

A TECNOLOGIA *BLOCKCHAIN* COMO FERRAMENTA DE RASTREABILIDADE EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS

BLOCKCHAIN TECHNOLOGY AS A TRACEABILITY TOOL IN SUPPLY CHAINS

Erik Carlos Ferreira da Rocha*  E-mail: rocha.erik.cf@gmail.com

Rodrigo Oliveira da Silva*  E-mail: oliveira.silva@facc.ufjf.br

Rebecca Impelizeri Moura da Silveira**  E-mail: rebecca.silveira@ufv.br

*Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), Juiz de Fora, MG, Brasil.

**Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, MG, Brasil.

Resumo: Criado em 2008 com o intuito de viabilizar transações financeiras sem a necessidade de uma terceira parte, geralmente uma instituição financeira, a tecnologia blockchain despertou interesse como uma ferramenta para aprimorar a rastreabilidade de ativos em cadeias de suprimentos, devido às propriedades inerentes de ser um livro razão imutável e distribuído. No entanto, a aplicação dessa tecnologia nesse contexto ainda está em estágios iniciais, com poucos casos de uso estabelecidos. Dessa forma, este estudo teve como objetivo identificar e avaliar os potenciais benefícios do uso da tecnologia blockchain como ferramenta para rastreabilidade em cadeias de suprimentos. Para atingir esse objetivo, foi realizada uma revisão sistemática da literatura sobre o tema, destacando benefícios como automatização dos processos de rastreabilidade, redução de fraudes, auditabilidade e certificação através da implementação da tecnologia blockchain. Além disso, foram considerados desafios técnicos e de governança e lacunas quanto à distribuição de informação, certificação e custo ao se empregar essa tecnologia.

Palavras-chave: Cadeia de suprimentos. Blockchain. Rastreabilidade. Revisão Sistemática.

Abstract: Developed in 2008 with the proposal of allowing financial transactions without a third party, usually a financial institution, blockchain technology ended up sparking interest as a tool for optimizing the traceability of supply chain assets, due to the inherent properties of being an immutable and distributed ledger. However, the use of blockchain technology in this scenario is still in development, with few use cases beyond the initial phases. Therefore, the objective of this study was to identify and evaluate the potential benefits of using blockchain technology as a tool for traceability in supply chains. This research carried out a systematic review of the literature that covers the topic and highlighted the benefits of automating traceability processes, reducing fraud, auditability and certification with the use of blockchain technology. Governance challenges and technical factors and gaps regarding the distribution of information, certification and cost when using this technology were also considered.

Keywords: Supply chain. Blockchain. Traceability. Systematic Review.

1. INTRODUÇÃO

O interesse crescente dos consumidores em conhecer a origem dos produtos tem colocado pressão sobre governos e empresas para encontrar maneiras eficientes e confiáveis de fornecer essas informações (Hughes *et al.*, 2019; Chang; Iakovou; Shi, 2019; Min; Zacharia; Smith, 2019). No entanto, a rastreabilidade nas cadeias de suprimentos não é um desafio recente, devido à complexidade das extensas cadeias globalizadas (GS1, 2017), agravada por sistemas de rastreabilidade que se concentram apenas nos fornecedores e consumidores diretamente envolvidos nas transações da empresa (Kilpatrick; Barter, 2020).

Além das limitações dos sistemas de rastreabilidade convencionais, pode-se citar, como exemplo, a pressão sobre as empresas exportadoras de proteína animal para aprimorarem a rastreabilidade em suas cadeias de suprimentos, especialmente para combater o desmatamento na Amazônia. Mesmo que essas empresas tenham controles sólidos sobre os fornecedores diretos, há ainda um monitoramento deficiente em relação aos fornecedores indiretos, frequentemente representados por pequenos produtores em áreas desmatadas (Phillips, 2020).

Problemas na rastreabilidade do fluxo de materiais e informações ao longo das cadeias de suprimentos resultam em coleta e análise inadequadas de dados, afetando a tomada de decisões e o controle de operações (Gunasekaran; Subramanian; Rahman, 2015; GS1, 2017), tornando as cadeias mais suscetíveis a interrupções (Ivanov; Dolgui; Sokolov, 2019), fraudes, falsificações (Hughes *et al.*, 2019), produtos contaminados (Mackey; Nayyar, 2017; Felin; Lakhani, 2018), entre outros desafios.

Com o objetivo de aumentar a transparência e a confiabilidade nas operações de rastreabilidade, as empresas têm procurado adotar a tecnologia *blockchain*. A confiabilidade dessa tecnologia reside na impossibilidade de alterar informações sem o conhecimento de todos os participantes da cadeia de suprimentos. A característica, de ser um livro razão imutável e distribuído entre os elos, aliada à sua eficácia quando utilizada em conjunto com sensores da Internet das Coisas (ou *IoT*, do termo *Internet of Things* em inglês) (Chen *et al.*, 2017; Kshetri, 2017; Hughes *et al.*, 2019), permite o compartilhamento abrangente de todas as movimentações dos ativos ao longo de todo o percurso na cadeia de suprimentos (Tapscott; Vargas, 2019).

Todavia, a implementação da tecnologia *blockchain* em cadeias de suprimentos ainda está em estágios iniciais, com poucos casos de uso registrados (Perboli; Musso; Rosano, 2018; Chang; Iakovou; Shi, 2019). Diante desse cenário, esse estudo busca identificar e avaliar quais os possíveis benefícios do emprego da tecnologia *blockchain* para as operações de rastreabilidade das cadeias de suprimentos.

Para atingir esse objetivo, foram realizadas as seguintes etapas: 1) identificar os principais estudos que abordam o uso da tecnologia *blockchain* nas operações de rastreabilidade das cadeias de suprimentos; 2) avaliar os benefícios da tecnologia *blockchain* para as operações de rastreabilidade; e 3) compreender os desafios associados à utilização da tecnologia *blockchain* como ferramenta para rastreabilidade.

Espera-se, assim, que esse trabalho possa condensar abordagens e possibilidades encontradas na literatura sobre o uso da tecnologia *blockchain* como alternativa para rastreabilidade nas cadeias de suprimentos. Além disso, pretende-se oferecer suporte à tomada de decisão dos gestores em relação ao emprego da tecnologia *blockchain*, e também servir como base para pesquisas futuras nesse campo.

A estrutura desse artigo compreende cinco seções, além desta seção 1, contendo a introdução: a seção 2 conceitua a tecnologia *blockchain* e explora os motivos de sua aplicação em cadeias de suprimentos; a seção 3 apresenta as ferramentas metodológicas que orientaram a seleção e análise dos artigos dessa pesquisa; a seção 4 comenta brevemente sobre cada artigo estudado; na seção 5, são destacados os potenciais benefícios e desafios associados ao uso da tecnologia; por fim, a pesquisa é concluída na seção 6.

2. BLOCKCHAIN: DA CRIAÇÃO AO USO EM CADEIAS DE SUPRIMENTOS

O *blockchain* é uma tecnologia que funciona como um livro razão distribuído e imutável, compartilhado entre os vários participantes de uma rede. Sua origem remonta à publicação, em 2008, de um artigo intitulado "*Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*" por um autor sob o pseudônimo de Satoshi Nakamoto (Nakamoto, 2008; Antonopoulos, 2016).

Inicialmente concebido para viabilizar transações financeiras digitais sem depender de uma autoridade central, como bancos, por exemplo (Antonopoulos, 2016;

Gaur *et al.*, 2018), o *blockchain* despertou interesse como uma ferramenta disruptiva que poderia possibilitar transações, financeiras ou não, sem a necessidade de intermediação de terceiros. Isso resultou na sua aplicação em diversos setores, como energia (Lacity, 2018), medicina diagnóstica (Zhu; Shi; Lu, 2019), mídias digitais (Plant, 2017), e cadeias de suprimentos (Kshetri, 2018; Chang; Iakovou; Shi, 2019; Vyas; Beije; Krishnamachari, 2019).

O *blockchain* consiste em uma rede interconectada de blocos, sendo cada bloco um conjunto de transações. Como uma forma de *DLT*¹ (*Distributed Ledger Technology*), cada participante da rede mantém uma cópia da cadeia de blocos. Através de um algoritmo de consenso, os participantes conseguem concordar sobre a validade das transações sem depender de uma autoridade central. Após esse processo, o bloco validado é adicionado ao final da cadeia de blocos (Antonopoulos, 2016; Vyas; Beije; Krishnamachari, 2019).

Esses algoritmos de consenso foram cruciais para resolver o problema do gasto duplo nas transações digitais tradicionais, eliminando a necessidade de entidades certificadoras para garantir que, por exemplo, o dinheiro não foi duplicado (Vyas; Beije; Krishnamachari, 2019).

