

Explorando O Potencial Da Blockchain Na Rastreabilidade Em Cadeias De Suprimentos Da Soja

Keven Victor Dantas Tanan¹

¹universidade Federal Do Oeste Da Bahia

Resumo:

O presente estudo tem como objetivo analisar os potenciais benefícios do emprego da tecnologia Blockchain como ferramenta para a rastreabilidade em cadeias de suprimentos da soja. A rastreabilidade na cadeia de suprimentos de soja é essencial para garantir a sua transparência e qualidade. Nesse contexto, a Blockchain surge como uma solução inovadora para aprimorar a rastreabilidade, permitindo que consumidores e parceiros de negócios acompanhem a jornada dos grãos. Para alcançar o objetivo deste estudo, adotou-se como fundamento para coleta e análise dos dados a combinação dos métodos de pesquisa bibliográfica e análise documental nas principais bases de dados mundial. Os resultados apontam que a descentralização da Blockchain, em contraste com sistemas centralizados, aumenta a confiança dos consumidores e outras partes na cadeia de suprimentos de soja. A pesquisa destaca a aplicabilidade da Blockchain na fazenda, melhorando a eficiência operacional. A criação de um registro distribuído reduz a assimetria de informações, promovendo colaboração e transparência entre os participantes da cadeia.

Histórico: A blockchain é um sistema de registro de informações de forma segura, transparente e descentralizada. Imagine um livro-razão digital compartilhado e imutável, onde cada transação é armazenada em blocos interligados, criando uma "cadeia" de dados. Essa tecnologia oferece diversos benefícios como rastrear a origem da soja desde a produção até o consumidor final, com informações como data de plantio, colheita, transporte, armazenamento e processamento. Além disso, a blockchain facilita a identificação de problemas na cadeia de suprimentos, como fraudes, contaminações e práticas antiéticas. Nesse sentido, a blockchain tem um enorme potencial para revolucionar a cadeia de suprimentos de soja, tornando-a mais rastreável, transparente, eficiente, segura e sustentável. Apesar dos desafios para sua adoção, a tecnologia oferece benefícios que podem ser aproveitados por todos os participantes da cadeia, desde produtores até consumidores.

Materials and Methods: A metodologia adotada nesta pesquisa envolve, inicialmente, três etapas. Em primeiro lugar, busca-se identificar estudos na literatura que abordaram o tema do emprego da tecnologia Blockchain como instrumento de rastreabilidade em cadeias de suprimentos de soja. Posteriormente, realizar-se-á uma avaliação dos potenciais benefícios proporcionados pelo uso da tecnologia Blockchain nas operações de rastreabilidade em cada fase da cadeia de suprimentos da soja. Por fim, a pesquisa se dedica a investigar os desafios associados à aplicação da tecnologia Blockchain na rastreabilidade das cadeias de suprimentos da soja. Para isso, realizou-se uma busca na literatura acadêmica com o objetivo de identificar estudos que abordassem o uso da tecnologia Blockchain como ferramenta de rastreabilidade em cadeias de suprimentos de soja com base em palavras-chave como "Soja", "Cadeia de Suprimentos", "Cadeia de Produção", "Blockchain" e "Rastreabilidade", bem como as palavras em inglês: "Soy", "Supply Chain", "Production Chain" e "Traceability"

Results: Os resultados apontam que a descentralização da Blockchain, em contraste com sistemas centralizados, aumenta a confiança dos consumidores e outras partes na cadeia de suprimentos de soja. A pesquisa destaca a aplicabilidade da Blockchain na fazenda, melhorando a eficiência operacional. Esses resultados sugerem que a blockchain tem o poder de transformar positivamente a indústria da soja, beneficiando produtores, consumidores e o meio ambiente.

Conclusion: Após uma análise aprofundada, ficou claro que a aplicação da tecnologia blockchain na rastreabilidade das cadeias de suprimentos da soja possui um potencial significativo para melhorar a transparência, eficiência e sustentabilidade dessa indústria. Com a implementação bem-sucedida da blockchain, espera-se que haja uma redução significativa de fraudes, desvios e problemas relacionados à origem e qualidade do produto.

Key Word: Blockchain; Soja; Cadeia de Suprimentos; Rastreabilidade.

Date of Submission: 09-03-2024

Date of Acceptance: 19-03-2024

I. Introdução

A rastreabilidade na cadeia de suprimentos é um aspecto crucial para garantir a transparência, a sustentabilidade e a qualidade dos produtos agrícolas. No contexto específico da soja, uma commodity global de grande importância, a busca por soluções inovadoras que aprimorem a rastreabilidade tem se intensificado. Nesse cenário, a tecnologia Blockchain surge como uma ferramenta promissora, oferecendo potencial para revolucionar a forma como acompanhamos e registramos a jornada da soja, desde o plantio até o consumidor final.

A rastreabilidade e garantia de qualidade são aspectos críticos na produção e exportação de grãos e a implementação da Blockchain pode oferecer neste contexto transparência na origem dos produtos (Ohler; Pizzol, 2020), permitindo que os consumidores e parceiros de negócios rastreassem a jornada dos grãos desde a plantação até a distribuição, fortalecendo a confiança nas práticas agrícolas e na qualidade dos produtos. Além disso, a sustentabilidade na produção de grãos é uma preocupação crescente entre governos (PWC, 2020), sociedade (Salah, et al. 2019) e produtores. Deste modo, conforme Bumblauskas et al. (2020), uma Blockchain, por exemplo, poderia ser aplicada para monitorar e verificar práticas agrícolas ecológicas, auxiliando na conformidade com padrões ambientais e atendendo às demandas de consumidores e mercados internacionais cada vez mais conscientes.

Pesquisadores e acadêmicos exploraram extensivamente o papel da Blockchain na cadeia de suprimentos de alimentos (Kamble; Gunasekaran; Sharma, 2020; Treiblmaier, 2018; Caro et al. 2018; Karakas; Acar; Kucukaltan, 2021; Schmidt; Wagner, 2019) destacando seus benefícios em termos de transparência, segurança e eficiência. Segundo Tapscott e Tapscott (2016), a Blockchain é uma tecnologia distribuída que permite a criação de registros imutáveis e transparentes, fornecendo uma base confiável para rastrear cada etapa do processo de produção e distribuição. Além disso, estudos como o de Moser et al. (2018), demonstrando como a Blockchain pode ser renovada para rastrear a origem da soja, auxiliando na verificação de práticas sustentáveis e na conformidade com padrões ambientais. A transparência fornecida pela Blockchain pode, assim, fortalecer a confiança dos consumidores, fornecedores e demais partes interessadas na cadeia de suprimentos de soja.

No cenário brasileiro, até meados de 2023, a aplicação da tecnologia Blockchain nas cadeias de suprimentos de grãos no Brasil se encontram em projetos iniciais, mas com uma tendência promissora de estender pesquisas na área nos próximos anos (Amato, 2021). Grandes players do agronegócio brasileiro, como cooperativas, exportadoras e empresas de alimentos, começaram a manifestar interesse na adoção da Blockchain segundo Clark et al. (2021). A perspectiva de melhorar a eficiência operacional, reduzir custos e oferecer uma solução mais transparente estão entre os motivadores para a exploração dessa tecnologia (Yano, 2019).

Apesar do potencial, a implementação generalizada da Blockchain em cadeias de suprimentos de grãos no Brasil enfrenta desafios (Yano, 2019; Cao et al. 2020). Questões como interoperabilidade com os sistemas existentes, padronização de dados, adesão de todos os participantes da cadeia e custos associados à infraestrutura Blockchain são considerações importantes indicadas por especialistas (Schmidt; Wagner, 2019). Vale ressaltar, que apesar de toda prospecção em torno dessa tecnologia, o avanço da Blockchain nas cadeias de suprimentos de grãos no Brasil dependerá da colaboração entre diferentes partes interessadas, incluindo produtores, empresas do setor, reguladores e desenvolvedores de tecnologia. Segundo Karakas, Acar e Kucukaltan (2021), a compreensão dos benefícios e desafios da tecnologia é essencial para garantir a participação ativa e a colaboração de todos os envolvidos neste processo.

