



INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

ADILSON LEONARDO MORGADO CABAÇA

BLOCKCHAIN NA SUPPLY CHAIN: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA SOBRE
RASTREABILIDADE DE PRODUTOS

REDENÇÃO-CE
2024

ADILSON LEONARDO MORGADO CABAÇA

**BLOCKCHAIN NA SUPPLY CHAIN: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA SOBRE
RASTREABILIDADE DE PRODUTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso em formato de artigo do Curso de Engenharia da Computação da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro Brasileira, como requisito parcial à obtenção de título de Bacharel em Engenharia da Computação.

Orientador: Prof. Dr. John Hebert da Silva Felix

REDENÇÃO-CE

2024

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Cabaça, Adilson Leonardo Morgado.

C114b

blockchain na supply chain: uma análise bibliométrica sobre rastreabilidade de produtos / Adilson Leonardo Morgado Cabaça. - Redenção, 2024.
58f: il.

Monografia - Curso de Engenharia De Computação, Instituto De Engenharias E Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2024.

Orientador: Prof. Dr. John Hebert da Silva Felix.

1. Blockchain. 2. Products. 3. Smart Contracts. 4. Traceability. I. Título

CE/UF/BSCA

CDD 000

ADILSON LEONARDO MORGADO CABAÇA

**BLOCKCHAIN NA SUPPLY CHAIN: UMA ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA SOBRE
RASTREABILIDADE DE PRODUTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso em formato de dissertação do curso de Engenharia da Computação da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito parcial à obtenção de título de Bacharel em Engenharia da Computação.

Aprovado em 28 de 11 de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. John Hebert da Silva Felix (Orientador)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Prof.^a Dra. Rita Karolinny Chaves De Lima (Examinadora)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Prof. Dr. José Cleiton Sousa Dos Santos (Examinador)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Prof. Dr. Antonio Carlos Da Silva Barros (Examinador)

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

DEDICATORIA

Dedico este trabalho aos meus pais, que sempre acreditaram no meu potencial e me incentivaram a seguir em frente, mesmo diante das adversidades. À minha filha, fonte constante de amor e motivação, e a todos os amigos e colegas que compartilharam momentos de aprendizado e superação comigo ao longo desta jornada. Este trabalho é também dedicado aos profissionais e estudantes que buscam, por meio da tecnologia, transformar positivamente o mundo ao nosso redor.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela força e sabedoria concedidas em cada etapa deste trabalho. Expresso minha imensa gratidão ao meu orientador, Prof. Dr. John Hebert da Silva Felix, pelo suporte, paciência e valiosas orientações. Aos colegas de curso e professores da UNILAB, por contribuírem de maneira tão significativa para minha formação acadêmica e pessoal. Agradeço também à minha família, por todo apoio emocional e compreensão ao longo desta trajetória, e aos amigos que acreditaram no meu potencial. Por fim, agradeço às inúmeras leituras e debates que enriqueceram esta pesquisa, e a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Este estudo analisa a aplicação da tecnologia blockchain na rastreabilidade de produtos em cadeias de suprimentos, com enfoque na transparência, segurança e eficiência. Utilizando uma análise bibliométrica, foram mapeadas tendências de pesquisa, instituições líderes e contribuições acadêmicas globais na área. Os resultados revelam um aumento expressivo na adoção de blockchain, especialmente nos setores alimentício e farmacêutico, destacando sua capacidade de documentar práticas sustentáveis, reduzir fraudes e otimizar recalls. Além disso, contratos inteligentes foram identificados como ferramentas-chave para automação, eliminando intermediários e reduzindo custos operacionais. O estudo também aponta desafios como custos de implementação e a necessidade de padronização de dados. A pesquisa contribui ao relacionar blockchain com práticas de sustentabilidade e conformidade regulatória, propondo caminhos para superar barreiras e impulsionar a inovação em cadeias produtivas.

Palavras-chave: Blockchain, Products, Smart Contracts, Traceability

ABSTRACT

This study analyzes the application of blockchain technology in product traceability in supply chains, with a focus on transparency, security, and efficiency. Using a bibliometric analysis, research trends, leading institutions, and global academic contributions in the field were mapped. The results reveal a significant increase in the adoption of blockchain, especially in the food and pharmaceutical sectors, highlighting its ability to document sustainable practices, reduce fraud, and optimize recalls. In addition, smart contracts were identified as key tools for automation, eliminating intermediaries, and reducing operational costs. The study also highlights challenges such as implementation costs and the need for data standardization. The research contributes by relating blockchain to sustainability practices and regulatory compliance, proposing ways to overcome barriers and drive innovation in production chains.

Keywords: Blockchain, Products, Smart contracts, Traceability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Autores por Citação	Página 12
Figura 2 - Autores por Documentos	Página 14
Figura 3 - Top 10 - Authors per H-Index	Página 16
Figura 4 - Produção ao Longo do Tempo	Página 18
Figura 5 - Citação por País	Página 21
Figura 6 - País por Documentos	Página 22
Figura 7 - Diagrama de Cordas	Página 24
Figura 8 - Documentos por Revistas	Página 26
Figura 9 - Citações por Revistas	Página 28
Figura 10 - Documentos e Citações por Ano	Página 30
Figura 11 - Clusters de Documentos	Página 31
Figura 12 - Evolução das Palavras-Chave	Página 35
Figura 13 - Diagrama Sankey	Página 36
Figura 14 - Nuvens de Palavras	Página 38

LISTA DE ABREVIATURAS

BC Blockchain

IoT Internet of Things (Internet das Coisas)

PCD Participantes com Deficiência

WoS Web of Science

UNILAB Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-
Brasileira

LISTA DE TABELA

Tabela 1- Resumo dos países com maiores números de citações e de documentos.....Página 25

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	5
1.1.	Rastreabilidade	6
1.2.	Blockchain	8
1.3.	Bibliometria	8
2.	OBJETIVOS	9
2.1.	Objetivo Geral	9
2.2.	Objetivos Específicos	9
3.	JUSTIFICATIVA	10
4.	METODOLOGIA	11
4.1.	Inclusão de artigos fora do banco de dados adotado como principal	11
5.	ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	12
5.1.	Análise de autores	12
5.2.	Interpretação bibliométrica	13
5.3.	Por documentos	14
5.4.	Por H-Index	16
5.5.	Produção ao longo do tempo (Quantidade de produção de autores por ano)	18
5.6.	Análise de tendências e contribuições dos autores	19
5.7.	Contexto bibliométrico e a evolução da pesquisa em Blockchain	20
5.8.	Relevância para estudos de produção acadêmica	20
	5.8.1. Por país e citação	20
	5.8.2. Por documentos	22
5.9.	Diagrama De Cordas	23
6.	ANÁLISE DE FONTES OU REVISTAS	26
6.1.	Em relação ao número de documentos	26
6.2.	Análise das fontes por número de citações	27
7.	ANÁLISE GERAL DOS DOCUMENTOS	29
7.1.	Documentos e citações por ano	29
7.2.	Clusters de documentos	31
7.3.	Estrutura e organização dos Clusters	31
7.4.	Principais tópicos de interesse	32
7.5.	Análise da concentração e proximidade entre Clusters	33

7.6.	Análise das palavras-chaves.....	33
7.6.1.	Evolução anual das palavras-chave.....	33
7.6.2.	Diagrama Sankey.....	35
7.7.	Nuvens de palavras.....	37
8.	REVISÃO DA LITERATURA	38
8.1.	Sustentabilidade na supply chain	38
8.2.	Rastreabilidade de produtos baseada na blockchain para Supply chain	40
8.3.	Contratos inteligentes.....	42
8.4.	Análise econômica da cadeia de suprimentos (Supply chain)	43
8.5.	Limitações na aplicação do blockchain na supply chain.....	45
9.	CONCLUSÕES E PESQUISAS FUTURAS.....	46
10.	REFERÊNCIAS.....	48

1. INTRODUÇÃO

A rastreabilidade na cadeia de suprimentos tem se tornado cada vez mais importante, especialmente à medida que as cadeias globais se tornam mais complexas e os consumidores exigem mais transparência. A rastreabilidade refere-se à capacidade de monitorar o percurso de um produto através de todas as etapas de produção e distribuição, garantindo a origem, a autenticidade e a segurança dos produtos. Sua relevância é notável em indústrias como alimentos, medicamentos, automotiva e tecnologia, onde a confiabilidade e a conformidade são cruciais.

Autores discutem ou já discutiram a rastreabilidade na cadeia de suprimento e sobre a gestão dela, Leão (2024), diz que envolve várias entidades com envolvimento direto para garantir o sucesso na cadeia de suprimentos. Para que uma empresa tenha sucesso nesse processo, é essencial que todos os departamentos estejam alinhados e atuem de maneira integrada, pois a integração garante o bom funcionamento de cada etapa da cadeia. O autor ainda acrescenta que a cadeia de suprimentos envolve todas as etapas relacionadas à produção, ao armazenamento e ao transporte de produtos (LEÃO, 2024).

Então, a falta de confiança causada pelos furtos e golpes na cadeia de suprimentos, tem exigido que as informações sejam compartilhadas e a rastreabilidade é uma forma de garantir que todos os envolvidos estejam a par de todo o processo, desde os fornecedores aos clientes. Mais à frente mostraremos com mais detalhes sobre rastreabilidade na cadeia de suprimentos.