Existem diversos algoritmos de consenso, divididos principalmente em: 1) sistemas de consenso cripto-econômicos, utilizados em criptomoedas, comumente utilizados em redes não permissionadas, e 2) os utilizados por redes permissionadas (Wüst; Gervais, 2018; Gaur *et al.*, 2018). O algoritmo de consenso por Prova de Trabalho (*Proof-of-Work*), utilizado pelo Bitcoin, é o mais conhecido. Ele envolve a resolução de um “quebra-cabeça” por tentativa e erro, com o nó que conseguiu realizar essa tarefa sendo recompensado com moedas, processo conhecido como mineração (Antonopoulos, 2016; Vyas; Beije; Krishnamachari, 2019).

Apesar de ser responsável pela segurança das redes de Bitcoin e outras criptomoedas, o consenso por Prova de Trabalho é lento. Além disso, por ser um sistema não autorizado, não há controle sobre a informação disponibilizada, o que pode torná-lo inadequado para implementações empresariais (O'leary, 2017; Gaur *et al.*, 2018; Lyons; Courcelas, 2020).

¹ Para fins desse trabalho, *blockchain* e *DLT* serão considerados como sinônimos.
Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v. 23, n. 3, e-5129, 2023.

Por razões regulatórias, econômicas e de escalabilidade, as empresas estão adotando sistemas permissionados ao explorar a tecnologia *blockchain*. Em tais sistemas, a participação na rede requer aceitação por uma empresa ou grupo de membros (consórcio), resultando em menor impacto em suas estruturas de governança (O'leary, 2017; Gaur *et al.*, 2018; Lyons; Courcelas, 2020).

Destaca-se também a capacidade da tecnologia *blockchain* de viabilizar os contratos inteligentes, concebidos por Nick Szabo em 1994 como “um protocolo de transação informatizado que executa os termos de um contrato” (Szabo, 1994, recurso online, tradução nossa). Apenas em 2015, com o surgimento do Ethereum, outra criptomoeda, tornou-se possível programar as regras e termos de um contrato de forma que, ao ser cumprido, o contrato seja automaticamente executado (Gaur *et al.*, 2018; Vyas; Beije; Krishnamachari, 2019). Os contratos inteligentes permitem a automação das regras de negócios (Hileman; Rauchs, 2017; Furlonger; Uzureau, 2019), resultando em ganhos de agilidade e redução de custos (Vyas; Beije; Krishnamachari, 2019).

A convergência dessas propriedades da tecnologia *blockchain* com a sinergia da Internet das Coisas (*IoT*) tem despertado o interesse das empresas na utilização da tecnologia *blockchain* como ferramenta para a rastreabilidade em cadeias de suprimentos (Bocek *et al.*, 2017; Chen *et al.*, 2017; Mackey; Nayyar, 2017; Kshetri, 2018; Chang; Iakovou; Shi, 2019).

Os sensores de *IoT* ao longo da cadeia de suprimentos possibilitam a coleta de informações sobre os produtos em trânsito, enquanto a tecnologia *blockchain* garante a integridade e distribui essas informações para os diversos participantes da cadeia, permitindo o acesso em tempo real às informações sobre os ativos (Chen *et al.*, 2017; Kshetri, 2017; Hughes *et al.*, 2019).

O uso da tecnologia *blockchain* para a rastreabilidade em cadeias de suprimentos tem ganhado destaque, atraindo o interesse de empresas como a rede varejista Walmart, que a empregou para otimizar o processo de *recall*, reduzindo o tempo de identificação de produtos contaminados (Felin; Lakhani, 2018; Kshetri, 2018). De forma semelhante, o Carrefour, outro varejista, utilizou a tecnologia *blockchain* para aumentar a transparência no transporte de frangos vendidos em suas lojas, permitindo que os consumidores finais acessem informações sobre esse transporte por meio de seus *smartphones*, via código QR (Chang; Iakovou; Shi, 2019).

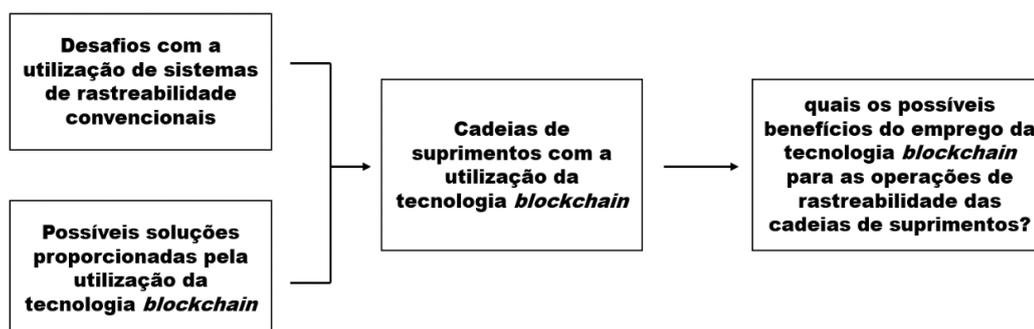
Outro exemplo inclui a *Blockchain in Transport Alliance (BiTA)*, uma parceria que reúne empresas como DHL, FedEx, UPS, entre outras do setor de transporte e logística, com o objetivo de usar a tecnologia *blockchain* para aprimorar a rastreabilidade da frota de caminhões e dos produtos transportados (Felin; Lakhani, 2018; Chang; Iakovou; Shi, 2019).

3. METODOLOGIA

Este estudo apresenta uma abordagem exploratória, utilizando a revisão sistemática como principal ferramenta de coleta de dados. Vale ressaltar a natureza multidisciplinar do tema da pesquisa, dado que esse trabalho se situa no cruzamento de duas esferas de conhecimento, a Tecnologia da Informação (TI) e a Gestão de Operações, motivando a escolha da base de dados Scopus. A Scopus é reconhecida como uma das maiores plataformas de artigos acadêmicos revisados por pares (SCOPUS, 2023) e oferece “a visão mais abrangente da produção de pesquisa do mundo nas áreas de ciência, tecnologia, medicina, ciências sociais e artes e humanidades” (Dresch; Lacerda; Júnior, 2015, p. 150).

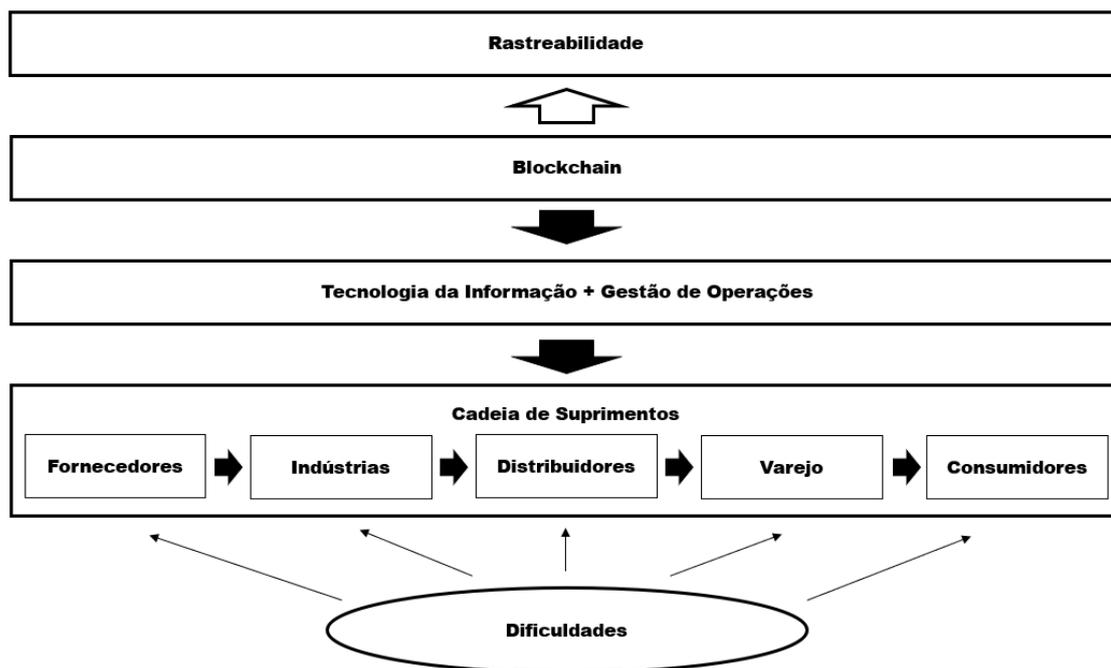
Segundo Dresch, Lacerda e Júnior (2015), as revisões sistemáticas necessitam da elaboração de um tema central (Figura 1) e o desenvolvimento de um *framework* conceitual (Figura 2) para balizar a escolha das palavras-chave. Ambos os processos estão ilustrados a seguir:

Figura 1 - Etapas para a construção do tema central



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 2 – Framework conceitual

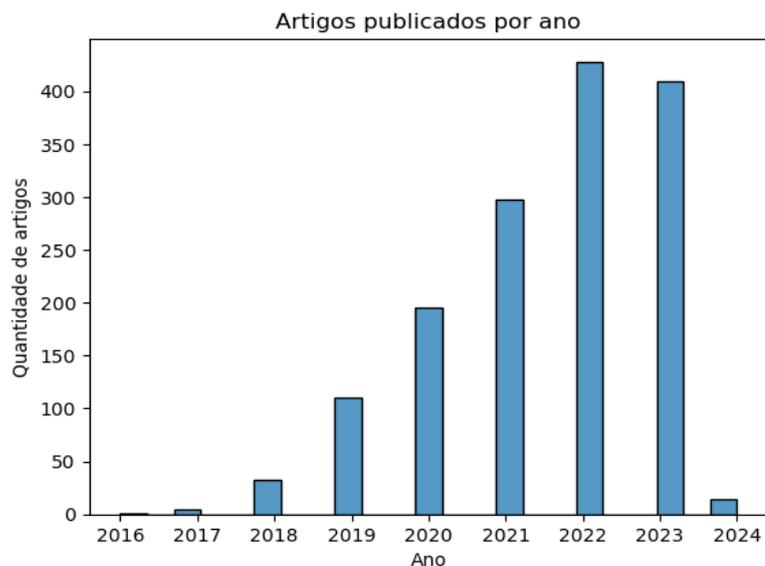


Fonte: Elaborado pelos autores.