Diante desse contexto, o propósito desta pesquisa é aprofundar a compreensão do potencial da Blockchain na rastreabilidade da soja, analisando os benefícios, desafios e perspectivas futuras dessa tecnologia inovadora no âmbito agrícola. Nesse sentido, a questão central que orienta este estudo é: quais são os benefícios proporcionados pela utilização da tecnologia Blockchain como instrumento para a rastreabilidade nas cadeias de suprimentos de soja?

Nesse sentido, este artigo tem como objetivo analisar os potenciais benefícios do emprego da tecnologia Blockchain como ferramenta para a rastreabilidade em cadeias de suprimentos da soja. As discussões sobre a rastreabilidade de grãos na cadeia de produção têm sido um ponto focal na literatura atual, refletindo a crescente importância de garantir a transparência e a sustentabilidade nas operações agrícolas. Autores como Cao et al. (2020) discutem o papel transformador da tecnologia Blockchain na rastreabilidade de grãos.

II. Materiais E Métodos

Blockchain

A Blockchain é um conceito inovador que fundamenta a operação de várias criptomoedas, como o Bitcoin, mas vai além do âmbito das moedas digitais, sendo aplicável em diversos setores. De maneira robusta, entende-se como a Blockchain um sistema descentralizado de registro de informações, baseado em uma estrutura de dados encadeada e imutável (Schmidt; Wagner, 2019). A Blockchain é composta por blocos de dados, cada um contendo informações sobre transações ou eventos específicos. Esses blocos são encadeados de forma linear e cronológica, formando uma cadeia contínua. Diferentemente dos sistemas centralizados, nos

quais uma entidade controla e gerencia o banco de dados, a Blockchain opera em uma rede descentralizada de computadores. Cada nó na rede possui uma cópia completa e atualizada da Blockchain.

Segundo observado por Lakkakula, Bullock e Wilson (2021), a tecnologia Blockchain tem sido associada a mudanças equiparáveis à revolução da internet, promovendo alterações substanciais nas interações comerciais. No entanto, ele ressalta a necessidade de uma investigação minuciosa que resulte na geração de valor para o ambiente empresarial. A presença e aplicação da tecnologia Blockchain abrangem diversos setores da economia, inicialmente manifestando-se no mercado financeiro digital e posteriormente estendendo-se a várias esferas econômicas (Treiblmaier, 2018).

Menon e Jain (2021) também mostram que produtoras e distribuidoras de frutas e vegetais tem se organizado para usar a Blockchain e rastrear a cadeia de suprimentos de saladas de folhas verdes, proporcionando maior visibilidade aos consumidores sobre a origem e qualidade dos produtos. Além disso, conforme Zhang et al. (2021), diversos sistemas foram desenvolvidos para integrar a tecnologia Blockchain e sensores ao longo da cadeia de suprimentos, possibilitando o rastreamento dos alimentos desde a fazenda até o consumidor final. Exemplos desses sistemas incluem o ProductChain de Malik, Kanhere e Jurdak (2018) e o AgriBlockIoT de Caro et al. (2018).

Deste modo, a literatura destaca o potencial da tecnologia Blockchain em melhorar a transparência, segurança e eficiência das cadeias de suprimentos de alimentos. Esses estudos enfatizam a aplicação prática da tecnologia em grandes redes de supermercados, setores específicos como o de ovos, soja e como meio de envolvimento de órgãos reguladores para melhorar a certificação e qualidade dos produtos. Por exemplo, em alguns casos o seu uso inclui a aplicação da tecnologia Blockchain em cadeias específicas, como a IBM Food Trust, na qual Kramer, Bitsch e Hanf (2021) destacam ter uma iniciativa notável que utiliza a tecnologia Blockchain para criar uma rede colaborativa entre diversos participantes da cadeia de suprimentos de alimentos, incluindo produtores, distribuidores, varejistas e consumidores. Os consumidores podem acessar informações facilmente por meio de códigos QR usando smartphones.

A segurança das cadeias de suprimentos alimentares também tem sido uma preocupação, e a Blockchain tem sido aplicada para melhorar essa segurança. Tian (2016) demonstra como um Blockchain pode permitir a participação de órgãos governamentais e entidades reguladoras como nós na cadeia de suprimentos, facilitando a certificação e garantindo a presença de produtos falsificados ou de má qualidade. Em cadeias de suprimentos de soja, Salah et al. (2019) propõem a utilização da Blockchain, Ethereum e contratos inteligentes para promover a distribuição de informações sobre os grãos, eliminando intermediários e tornando a informação facilmente auditável e imutável.

Sem dúvidas a implementação da Blockchain pode melhorar a eficiência da cadeia de suprimentos de grãos, sobretudo simplificando processos de documentação, verificação e pagamento. De acordo com Kshetri (2018), os contratos inteligentes representam uma alternativa tecnológica que capacita os gestores a automatizar grande parte das transações e acordos na cadeia, fornecendo a redução de custos operacionais e o tempo exigido para a conclusão das transações.

Tecnologia Blockchain em Cadeias de Suprimentos

A tecnologia Blockchain tem sido amplamente aplicada em diversas cadeias de suprimentos, incluindo setores como transporte marítimo, diamantes, medicamentos e equipamentos médicos. No entanto, a utilização da Blockchain em cadeias de suprimentos de alimentos tem sido destacada na literatura recente.

Diversos estudos desenvolvidos para implementar a tecnologia Blockchain em cadeias de suprimentos de alimentos foram publicados desde 2016. Esses estudos destacam a aplicação de Blockchain em grandes redes de supermercados como o Walmart, Nestlé, Unilever e Carrefour, como ferramenta para melhorar a rastreabilidade de produtos alimentares. Por exemplo, Lin et al. (2020) destacam como empresas tem explorado o uso da Blockchain para melhorar a sustentabilidade e transparência em sua cadeia de suprimentos, especialmente a Unilever em relação a ingredientes como o óleo de palma.

Menon e Jain (2021) também mostram que produtoras e distribuidoras de frutas e vegetais tem se organizado para usar a Blockchain e rastrear a cadeia de suprimentos de saladas de folhas verdes, proporcionando maior visibilidade aos consumidores sobre a origem e qualidade dos produtos. Além disso, conforme Zhang et al. (2021), diversos sistemas foram desenvolvidos para integrar a tecnologia Blockchain e sensores ao longo da cadeia de suprimentos, possibilitando o rastreamento dos alimentos desde a fazenda até o consumidor final. Exemplos desses sistemas incluem o ProductChain de Malik, Kanhere e Jurdak (2018) e o AgriBlockIoT de Caro et al. (2018).

Deste modo, a literatura destaca o potencial da tecnologia Blockchain em melhorar a transparência, segurança e eficiência das cadeias de suprimentos de alimentos. Esses estudos enfatizam a aplicação prática da tecnologia em grandes redes de supermercados, setores específicos como o de ovos, soja e como meio de envolvimento de órgãos reguladores para melhorar a certificação e qualidade dos produtos. Por exemplo, em alguns casos o seu uso inclui a aplicação da tecnologia Blockchain em cadeias específicas, como a IBM Food

Trust, na qual Kramer, Bitsch e Hanf (2021) destacam ter uma iniciativa notável que utiliza a tecnologia Blockchain para criar uma rede colaborativa entre diversos participantes da cadeia de suprimentos de alimentos, incluindo produtores, distribuidores, varejistas e consumidores. Os consumidores podem acessar informações facilmente por meio de códigos QR usando smartphones.

A segurança das cadeias de suprimentos alimentares também tem sido uma preocupação, e a Blockchain tem sido aplicada para melhorar essa segurança. Tian (2016) demonstra como um Blockchain pode permitir a participação de órgãos governamentais e entidades reguladoras como nós na cadeia de suprimentos, facilitando a certificação e garantindo a presença de produtos falsificados ou de má qualidade. Em cadeias de suprimentos de soja, Salah et al. (2019) propõem a utilização da Blockchain, Ethereum e contratos inteligentes para promover a distribuição de informações sobre os grãos, eliminando intermediários e tornando a informação facilmente auditável e imutável.