Autores como Han e Fan (2023) contribuem dizendo que com a crescente complexidade e incerteza da cadeia de suprimentos global (Xu et al., 2020), os membros enfrentam um número crescente de riscos e muitas vezes não conseguem responder a emergências de forma rápida e precisa, o que pode facilmente levar a interrupções (Lai, Wang e Chiu, 2021).

Já o site da empresa SAP (SAP, [s.d]) define a gestão da cadeia de suprimentos como sendo o processo que “[...] inclui todas as atividades que transformam matérias-primas em produtos acabados para uso dos clientes. Isso inclui *sourcing*, design, produção, armazenamento, expedição e distribuição”.

A gestão da cadeia de suprimentos depende de uma rede complexa e interconectada de fornecedores, fabricantes, empresas de transporte, distribuidores e clientes com o objetivo de prever, monitorar e controlar operações e processos (Dudczyk et al., 2024).

A gestão da cadeia de suprimentos vai muito além de simplesmente mover produtos de um lugar para outro, isso a torna muito fascinante. Vamos pensar nela como se fosse uma dança coordenada entre várias partes dos fornecedores, fabricantes, transportadoras, distribuidores e,

claro, os clientes. Todos têm um papel importante e, se uma parte falha, pode afetar o processo todo. O grande desafio aqui é como antecipar o que pode dar errado, reagir rapidamente e garantir que tudo funcione de forma harmoniosa. No fundo, a essência está em manter uma boa comunicação e colaboração para que todos estejam na mesma sintonia, garantindo que os produtos cheguem no tempo certo e nas condições certas.

Ainda sobre a gestão na cadeia, no site da empresa SAP, uma empresa que trabalha com as questões de cadeia de suprimentos fala da gestão na cadeia de suprimentos, sobre as etapas que envolvem para gestão da cadeia de suprimentos que são necessárias para a transformação de matérias-primas em produtos finais destinados aos clientes. Das atividades como aquisição de materiais, design, fabricação, armazenamento, envio e distribuição (SAP, [s.d]).

Silva e filho (2019, p.2), afirmam que “no mundo globalizado, nenhuma empresa é uma ilha. Elas precisam se relacionar com clientes, investidores e parceiros, além dos fornecedores de suprimentos”. Dito isso, a crescente demanda por transparência nas cadeias de suprimentos tem se tornado essencial, especialmente para empresas com operações globais. Isso se torna ainda mais crítico quando as matérias-primas são provenientes de países com práticas ambientais ou sociais questionáveis. Ao integrar a tecnologia blockchain para melhorar a rastreabilidade, as empresas conseguem fornecer dados essenciais sobre a origem, qualidade, localização e outros aspectos relevantes dos produtos, permitindo que seus stakeholders tenham acesso a essas informações e contribuindo para práticas mais sustentáveis e éticas (Gligor et al., 2021).

1.1. Rastreabilidade

A rastreabilidade usada neste contexto para coleta de informações ou dados e seu armazenamento na blockchain para garantir a transparência. O maior desafio na *supply chain* é a questão da rastreabilidade e transparência. Muitos dos consumidores têm uma certa dificuldade em acreditar nos sistemas de rastreabilidade por conta de situações desfavorecidas para eles que aconteceram e tem acontecido ao longo do tempo, principalmente na cadeia de suprimentos alimentícios.

Machado et al. (2024) afirma no artigo que a encefalopatia espongiforme bovina é a principal razão da rastreabilidade dentro desta cadeia, que na altura do acontecido governos europeus se movimentaram para evitar a contaminação de cidadãos europeus.

Leonelli e Toledo (2006, p. 4) afirmam que rastreabilidade, tanto de produto quanto de processo, visa monitorar e documentar informações essenciais sobre a localização e a

transformação de um item ao longo da cadeia de suprimentos. No caso da rastreabilidade de produto, o foco está em localizar fisicamente o produto em qualquer fase da cadeia, facilitando o gerenciamento logístico, o recall e a comunicação de informações para consumidores e outros agentes envolvidos. Já a rastreabilidade de processo concentra-se em acompanhar as etapas de produção e transformação do produto, registrando o tipo e a sequência de atividades, além de fatores ambientais e operacionais que influenciam a qualidade e a segurança do produto final, incluindo a detecção de possíveis contaminantes.

A importância da transparência nos valores dos itens dentro da cadeia de suprimentos. A falta dessa clareza impede que entidades e clientes possam verificar e validar o valor real de um produto, resultando em desafios para a gestão e rastreabilidade dos itens. Além disso, a presença de intermediários e os custos associados ao seu manuseio complicam ainda mais o processo, gerando riscos competitivos e afetando a reputação das empresas. Em resumo, a transparência é fundamental para garantir a confiança e eficiência nas operações da cadeia de suprimentos.

Na verdade, a falta de transparência no valor de fornecimento de qualquer item impede que entidades da cadeia de suprimentos e clientes verifiquem e validem o valor real deste item. O custo envolvido no manuseio de intermediários, sua confiabilidade e transparência complicam ainda mais o gerenciamento dessa rastreabilidade na cadeia de suprimentos. Problemas competitivos estratégicos e de reputação surgem desses riscos e da falta de transparência (Saber et al., 2018).

Saber et al. ressaltam que a falta de transparência nos valores dos itens na cadeia de suprimentos dificulta que empresas e clientes verifiquem e validem o valor real dos produtos, agravando os desafios de rastreabilidade. Problema esse que torna necessária a dependência de intermediários, que geram custos adicionais e introduzem riscos de confiabilidade e eficiência.

A opacidade nas transações não apenas eleva o custo e a complexidade de gestão, mas também prejudica a reputação e a competitividade das empresas, pois consumidores e parceiros demandam cada vez mais práticas transparentes e éticas. Nesse contexto, tecnologias como blockchain, que oferecem rastreabilidade e segurança nas transações, apresentam-se como uma solução estratégica, proporcionando um controle mais rigoroso e confiável sobre a cadeia de suprimentos.

1.2. Blockchain

Blockchain pode ser definido como sendo um livro razão onde são armazenadas as transações feitas na rede, utilizando tecnologias de uma rede distribuída, ou seja, é um banco de dados distribuído que elimina a necessidade de um servidor central.

Ribeiro e Mendizabal (2019, p.8) afirmam que a grande razão para o desenvolvimento dessa tecnologia “é a automatização do indivíduo intermediário, responsável pelo julgamento e processamento necessário para que uma transação seja considerada justa e segura para ambas as partes”. Por outro, Ferreira (2017) vai definir o BC como sendo um livro de registro descentralizado, que armazena informações em cada bloco.

Para a cadeia de suprimentos ele é muito importante, pois além de passar informações detalhadas sobre o processo todo ele pode facilitar as transações e pagamentos, Salah et al. (2019) destacam que a adoção e implementação da tecnologia blockchain contribuem para garantir a segurança nos pagamentos aos vendedores, além de compartilhar informações importantes, como a origem dos produtos, certificação de orgânico ou não OGM, rendimentos de safras e alertas de riscos potenciais de contaminação, entre outros.

1.3. Bibliometria

A bibliometria é uma área de estudo que utiliza métodos quantitativos e estatísticos para examinar a produção e a disseminação do conhecimento científico por meio de publicações. Seu principal propósito é avaliar o impacto, a produtividade e as tendências em pesquisas, através de métricas como número de artigos, citações recebidas e níveis de colaboração entre autores, instituições e países. Essas análises possibilitam o mapeamento da evolução de campos do conhecimento, a identificação de autores e redes de colaboração influentes, além de contribuir para a formulação de políticas científicas e acadêmicas mais eficientes.

Outros autores trazem outros pontos de vista ou definições sobre o tópico estudado nesta sessão que na prática vão se casar com as teorias estudadas sobre ele, os autores Moresi e Pinho (2022) afirmam que a análise bibliométrica envolve o desenvolvimento de padrões e modelos matemáticos para medir processos, além de utilizar seus resultados para realizar previsões e subsidiar a tomada de decisão.

2. OBJETIVOS

2.1.Objetivo Geral

Analisar o uso da tecnologia blockchain na rastreabilidade de produtos em cadeias de suprimentos, destacando sua contribuição para a transparência, eficiência e sustentabilidade.

2.2.Objetivos Específicos

- Realizar uma análise bibliométrica sobre a aplicação do blockchain em cadeias de suprimentos.
- Identificar os principais desafios e benefícios da implementação do blockchain.
- Explorar casos de sucesso na aplicação de contratos inteligentes para automação e redução de custos.
- Relacionar as descobertas com práticas de sustentabilidade e conformidade regulatória.

3. JUSTIFICATIVA

A crescente complexidade das cadeias de suprimentos globais e a demanda por maior transparência por parte dos consumidores tornam imperativa a busca por soluções tecnológicas inovadoras. A tecnologia blockchain emerge como uma ferramenta revolucionária ao possibilitar a rastreabilidade de produtos de maneira segura, eficiente e descentralizada, reduzindo fraudes, otimizando processos e promovendo práticas mais sustentáveis.

Este estudo é justificado pela relevância prática e acadêmica de compreender como a blockchain, aliada a contratos inteligentes, pode transformar a gestão das cadeias produtivas, garantindo maior confiança entre os participantes e atendendo às exigências regulatórias e ambientais. Além disso, há uma lacuna significativa na literatura sobre as barreiras à adoção dessa tecnologia e os impactos econômicos e sociais de sua implementação, especialmente em contextos de cadeias produtivas sensíveis, como as indústrias alimentícia e farmacêutica.