Assim, baseado no *framework* conceitual, para a seleção dos artigos, utilizou-se a ferramenta de busca na pesquisa de títulos, resumos e palavras-chave, empregando as seguintes palavras-chave: ("*blockchain*" OR "*shared ledger*" OR "*distributed ledger*") AND "*supply chain*" AND "*traceability*". Dessa forma, com a utilização dos termos ("*blockchain*" OR "*shared ledger*" OR "*distributed ledger*") os resultados abrangeram trabalhos relacionados à tecnologia *blockchain* ou que utilizassem um de seus "sinônimos". O termo "*supply chain*" foi utilizado para direcionar a pesquisa a trabalhos específicos relacionados à cadeia de suprimentos, em vez de outras possíveis aplicações dessa tecnologia. Por fim, a escolha do termo "*traceability*" permitiu diferenciar os trabalhos centrados na rastreabilidade daqueles voltados para criptomoedas.

A pesquisa na Scopus, realizada em dezembro de 2023, resultou em 1492 artigos abrangendo o período de 2016 a 2023. Um primeiro filtro foi aplicado, selecionando apenas os seguintes tipos de documentos: trabalhos de conferências (*conference paper*), artigos (*article*) e revisões (*review*); na fase final de publicação (*final publication stage*). Esse refinamento resultou em 1232 trabalhos, organizados conforme apresentado no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Número de artigos por ano presentes na base de dados



Fonte: Elaborado pelos autores.

O Gráfico 1 evidencia que as publicações que abordam a tecnologia *blockchain* como uma ferramenta para a rastreabilidade em cadeias de suprimentos representam um fenômeno recente. Em 2016, apenas um trabalho foi publicado, com um crescimento significativo nos anos subsequentes, atingindo o pico de 428 publicações em 2022.

Dentre os 1232 trabalhos, foram escolhidos os 30 artigos mais citados, assim mesmo não sendo uma pesquisa exaustiva se supões que a pesquisa abrange adequadamente os artigos mais relevantes já publicados. Posteriormente, o método de triagem de artigos utilizado por Casino, Dasaklis e Patsakis (2018) foi adaptado para a análise. Os critérios para a seleção dos artigos a serem analisados estão detalhados no Quadro 1.

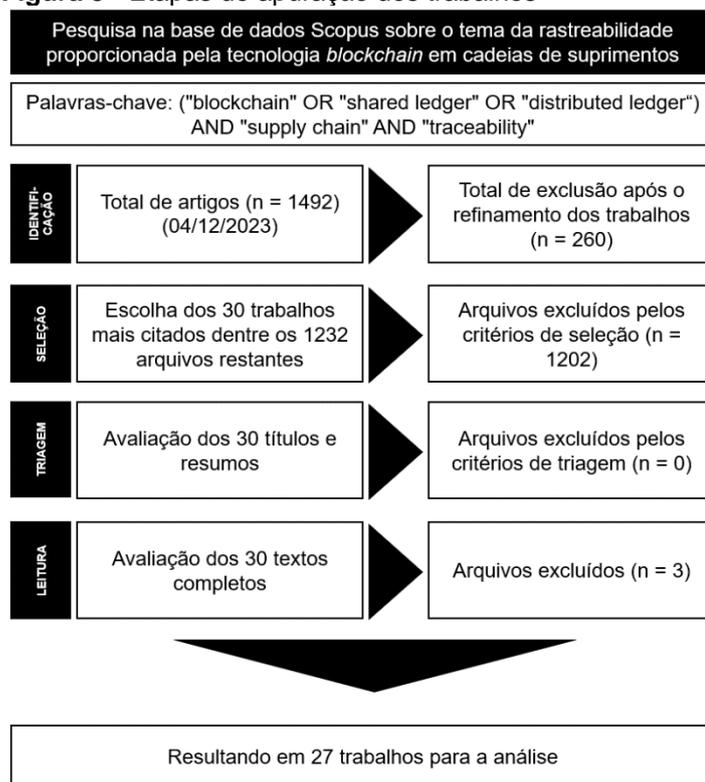
Quadro 1 - Etapas para a seleção dos artigos

| Etapa | Procedimento |
|---------------------|---|
| Seleção | Escolha dos 30 artigos mais citados |
| Triagem dos títulos | Exclusão dos trabalhos em que os títulos estavam direcionados para <i>finanças, criptomoedas</i> ou para a <i>arquitetura do software</i> |
| Triagem dos resumos | Exclusão dos trabalhos em que os resumos não se concentravam na <i>propriedade de rastreabilidade da tecnologia blockchain</i> |
| Leitura dos textos | Exclusão de textos técnicos que não abordam aspectos de gestão proporcionados pela ferramenta <i>blockchain</i> |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Após as fases de identificação, seleção, triagem e leitura, restaram 27 trabalhos para a análise dos impactos da utilização da tecnologia *blockchain* como ferramenta para a rastreabilidade em cadeias de suprimentos. A Figura 3 fornece uma síntese das etapas do processo de levantamento dos trabalhos.

Figura 3 - Etapas de apuração dos trabalhos



Fonte: Elaborado pelos autores.

A análise dos 27 textos selecionados foi por meio da análise de conteúdo, técnica elaborada por Bardin (2016) que consiste em:

(...) um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) dessas mensagens (BARDIN, 2016, p. 48).

O passo seguinte foi a categorização dos textos, envolvendo "uma operação de classificação de elementos constitutivos de um conjunto, por diferenciação e, em seguida, por reagrupamento segundo o gênero (analogia), com critérios previamente definidos" (Bardin, 2016, p. 147). Nesse sentido, os textos foram codificados com base em um conjunto de categorias temáticas estabelecidas previamente, ou seja, essas

categorias foram selecionadas antecipadamente a partir dos textos do referencial teórico.

4. RESULTADOS

Dentre os textos selecionados, observou-se a presença de diferentes tipos de trabalhos. Nos 27 trabalhos analisados foram identificados estudos aplicados, conforme apresentado no Quadro 2, que se concentram nos aspectos técnicos do *blockchain*. Esses estudos abordam tópicos como o desenvolvimento de infraestrutura para a rastreabilidade de produtos em cadeias de suprimentos, programação de contratos inteligentes, algoritmos de consenso, determinação de sensores a serem utilizados, entre outros.

Quadro 2 - Trabalhos com aplicações da tecnologia *blockchain* em cadeias de suprimentos

| Autores | Pontos-chave |
|----------------------------------|---|
| Tian (2016) | Desenvolvimento de um sistema descentralizado que alia <i>blockchain</i> e <i>RFID</i> para a rastreabilidade de produtos agroalimentares na China. |
| Tian (2017) | Elaboração de sistema descentralizado utilizando o <i>BigchainDB</i> , em união com as etiquetas de radiofrequência permitiriam rastrear o produto ao longo de toda a cadeia de suprimentos agroalimentar. |
| Lu e Xu (2017) | Criação do <i>OriginChain</i> , apresentação da arquitetura do sistema e discussões sobre o compartilhamento dos dados e a respeito dos contratos inteligentes. |
| Caro <i>et al.</i> (2018) | Desenvolvimento e aplicação do <i>AgriBlockIoT</i> , sistema de rastreabilidade descentralizada ponta a ponta para a cadeia de suprimentos alimentar. Testes comparativos usando o Ethereum e o <i>Hyperledger Sawtooth</i> também foram realizados. |
| Salah <i>et al.</i> (2019) | Projeto de estrutura com o uso do <i>blockchain</i> Ethereum e contratos inteligentes para a eliminação de intermediários nas cadeias de suprimentos de soja. |
| Bumblauskas <i>et al.</i> (2020) | Implementação do <i>blockchain</i> para a rastreabilidade de ovos nos EUA, tornando as informações do produto extraídas com os sensores <i>IoT</i> ao longo da cadeia de suprimentos acessível para os consumidores via código QR. |
| Venkatesh <i>et al.</i> (2020) | Desenvolvimento de sistema que faz uso do <i>blockchain</i> , aliada ao <i>IoT</i> e análises de <i>Big Data</i> , como ferramentas para inibir fraudes presentes em cadeias de suprimentos. Destacam a importância da auditabilidade proporcionada pelo <i>blockchain</i> em tornar as cadeias de suprimentos socialmente mais responsáveis. |

Fonte: Elaborado pelos autores.