Sem dúvidas a implementação da Blockchain pode melhorar a eficiência da cadeia de suprimentos de grãos, sobretudo simplificando processos de documentação, verificação e pagamento. De acordo com Kshetri (2018), os contratos inteligentes representam uma alternativa tecnológica que capacita os gestores a automatizar grande parte das transações e acordos na cadeia, fornecendo a redução de custos operacionais e o tempo exigido para a conclusão das transações.

A Soja

A soja (*Glycine max*) é uma leguminosa que se acredita ter suas raízes na Ásia, mais especificamente nas regiões costeiras da China e do Japão, onde é cultivada há milhares de anos (Francisco, 2009). Os registros mais antigos do cultivo de soja datam de mais de 5.000 anos na China, onde a planta era cultivada não apenas para seus grãos, mas também para uso medicinal e como cobertura de solo. Com o passar do tempo, a soja foi introduzida em outras partes do mundo ao longo dos séculos. Ela se espalhou para a Coreia, as Filipinas, Indonésia e Índia antes de chegar ao Japão, por volta do século VIII.

Conforme Pacova (1992), no Japão, a soja desempenhou um papel crucial na dieta, sendo utilizada na produção de tofu, miso e outros alimentos tradicionais. Somado a isto, a soja também se espalhou para a Península da Coreia e, mais tarde, para outras partes do sudeste asiático e chegando século XVIII na Europa, onde inicialmente foi cultivada principalmente para uso como planta ornamental e para produção de forragem animal (Urban Filho; Souza, 1993).

Na esteira da expansão da soja no mundo, os Estados Unidos também no século XVIII passaram a cultivar a soja, mas seu cultivo era limitado e não era uma cultura importante até o século XX. Segundo Cunha (2020), foi durante a Primeira Guerra Mundial que houve um aumento consistente na demanda por proteína vegetal, e a soja começou a ser cultivada em maior escala nos EUA, assim, ocorreu a expansão da indústria de alimentos e rações animais nas décadas de 1930 e 1940, a qual impulsionou ainda mais o cultivo de soja nos EUA.

Neste contexto a soja experimentou uma revolução significativa na década de 1970, com o desenvolvimento de variedades de soja de alto rendimento, que se adaptaram bem a várias regiões do mundo (Moreno, 2018). Deste modo, a soja se tornou uma das culturas mais importantes globalmente, sendo amplamente utilizada na produção de óleo de cozinha, rações animais, biocombustíveis e produtos alimentícios como tofu, leite de soja e proteína de soja, para além de continuar em ampla ascensão e crescimento em muitas partes do mundo, a qual desempenha um papel crucial na segurança alimentar e na economia global (Cunha, 2020; Moreno, 2018).

Procedimentos Metodológicos

A metodologia adotada nesta pesquisa envolve, inicialmente, três etapas. Em primeiro lugar, busca-se identificar estudos na literatura que abordaram o tema do emprego da tecnologia Blockchain como instrumento de rastreabilidade em cadeias de suprimentos de soja. Posteriormente, realizar-se-á uma avaliação dos potenciais benefícios proporcionados pelo uso da tecnologia Blockchain nas operações de rastreabilidade em cada fase da cadeia de suprimentos da soja. Por fim, a pesquisa se dedica a investigar os desafios associados à aplicação da tecnologia Blockchain na rastreabilidade das cadeias de suprimentos da soja.

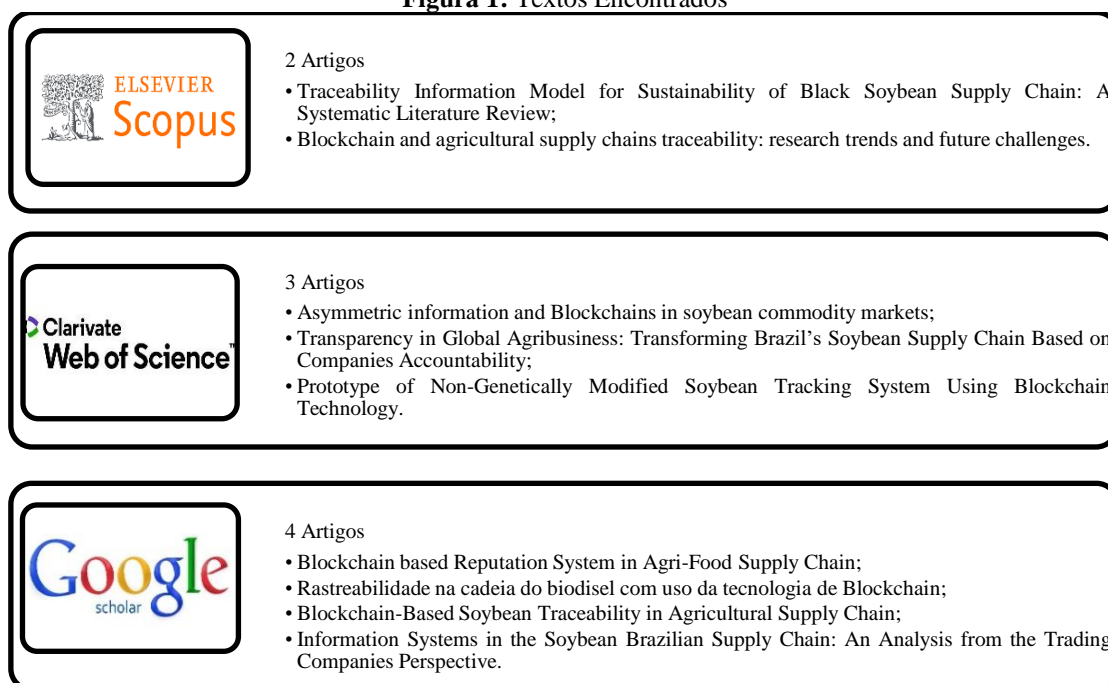
Baseado nisto, este estudo possui uma natureza qualitativa de perfil descritivo, visto que o objetivo principal da pesquisa é descrever as características ou propriedades de uma especificidade, ou seja, os potenciais benefícios do emprego da tecnologia Blockchain na rastreabilidade em cadeias de suprimentos da soja. Para alcançar as três etapas supramencionadas, adotou-se como fundamento para coleta e análise dos dados a combinação dos métodos de pesquisa bibliográfica e análise documental.

Segundo Santos e Filho (2012), a pesquisa bibliográfica é um método de investigação que tem como objetivo realizar um levantamento e análise crítica da produção já existente em determinado tema por meio de fontes bibliográficas, como livros, artigos, teses, dissertações, entre outros. De forma complementar, a análise documental pode fornecer uma profundidade adicional, examinando os artigos específicos em detalhes para externar pontos mais profundos sobre os textos (Marconi; Lakatos, 2022).

Desta maneira, inicialmente, realizou-se uma busca na literatura acadêmica com o objetivo de identificar estudos que abordassem o uso da tecnologia Blockchain como ferramenta de rastreabilidade em cadeias de suprimentos de soja seguindo os princípios de Santos e Filho (2012). As palavras-chave empregadas durante a pesquisa foram cuidadosamente selecionadas para atender de maneira abrangente o escopo do estudo. As palavras-chave utilizadas incluíram a combinação dos seguintes termos: “Soja”, “Cadeia de Suprimentos”, “Cadeia de Produção”, “Blockchain” e “Rastreabilidade”, bem como as palavras em inglês: “Soy”, “Supply Chain”, “Production Chain” e “Traceability”. O critério estabelecido nas ferramentas envolveu a busca nos títulos, resumos e palavras-chaves dos textos. Além disso, as pesquisas foram realizadas nas seguintes bases de dados: Scopus, Web of Science e Google Scholar. Essas plataformas foram escolhidas devido à sua abrangência e reconhecimento na área de pesquisa acadêmica.