Assim, esta pesquisa contribui ao aprofundar a análise sobre os benefícios, desafios e tendências dessa tecnologia, oferecendo insights valiosos para acadêmicos, profissionais e empresas que buscam adotar soluções disruptivas para otimizar suas operações e fortalecer sua responsabilidade socioambiental.

4. METODOLOGIA

O presente artigo adota uma abordagem de estudo bibliométrico para investigar as produções acadêmicas relacionadas ao tema da rastreabilidade de produtos na cadeia de suprimentos usando blockchain, o estudo baseando-se nos últimos 14 anos, isso até o primeiro semestre de 2024. A bibliometria é uma área de estudo que utiliza métodos quantitativos e estatísticos para examinar a produção e a disseminação do conhecimento científico por meio de publicações, permitindo avaliar o impacto, a produtividade e as tendências em pesquisas (Moresi; Pinho, 2022).

4.1. Inclusão de artigos fora do banco de dados adotado como principal

O principal banco de dados utilizado para a coleta dos artigos foi a web of science (Wos), onde extraímos 4317 artigos para análise. Esta escolha é justificada por sua qualidade e por ser mais comum usar esta base de dados na coleta de artigos, visto que ela indexa uma vasta gama de periódicos revisados por pares de alta relevância para as áreas de rastreabilidade de produtos na cadeia de suprimentos. Os critérios para a busca incluíram as seguintes palavras-chave: “Blockchain”, “Traceability”, ‘Products’ e “Smart contracts”. As buscas limitam-se em artigos publicados entre 2010 e 2024, e na linguagem foi filtrada para inglês em todos os artigos analisados. Foram considerados artigos científicos, revisões de literatura, assim, foram excluídas dissertações e teses.

Além dos artigos coletados no Wos, foram incluídos estudos relevantes de outras fontes não indexadas para literatura do trabalho, como o Google acadêmico, repositórios institucionais web específicos e webpages de modo geral. A inclusão desses artigos fora do banco de dados principal foi motivada pela necessidade de abranger publicações não listadas no Wos, por conta da relevância temática para a análise.

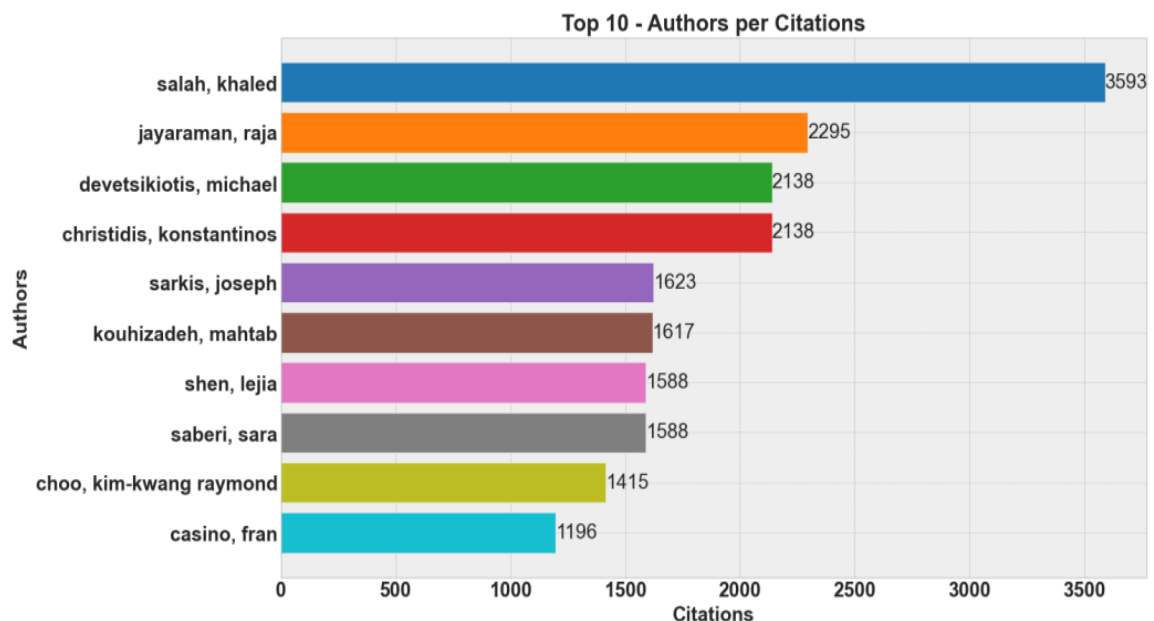
Para a análise bibliométrica usamos um software auto-executável chamado Vosviewer para fazer análise dos artigos coletados e gerar as imagens, e a biblioteca bibliometrix e biblioshiny do R. O arquivo baixado do Wos é adicionado ao Vosviewer e junto usamos a Bibliometrix para a extração das imagens e análise.

5. ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

5.1. Análise de autores

O gráfico apresentado na Figura 1 destaca os 10 autores mais citados na área de estudo em que está eixo vertical lista os nomes dos autores, enquanto o horizontal nos mostra o número total de citações que cada autor acumulou em suas publicações. As barras de diferentes cores ajudam a distinguir visualmente os autores, facilitando a leitura e compreensão.

Figura 1- Autores por citação



Fonte: Elaboração própria.

O gráfico nos mostra o ranking dos dez principais autores mais citados em pesquisas sobre temas como blockchain, rastreabilidade, produtos e contratos inteligentes. Esse tipo de análise bibliométrica é fundamental para identificar os principais influenciadores e o impacto acadêmico dentro de uma área de estudo emergente como a blockchain aplicada a produtos e contratos inteligentes.

Entre todos os autores analisados na liderança temos o autor Khaled Salah que se destaca com 3.593 citações, indicando sua significativa influência e prolífica contribuição em estudos que provavelmente abrangem desde a tecnologia de blockchain até aplicações práticas, como

contratos inteligentes e rastreabilidade de produtos. Salah é seguido por Raja Jayaraman com 2.295 citações, e em seguida temos Michael Devetsikiotis e Konstantinos Christidis, ambos com 2.138 citações, sugerindo que esses pesquisadores também têm um impacto substancial, por explorarem a interseção entre blockchain e rastreabilidade em supply chain, onde a tecnologia tem potencial para melhorar a transparência e a confiança.

Após pesquisas e dados mostrado através do gráfico, destacamos outros autores, como Joseph Sarkis, Mahtab Kouhizadeh, e Lejia Shen, com citações variando entre 1.588 e 1.623, provavelmente contribuem com estudos que avaliam a implementação de blockchain em processos de rastreabilidade de produtos e sua integração com contratos inteligentes para facilitar a automação e a confiabilidade das transações. Kim-Kwang Raymond Choo, Sara Saberi e Fran Casino completam a lista, com pesquisas que, além da rastreabilidade, podem abordar aspectos de segurança e proteção de dados em ambientes de blockchain.

Destacamos o impacto desses autores na área de blockchain aplicada, sugerindo que suas contribuições ajudam a definir direções de pesquisa, orientando novas investigações e influenciar a prática industrial, especialmente no que diz respeito à rastreabilidade de produtos e à adoção de contratos inteligentes para otimizar a cadeia de suprimentos e operações comerciais.

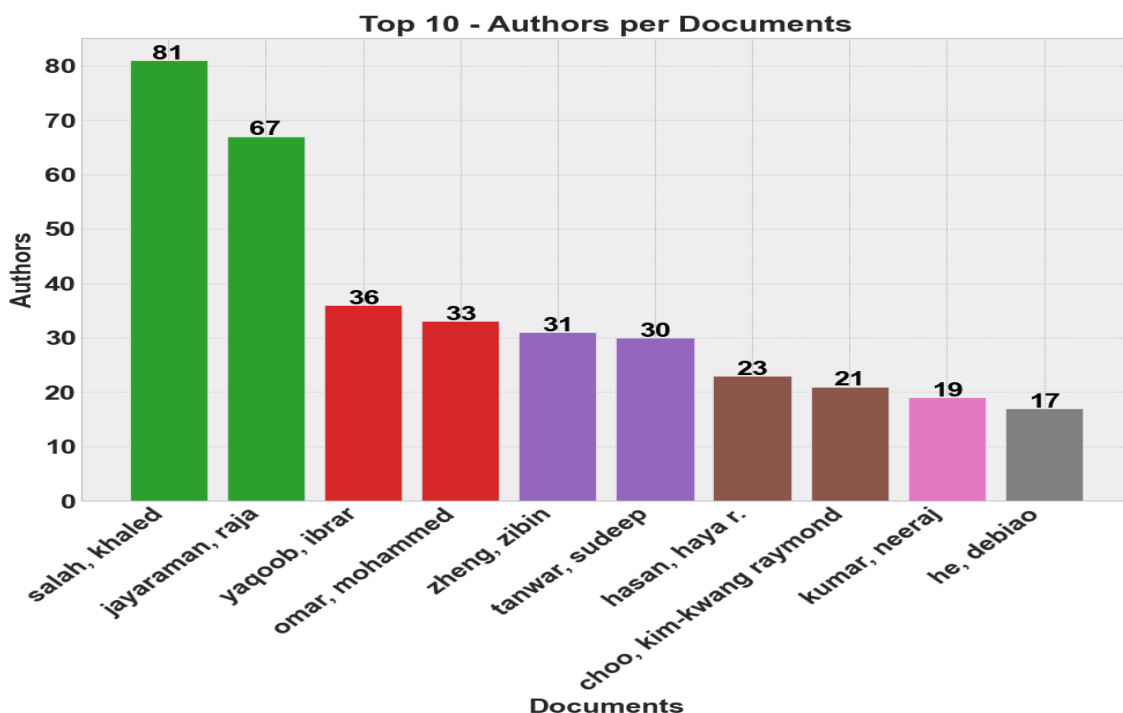
5.2. Interpretação bibliométrica

Este gráfico é um exemplo de análise bibliométrica, onde o objetivo é avaliar o impacto de pesquisadores dentro de uma área de estudo pesquisada, sendo a bibliometria, o estudo da produção científica por meio de métodos quantitativos, uma ferramenta crucial para identificar padrões de publicação e influência acadêmica, Mathias (2022) diz que “O método quantitativo é conclusivo, e tem como objetivo quantificar um problema e entender a dimensão dele”.