A diversidade de arquiteturas de sistemas encontrada nos trabalhos pode refletir a ainda incipiente aplicação do sistema *blockchain* em cadeias de suprimentos. Dessa forma, muitos estudos buscam adaptar uma tecnologia originalmente desenvolvida para transações financeiras a fim de otimizar as operações de rastreabilidade de produtos em cadeias de suprimentos.

Conforme indicado no Quadro 3, também foram identificadas pesquisas exploratórias, nas quais foram conduzidas entrevistas com gestores com o objetivo de

identificar lacunas nas cadeias de suprimentos convencionais e, assim, entender como o *blockchain* poderia atender aos desafios elencados.

Quadro 3 - Trabalhos procurando entender como o emprego do *blockchain* pode otimizar as operações das cadeias de suprimento

| Autores | Pontos-chave |
|-------------------------------------|--|
| Azzi, Chamoun e Sokhn (2019) | Análise da tecnologia <i>blockchain</i> para a rastreabilidade de alimentos e produtos farmacêuticos. |
| Behnke e Janssen (2020) | Estudaram a cadeia de suprimentos do leite através do contato com gestores de quatro laticínios sobre a importância do compartilhamento das informações entre os diferentes negócios que venham a fazer uso da tecnologia <i>blockchain</i> . |
| Kamble, Gunasekaran e Sharma (2020) | Avaliaram 13 atributos proporcionados pela tecnologia <i>blockchain</i> . A rastreabilidade apareceu como o atributo mais relevante para o emprego em cadeias de suprimentos agroalimentares. |
| Dubey <i>et al.</i> (2020) | <i>Survey</i> com gestores de organizações não governamentais. Constatou que a utilização do <i>blockchain</i> possibilitaria a troca de informações mais seguras e o aperfeiçoamento da transparência. |
| Kouhizadeh, Saberi e Sarkis (2021) | Contato com acadêmicos e profissionais de gestão da cadeia de suprimentos constata as diferentes opiniões de ambos quanto ao emprego da tecnologia <i>blockchain</i> em cadeias de suprimentos. |
| Saurabh e Dey (2021) | <i>Survey</i> com atores presentes em cadeias de fornecimento de vinhos identifica a importância da rastreabilidade como fator crítico para adoção da tecnologia <i>blockchain</i> . Por fim, proposição de um modelo para o emprego da tecnologia <i>blockchain</i> . |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Vale ressaltar que esses estudos envolveram profissionais de cadeias de suprimentos convencionais, ou seja, sem a utilização da tecnologia *blockchain*, buscando compreender os desafios enfrentados por essas cadeias e, com base nos potenciais benefícios da tecnologia *blockchain*, apresentá-la como uma solução viável.

Além disso, um estudo descritivo foi identificado, no qual Azzi, Chamoun e Sokhn (2019) analisaram as cadeias de suprimentos das empresas Modum e Ambrosus, que fazem uso da tecnologia *blockchain* para a rastreabilidade de alimentos e produtos farmacêuticos. O estudo comparou os diferentes sistemas *blockchain* para rastreabilidade utilizados por ambas as empresas, destacando as vantagens e desafios de cada um.

No Quadro 4, são apresentados os trabalhos conceituais, nos quais são pressupostos determinados atributos inerentes à tecnologia *blockchain*, possibilitando, por meio desses atributos, a resolução de desafios técnicos ou de gerenciamento existentes nas cadeias de suprimentos.

Quadro 4 - Trabalhos conceituais

| Autores | Pontos-chave |
|---------------------------------------|--|
| Saberi <i>et al.</i> (2019) | Concentraram-se nos benefícios sustentáveis do uso da tecnologia <i>blockchain</i> . Apresentação dos desafios para o emprego da tecnologia <i>blockchain</i> . |
| Galvez, Mejuto e Simal-Gandara (2018) | Apresentou os benefícios da utilização do <i>blockchain</i> como ferramenta para otimizar a rastreabilidade e a autenticidade das informações em diversas etapas da cadeia de suprimentos. |
| Al-Jaroodi e Mohamed (2019) | Observaram os diversos setores em que a tecnologia <i>blockchain</i> pode ser aplicada, como: na saúde, logística, cadeia de suprimentos de alimentos, entre outras. Desafios de segurança, escalabilidade e integração também são comentados. |
| Tse <i>et al.</i> (2018) | Avaliaram os benefícios do emprego da tecnologia <i>blockchain</i> a partir do ponto de vista político, econômico, social e tecnológico. |
| Hastig e Sodhi (2020) | Identificaram e analisaram os fatores críticos para o sucesso da implementação da tecnologia <i>blockchain</i> na perspectiva das empresas focais. Desafios técnicos e de governança são apresentados. |

Fonte: Elaborado pelos autores.

Os trabalhos conceituais tinham como objetivo o desenvolvimento teórico sobre a aplicação da tecnologia *blockchain* em cadeias de suprimentos. Esses estudos exploraram diferentes perspectivas ao abordar cadeias de suprimentos, destacando a importância da tecnologia *blockchain* e evidenciando possíveis desafios técnicos e de governança.

No Quadro 5, são apresentadas as revisões bibliográficas, nas quais um conjunto criterioso de artigos sobre a tecnologia *blockchain* em cadeias de suprimentos foi reunido. O objetivo dessas revisões foi examinar como a tecnologia está sendo utilizada, em quais áreas específicas, quais os resultados das aplicações, entre outros aspectos relevantes.

Quadro 5 - Revisões bibliográficas

| Autores | Pontos-chave |
|-----------------------------------|--|
| Astill <i>et al.</i> (2019) | Avaliam a sinergia entre os dispositivos <i>IoT</i> e a tecnologia <i>blockchain</i> como solução para incrementar a rastreabilidade em cadeias de suprimentos agroalimentares |
| Rejeb, Keogh e Treiblmaier (2019) | Avaliam o impacto da tecnologia <i>blockchain</i> em combinação com os dispositivos <i>IoT</i> em alguns pontos, como: auditabilidade, eficiência no fluxo de informações e rastreabilidade. |
| Wang, Han e Beynon-Davies (2019) | Constatarem que os ganhos na confiabilidade das informações é o fator de maior relevância para o interesse do emprego da tecnologia <i>blockchain</i> em cadeias de suprimentos. |
| Pournander <i>et al.</i> (2020) | Identificaram quatro grupos de trabalhos no que tange ao <i>blockchain</i> : Tecnologia, Confiança, Comércio e Rastreabilidade/Transparência. Destacaram a sinergia do <i>IoT</i> e etiquetas de radiofrequência de otimizarem a rastreabilidade em conjunto com o <i>blockchain</i> e a capacidade da tecnologia de impulsionar as relações comerciais. |
| Antonucci <i>et al.</i> (2019) | Constatarem a pouca presença de casos reais de usos da tecnologia <i>blockchain</i> em cadeias de suprimentos alimentares. Desafios de governança para os modelos de negócio também são apontadas. |

| | |
|---------------------------------|---|
| Bodkhe <i>et al.</i> (2020) | Aborda questões de falsificação, autenticidade e ineficiência em vários setores, o <i>blockchain</i> fornece rastreamento à prova de falsificação, manutenção segura de informações e gerenciamento eficiente da cadeia de suprimentos, aumentando, em última análise, a transparência e a confiança. |
| Chang e Chen (2020) | Revela como as pesquisas sobre a aplicação da tecnologia <i>blockchain</i> em cadeias de suprimentos ainda se encontram em fases iniciais e destaca a necessidade de mais estudos empíricos. |
| Feng <i>et al.</i> (2020) | Revisão bibliográfica para a proposição de uma arquitetura em três camadas de um sistema <i>blockchain</i> para a rastreabilidade de alimentos. |
| Sunny; Undralla e Pillai (2020) | Explora a rastreabilidade do <i>blockchain</i> , discutindo cenários, soluções, benefícios e limitações. Enfatiza o papel da <i>IoT</i> e dos contratos inteligentes no aumento da transparência e rastreamento, e inclui uma Prova de Conceito para um cenário de cadeia de frio de medicamentos. |

Fonte: Elaborado pelos autores.