A coleta de dados foi realizada no período compreendido entre os dias 02 de outubro de 2023 a 05 de novembro de 2023. Este intervalo foi determinado levando em consideração a necessidade de leitura aprofundada dos textos encontrados, dada a quantidade de artigos e textos pertinentes ao tema ser limitado. Cabe ressaltar que o período estendido para a realização da pesquisa deve à escassez de material disponível sobre o tema, exigindo uma análise minuciosa dos artigos encontrados para garantir a inclusão apenas de estudos relevantes para a investigação em questão, resultando em nove textos:

Figura 1: Textos Encontrados



Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Ao término desse passo, o próximo procedimento envolveu a segunda e terceira etapa desta pesquisa, a qual foi realizada a avaliação dos potenciais benefícios proporcionados pelo uso da tecnologia Blockchain nas operações de rastreabilidade em cada fase da cadeia de suprimentos da soja e os desafios enfrentados neste processo. Para isso, utilizou-se a análise documental dos textos como caminho a desvelar e fornecer uma perspectiva detalhada da evolução desta tecnologia a partir dimensões abordadas na próxima seção.

Desta maneira, seguindo os passos de Marconi e Lakatos (2022) e Chizzotti (2014), foi feito em um primeiro momento a leitura dos artigos selecionados cuidadosamente, destacando informações relevantes relacionadas às dimensões da pesquisa condicional. Foi considerado como elementos da análise palavras-chave, conceitos-chave, métodos utilizados e resultados apresentados. Após isto, foi desenvolvido um sistema de coleta para identificar e categorizar as informações relevantes de cada artigo e os relacionar com as dimensões estudadas. Isso envolveu a atribuição de códigos numéricos nos textos via marcação conforme os números de cada dimensão estudada. Por fim, como indicado por Chizzotti (2014), analisou-se os padrões emergentes e as relações entre as informações codificadas, com a finalidade de identificar tendências, semelhanças ou discrepâncias que possam contribuir para uma compreensão mais profunda das dimensões da pesquisa apresentadas a seguir.

III. Resultados

Em um primeiro momento, cumpre destacar que a partir dessa revisão da literatura, observa-se que de 2018 a 2022 houve um crescente interesse na pesquisa sobre rastreabilidade da informação e sustentabilidade da cadeia de suprimentos, sobretudo, também, pontos que discutem o uso da Blockchain nesse processo. Nesse sentido, os resultados mostram que a busca por rastreabilidade baseada na Blockchain e sua relação com a gestão sustentável da cadeia de suprimentos da soja exerce influência em diversas esferas. No âmbito econômico, seus efeitos se manifestam na diminuição de perdas, no incremento das receitas e na mitigação de riscos. Paralelamente, repercute nas dimensões sociais, promovendo a redução de desempenhos insatisfatórios, aprimorando a comunicação entre os participantes da cadeia de suprimentos e estimulando a adoção de práticas voltadas para o benefício da comunidade.

Diante desse cenário, a implementação de um sistema de rastreabilidade na produção de soja se mostra imprescindível como tratado por (Morales et al. 2016). Essa abordagem permitiria monitorar e documentar cada etapa do processo, desde o cultivo até a distribuição, proporcionando aos consumidores informações transparentes sobre a origem e os métodos de produção. Assim, a rastreabilidade emerge como uma ferramenta essencial na promoção de práticas agrícolas mais sustentáveis, seguras e alinhadas com os padrões de qualidade nutricional exigidos pelos consumidores conscientes como será discutido adiante.

Benefícios no Transporte e Distribuição com a Utilização da Tecnologia Blockchain

Com a crescente demanda por soja, a eficiência no transporte e distribuição tornou-se uma prioridade essencial. Nesse cenário, a tecnologia Blockchain surge como uma ferramenta inovadora capaz de otimizar a cadeia de suprimentos da soja, oferecendo uma série de benefícios que podem revolucionar o setor. A Blockchain, conhecida por sua capacidade de fornecer transparência, rastreabilidade e segurança, pode ser aplicado de diversas maneiras ao longo da cadeia de suprimentos da soja. Um dos principais desafios enfrentados no transporte e distribuição é a falta de visibilidade em tempo real das operações. Conforme Lakkakula, Bullock e Wilson (2021), a Blockchain resolve esse problema ao criar um registro descentralizado e imutável de todas as transações, permitindo que todas as partes envolvidas na cadeia de suprimentos acessem informações em tempo real.

Shahid et al. (2020), por exemplo, mostram que na China, um dos maiores produtores mundiais de soja, uma cooperativa de sojicultores decidiu adotar a tecnologia Blockchain para aprimorar a eficiência no transporte e distribuição de sua produção. Esta cooperativa, composta por grandes produtores localizados em diferentes regiões do país, reconheceu a necessidade de modernizar suas operações para permanecer competitiva e atender às crescentes demandas do mercado global por transparência e sustentabilidade. A cooperativa implementou uma plataforma baseada em Blockchain que abrange todas as etapas da cadeia de suprimentos da soja, desde o plantio até a entrega nos centros de processamento e exportação.

Dentre os principais pontos benéficos da Blockchain no transporte é a rastreabilidade total. Com a tecnologia Blockchain, os consumidores e parceiros comerciais podem acessar informações detalhadas sobre a origem da soja. Cada lote é rastreável desde a fazenda de origem até o destino final, proporcionando uma garantia de qualidade e sustentabilidade. Além disso, nesse mesmo exemplo, o uso dos contratos inteligentes para pagamentos tem ganho destaque nessa linha, visto que a cooperativa no exemplo citado por Shahid et al. (2020) utiliza contratos inteligentes para automatizar os pagamentos aos produtores. Assim que a soja é entregue conforme os critérios acordados, o pagamento é automaticamente transferido para a conta do produtor, eliminando atrasos e burocracias.

Somado a isto, outros estudos como os de Schmidt e Wagner (2019) e Tian (2016), evidenciam que a rastreabilidade é um elemento essencial na produção de alimentos, e a soja não é exceção. A Blockchain proporciona um histórico transparente e inalterável de cada etapa do processo, desde o plantio até a distribuição. Isso não apenas atende às crescentes demandas dos consumidores por alimentos sustentáveis e rastreáveis, mas também oferece às empresas a capacidade de responder rapidamente a problemas, como recalls de produtos. A segurança também é uma preocupação crítica no transporte e distribuição de commodities agrícolas e, nesse sentido, a tecnologia Blockchain utiliza algoritmos criptográficos para garantir a integridade dos dados, tornando extremamente difícil a manipulação das informações. Isso reduz os riscos de fraudes e melhora a confiança entre os participantes da cadeia de suprimentos.

Nos textos analisados, uma outra demonstração é referente a uma região agrícola dos Estados Unidos, em que um grupo de fazendeiros independentes se uniram para otimizar o transporte e distribuição de sua produção de soja (Shahid et al. 2020). Cada fazendeiro, embora opere de forma independente, reconhecem também os desafios comuns enfrentados na cadeia de suprimentos e enxergam na tecnologia Blockchain uma solução promissora. O grupo adotou um software conhecido por sua eficácia na rastreabilidade e automação: VeChain. O VeChain é um software voltado para a transparência e a eficiência em várias indústrias, incluindo a logística, a qual enxergou na indústria agrícola a oportunidade de expandir suas atividades. Baseado em Blockchain, a VeChain passou a oferecer uma plataforma abrangente para gerenciar todas as fases da produção,

transporte e distribuição de alimentos. Neste exemplo, os fazendeiros adotaram o VeChain para melhorar a eficiência no transporte e distribuição de grãos.

Sobre seu uso, no que diz respeito à gestão eficiente da carga, Shahid et al. (2020) afirma que a tecnologia Blockchain proporciona visibilidade em tempo real sobre o estado e localização de cada lote de soja transportado. Essa transparência é crucial para otimizar a relação entre distância percorrida e custos associados, pois permite uma alocação mais inteligente de cargas e rotas. Para além disso, a aplicação de contratos inteligentes na Blockchain oferece a capacidade de automatizar processos relacionados à gestão de carga. Por exemplo, os contratos podem ser programados para ajustar automaticamente as rotas com base em condições de tráfego, garantindo uma entrega mais rápida e eficiente. Além disso, a visibilidade em tempo real permite a otimização dinâmica da capacidade dos veículos, evitando transporte com espaços subutilizados. Por fim, a relação entre distância e custo torna-se mais eficiente à medida que a Blockchain facilita o monitoramento preciso do consumo de combustível, desgaste de peças e outros fatores que impactam diretamente os custos operacionais. Os dados transparentes e confiáveis fornecidos pela Blockchain capacitam os gestores logísticos a tomar decisões embasadas na redução de custos e na maximização da eficiência da cadeia de suprimentos.