Nessa análise as citações refletem o quão influentes são as publicações de um autor, e o grau de influência sobre outros pesquisadores, servindo como uma medida indireta de qualidade e relevância científica. A análise das citações é essencial em estudos bibliométricos porque indica a capacidade do autor de gerar conhecimento relevante e que é amplamente referenciado por outros na comunidade científica e, os números de citações apresentados por Khaled Salah e Raja Jayaraman, sugerem que suas pesquisas contribuíram para o avanço do campo, servindo de referência para futuros trabalhos.

5.3. Por documentos

Figura 2 – Autores por documentos



Fonte: Elaboração própria.

Essa é uma representação gráfica dos dez principais autores em termos de produção de documentos acadêmicos sobre os temas de blockchain, rastreabilidade, produtos e contratos inteligentes. No eixo horizontal, rotulado como documentos, temos os nomes dos autores e a contagem de documentos publicados, que podemos ver no eixo vertical. Esse tipo de análise bibliométrica é uma ferramenta essencial para mapear a produtividade e identificar os pesquisadores mais prolíficos em áreas emergentes e tecnológicas, permitindo entender quais autores estão contribuindo substancialmente para o avanço do conhecimento em tópicos específicos.

Liderando o ranking com 81 publicações está o Salah, indicando uma contribuição significativa na área de blockchain e suas aplicações, possivelmente com um foco voltado para contratos inteligentes e rastreabilidade de produtos. O segundo colocado no gráfico é o Raja Jayaraman, com 67 documentos, é provavelmente um pesquisador ativo em rastreabilidade e na interseção entre blockchain e gestão da supply chain, áreas em que a tecnologia blockchain vem sendo amplamente aplicada para garantir a segurança e transparência dos processos.

Os autores Ibrar Yaqoob com 36 documentos e Mohammed Omar com 33 documentos ocupam a terceira e quarta posições, respectivamente, sugerindo também um forte envolvimento em estudos da tecnologia blockchain, que podem abordar desde a rastreabilidade de produtos até a viabilização de transações automatizadas com contratos inteligentes. Logo depois temos, Zibin Zheng e Sudeep Tanwar, com 31 e 30 publicações, respectivamente, provavelmente contribuem com uma abordagem técnica que analisa infraestrutura de blockchain e suas aplicações práticas em cadeias produtivas, pois embora sejam números inferiores se comparados aos números de Salah e Jayaraman, nota-se relevância de suas contribuições nos estudos sobre blockchain, rastreabilidade e gestão da cadeia produtivas.

Outros autores, como Hasan, Haya R., Choo, Kim-Kwang Raymond, Kumar, Neeraj e He, Debiao que tem menos 25 publicações, não menos importantes que os outros uma vez que seus nomes constam na lista dos dez mais produtivos, mas as o ranking mostra que os dois primeiros colocados têm trabalhado muito em prol da inovação na cadeia produtiva e estudando a adoção de tecnologia tornando-se os mais poríferos no estudo em questão.

Hasan, Haya R., Choo, Kim-Kwang Raymond são conhecidos por suas pesquisas em segurança e proteção de dados, aspectos críticos em sistemas de blockchain, áreas que são essenciais para garantir a integridade dos dados de rastreabilidade e a automação segura de contratos inteligentes.

Fechando a lista dos dez autores mais produtivos temos Kumar, Neeraj e He, Debiao com 19 e 17 documentos, respectivamente. Suas pesquisas podem envolver desde a aplicação de blockchain para garantir a rastreabilidade de produtos, até o desenvolvimento de contratos inteligentes, onde exploram a confiabilidade e funcionalidade dessas tecnologias em ambientes acadêmicos e corporativos.

5.4. Por H-Index

O gráfico circular mostra os "Top 10 - Authors per H-Index", uma métrica frequentemente utilizada para medir o impacto de um autor com base no número de publicações e nas citações que elas recebem. O gráfico representa uma análise bibliométrica dos autores mais influentes em um campo específico, com base em seus respectivos H-Indexes.

Figura 3 – H-Index



Fonte:Elaboração própria

Para entender melhor o que é H-Index vamos o que o cientista físico Jorge Eduardo Hirsch, o autor deste método ou a pessoa que o desenvolveu, falou sobre:

[...] dois indivíduos com h s semelhantes são comparáveis em termos de seu impacto científico geral, mesmo que seu número total de artigos ou seu número total de citações seja muito diferente. Por outro lado, comparando dois indivíduos (da mesma idade científica) com um número semelhante de artigos totais ou de contagem total de citações e valores de h muito diferentes , aquele com o h mais alto provavelmente será o cientista mais realizado (Hirsch, Je. 2005).

Hirsch destaca o valor do índice H como uma métrica significativa para avaliar o impacto científico de um pesquisador. Em vez de focar exclusivamente no número total de publicações ou citações, o índice h oferece uma medida equilibrada que leva em conta tanto a produtividade quanto a relevância das obras, proporcionando uma visão mais fiel da contribuição científica de um indivíduo. Assim, pesquisadores com índices H semelhantes tendem a ser comparáveis em impacto, independentemente de suas diferenças em volume de publicações ou citações totais. Por outro lado, entre pesquisadores com número similar de publicações ou citações, aquele com maior índice h indica um maior reconhecimento de sua obra no campo, refletindo uma influência científica mais consolidada e amplamente reconhecida.

A imagem nos fornece uma visualização dos pesquisadores com maiores métricas de impacto ou mais influentes em áreas relacionadas a temas como blockchain, rastreabilidade de produtos e contratos inteligentes. Este índice avalia tanto a produtividade quanto a relevância das publicações de um pesquisador, refletindo a frequência e o alcance de suas citações em trabalhos de outros estudiosos. Neste gráfico em questão, cada autor principal está posicionado ao redor de um círculo central, com linhas e círculos menores que indicam suas redes de colaboração e possíveis coautores em diferentes estudos.

Em áreas de pesquisa como blockchain e contratos inteligentes, o índice H é especialmente importante, pois esses temas que estão em progresso exigem uma análise contínua e atualizações frequentes para manter a aplicabilidade dos resultados. O foco em rastreabilidade de produtos na supply chain usando blockchain, por exemplo, envolve a aplicação dessas tecnologias para criar cadeias de suprimentos transparentes e seguras, onde contratos inteligentes são fundamentais para automação de verificações e registros de transações.

Khaled Salah, Raja Jayaraman, Raja e Ibrar Yaqoob ocupam os principais lugares no gráfico, refletindo suas amplas influências e contribuições no desenvolvimento de soluções de blockchain para rastreabilidade e segurança em redes de produtos. Os dois primeiros seus estudos são mais centrados em blockchain para rastreamento na supply chain e o Yaqoob é seu trabalho é mais voltado na aplicação da tecnologia blockchain em internet das coisas (IoT), o que inclui o monitoramento e rastreamento de produtos em tempo real.

O gráfico nos mostra uma lista das dez mais impactantes apesar de só termos falado das 3 primeiras posições até ao momento, autores como Mohammed Omar: Omar tem um forte índice H e sua pesquisa é frequentemente citada em estudos de segurança de blockchain. Omar explora como contratos inteligentes podem assegurar a integridade e autenticidade de produtos

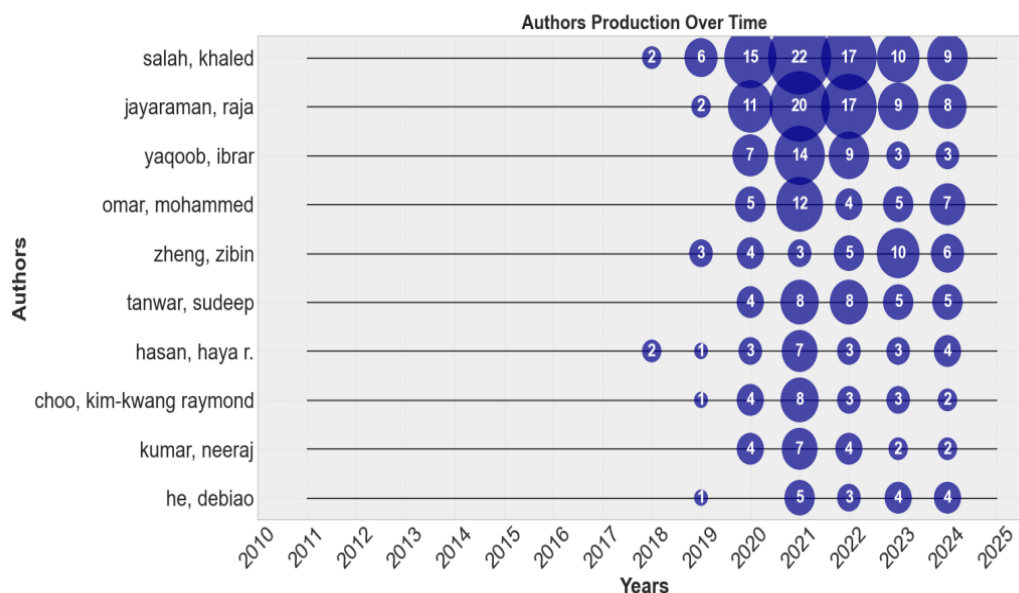
ao longo de suas cadeias de valor, trazendo segurança e confiabilidade a setores que lidam com informações sensíveis.