É importante ressaltar que, nos 27 trabalhos analisados, não foi incomum encontrar estudos que combinaram mais de um tipo de pesquisa. A seguir, apresenta-se a discussão sobre o conjunto de trabalhos selecionados.

5. DISCUSSÃO

5.1 Rastreabilidade

Os artigos selecionados indicam um crescente interesse nos últimos anos em utilizar a tecnologia *blockchain* para aprimorar a rastreabilidade em cadeias de suprimentos (Azzi; Chamoun; Sokhn, 2019; Pournader *et al.*, 2020). Esse interesse tem sido notável especialmente em setores como cadeias alimentares (Tian, 2016; Tian, 2017; Caro *et al.*, 2018; Galvez; Mejuto; Simal-Gandara, 2018; Al-Jaroodi; Mohamed, 2019; Bodkhe *et al.* 2020; Saurabh; Dey, 2021), farmacêuticas (Azzi; Chamoun; Sokhn, 2019; Hastig; Sodhi, 2020; Sunny; Undralla; Pillai, 2020), diamantes (Wang; Han; Beynon-Davies, 2019) e manufatura aditiva (Al-Jaroodi; Mohamed, 2019).

Ao ser um livro razão compartilhado entre diversos participantes na cadeia de suprimentos, a tecnologia *blockchain* possibilita que os envolvidos acompanhem as transações de um produto de maneira mais transparente e auditável, resultando em ganhos de confiança e segurança para os participantes da cadeia de suprimentos (Al-Jaroodi; Mohamed, 2019; Antonucci *et al.*, 2019; Salah *et al.*, 2019; Bodkhe *et al.* 2020).

Nesse contexto, conforme destacado por Saberi *et al.* (2019), o uso da tecnologia *blockchain* viabiliza a obtenção em tempo real de informações detalhadas sobre o que, como, quanto, onde e de quem é o produto, sem depender de uma

entidade centralizada ou certificadora. A maior visibilidade proporcionada pela tecnologia *blockchain*, aliada à coleta de dados pelos sensores *IoT*, permite o monitoramento das condições físicas ou químicas às quais os produtos estão expostos (Galvez; Mejuto; Simal-Gandara, 2018; Pournader *et al.*, 2020).

Outro aspecto notável nas fontes consultadas é a capacidade de agilizar a identificação de produtos, reduzindo o impacto dos custos operacionais, como no caso de *recalls* (Galvez; Mejuto; Simal-Gandara, 2018; Rejeb; Keogh; Treiblmaier, 2019; Bumblauskas *et al.*, 2020), minimizando riscos de contaminações (Wang; Han; Beynon-Davies, 2019) e permitindo a identificação dos responsáveis por violações das condições de produção, transporte e armazenamento (TSE *et al.*, 2018).

Destaca-se, por exemplo, o caso das cadeias de suprimentos farmacêuticas, especialmente as cadeias frias (Pournader *et al.*, 2020; Sunny; Undralla; Pillai, 2020). Azzi, Chamoun e Sokhn (2019) apresentam o exemplo da empresa Modum, onde sensores *IoT* possibilitam o monitoramento das condições de temperatura dos medicamentos transportados, enquanto os recursos da tecnologia *blockchain*, como contratos inteligentes, conferem credibilidade às informações acessadas por *smartphones* durante o recebimento das mercadorias.

5.2 Cadeia de suprimento de alimentos

Entre os trabalhos compilados, as cadeias de suprimentos de alimentos foram as que mais receberam atenção no que se refere ao uso da tecnologia *blockchain*. Diversos estudos exploraram a viabilidade de empregar o *blockchain* para a rastreabilidade em diferentes setores, como carnes (Tian, 2016), ovos (Bumblauskas *et al.*, 2020), frutas (TIAN, 2016), vegetais (Caro *et al.*, 2018), leite (Behnke; Janssen, 2020), soja (Salah *et al.*, 2019), vinhos (Saurabh; Dey, 2021), e outros produtos alimentícios.

A capacidade do *blockchain* em rastrear e registrar o histórico dos alimentos ao longo de toda a cadeia de suprimentos (Caro *et al.*, 2018; Astill *et al.*, 2019; Saberi *et al.*, 2019; Bumblauskas *et al.*, 2020) despertou o interesse de várias empresas nas cadeias de suprimentos de alimentos. Em cadeias agroalimentares, por exemplo, essa tecnologia possibilita o acompanhamento dos produtos desde a fazenda até o consumidor final (*farm-to-fork*) (Caro *et al.*, 2018), proporcionando uma maior transparência e confiabilidade que, por sua vez, aumenta a segurança dos produtos

agroalimentares (Galvez; Mejuto; Simal-Gandara, 2018; Al-Jaroodi; Mohamed, 2019; Wang; Han; Beynon-Davies, 2019; Bodkhe *et al.* 2020).

A transparência resultante do uso da tecnologia *blockchain* permite que diversos participantes em cadeias de suprimentos agroalimentares compartilhem informações relacionadas aos produtos, como características do solo, sementes, clima (Kamble; Gunasekaran; Sharma, 2020; Caro *et al.*, 2018), e também informações comerciais, como preços, oferta e demanda, entre outros (Kamble; Gunasekaran; Sharma, 2020).

Além disso, atende às demandas dos consumidores, permitindo que consumam alimentos mais seguros e melhorando as relações comerciais, com esses mesmos consumidores, ao fornecer informações confiáveis, atendendo à crescente exigência por informações sobre a procedência do produto. Isso é possibilitado pela verificação via *smartphones*, por meio de códigos QR, que revelam a origem do alimento (Tse *et al.*, 2018; Bumblauskas *et al.*, 2020).

5.3 Auditabilidade e descentralização na redução de fraudes

Considerando a imutabilidade das informações adicionadas à cadeia de blocos distribuída, torna-se possível criar trilhas de auditorias (Lu; Xu, 2017; Galvez; Mejuto; Simal-Gandara, 2018; Rejeb; Keogh; Treiblmaier, 2019). Isso faz com que a tecnologia *blockchain* se torne uma ferramenta relevante no combate a fraudes e falsificações, pois permite a verificação das informações de cada transação pelos próprios participantes da cadeia de suprimentos (Caro *et al.*, 2018; Bodkhe *et al.* 2020), empresas externas ou órgãos governamentais e reguladores (Tian, 2016; TSE *et al.*, 2018).

Além do que, a capacidade de incluir órgãos governamentais, entidades reguladoras (Tian, 2017), e organizações do terceiro setor (Venkatesh *et al.*, 2020) como nós ou participantes em consórcios de empresas (Kouhizadeh; Saberi; Sarkis, 2021) descentraliza o acesso à informação, tornando-a interorganizacional e, conseqüentemente, mais transparente (Tian, 2017; Venkatesh *et al.*, 2020; Kouhizadeh; Saberi; Sarkis, 2021).

Assim, as características da tecnologia *blockchain* possibilitam o acesso ao histórico de conformidade dos fornecedores (Venkatesh *et al.*, 2020) e garantem a autenticidade das informações coletadas, sendo uma ferramenta importante para

cadeias de suprimentos suscetíveis a adulterações, como a cadeia agroalimentar (GALVEZ; MEJUTO; SIMAL-GANDARA, 2018; AL-JAROODI; MOHAMED, 2019; SALAH *Et Al.*, 2019; BODKHE *et al.* 2020; Bumblauskas *et al.*, 2020), farmacêutica (Azzi; Chamoun; Sokhn, 2019; Wang; Han; Beynon-Davies, 2019), artigos de luxo (Azzi; Chamoun; Sokhn, 2019; Wang; Han; Beynon-Davies, 2019), entre outras.

5.4 Contratos inteligentes

A tecnologia *blockchain* viabilizou o uso de contratos inteligentes (Gaur *et al.*, 2018; Vyas; Beije; Krishnamachari, 2019). Lu e Xu (2017) destacam que esses contratos podem ser a codificação de acordos legais, representando as regras dos serviços e permitindo a verificação automática das transações em conformidade com as regulamentações.

A avaliação automática da conformidade das operações de rastreabilidade em relação às regulamentações possibilita que as cadeias de suprimentos assegurem práticas éticas e sustentáveis (Saber *et al.*, 2019). Esses contratos também permitem a automação da validação de informações e transações (Galvez; Mejuto; Simal-Gandara, 2018; Chang; Chen, 2020; Saurabh; Dey, 2021).

Assim, a automatização de pagamentos pode ocorrer quando as condições preestabelecidas nos contratos inteligentes são atendidas (Pournader *et al.*, 2020; Saurabh; Dey, 2021). Por exemplo, na empresa Modum, no momento da entrega de um medicamento, se os sensores *IoT* não identificarem alterações na temperatura durante o transporte, o pagamento pode ser acionado automaticamente, junto com os documentos do produto.