Em síntese, a implementação da tecnologia Blockchain na gestão da cadeia de suprimentos da soja traz consigo uma série de benefícios notáveis para a logística e distribuição dessa relevante commodity agrícola como revelado por Salah et al. 2019. Os pilares da transparência, rastreabilidade, automação e segurança, fundamentais no contexto do Blockchain, emergem como impulsionadores para a otimização de processos, a redução de custos e a satisfação das crescentes expectativas dos consumidores por alimentos mais seguros e sustentáveis. O setor agrícola se encontra no epicentro de uma revolução impulsionada pela inovação tecnológica, e a soja assume um papel central nesse movimento em direção a uma cadeia de suprimentos mais inteligente e eficaz. Na próxima seção, será explorado em detalhes o impacto dessa transformação nos diversos stakeholders envolvidos, destacando o papel crucial que a Blockchain desempenha nesse contexto dinâmico.

Benefícios do uso da Blockchain a Participação dos Stakeholders

De acordo com Anwar et al. (2022), a discussão sobre a rastreabilidade na cadeia de suprimentos revela desafios significativos e a necessidade de abordagens inovadoras. Nesse contexto, o autor argumenta em seu texto que a aplicação da tecnologia Blockchain emerge como uma solução promissora. A rastreabilidade, quando combinada com a Blockchain, pode oferecer uma troca segura, transparente e imutável de informações, fortalecendo a confiança entre os participantes da cadeia de suprimentos.

Neste contexto, é importante destacar que a falta de transparência e confiança entre esses stakeholders muitas vezes resulta em desafios, como a dificuldade em rastrear a origem do produto, garantir a sustentabilidade e lidar com questões relacionadas a práticas éticas. Nos textos é indiscutível para os autores que em uma cadeia de suprimentos extensa, que muitas vezes atravessa fronteiras internacionais, a rastreabilidade dos produtos pode ser extremamente difícil. Isso é agravado pela presença de múltiplos intermediários, cada um realizando diferentes etapas do processo, tornando complicado acompanhar a origem exata da soja. Somado a isto, Anwar et al. (2022), a opacidade na cadeia de suprimentos pode levar a práticas éticas questionáveis, como o uso de trabalho infantil, violações dos direitos dos trabalhadores ou até mesmo práticas agrícolas prejudiciais à saúde. Sem transparência, é difícil para os consumidores e partes interessadas monitorarem e corrigirem tais questões éticas.

É notável que a implementação da Blockchain na rastreabilidade da cadeia de suprimentos proporciona benefícios cruciais em várias dimensões como tratado pelos textos. Por exemplo, na dimensão social, a Blockchain contribui para a redução de gargalos de desempenho e aprimora a comunicação entre os participantes, promovendo uma cooperação mais eficaz. Deste modo, Mirabelli e Solina (2020) indicam que a participação ativa dos stakeholders é um ponto essencial para o sucesso da implementação da Blockchain na rastreabilidade da cadeia de suprimentos, visto que eles dão legitimidade a aparato tecnológico. O autor argumenta que governos, consumidores e fornecedores desempenham papéis fundamentais ao oferecer suporte gerencial, promover comunicação efetiva e garantir treinamento adequado para os participantes envolvidos neste processo.

Em dado contexto, uma cooperativa agrícola implementou a tecnologia Blockchain para rastrear a produção de soja desde o plantio até a distribuição Shahid et al. (2020). Os agricultores registraram dados essenciais, como datas de plantio, métodos de cultivo e uso de insumos na Blockchain. Os participantes da cadeia de suprimentos, como processadores e distribuidores, acessaram essas informações para garantir a qualidade e a origem sustentável da soja. Esse sistema fortaleceu a confiança entre os stakeholders, a qual, segundo os autores, promoveu uma colaboração mais estreita e transparente entre os envolvidos na cadeia de suprimentos.

Amato (2021) aponta em seu texto que, em situações prática, agricultores e distribuidores utilizam os contratos inteligentes para simplificar e automatizar o processo de transação na cadeia de suprimentos da soja. Segundo o autor, ao concordarem com os termos estabelecidos em um contrato inteligente na Blockchain, que

leva em consideração critérios como a qualidade da soja entregue, os participantes na cadeia de suprimento criam um sistema eficiente de pagamento. Por exemplo, assim que a entrega de soja é confirmada na Blockchain e verificada conforme os padrões acordados, o contrato inteligente automaticamente libera o pagamento para o agricultor. Este processo direto e automático elimina a necessidade de intermediários, como bancos ou agentes financeiros, reduzindo significativamente os custos e os prazos associados ao processo de pagamento tradicional.

Sem dúvidas, a implementação da Blockchain na cadeia de suprimentos da soja oferece uma oportunidade significativa de promover a participação ativa de todos os stakeholders. A transparência, a colaboração facilitada por contratos inteligentes e a troca segura de informações são elementos-chave que contribuem para uma cadeia de suprimentos mais eficiente, ética e sustentável. À medida que os benefícios práticos da Blockchain se tornam mais evidentes, é esperado que mais empresas e organizações adotem essa tecnologia, transformando positivamente a indústria da soja e, por extensão, promovendo práticas mais responsáveis em toda a cadeia de suprimentos.

Benefícios nas Fazendas com a Utilização da Tecnologia Blockchain

A soja, como uma cultura agrícola essencial e uma fonte vital de proteína vegetal, não escapa de demandas crescentes de tecnologias para sua manutenção. Nesse contexto, a integração da tecnologia Blockchain nas operações agrícolas emerge como uma solução promissora, oferecendo uma variedade de benefícios tangíveis para as fazendas de soja. Entre as discussões dos autores, é unânime que a tecnologia Blockchain nas diversas fases da produção de soja revoluciona a maneira como as fazendas gerenciam desde a seleção de sementes até a organização do solo e a estrutura de hectares.

Para ilustrar, a seleção da semente é uma decisão crítica que afeta diretamente a produtividade e a qualidade da safra. Esta fase inicial do processo agrícola desencadeia uma série de efeitos ao longo do ciclo de cultivo, influenciando diretamente o desempenho da plantação e, por conseguinte, os resultados econômicos para o produtor. Nesse sentido, a Blockchain entra em cena ao permitir o registro imutável das informações relacionadas às sementes como mencionado por Medina e Thomé (2021). Cada lote de sementes pode ser rastreado desde a sua origem, incluindo dados como origem, condições de armazenamento e histórico de desempenho. Isso não apenas assegura a qualidade das sementes, mas também facilita a conformidade com regulamentações e padrões de produção.

Outro fato importante nesse processo diz respeito a preparação do solo. Medina e Thomé (2021) explicam que a Blockchain nessa etapa contribui para a eficiência ao automatizar a gestão de insumos, como fertilizantes e pesticidas, por meio de contratos inteligentes. Além disso, os registros transparentes na Blockchain possibilitam a análise de dados históricos sobre o solo (Salah et al. 2019), permitindo uma abordagem mais informada para a organização do solo. Deste modo, Yano (2019) afirma que os agricultores podem tomar decisões embasadas em informações precisas sobre o solo, otimizando o uso de recursos e maximizando a produtividade.

Segundo Salah et al (2019), a distribuição e organização dos hectares de cultivo têm impacto direto na eficiência operacional. A Blockchain também pode servir como um meio para facilitar a gestão de terras ao registrar de forma transparente a posse e os direitos de uso. Contratos inteligentes podem automatizar acordos de arrendamento ou parcerias, simplificando a negociação e garantindo a transparência nas transações de terras agrícolas. Essa abordagem descentralizada reduz a burocracia e agiliza processos, permitindo uma gestão mais eficiente da estrutura de hectares. Entre os benefícios ao longo de todo o ciclo de produção, a rastreabilidade é fundamental para garantir a qualidade e a conformidade.

Amato (2021) aduz que a Blockchain oferece um registro imutável de todas as atividades, desde o plantio até a colheita. Isso não apenas atende às exigências crescentes dos consumidores por transparência, mas também facilita a identificação rápida de problemas, como pragas ou doenças, possibilitando uma resposta imediata e mitigando riscos de perda de produção.