Já o Zibin Zheng e Kim-Kwang Raymond Choo que fazem parte da lista dos autores com maior impacto em suas pesquisas e contribuições estão mais voltadas à escalabilidade do blockchain e segurança cibernética aplicada à blockchain. Em temas de rastreabilidade, suas pesquisas permitem que produtos sejam monitorados em larga escala sem comprometer a segurança, fortalecendo a confiabilidade e resiliência de redes de rastreabilidade.

Hasan, Laghari, Khan e Kumar também aparecem entre os principais autores com um alto índice H. Eles abordam sobre privacidade e segurança, aspectos críticos para a implementação segura de blockchain, contratos inteligentes em sistemas de rastreabilidade de produtos e aplicações industriais da tecnologia blockchain para modelos de rastreabilidade de produtos em larga escala, visando a inovação e armazenamento de dados.

5.5. Produção ao longo do tempo (Quantidade de produção de autores por ano)

Figura 4 – Produção ao longo do tempo



Fonte: Elaboração própria.

O gráfico apresentado nos mostra a evolução da produtividade de cada autor entre os anos de 2010 e 2024. Este gráfico fornece uma análise bibliométrica da produção acadêmica

dos dez principais autores em relação a pesquisas sobre blockchain, rastreabilidade, produtos e contratos inteligentes. Essa parte, de análise temporal, permite identificar períodos de maior produção e crescimento no campo, ajudando a traçar o desenvolvimento de tópicos de pesquisa ao longo do tempo.

5.6. Análise de tendências e contribuições dos autores

Salah, o autor que está na liderança nos tops das análises anteriores, aparece consistentemente como o autor mais produtivo, com destaque para os anos de 2018, 2019 e 2020, onde seu número de publicações é significativamente alto, tendo atingido o número de 22 publicações em 2019. Esse período coincide com o aumento do interesse pela blockchain em diversas indústrias, onde temas como rastreabilidade e contratos inteligentes começaram a ganhar relevância. O foco de autor é na aplicação de blockchain para o rastreamento de produtos, especialmente na garantia de autenticidade em cadeias de suprimentos.

Com produção considerável nos últimos anos, Raja apresenta picos notáveis em 2019 e 2020 com 20 e 17 publicações, respectivamente. Esse padrão sugere que suas pesquisas acompanharam o crescimento da adoção de blockchain e contratos inteligentes, explorando suas implicações para a rastreabilidade de produtos na indústria alimentícia, onde a transparência na origem é cada vez mais importante.

Yaqoob, Ibrar e Omar, Mohammed também tiveram uma produção significativa no ano de 2019, com Yaqoob atingindo 14 publicações e Omar alcançando 12. A concentração de suas publicações nesses anos, isso entre 2018 a 2020 refletiu seu interesse em explorar a implementação prática de blockchain e smart contracts, especialmente para garantir a integridade dos dados em processos de rastreabilidade.

Zibin Zheng e Sudeep Tanwar, de acordo com o gráfico analisado (**gráfico n.4**), demonstram produção estável ao longo do tempo, com picos de produção em 2022 e 2023, anos em que o mercado começou a amadurecer para tecnologias de blockchain. Eles provavelmente focaram em aspectos técnicos e de segurança associados à blockchain, necessários para a rastreabilidade de produtos em setores como logística e supply chain.

Hasan, sua produção mais concentrada principalmente a partir de 2018, atingiu seu auge em 2020 e 2021. Seus trabalhos também abordam questões de privacidade e segurança, na implementação de soluções de blockchain para rastreamento de produtos. E por fim, Choo, Kumar, e He são mostrados pelo gráfico que suas contribuições aparecem de forma consistente a partir de 2018. A produção de Choo e Kumar atingiu picos em 2021 e 2022, com uma

tendência de estabilização, sugerindo um foco em desenvolvimentos mais recentes em blockchain. Debiao, com uma produção mais moderada, explorando também aspectos de segurança e integridade de contratos inteligentes, essenciais para aplicações confiáveis de rastreabilidade.

5.7.Contexto bibliométrico e a evolução da pesquisa em Blockchain

A partir de uma perspectiva bibliométrica, o gráfico revela uma expansão significativa nas publicações após 2017, coincidindo com o aumento da popularidade do blockchain. Esse crescimento pode estar associado à adaptação da tecnologia em áreas de rastreabilidade de produtos, onde blockchain e smart contracts oferecem soluções inovadoras para registrar e verificar o histórico de um produto desde sua origem até o consumidor final.

A presença contínua e crescente de publicações ao longo dos anos, propriamente entre 2018 e 2023, evidencia um interesse consistente e duradouro. A diversidade entre os autores sugere que o campo é colaborativo e interdisciplinar, englobando áreas como segurança de dados, automação por contratos inteligentes, transparência na cadeia de suprimentos, e eficiência logística.

5.8.Relevância para estudos de produção acadêmica

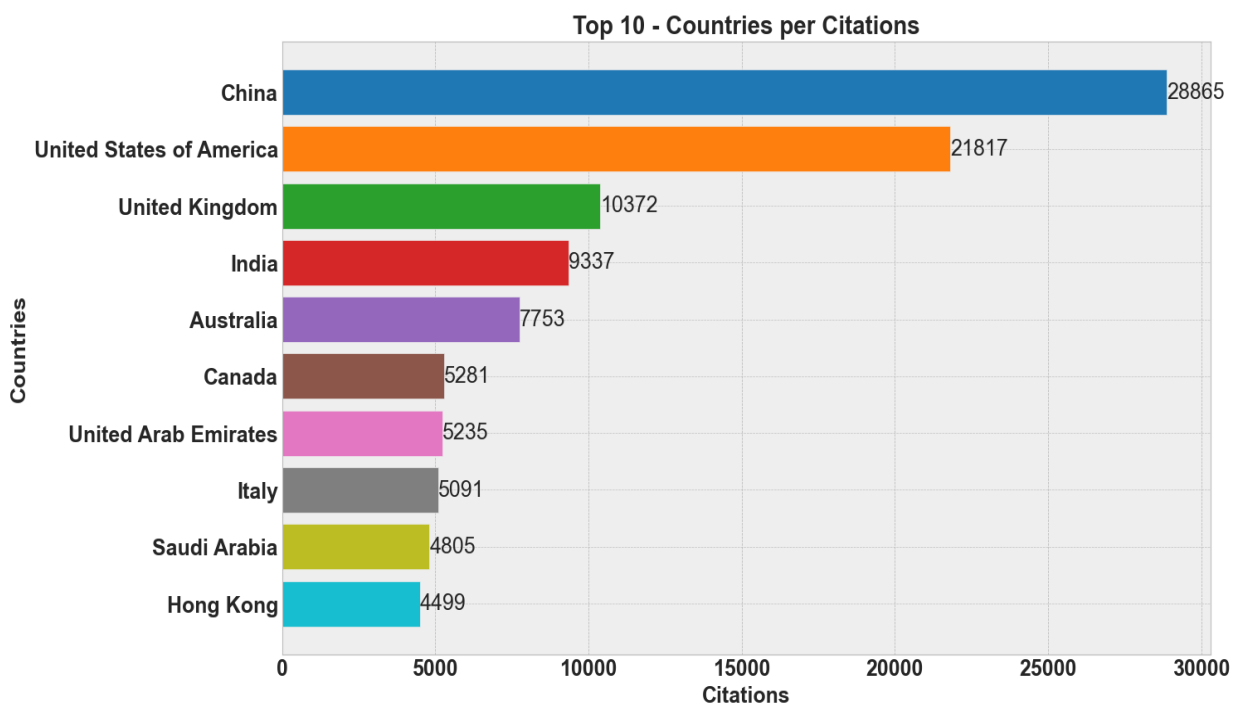
A análise de produção ao longo do tempo é essencial para entender não apenas a quantidade, mas também o impacto e a continuidade dos autores no campo. Ao observar como a produção de um autor varia, é possível inferir a sua adaptação a novas demandas e sua contribuição contínua. Além disso, a análise temporal ajuda a identificar se um autor está mais focado em pesquisa aplicada, que tende a ter ciclos mais curtos e intensivos, ou em pesquisa fundamental, que pode apresentar uma produção mais espaçada.