Sensores que detectam variações de temperatura fora dos padrões estipulados nos contratos inteligentes podem emitir alertas às partes interessadas nas cadeias de suprimentos (Caro *et al.*, 2018; Galvez; Mejuto; Simal-Gandara, 2018). Além disso, em caso de identificação de fraudes, os contratos inteligentes podem ser programados para rejeitar o produto e impor penalizações ao responsável pela adulteração (Salah *et al.*, 2019).

5.5 Desafios de governança

Muitos dos desafios de governança relacionados ao uso da tecnologia *blockchain* como ferramenta para rastreabilidade em cadeias de suprimentos estão

intimamente ligados às dificuldades associadas à descentralização e compartilhamento de informações (Furlonger; Uzureau, 2019; Kouhizadeh; Saberi; Sarkis, 2021).

Ou seja, as empresas enfrentam obstáculos ao compartilhar informações de transações com outros participantes, motivados por preocupações comerciais, como a proteção de segredos comerciais, e questões regulatórias (Al-Jaroodi; Mohamed, 2019; Astill *et al.*, 2019; Wang, Han; Beynon-Davies, 2019; Behnke; Janssen, 2020; Chang; Chen, 2020; Hastig; Sodhi, 2020; Sunny; Undralla; Pillai, 2020; Kouhizadeh; Saberi; Sarkis, 2021).

Como exemplo, pode-se citar as leis como a Regulação Geral de Proteção de Dados (*GDPR - General Data Protection Regulation* em inglês) na Europa que visam garantir a segurança dos dados, podem criar barreiras à completa descentralização, uma vez que podem entrar em conflito com a imutabilidade inerente ao *blockchain*. Portanto, os gestores devem cuidadosamente considerar quais dados devem ser incluídos nas cadeias de blocos (Lu; Xu, 2017).

Além dos desafios relacionados ao compartilhamento de informações, há questões sobre a seleção de empresas para integrar a rede, o processo de adição de novas empresas e os procedimentos para remover uma empresa da rede (Gaur *et al.*, 2018; Wang; Han; Beynon-Davies, 2019). No entanto, as respostas para essas questões podem variar entre diferentes cadeias de suprimentos e casos específicos de adoção.

5.6 Desafios técnicos

Os trabalhos também abordaram os desafios técnicos associados ao uso da tecnologia *blockchain*, muitos dos quais são reflexo da sua imaturidade na aplicação em cadeias de suprimentos. Por exemplo, surgem dúvidas sobre o desempenho devido ao número de transações por segundo necessárias nas operações diárias de rastreabilidade nas cadeias de suprimentos (Tian, 2016; Lu; Xu, 2017; Rejeb; Keogh; Treiblmaier, 2019; Wang, Han; Beynon-Davies, 2019; Feng *et al.*, 2020). No entanto, esse desafio pode ser minimizado com o uso de sistemas *blockchain* permissionados (Lu; Xu, 2017; Rejeb; Keogh; Treiblmaier, 2019; Wang, Han; Beynon-Davies, 2019).

Considerando que grande parte dos desenvolvimentos foram provenientes de projetos pilotos, surgiram preocupações sobre a escalabilidade do *blockchain* ao

estender a tecnologia para um maior número de participantes, o que poderia resultar na expansão da cadeia de blocos a cada transação e, conseqüentemente, perdas de desempenho (Al-Jaroodi; Mohamed, 2019; Azzi; Chamoun; Sokhn, 2019; Salah *et al.*, 2019).

Questões relacionadas à interoperabilidade com outros sistemas de informação empresarial, como *ERP (Enterprise Resource Planning)* e *CRM (Customer Relationship Management)* (Al-Jaroodi; Mohamed, 2019; Feng *et al.*, 2020), bem como desafios nos mecanismos de consenso, também foram apresentadas (Lu; Xu, 2017; Caro *et al.*, 2018; Azzi; Chamoun; Sokhn, 2019).

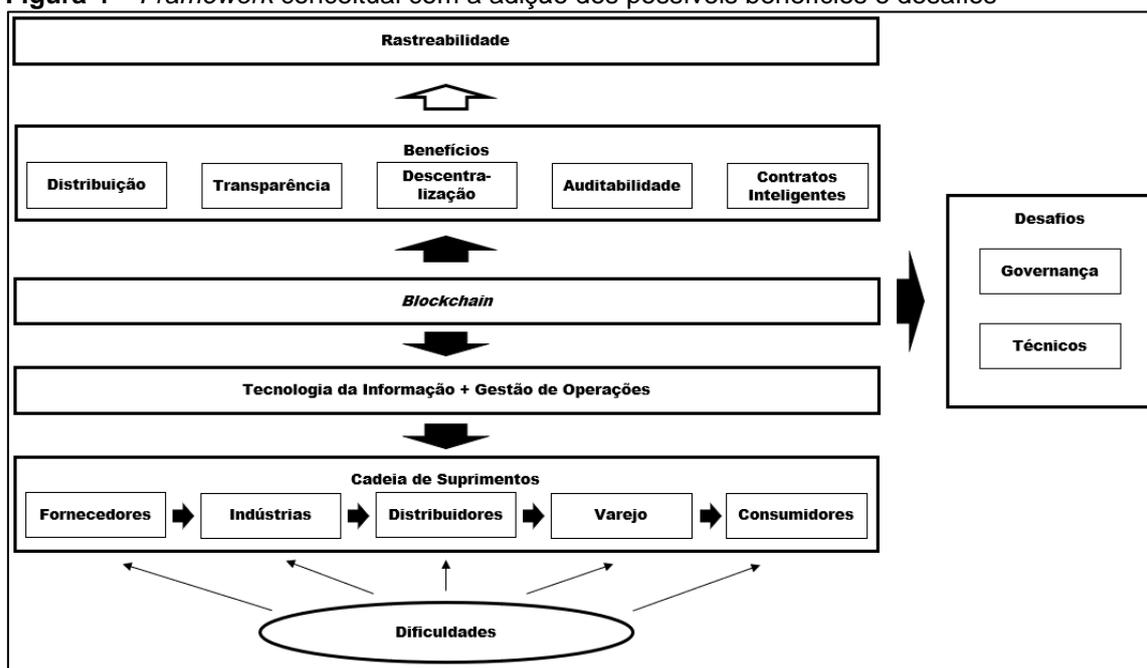
Outro ponto discutido foi a necessidade de cuidado com os dados adicionados ao livro razão. Medições incorretas por sensores com defeito, descuido de funcionários ou fraudes nos registros dos dados podem ser propagados pela rede como informações "autênticas". Afinal, a tecnologia *blockchain* resolve problemas na transmissão de informações, não na detecção (Galvez; Mejuto; Simal-Gandara, 2018; Rejeb; Keogh; Treiblmaier, 2019; Sunny; Undralla; Pillai, 2020).

Além disso, destacaram-se preocupações em relação ao custo da infraestrutura de TI necessária para a implementação da tecnologia (Tian, 2016; Lu; Xu, 2017; Galvez; Mejuto; Simal-Gandara, 2018; Astill *et al.*, 2019; Kamble; Gunasekaran; Sharma, 2020; Venkatesh *et al.*, 2020). Este pode ser um desafio, especialmente ao expandir a implementação para pequenos negócios, e há também a escassez de mão de obra especializada para configurar redes *blockchain* e programar contratos inteligentes (Al-Jaroodi; Mohamed, 2019; Kamble; Gunasekaran; Sharma, 2020).

5.7 Framework conceitual

A partir dos trabalhos reunidos foi possível atualizar o *framework* conceitual apresentado na Figura 2 com os potenciais benefícios da utilização da tecnologia *blockchain* e, também seus desafios, conforme a Figura 4, a seguir:

Figura 4 – *Framework* conceitual com a adição dos possíveis benefícios e desafios



Fonte: Elaborado pelos autores.

A tecnologia *blockchain* proporciona melhoria da visibilidade das operações de rastreabilidade para os vários participantes da cadeia de suprimentos, especialmente quando combinada com sensores de *IoT*. Essa sinergia entre ambas as tecnologias possibilita o acompanhamento do produto ao longo de sua jornada até o consumidor final.

Além do rastreamento eficiente de produtos, a tecnologia *blockchain* desempenha um papel crucial na prevenção de fraudes. As propriedades de distribuição e descentralização da informação permite a formação das trilhas de auditoria que facilitam a rastreabilidade da origem do produto, dificultando a ocorrência de produtos falsificados. Destaca-se também a importância dos contratos inteligentes, que contribuem para a redução de custos nas operações de rastreabilidade ao automatizar transações e validar dados, reduzindo a dependência da intervenção humana e permitindo a eliminação de intermediários.

No entanto, a pesquisa identificou desafios, como a complexidade de conciliar a governança descentralizada inerente à tecnologia *blockchain* com *compliance* exigido nas operações de rastreabilidade das cadeias de suprimentos, bem como desafios técnicos decorrentes da imaturidade da tecnologia.