Integração com Tecnologias Existentes

Anwar et al. (2022) indicam em sua pesquisa que o Blockchain desempenha um papel crucial como a espinha dorsal dos dispositivos da Internet das Coisas (IoT). Conforme os autores, essa tecnologia não apenas coleta dados do nível de campo, mas também regula as interações entre todas as partes contribuintes por meio de contratos inteligentes. A rastreabilidade com Blockchain-IoT emergiu como uma das tecnologias mais promissoras, destacando-se por sua resistência a manipulações, transparência e capacidade de monitorar transações de forma eficaz. No contexto da pesquisa, constatou-se que tecnologias IoT, como Redes de Sensores sem Fio (WSNs) e Identificação por Radiofrequência (RFID), desempenham um papel significativo ao monitorar condições em cenários de entrega de produtos. Além disso, a combinação da tecnologia Blockchain com o IPFS foi identificada como uma estratégia eficaz para garantir a segurança dos dados e superar a escassez de informações no Blockchain.

Sobre outros benefícios citados por Anwar et al. (2022), a Blockchain-OR apresenta destaque em comparação a outros modelos. Os autores argumentam que a capacidade do modelo Blockchain-OR é evidenciada por sua construção de um modelo diferencial em quatro modos, explorando a interação entre a escolha do modo de venda e a estratégia de serviço. Por sua vez, o modelo de rastreabilidade da informação baseado em website proporciona informações sobre produtos de soja orgânicos e fertilizantes subsidiados, utilizando a abordagem UML. A análise do modelo de rastreabilidade, empregando técnicas Fuzzy, destaca sua aplicação nas cadeias de abastecimento agroalimentar. Além disso, a modelagem SIMCA demonstra uma notável capacidade preditiva de validação cruzada para a classificação de soja. O modelo computacional GEE é eficaz ao acessar e processar imagens de sensores múltiplos, permitindo a identificação do tempo mais precoce para produtos de arroz, soja e milho. Por outro lado, o modelo logit investiga o impacto dos fatores de preferência do consumidor na rastreabilidade.

Benefícios da Blockchain para a Eficiência Operacional

Um dos principais desafios na rastreabilidade da soja está relacionado à multiplicidade de atores envolvidos, desde os agricultores até os consumidores finais. A implementação da Blockchain permite a criação e melhoria operacional em relação ao registro distribuído e compartilhado, em que cada participante possui acesso apenas às informações relevantes à sua posição na cadeia. Isso foi um ponto em que Medina e Thomé (2021) mostraram que tais ações implementadas reduzem a assimetria de informações, promovendo assim maior colaboração e transparência.

Além disso, Lakkakula, Bullock e Wilson (2021) mostram que a automação de processos por meio dos chamados contratos inteligentes contribui significativamente para a eficiência operacional. Segundo Lakkakula, Bullock e Wilson (2021), antes da implementação, a burocracia associada aos pagamentos e transações comerciais consumia considerável tempo e recursos, resultando em atrasos e custos adicionais. Com a introdução dos contratos inteligentes a fazenda gastava uma média de 30% a mais em custos administrativos relacionados a pagamentos, documentação e reconciliação. Com os contratos inteligentes, esses custos foram reduzidos em cerca de 30%, resultando em uma economia mensal. Somado a isto, anteriormente, os pagamentos aos agricultores e fornecedores eram processados manualmente, levando em média 15 dias após a entrega da safra. Com os contratos inteligentes, os pagamentos são acionados automaticamente assim que a safra atinge o ponto designado na cadeia de produção. Isso reduz significativamente o tempo de espera, eliminando atrasos e permitindo que tanto os parceiros quanto os fornecedores recebam seus pagamentos em até 48 horas após a entrega.

Na rastreabilidade da soja, isso significa que, por exemplo, pagamentos podem ser automatizados quando a safra chega a determinado ponto da cadeia, reduzindo a burocracia e os atrasos. Outros estudos indicam a implementação da Blockchain na rastreabilidade da soja não apenas otimiza processos, mas também atende às crescentes demandas dos consumidores por transparência e sustentabilidade. Os consumidores modernos estão mais conscientes de suas escolhas e buscam produtos que atendam a padrões éticos e ambientais. A Blockchain permite que a origem e as práticas de produção da soja sejam facilmente verificadas, fornecendo uma narrativa confiável e transparente.

Em uma última análise, Lakkakula, Bullock e Wilson (2021) mostram que a implementação da tecnologia Blockchain na rastreabilidade da soja não é apenas uma promessa teórica; ela já está moldando a agricultura de maneira tangível. Exemplos reais mostram o impacto significativo em percentuais, abordando melhorias em tecnologias, agilidade e qualidade dos grãos. Uma fazenda que integrou a Blockchain, segundo Shahid et al. (2020), experimentou uma aceleração nos processos de rastreabilidade. Anteriormente, o tempo médio para rastrear a origem de um lote de soja era de 5 dias. Com a Blockchain, esse tempo foi reduzido em 60%, resultando em uma rastreabilidade concluída em apenas 2 dias ou até menos. Dentro desse contexto, Lakkakula, Bullock e Wilson (2021) apontam que a rastreabilidade proporcionada pela Blockchain não se limita apenas à documentação, mas também se estende ao monitoramento das condições de crescimento e manuseio. Uma cooperativa agrícola que utiliza Blockchain para rastrear cada estágio do cultivo relatou uma redução de 25% nas perdas devido a práticas inadequadas. A capacidade de identificar e corrigir problemas rapidamente resultou em grãos de soja de qualidade superior em comparação aos seus pares.

Essa agilidade não apenas atende às demandas do mercado, mas também permite respostas rápidas a possíveis problemas na cadeia de produção. Conforme Mirabelli e Solina (2020), pesquisas de mercado indicam que consumidores estão dispostos a pagar até 20% a mais por produtos alimentícios com rastreabilidade verificável. A Blockchain, ao fornecer um registro transparente e imutável, contribui diretamente para a construção da confiança do consumidor. No artigo de Lakkakula, Bullock e Wilson (2021), indicam que fazendas que adotaram essa tecnologia experimentaram um aumento médio de 8% nas vendas, demonstrando o valor percebido pelos consumidores conscientes.

Em conclusão a este tópico, a eficiência operacional da Blockchain na rastreabilidade da soja é inegável. Ao criar uma rede segura, transparente e eficiente, a tecnologia não apenas reduz os tempos de

resposta e melhora a eficiência geral, mas também fortalece a confiança de toda a cadeia de produção. A implementação dessa inovação no agronegócio representa um passo inovador para um setor mais transparente e confiável.

Desafios da Tecnologia Blockchain na Cadeia de Suprimentos da Soja

Mirabelli e Solina (2020) destacam que apesar dos avanços promissores, a implementação generalizada da Blockchain na agricultura ainda enfrenta desafios substanciais. Um dos obstáculos fundamentais é a necessidade de criar padrões e protocolos globais que permitam a interoperabilidade entre diferentes sistemas. A falta de padronização pode limitar a eficácia da tecnologia e dificultar a colaboração internacional, essencial para maximizar seus benefícios. Dentre os países que têm se destacado nesse cenário, destacam-se os Estados Unidos, a China e a Itália, cada um desempenhando um papel crucial na intensificação das pesquisas e na implementação dessa tecnologia.

Em conformidade com o grupo de textos abordados, os Estados Unidos e a China, potências econômicas globais, têm liderado os esforços para incorporar a Blockchain na agricultura e expandir o seu uso na rastreabilidade da produção de grãos, sobretudo a soja. Ambos os países reconhecem a importância de inovações tecnológicas para enfrentar os desafios crescentes da produção de alimentos em larga escala. A China, em particular, tem investido maciçamente em pesquisa e desenvolvimento, visando otimizar cadeias de suprimentos, rastreabilidade e eficiência operacional por meio da Blockchain. No entanto, na cadeia de suprimentos da soja, a implementação da Blockchain apresenta desafios significativos, embora promissores para aprimorar a rastreabilidade, a qualidade e a sustentabilidade.