5.8.1. POR PAÍS E CITAÇÃO

O gráfico exibe os dez países com maior número de citações em trabalhos acadêmicos em áreas relacionadas a blockchain, rastreabilidade, produtos e contratos inteligentes. O gráfico mostra que a China está na liderança com 28.865 citações, seguida pelos Estados Unidos com

21.817 citações. Esses números indicam uma predominância dessas duas nações em publicações científicas que exploram temas como blockchain e contratos inteligentes. A China, por exemplo, tem investido intensivamente em blockchain, particularmente para aprimorar a rastreabilidade de produtos em setores como a cadeia de suprimentos e segurança alimentar. Nos Estados Unidos, a pesquisa em contratos inteligentes tem sido proeminente, com foco em aplicações financeiras e automação de contratos, permitindo transações seguras e verificáveis.

Figura 5 – Citação por país



Fonte: Elaboração própria.

A seguir temos o Reino Unido e a Índia que seguem com 10.372 e 9.337 citações, respectivamente, destacando-se como pólos importantes de pesquisa e inovação. O Reino Unido, com suas universidades de renome, têm contribuído para o desenvolvimento de padrões e regulamentações em blockchain, além de explorar a rastreabilidade para combater fraudes em produtos de alto valor, como itens farmacêuticos. A Índia, por outro lado, apresenta um crescente número de estudos voltados para a aplicação de blockchain em infraestrutura e em contratos inteligentes para soluções de governança.

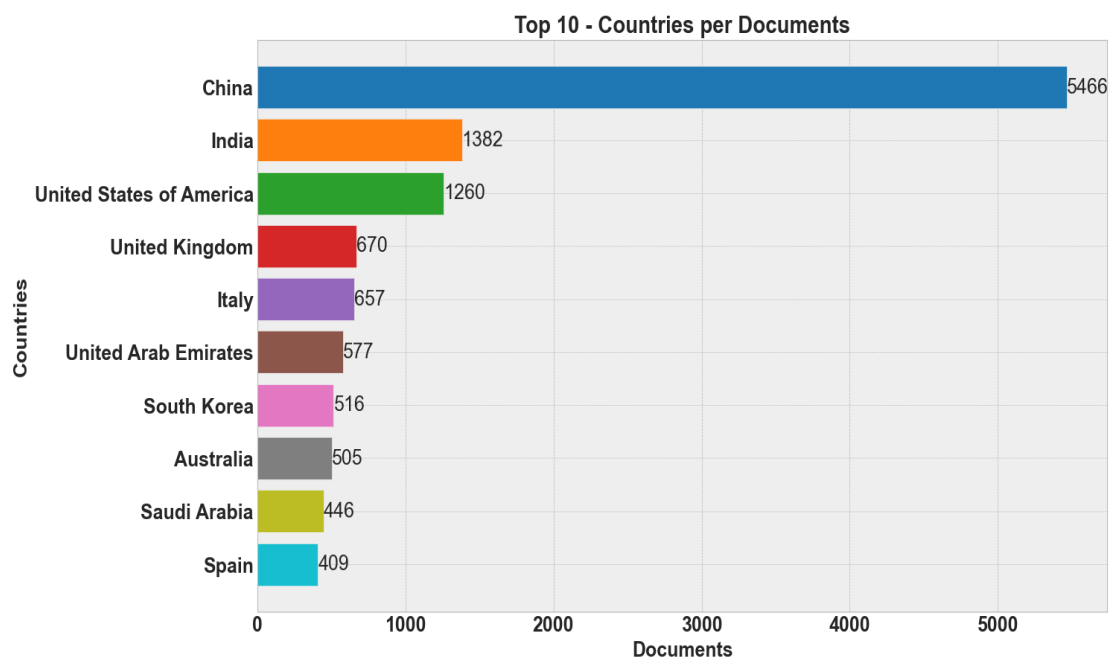
Depois vem Austrália e Canadá, com 7.753 citações para a Austrália e 5.281 para o Canadá. Esses países mostram uma significativa produção acadêmica e com menor número de citação temos o Emirados Árabes Unidos, Itália, Arábia Saudita e Hong Kong, como países

emergentes a blockchain e rastreabilidade, com citações variando entre 5.235 e 4.499, que reflete um interesse crescente e uma contribuição emergente desses países em temas relacionados a blockchain e rastreabilidade.

5.8.2. POR DOCUMENTOS

A imagem abaixo apresentada é um gráfico que exibe o número de documentos por país sobre temas como blockchain, rastreabilidade, produtos e contratos inteligentes. O gráfico destaca os dez países com o maior volume de publicações sobre esses tópicos, sendo a China a líder absoluta, com 5.466 documentos, seguida pela Índia com 1.382 e pelos Estados Unidos com 1.260. Essa distribuição sugere uma predominância de países asiáticos e ocidentais na produção de conhecimento sobre essas tecnologias emergentes, refletindo o interesse global por inovações que envolvem blockchain e as suas aplicações em diversas indústrias.

Figura 6 - País por documentos



Fonte: Elaboração própria.

No contexto da análise bibliométrica, a quantidade de documentos representa a relevância e o desenvolvimento do conhecimento em blockchain e rastreabilidade de produtos, áreas onde os contratos inteligentes desempenham um papel central, especialmente no monitoramento e na autenticação de processos produtivos e logísticos. A China, ocupando a primeira posição com uma larga margem, pode indicar um interesse significativo em soluções

de blockchain aplicadas à rastreabilidade e transparência de cadeias produtivas, áreas onde o país tem fortes investimentos. Isso também pode ser uma resposta à demanda por maior transparência em exportações e controle de qualidade.

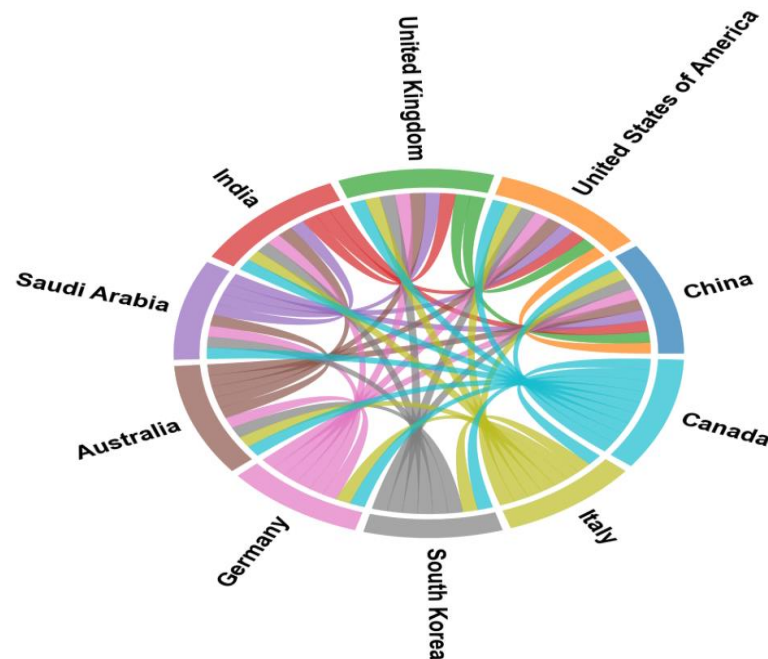
A Índia, em segundo lugar, e os Estados Unidos, em terceiro, refletem também o crescimento do setor de tecnologia e o uso de blockchain na rastreabilidade de produtos. A Índia tem feito forte investimento em soluções de blockchain para rastreabilidade de produtos agrícolas e farmacêuticos, áreas cruciais para o país, onde a garantia de autenticidade e conformidade é essencial. Já os Estados Unidos, por sua vez, têm usado blockchain e contratos inteligentes em uma ampla gama de setores, incluindo a rastreabilidade de produtos na indústria alimentícia por exemplo, farmacêutica e de bens de consumo.

O Reino Unido, a Itália e a Coreia do Sul, os três países em posições intermediárias, refletem seus interesses em regulamentações e padrões de qualidade associados ao uso de blockchain para transparência de produtos. A presença de países como os Emirados Árabes Unidos, da Arábia Saudita e da Austrália no gráfico indica um crescente interesse em adotar essas tecnologias, provavelmente para aprimorar a rastreabilidade em setores como o de petróleo, gás e commodities, onde esses países são atores significativos no cenário global.

5.9. Diagrama De Cordas

O diagrama abaixo visualiza a colaboração entre diferentes países em publicações relacionadas a temas de blockchain, rastreabilidade, produtos e contratos inteligentes. Este tipo de diagrama é muito utilizado na análise bibliométrica para identificar a interconexão e cooperação internacional em campos de pesquisa específicos, mostrando as relações entre nações na produção de conhecimento.

Figura 7 – Diagrama de cordas



Fonte: Elaboração própria.

Os países representados no círculo (gráfico) incluem China, Estados Unidos, Índia, Reino Unido, Arábia Saudita, Alemanha, Coreia do Sul, Austrália, Itália e Canadá. Cada setor colorido representa um país, e as cordas que ligam os setores mostram as colaborações entre os países em documentos e estudos publicados. A espessura das cordas indica a intensidade e a frequência dessas colaborações, sugerindo que alguns países têm fortes parcerias, enquanto outros têm conexões mais esparsas.

Observando a representação gráfica, pode-se perceber que países como China, Estados Unidos, Reino Unido e Índia possuem múltiplas ligações com diversos outros países, indicando uma posição central e mostrando que são influentes na pesquisa e desenvolvimento em blockchain e suas aplicações para rastreabilidade e contratos inteligentes. A China, que é líder em número de documentos, também aparece como um importante parceiro de colaboração, refletindo sua busca não apenas por inovação interna, mas também por parcerias internacionais para expandir o conhecimento sobre blockchain e suas aplicações.

