 1 jul. 2024.