Segundo Anwar et al. (2022), existem inúmeros desafios na implementação da Blockchain na cadeia de suprimentos da soja, como o custo de implementação. Em conformidade com o autor, a adoção da tecnologia Blockchain requer investimentos significativos em infraestrutura e treinamento. Isso pode representar uma barreira para participantes menores da cadeia de suprimentos, o que pode não gerar tanta acessibilidade para outros integrantes dentro da cadeia. Além disso, o autor argumenta que a sazonalidade e a demanda flutuante se mostram desafios importantes, uma vez que a soja está sujeita a variações sazonais significativas na demanda, o que torna desafiador o gerenciamento de inventário e a previsão precisa para fornecedores e traders.

Dentro desse contexto, Yano (2019) elucida que a transparência na origem dos insumos pode oferecer complexidades em razão do uso da Blockchain. Mirabelli e Solina (2020) reiteram que a Blockchain pode fornecer rastreabilidade à origem da soja e seus insumos, mas garantir a precisão e integridade dessas informações é um desafio, especialmente em cadeias de suprimentos globais complexas. Diante do exposto, o multiplicado número de participantes é um exemplo abordado por Salah et al. (2019), pois, de acordo com os autores, na cadeia de suprimentos da soja, desde o produtor até o consumidor final, vários participantes estão envolvidos, como agricultores, processadores, distribuidores, exportadores, importadores e varejistas. Cada participante tem sua própria infraestrutura de registro de dados, o que aumenta a probabilidade de erros e inconsistências ao longo da cadeia. Outro fator limitante é o fato do fluxo internacional de produtos afetar no registro verdadeiro das informações. A soja nesse processo frequentemente atravessa fronteiras internacionais durante sua jornada da fazenda para o consumidor e as diferentes regulamentações alfandegárias, requisitos de documentação e sistemas de monitoramento em diferentes países levam a discrepâncias nos registros, tornando difícil manter a consistência e precisão na rastreabilidade.

Por fim, vale ressaltar que embora a descentralização seja uma característica fundamental da Blockchain, ela também introduz o desafio de garantir que todos os participantes mantenham registros precisos e confiáveis. Os estudos indicam que as falhas na adoção e conformidade com dos protocolos de registro são desafios inerentes a este processo e podem resultar em informações incorretas sendo adicionadas à Blockchain. Do mesmo modo, estudos sugerem que em cadeias de suprimentos complexas, a Blockchain pode não ser imune a ações fraudulentas, como fornecer informações falsas sobre a origem da soja. Se um participante mal-intencionado ou um elo fraco na cadeia adulterar os dados inseridos, a integridade da rastreabilidade será comprometida, sobretudo na soja, que apresenta muitos coparticipantes em sua cadeia.

IV. Conclusão

A presente pesquisa teve como objetivo analisar os potenciais benefícios do emprego da tecnologia Blockchain como ferramenta para a rastreabilidade em cadeias de suprimentos da soja a partir da análise bibliográfica de nove textos sobre a temática. Em um primeiro momento, os resultados apontam que a evolução da Blockchain tem desempenhado um papel significativo na cadeia de suprimentos da soja, transformando a maneira como a rastreabilidade é abordada. No contexto agrícola, a implementação dessa tecnologia tem proporcionado uma maior transparência e confiança nas transações ao longo da cadeia produtiva da soja. Ao registrar de forma imutável cada etapa do processo, desde o plantio até a distribuição, a Blockchain permite um rastreamento eficiente e preciso da origem da soja.

Observou-se que a tecnologia Blockchain apresenta uma série de benefícios significativos no transporte e distribuição da soja. Ao oferecer transparência, rastreabilidade e segurança, a Blockchain resolve desafios como a falta de visibilidade em tempo real nas operações. A rastreabilidade total é um destaque, permitindo que consumidores e parceiros comerciais acessem informações detalhadas sobre a origem da soja, garantindo qualidade e sustentabilidade. Além disso, o uso de contratos inteligentes apresenta outros benefícios como automatizar pagamentos e eliminar atrasos nesse processo.

Em relação ao uso da Blockchain como pilar essencial a participação dos stakeholders nesse processo, os achados mostram que a falta de transparência e confiança entre stakeholders resulta em dificuldades na rastreabilidade e questões éticas. A Blockchain, quando integrada à rastreabilidade, resolve esses problemas, tornando mais fácil monitorar a origem dos produtos, garantir a sustentabilidade e lidar com práticas éticas questionáveis. A participação ativa dos stakeholders é destacada como crucial para o sucesso da implementação da Blockchain, promovendo cooperação eficaz e legitimidade para a tecnologia. Em exemplos práticos, a implementação da Blockchain fortaleceu a confiança entre os participantes da cadeia, promovendo uma colaboração mais estreita e transparente, como visto em uma cooperativa agrícola que rastreou a produção de soja desde o plantio até a distribuição.

No tocante aos benefícios da Blockchain na fazenda e na melhoria da eficiência operacional, os desdobramentos da pesquisa mostram que na linha operacional existem pontos robustos. Por exemplo, a principal vantagem nesse sentido reside na criação de um registro distribuído e compartilhado, reduzindo a assimetria de informações e promovendo maior colaboração e transparência entre os múltiplos participantes da cadeia. A automação de processos através de contratos inteligentes contribui significativamente para a eficiência, reduzindo burocracia, custos administrativos e tempo associados a pagamentos e transações comerciais. Em relação a fazenda, a integração da tecnologia Blockchain nas operações agrícolas traz uma variedade de benefícios tangíveis para as fazendas de soja, abordando diferentes fases do processo de produção. A seleção de sementes é um exemplo, a qual contribui para a produtividade da safra e é aprimorada pela Blockchain, que possibilita o registro imutável de informações como origem, condições de armazenamento e histórico de desempenho. Isso não apenas assegura a qualidade das sementes, mas também facilita a conformidade com regulamentações.

Entretanto, apesar dos benefícios, o agronegócio enfrenta desafios na plena adoção da Blockchain. Questões relacionadas à integração de sistemas, padronização de dados e a resistência à mudança são obstáculos comuns. Além disso, a complexidade da cadeia de suprimentos da soja, que envolve diversas partes interessadas, desde agricultores até distribuidores, amplia os desafios logísticos e de coordenação na implementação efetiva da Blockchain.

Em relação as contribuições acadêmicas, este estudo apresenta informações que são substanciais, fornecendo uma visão abrangente dos benefícios da Blockchain na rastreabilidade da soja. Ao consolidar evidências sobre a transparência, segurança e eficiência que a tecnologia proporciona na cadeia de suprimentos, este trabalho contribui para o avanço do conhecimento no campo da gestão agrícola e tecnologias aplicadas. Acadêmicos e pesquisadores podem se beneficiar da compreensão aprofundada dos desafios enfrentados pelo agronegócio na adoção da Blockchain, bem como das estratégias bem-sucedidas observadas em casos práticos.

Considerando os resultados desta pesquisa sobre o emprego da tecnologia Blockchain na rastreabilidade das cadeias de suprimentos de soja, surgem diversas oportunidades para estudos futuros. Uma área de pesquisa potencial é a investigação aprofundada dos impactos socioeconômicos da adoção generalizada da Blockchain na agricultura, considerando não apenas seus benefícios operacionais, mas também as implicações para comunidades locais, pequenos agricultores e aspectos de inclusão digital, sobretudo no cenário brasileiro, em que não foram evidenciados estudos neste espaço. Além disso, seria relevante explorar como a Blockchain pode ser integrada de maneira mais efetiva com outras tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT) e a inteligência artificial, para otimizar ainda mais os processos agrícolas e promover uma agricultura mais sustentável e eficiente.