As conexões entre esses países refletem interesses comuns em áreas de estudo em questão, onde o blockchain pode garantir transparência e autenticidade, e a implementação de contratos inteligentes, que automatizam transações e processos comerciais. Por exemplo, a colaboração entre Estados Unidos e China pode ser impulsionada por esforços conjuntos em

rastreabilidade de produtos farmacêuticos e alimentícios, onde a segurança e a transparência são cruciais. Já o Reino Unido e a Índia podem estar focados em soluções de blockchain para a rastreabilidade de produtos agrícolas, onde a conformidade com normas de exportação é essencial.

Nota-se a presença de países como Arábia Saudita e Austrália no diagrama, que reflete um interesse crescente na aplicação de blockchain em setores específicos, como o de mineração e commodities, nos quais a rastreabilidade e a transparência de origem são questões importantes. Da mesma forma, a Alemanha e a Coreia do Sul, com suas indústrias tecnológicas avançadas, podem estar colaborando com outros países em projetos de rastreabilidade de produtos de alta tecnologia e componentes eletrônicos, garantindo a procedência e a autenticidade desses itens. A tabela a seguir apresenta o resumo dos principais pontos falados na análise dos países por citações e por documentos:

Tabela 1 - Resumo dos países com maiores números de citações e de documentos.

País	Número de citações	País	Número de artigos
China	28.865	China	5.466
Estados Unidos da América	21.817	Estados Unidos da América	1.260
Reino Unido	10.372	Reino Unido	670
Índia	9.337	Índia	1.382
Austrália	7.753	Austrália	505
Canadá	5.281	Coreia do Sul	516
Emirados Árabes Unidos	5.235	Emirados Árabes Unidos	577
Itália	5.091	Itália	657
Arábia Saudita	4.805	Arábia Saudita	446
Hong Kong	4.499	Espanha	409

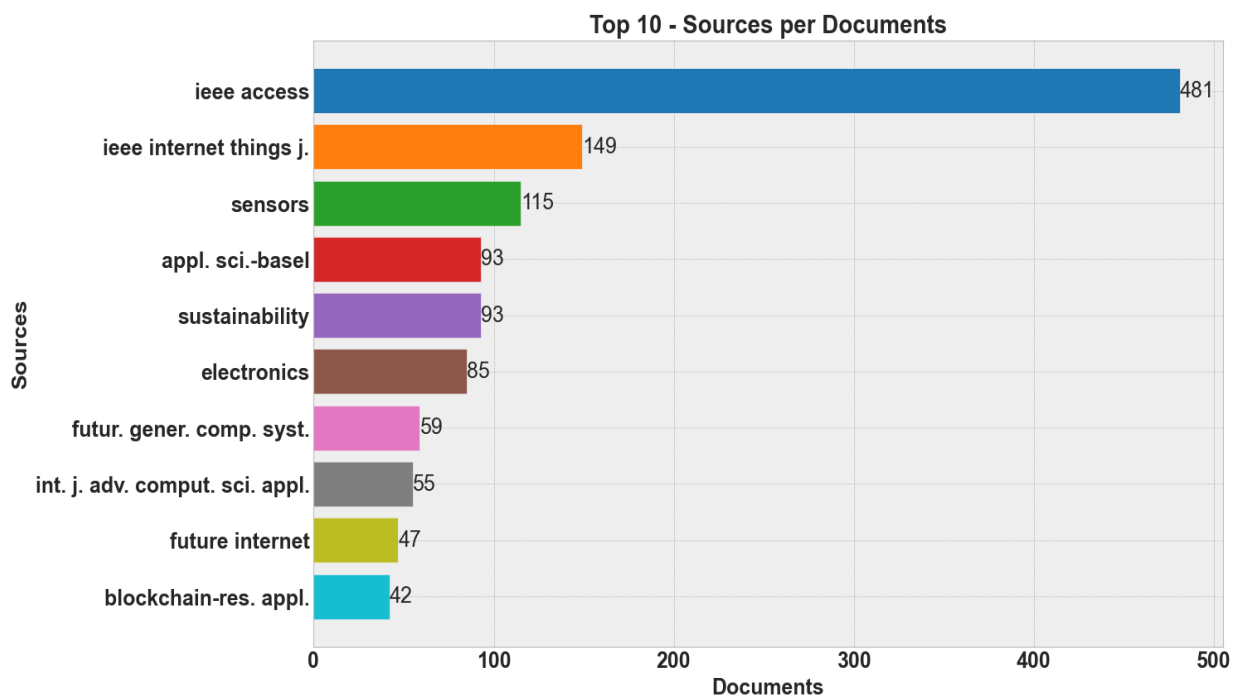
Fonte: Elaboração própria.

6. ANÁLISE DE FONTES OU REVISTAS

6.1. Em relação ao número de documentos

A imagem a seguir é um gráfico de barras horizontais que representa as dez principais fontes acadêmicas em termos de número de documentos publicados relacionados a blockchain, rastreabilidade, produtos e contratos inteligentes. Cada barra representa uma fonte específica, e o comprimento indica o número de publicações associadas a ela.

Figura 8 -Documentos por revistas



Fonte: Elaboração própria.

No topo da lista está a revista IEEE Access, com 481 documentos, destacando-se como a principal fonte de publicações nessas áreas. Em seguida, a IEEE Internet of Things Journal possui 149 documentos, e a revista Sensors, com 115 publicações, também figura como uma fonte significativa.

A predominância de IEEE Access e IEEE Internet of Things Journal indica que o campo de blockchain e suas aplicações em rastreabilidade e contratos inteligentes estão fortemente vinculados à pesquisa de engenharia e tecnologia da informação. Essas revistas têm um foco

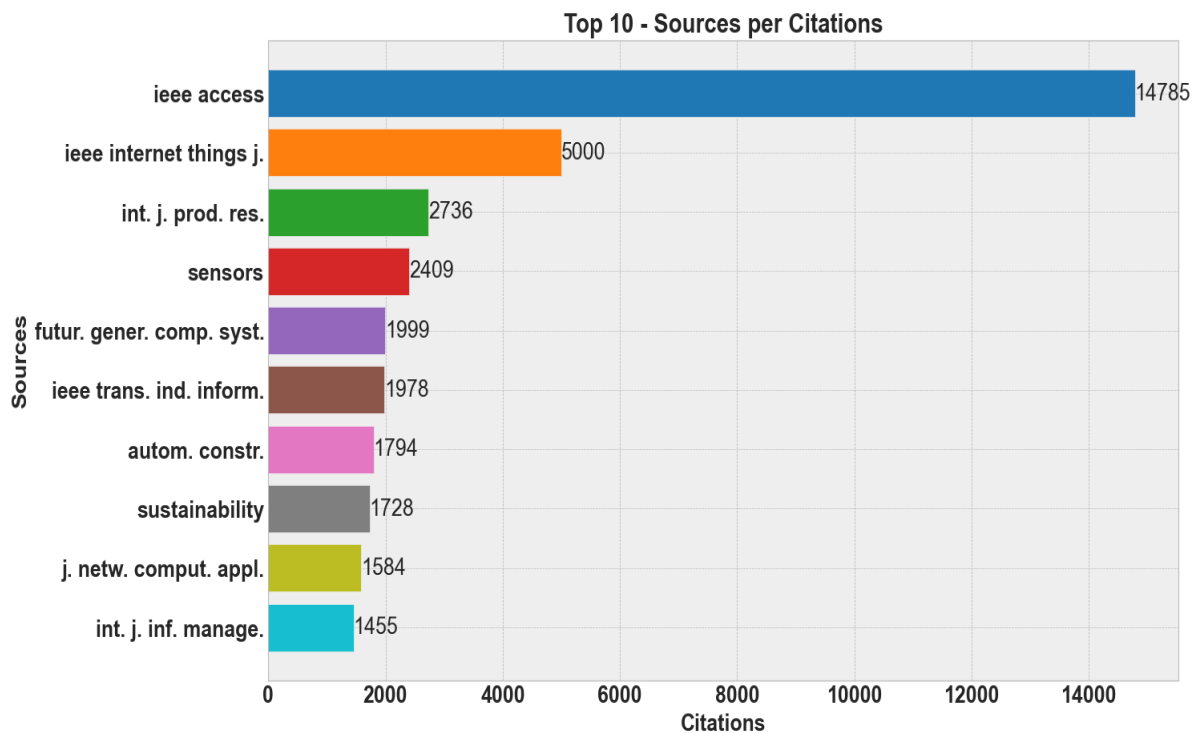
tradicional em inovações tecnológicas e avanços científicos, o que reflete a relevância do blockchain como uma tecnologia emergente para resolver problemas complexos, como a transparência de cadeias de suprimento e a automação de transações via contratos inteligentes. A presença de outras como a revista *Sensors* sugere que há uma sobreposição entre blockchain e o desenvolvimento de tecnologias de rastreamento de dados, possivelmente para autenticação e monitoramento de produtos em tempo real.