6. QUESTÕES E DESAFIOS EM ABERTO

Nesta seção, destacamos as questões em aberto e os desafios em alguns domínios de aplicação, como rastreabilidade, contratos inteligentes e distribuição da informação.

6.1 Rastreabilidade

Vários estudos abordam os potenciais benefícios do emprego da tecnologia *blockchain* nas operações de rastreabilidade. No entanto, devido à natureza recente e experimental de sua implementação, há uma carência de pesquisas que tenham conseguido quantificar os ganhos em termos de custo, tempo, eficiência e outros parâmetros ao utilizar essa tecnologia em relação às tecnologias convencionais.

6.2 Distribuição da informação

Por ser um livro razão distribuído, a tecnologia *blockchain* pode entrar em conflito com muitos aspectos legais, como a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD) brasileira, quanto ao risco de expor segredos comerciais. Assim, é importante encontrar um equilíbrio entre a descentralização necessária para ganhos de confiança entre os participantes, que vão além do uso de tecnologias convencionais, e a conformidade com as normas exigidas para operações de rastreabilidade. Esse meio termo é essencial para garantir uma implementação eficaz da tecnologia *blockchain* nas cadeias de suprimentos.

6.3 Certificação

As particularidades da tecnologia *blockchain* que permitem a criação das trilhas de auditorias e a certificação de produtos podem ter importância para variadas cadeias de suprimentos brasileiras, como na certificação de madeiras nobres extraídas da Amazônia ou para produtos com indicação de procedência como os queijos originários da Serra da Canastra.

6.4 Custo

A aplicação da tecnologia *blockchain*, especialmente quando integrada aos sensores de *IoT*, geralmente está direcionada para a indústria 4.0, revelando assim seu potencial de transformação digital. Contudo, o substancial investimento em

infraestrutura de TI necessário para a implementação pode representar uma barreira, tornando-se um desafio para extensas cadeias de suprimentos, como é o caso das cadeias produtoras de leite nacionais. Nessas cadeias, que envolvem a participação de pequenos, mas diversos produtores rurais, a falta de recursos por parte desses produtores pode dificultar a adoção em larga escala dessa tecnologia.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa em questão teve como objetivo aprofundar a compreensão dos benefícios potenciais do uso da tecnologia *blockchain* nas operações de rastreabilidade das cadeias de suprimentos. A revisão sistemática realizada, por meio de uma cuidadosa seleção de trabalhos acadêmicos, proporcionou *insights* significativos sobre o papel fundamental da tecnologia *blockchain* na melhoria da visibilidade das operações de rastreabilidade para os vários participantes da cadeia de suprimentos, especialmente quando combinada com sensores de *IoT*.

Assim, esse trabalho pode ser dividido em quatro partes: a primeira destaca como uma tecnologia voltada para a solução de desafios no sistema financeiro passou a ter importância como ferramenta para a rastreabilidade em cadeias de suprimentos. A segunda parte, apresenta uma breve síntese dos artigos reunidos pela revisão sistemática.

Em terceiro, discute-se os principais pontos identificados nos artigos selecionados sobre a rastreabilidade com a tecnologia *blockchain*, a possibilidade de auditabilidade e descentralização da informação, a importância dos contratos inteligentes, além dos desafios técnicos e de governança. Também é desenvolvido um *framework* conceitual que integra essas informações. Na quarta e última parte, são apresentados as questões e desafios em aberto quanto à rastreabilidade, distribuição da informação, certificação e custo ao se utilizar a tecnologia *blockchain* em cadeias de suprimentos.

Vale ressaltar que o emprego da tecnologia *blockchain* em cadeias de suprimentos ainda se encontra em suas fases iniciais, dessa forma, espera-se que esse trabalho possa nortear futuras pesquisas, assim como, auxiliar os gestores que tenham interesse em adotar a tecnologia *blockchain* como ferramenta para as operações de rastreabilidade.

Para trabalhos futuros sugere-se investigar e propor soluções para os desafios entre a governança e a descentralização; compreender como se dá a adoção da tecnologia *blockchain* em larga escalas e pesquisas no âmbito nacional. Pode-se vislumbrar, por exemplo, se as particularidades da tecnologia *blockchain* são promissoras para a rastreabilidade de madeira extraída da Amazônia ou a viabilidade para estender a tecnologia aos pequenos negócios, como os pequenos agricultores brasileiros devido a infraestrutura necessária de TI.

REFERÊNCIAS

AL-JAROODI, J., MOHAMED, N. Blockchain in industries: A survey. **IEEE Access**, v. 7, p. 36500-36515, 2019.

ANTONOPOULOS, A. M. **Mastering Bitcoin Open Edition**. 2016.

ANTONUCCI, F., *et al.* A review on blockchain applications in the agri-food sector. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, n. 14, p. 6129-6138, 2019.

ASTILL, J. *et al.* Transparency in food supply chains: A review of enabling technology solutions. **Trends in Food Science & Technology**, v. 91, p. 240-247, 2019.

AZZI, R., CHAMOUN, R. K., SOKHN, M. The power of a blockchain-based supply chain. **Computers and Industrial Engineering**, v. 135, p. 582-592, 2019.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Tradução: Luís Antero Reto, Augusto Pinheiro. São Paulo: Edições 70. 2016. 279 p.

BEHNKE, K., JANSSEN, M. F. W. H. A. Boundary conditions for traceability in food supply chains using blockchain technology. **International Journal of Information Management**, v. 52, p. 1-10, 2020.

BOCEK, T. *et al.* Blockchains everywhere-a use-case of blockchains in the pharma supply-chain. *In: IFIP/IEEE SYMPOSIUM ON INTEGRATED NETWORK AND SERVICE MANAGEMENT*, 15., 2017, Lisboa. IEEE, 2017. p. 772-777.

BODKHE, U. *et al.* Blockchain for industry 4.0: A comprehensive review. **IEEE Access**, v. 8, p. 79764-79800, 2020.

BUMBLAUSKAS, D., *et al.* A blockchain use case in food distribution: Do you know where your food has been? **International Journal of Information Management**, v. 52, p. 1-10, 2020.

CARO, M. P. *et al.* Blockchain-based traceability in Agri-Food supply chain management: A practical implementation. *In: IOT VERTICAL AND TOPICAL SUMMIT ON AGRICULTURE*, 2018, Toscana. IEEE, 2018. p. 1-4.

CASINO, F.; DASAKLIS, T.K.; PATSAKIS, C. A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues. **Telematics and Informatics**, v. 36, p. 55-81, 2019.

CHANG, S. E.; CHEN, Y. When blockchain meets supply chain: A systematic literature review on current development and potential applications. **Ieee Access**, v. 8, p. 62478-62494, 2020.

CHANG, Y.; IAKOVOU, E.; SHI, W. Blockchain in Global Supply Chains and Cross Border Trade: A Critical Synthesis of the State-of-the-Art, Challenges and Opportunities. **International Journal of Production Research**, p. 1-18, 2019.

CHEN, S. *et al.* A blockchain-based supply chain quality management framework. *In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON E-BUSINESS ENGINEERING (ICEBE)*, 14., Shangai, 2017. IEEE, 2017. p. 172-176.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; JÚNIOR, J. A. V. A. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. Grupo A, 2015. *E-book*. ISBN 9788582605530. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582605530/>. Acesso em: 13 jan. 2024.

DUBEY, R., *et al.* Blockchain technology for enhancing swift-trust, collaboration and resilience within a humanitarian supply chain setting. **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 11, p. 3381-3398. 2020.

FELIN, T.; LAKHANI, K. What Problems Will You Solve With Blockchain? **MIT Sloan Management Review**, v. 60, n. 1, p. 32-38, 2018.

FENG, H., *et al.* Applying blockchain technology to improve agri-food traceability: A review of development methods, benefits and challenges. **Journal of Cleaner Production**, v. 260, p. 1-15, 2020.

FURLONGER, D.; UZUREAU, C. **The real business of blockchain: how leaders can create value in a new digital age**. Massachusetts: Harvard Business Review Press, 2019. 292 p.

GALVEZ, J. F.; MEJUTO, J. C.; SIMAL-GANDARA, J. Future challenges on the use of blockchain for food traceability analysis. **TrAC Trends in Analytical Chemistry**, v. 107, p. 222-232, 2018.

GAUR, N. *et al.* **Hands-on Blockchain with Hyperledger: Building Decentralized Applications with Hyperledger Fabric and Composer**. Birmingham: Packt Publishing Ltd, 2018. 460 p.

GS1. **GS1 Global Traceability Standard**. 2017. 58 p.

GUNASEKARAN, A.; SUBRAMANIAN, N.; RAHMAN, S. Supply chain resilience: role of complexities and strategies. **International Journal of Production Research**, v. 53, n. 22, p. 6809-6819, 2015.

IVANOV, D.; DOLGUI, A.; SOKOLOV, B. The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 3, p. 829-846, 2019.

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.