Referências

- [1]. Al-Jaroodi, J.; Mohamed, N. Blockchain In Industries: A Survey. *Ieee Access*, 7, 2019.
- [2]. Amato, G. C. Rastreabilidade Na Cadeia Do Biodiesel Com Uso Da Tecnologia De Blockchain. 2021. 93f. Dissertação (Mestrado) – Programa De Pós-Graduação Em Agronegócio / Escola De Economia De São Paulo Da Fundação Getulio Vargas, São Paulo, 2021.
- [3]. Antonopoulos, A. M. *Mastering Bitcoin: Unlocking Digital Cryptocurrencies* 1a Ed. Sebastopol: O'reilly Media, Inc, 2014.
- [4]. Anwar, S. Et Al. Traceability Information Model For Sustainability Of Black Soybean Supply Chain: A Systematic Literature Review. *Sustainability*, V. 14, N. 9498, P. 1-19, 2022.
- [5]. Bocek, T.; Stiller, B. Smart Contracts: Blockchains In The Wings. *Digital Marketplaces Unleashed*, P. 169-184, 2018.
- [6]. 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. 102-108, 2020.
- [7]. Cao, B. Et Al. A Many-Objective Optimization Model Of Industrial Internet Of Things Based On Private Blockchain. *Ieee Network*, V. 34, N. 5, P. 78-83, 2020.
- [8]. Caro, M. P. Et Al. Blockchain-Based Traceability In Agri-Food Supply Chain Management: A Practical Implementation. Paper Presented At The 2018 Iot Vertical And Topical Summit On Agriculture - Tuscany, Iot Tuscany, P. 1-4, 2018.

- [9]. Chizzotti, A. Pesquisa Qualitativa Em Ciências Humanas E Sociais. 6. Ed. Petrópolis: Vozes, 2014.
- [10]. Clark, J. K. Et Al. A Contemporary Concept Of The Value(S)-Added Food And Agriculture Sector And Rural Development. Community Development, V. 52, N. 2, P. 186–204, 2021.
- [11]. Cole, R. Et Al. Blockchain Technology: Implications For Operations And Supply Chain Management. Supply Chain Management, V. 24, N. 4, P. 469–483, 11 Jun. 2019.
- [12]. Cunha, R. C. C. A Geoeconomia Da Cadeia Produtiva Da Soja No Brasil. 2020. 313f. Tese (Doutorado Em Geografia) - Programa De Pós-Graduação Em Geografia, Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis, 2020.
- [13]. Francisco, E. R. Desempenho Agronômico De Cultivares De Soja Em Diferentes Épocas De Semeadura No Cerrado Do Distrito Federal. 2009. 145f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade De Agronomia E Medicina Veterinária Na Universidade De Brasília, Brasília, 2009.
- [14]. Kamble, S. S.; Gunasekaran, A.; Sharma, R. Modeling The Blockchain Enabled Traceability In Agriculture Supply Chain. International Journal Of Information Management, V. 52, 2020.
- [15]. Karakas, S.; Acar, A. Z.; Kucukaltan, B. Blockchain Adoption In Logistics And Supply Chain: A Literature Review And Research Agenda. International Journal Of Production Research, 2021.
- [16]. Kim M. Et Al. Integrating Blockchain, Smart Contract-Tokens, And Iot To Design A Food Traceability Solution. In: Proceedings Of The 9th Ieee Annual Information Technology, Eelectronics And Mobile Communication Conference 2019: Vancouver, Canadá, P. 335-340, 2019.
- [17]. Kramer, M. P.; Bitsch, L.; Hanf, J. Blockchain And Its Impacts On Agri-Food Supply Chain Network Management. Sustainability, V. 13, N. 4, P. 2168, 2021.
- [18]. Kshetri, N. Blockchain's Roles In Meeting Key Supply Chain Management Objectives. International Journal Of Information Management, V. 39, P. 80-89, 2018
- [19]. Lakkakula, P.; Bullock, D.; Wilson, W. Asymmetric Information And Blockchains In Soybean Commodity Markets. Applied Economic Perspectives And Policy, 2021.
- [20]. Lin, W. Et Al. Blockchain Technology In Current Agricultural Systems: From Techniques To Applications. Ieee Access, V. 8, P. 143920–143937, 2020.
- [21]. Malik, S.; Kanhere, S. S.; Jurdak, R. Product Chain: Scalable Blockchain Framework To Support Provenance In Supply Chains. Paper Presented At The Nca 2018 - 2018 Ieee 17th International Symposium On Network Computing And Applications, P. 1-10, 2018.
- [22]. Marconi, M. A.; Lakatos, E. M. Metodologia Científica. São Paulo: Grupo Gen, 2022.
- [23]. Medina, G.; Thomé, K. Transparency In Global Agribusiness: Transforming Brazil's Soybean Supply Chain Based On Companies Accountability. Logistics, V. 5, N. 58, 2021
- [24]. Menon, S.; Jain, K. Blockchain Technology For Transparency In Agri-Food Supply Chain: Use Cases, Limitations, And Future Directions. Ieee Transactions On Engineering Management, 2021.
- [25]. Mirabelli, G.; Solina, V. Blockchain And Agricultural Supply Chains Traceability: Research Trends And Future Challenges. Procedia Manufacturing, V. 42, P. 414-421, 2020.
- [26]. Morales, V. Et Al. Information Systems In The Soybean Brazilian Supply Chain: An Analysis From The Trading Companies Perspective. In Proceedings Of The Iis Conference, Bordeaux, France, 2016.
- [27]. Moreno, G. Comportamento Produtivo, Econômico E Energético Da Soja Cultivance. 2018. 41f. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação Em Bioenergia, Universidade Federal Do Paraná, Palontina, 2018.
- [28]. Moser, M. Et Al. An Empirical Analysis Of Traceability In The Monero Blockchain. Proceedings On Privacy Enhancing Technologies, V. 3, P. 143-163, 2021.
- [29]. Nakamoto, S. Bitcoin: A Peer-To-Peer Electronic Cash System, 2008.
- [30]. Ohler, S. K.; Pizzol, M. Technology Assessment Of Blockchain-Based Technologies In The Food Supply Chain. Journal Of Cleaner Production, V. 269, N. 122193, 2020.
- [31]. Pacova, B. E. V. Análise Genética De Progênes Segregantes De Soja Apropriada Para O Consumo Humano. 1992, 217f. Tese (Doutorado Em Agricultura) – Escola Superior De Agricultura, Universidade De São Paulo, São Paulo, 1992.
- [32]. Pwc. P. Ecossistemas De Cadeias De Suprimentos Conectadas E Autônomas 2025. 2020. Disponível Em: <<https://www.pwc.com.br>>. Acesso Em: 21 De Nov. 2023.
- [33]. Salah, K. Et Al. Blockchain-Based Soybean Traceability In Agricultural Supply Chain. Ieee Access, V. 7, P. 73295-73305, 2019.
- [34]. Santos, J. A.; Filho, D. P. Metodologia Científica. Rio De Janeiro: Cengage Learning Brasil, 2012.
- [35]. Shahid, A. Et Al. Blockchain-Based Reputation System In Agri-Food Supply Chain. Advanced Information Networking And Applications, V. 1151, 2020.
- [36]. Schmidt, C. G.; Wagner, S. M. Blockchain And Supply Chain Relations: A Transaction Cost Theory Perspective. Journal Of Purchasing And Supply Management, V. 25, N. 4, P. 100-552, 2019.
- [37]. Tapscott, D.; Tapscott, A. Blockchain Revolution: How The Technology Behind Bitcoin Is Changing Money, Business, And The World. Penguin, New York, 2016.
- [38]. Tian, F. An Agri-Food Supply Chain Traceability System For China Based On Rfid & Blockchain Technology. Paper Presented At The 13th International Conference On Service Systems And Service Management, Icsssm 2016, P. 1-6, 2016.
- [39]. Treiblmaier, H. The Impact Of The Blockchain On The Supply Chain: A Theory-Based Research Framework And A Call For Action. Supply Chain Management, V. 23, N. 6, P. 545–559, 13 Nov. 2018.
- [40]. Urben Filho, G.; Souza, P. I. M. Manejo Da Cultura Da Soja Sobre O Cerrado: Época, Densidade E Profundidade Da Semeadura. Cultura Da Soja Nos Cerrados, Potafos, P. 267-298, 1993.
- [41]. Yano, Prototype Of Non-Genetically Modified Soybean Tracking System Using Blockchain Technology. Advances In Agriculture, Horticulture And Entomology, V. 2019, N. 2, P. 1-7, 2019.
- [42]. Zhang, M. Et Al. Consumer Perception. Mandatory Labeling, And Traceability Of Gm Soybean Oil: Evidence From Chinese Urban Consumers. Gm Crop Food, V. 12, P. 36–46, 2021.