HILEMAN, G.; RAUCHS, M. **Global blockchain benchmarking study**. Cambridge: Cambridge Centre Alternative Finance, 2017. 119 p.

HUGHES, A. *et al.* Beyond Bitcoin: What blockchain and distributed ledger technologies mean for firms. **Business Horizons**, v. 62, n. 3, p. 273-281, 2019.

KAMBLE, S. S., GUNASEKARAN, A., SHARMA, R. Modeling the blockchain enabled traceability in agriculture supply chain. **International Journal of Information Management**, v. 52, p. 1-16, 2020.

KILPATRICK, J.; BARTER, L. **COVID-19: Managing supply chain risk and disruption**. 2020. p. 18. Disponível em: https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ca/Documents/finance/Supply-Chain_POV_EN_FINAL-AODA.pdf. Acesso em: 07 dez. 2023.

KOUHIZADEH, M.; SABERI, S.; SARKIS, J. Blockchain technology and the sustainable supply chain: Theoretically exploring adoption barriers. **International journal of production economics**, v. 231, p. 107831, 2021.

KSHETRI, N. Blockchain's roles in strengthening cybersecurity and protecting privacy. **Telecommunications Policy**, v. 41, n. 10, p. 1027-1038, 2017.

KSHETRI, N.. Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. **International Journal of Information Management**, v. 39, p. 80-89, 2018.

LACITY, M. C. Addressing key challenges to making enterprise blockchain applications a reality. **MIS Quarterly Executive**, v. 17, n. 3, p. 201-222, 2018.

LU, Q.; XU, X. Adaptable blockchain-based systems: A case study for product traceability. **IEEE Software**, v. 34, n. 6, p. 21-27, 2017.

LYONS, T.; COURCELAS, L. **Governance of and with blockchains**. Suíça: ConsenSys AG, 2020. p. 34.

- MACKEY, T. K.; NAYYAR, G. A review of existing and emerging digital technologies to combat the global trade in fake medicines. **Expert opinion on drug safety**, v. 16, n. 5, p. 587-602, 2017.
- MIN, S.; ZACHARIA, Z. G.; SMITH, C. D. Defining Supply Chain Management: In the Past, Present, and Future. **Journal of Business Logistics**, v. 40, n. 1, p. 44-55, 2019.
- NAKAMOTO, S. Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system. 2008.
- O'LEARY, D. E. Configuring blockchain architectures for transaction information in blockchain consortiums: The case of accounting and supply chain systems. **Intelligent Systems in Accounting, Finance and Management**, v. 24, n. 4, p. 138-147, 2017.
- PERBOLI, G.; MUSSO, S.; ROSANO, M. Blockchain in logistics and supply chain: A lean approach for designing real-world use cases. **IEEE Access**, v. 6, p. 62018-62028, 2018.
- PHILLIPS, D. Meat company faces heat over 'cattle laundering' in Amazon supply chain. **The Guardian**. 2020. Disponível em: <https://www.theguardian.com/environment/2020/feb/20/meat-company-faces-heat-over-cattle-laundering-in-amazon-supply-chain>. Acesso em: 07 dez. 2023.
- PLANT, L. Implications of open source blockchain for increasing efficiency and transparency of the digital content supply chain in the Australian telecommunications and media industry. **Australian Journal of Telecommunications and the Digital Economy**, v. 5, n. 3, p. 15-29, 2017.
- POURNADER, M., *et al.* 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.
- REJEB, A.; KEOGH, J. G.; TREIBLMAIER, H. Leveraging the internet of things and blockchain technology in supply chain management. **Future Internet**, v. 11, n. 7, p. 161, 2019.
- SCOPUS, 2023. **Scopus**: Comprehensive, multidisciplinary, trusted abstract and citation database. Disponível em: <https://www.elsevier.com/products/scopus>. Acesso em: 07 de dezembro de 2023.
- SABERI, S. *et al.* Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 7, p. 2117-2135, 2019.
- SALAH, K. *et al.* Blockchain-based soybean traceability in agricultural supply chain. **IEEE Access**, v. 7, p. 73295-73305, 2019.

SAURABH, S; DEY, K. Blockchain technology adoption, architecture, and sustainable agri-food supply chains. **Journal of Cleaner Production**, v. 284, p. 124731, 2021.

SUNNY, J.; UNDRALLA, N.; PILLAI, V. M. Supply chain transparency through blockchain-based traceability: An overview with demonstration. **Computers & Industrial Engineering**, v. 150, p. 106895, 2020.

SZABO, N. **Smart contracts**. 1994. Disponível em: http://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/LOT_winterschool2006/szabo.best.vwh.net/smart.contracts.html. Acesso em: 08 dez. 2023.

TAPSCOTT, D.; VARGAS, R. V. Unleashing the Power of Blockchain in the Enterprise. **MIT Sloan Management Review**, 2019. Disponível em: <https://sloanreview.mit.edu/article/unleashing-the-power-of-blockchain-in-the-enterprise/>. Acesso em: 07 dez. 2023.

TIAN, F. An agri-food supply chain traceability system for China based on RFID & blockchain technology. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SERVICE SYSTEMS AND SERVICE MANAGEMENT (ICSSSM)*, 13., 2016, Kunming. IEEE, 2016. p. 1-6.

TIAN, F. A supply chain traceability system for food safety based on HACCP, blockchain & Internet of things. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SERVICE SYSTEMS AND SERVICE MANAGEMENT*, 14., 2017, Dalian. **Proceedings...IEEE**, 2017. p. 1-6.

TSE, D. *et al.* Blockchain application in food supply information security. *In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON INDUSTRIAL ENGINEERING AND ENGINEERING MANAGEMENT (IEEM)*, 2017, Singapura. IEEE, 2018 p. 1357-1361.

VENKATESH, V. G. *et al.* System architecture for blockchain based transparency of supply chain social sustainability. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 63, p. 1-9, 2020.

VYAS, N.; BEIJE, A.; KRISHNAMACHARI, B. **Blockchain and the Supply Chain: Concepts, Strategies and Practical Applications**. 1 ed. London: Kogan Page Limited, 2019. 320 p.

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.

WÜST, K.; GERVAIS, A. Do you need a blockchain?. *In: CRYPTO VALLEY CONFERENCE ON BLOCKCHAIN TECHNOLOGY (CVCBT)*, Zug, 2018. IEEE, 2018. p. 45-54.

ZHU, X.; SHI, J.; LU, C. Cloud health resource sharing based on consensus-oriented blockchain technology: Case study on a breast tumor diagnosis service. **Journal of medical Internet research**, v. 21, n. 7, 2019.

Autores

Erik Carlos Ferreira da Rocha

Mestre em Administração pela Universidade Federal de Juiz de Fora (2021) com a pesquisa sobre o emprego da tecnologia blockchain em cadeias de suprimentos no Brasil. MBA em Gestão de Marketing e Negócios pela Universidade Federal de Juiz de Fora (2015). Graduação em Farmácia Industrial pela Universidade Federal Fluminense (2013). Atuação como vendedor técnico na empresa - Docepolpa Comercial LTDA - empresa voltada para comercialização de ingredientes para a indústria de derivados lácteos (10/2013 até 03/2018)

Rodrigo Oliveira da Silva

Possui graduação em Administração de Empresas pela Universidade Federal de Juiz de Fora (2006). MBA em Logística Empresarial pela Faculdade de Economia e Administração da UFJF (2007). Mestrado em Engenharia de Transportes pelo Instituto Militar de Engenharia (IME), Rio de Janeiro (2010). Doutor em Administração de Empresas pelo IAG-PUC Rio (2016). Atualmente, é professor Adjunto III do departamento de Ciências Administrativas da Faculdade de Administração e Ciências Contábeis da UFJF. Coordena o MBA em Logística Empresarial e Supply Chain da FACC/UFJF. Ministra aulas no curso de graduação em Administração da FACC/UFJF, nos cursos de especialização da FACC/UFJF, no Bacharelado em Administração Pública (EAD) da FACC/UFJF, no mestrado acadêmico em administração (PPGA) da FACC/UFJF, sempre na área de gestão de operações e logística.

Rebecca Impelizeri Moura da Silveira

Mestre e Doutora em Administração pela UFMG, atualmente é Professora Adjunta do Instituto de Ciências Humanas e Sociais - IHF, na Universidade Federal de Viçosa (UFV - Campus Florestal). Na instituição atua na linha de pesquisa de Logística e Operações. Possui também experiência profissional e em docência na área de Logística e Gestão de Cadeias de Suprimentos, tendo atuado como professora em cursos de pós-graduação em Administração da UFMG e UFJF nessa temática. Faz parte do grupo de pesquisa de Logística, Gestão de Operações e Supply Chain - LOGOS, da Universidade Federal de Juiz de Fora.



Artigo recebido em: 20/12/2023 e aceito para publicação em: 23/01/2024
DOI: <https://doi.org/10.14488/1676-1901.v23i3.5129>