As revistas *Applied Sciences – Basel* e *Sustainability*, ambas com 93 documentos, indicando que as aplicações de blockchain em sustentabilidade e ciência aplicada têm ganhado relevância. Isso é particularmente significativo no contexto de rastreabilidade de produtos, onde a garantia de práticas sustentáveis é cada vez mais exigida pelos consumidores e pelas regulamentações. A *Sustainability* concentra-se em tópicos como eficiência de recursos e sustentabilidade das cadeias de suprimento, enquanto a *Applied Sciences – Basel* oferece uma perspectiva mais ampla sobre as aplicações práticas de blockchain em diversas indústrias.

Outras fontes notáveis, as com um número de documentos inferior das demais acima citadas, incluem *Electronics* com 85 documentos, *Future Generation Computer Systems* com 59 e *Research and applications* com 42 documentos como a última colocada na lista, que refletem o interesse nas aplicações de blockchain em sistemas computacionais e eletrônicos, áreas que requerem tecnologias seguras e rastreáveis.

6.2. Análise das fontes por número de citações

O gráfico de citações intitulado *Top 10 - Sources per Citations*, apresenta as 10 principais fontes acadêmicas com base no número de citações em trabalhos da área de estudo. Este gráfico oferece uma análise visual sobre quais periódicos têm mais impacto em termos de citações no campo de estudo em questão. Cada barra representa uma fonte e o número de citações associadas a ela, permitindo uma visão comparativa do impacto acadêmico de cada periódico.

Figura 9 - Citações por revistas

Fonte: Elaboração própria.

Observamos que o IEEE Access é a fonte com o maior número de citações, seguido por outros periódicos focados em tecnologias emergentes. Este impacto reflete o crescente interesse da comunidade científica em temas como blockchain e sua aplicação para rastreabilidade em supply chain e produtos. O aumento do uso de contratos inteligentes, que são contratos executados automaticamente, a tecnologia blockchain oferece uma camada de transparência e confiança, essencial para indústrias que lidam com produtos que precisam ser rastreados e monitorados ao longo de toda a cadeia logística. Isso explica o porquê de "IEEE Access" e outras publicações de tecnologia e inovação terem uma alta contagem de citações.

Periódicos como IEEE Internet of Things Journal e Sensors, que também aparecem no topo do gráfico, que frequentemente abordam temas relacionados à Internet das Coisas e automação, estão intimamente ligados ao conceito de rastreabilidade. Essa combinação, entre IoT e blockchain, permite que cada etapa do ciclo de vida de um produto seja registrada de forma permanente na rede, ou seja imutável, oferecendo uma visão precisa de sua procedência. Isso é necessário para setores como o alimentício e farmacêutico, onde a transparência e a confiança são primordiais. O uso de contratos inteligentes em blockchain possibilita que essas transações sejam realizadas sem a necessidade de intermediários, garantindo que as condições

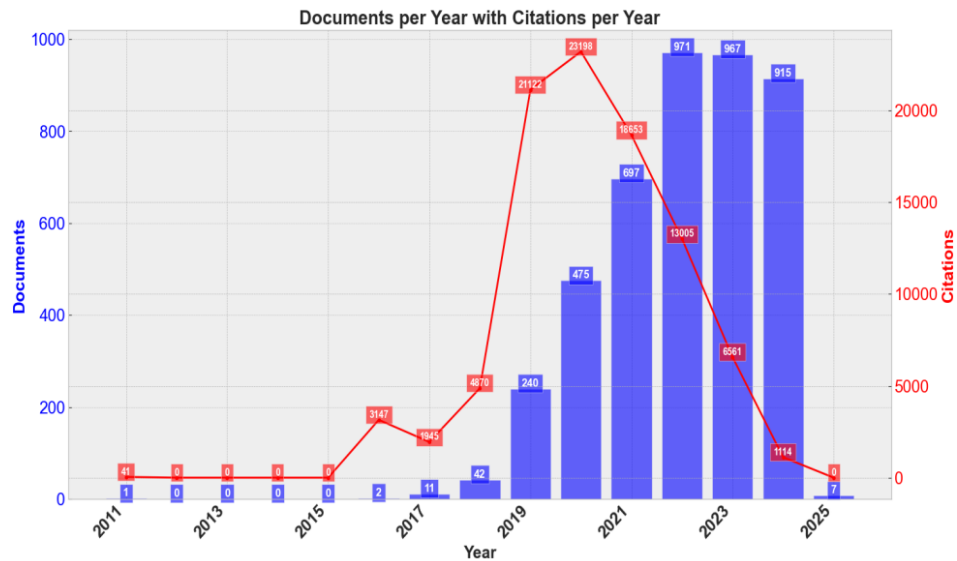
acordadas sejam executadas automaticamente e de maneira segura, otimizando o processo de rastreamento de produtos.

A análise bibliométrica para este gráfico, apresentada como uma ferramenta essencial para medir a produção científica e o impacto das publicações numa área específica. Neste caso, a análise se concentra no número de citações, sendo frequentemente utilizado como um indicativo de relevância e influência acadêmica. A quantidade de citações que um artigo ou periódico recebe é vista como uma métrica de impacto, ao refletir a frequência com que os trabalhos são utilizados por outros pesquisadores como base ou referência para novos estudos.

7. ANÁLISE GERAL DOS DOCUMENTOS

7.1. Documentos e citações por ano

O gráfico apresentado na Figura 10, mostra uma análise temporal do número anuais de documentos publicados e das citações, evidenciando a crescente popularidade de temas como blockchain, rastreabilidade, produtos e contratos inteligentes ao longo dos anos. Ele revela um crescimento notável em publicações e citações a partir de 2019, com um pico de citações em 2021 (com 23.198 citações) e o maior número de publicações em 2022 com 971 documentos. Esse aumento nos diz sobre o interesse crescente na implementação do blockchain em diversas indústrias, particularmente para rastreamento e gestão de produtos na supply chain, onde a rastreabilidade e a confiança são fatores críticos.

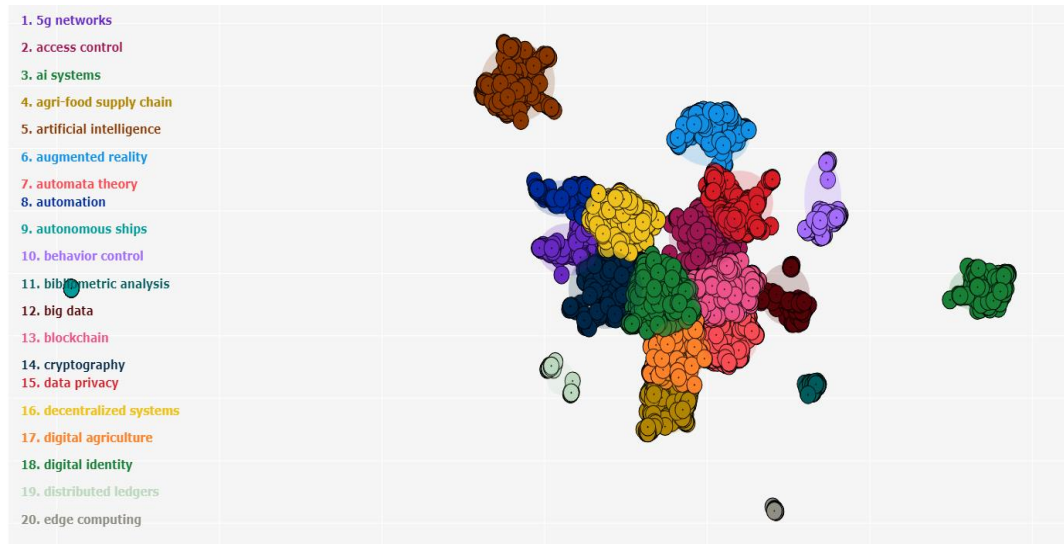
Figura 10 -Documentos e citações por ano.

Fonte:Elaboração própria.

O uso de contratos inteligentes tornou-se um tópico expressivo e interligado com o número crescente de publicações e citações, pois permite a automação de processos em redes blockchain de forma segura e eficiente. Os contratos permitem o monitoramento de cada etapa do ciclo de vida de um produto, desde a fabricação até a entrega final, acompanhando todo o processo, sem a necessidade de intermediários. Esse sistema contribui para o aumento da transparência e da integridade dos dados, o que explica o rápido crescimento nas publicações até 2022. No entanto, o gráfico indica uma queda acentuada nas citações a partir de 2022, o que pode ser um reflexo de mudanças nas prioridades de pesquisa ou de uma fase de maturação no tema de blockchain e rastreabilidade, onde o foco poderia ter migrado para aplicações mais especializadas ou para o desenvolvimento de novas tecnologias associadas.

7.2.Clusters de documentos

Figura 11 - Clusters de documentos



Fonte: Elaboração própria.

O Cluster apresenta um mapeamento de temas acadêmicos organizados em clusters de documentos com cores distintas. Cada cluster representa um tema específico, indicado por uma legenda colorida à esquerda. Os tópicos são organizados de forma em que cada está relacionado a várias áreas emergentes da tecnologia e da ciência de dados, como blockchain, rastreabilidade, produtos, contratos inteligentes, inteligência artificial, agricultura digital, privacidade de dados, e sistemas descentralizados.

7.3. Estrutura e organização dos Clusters

Os clusters estão representados como conjuntos de círculos de tamanhos variados, sugerindo diferentes concentrações de documentos dentro de cada tema. Cada cluster de documentos é identificado com uma cor específica, representando um campo de pesquisa, e a proximidade entre os clusters reflete a similaridade temática ou áreas de sobreposição de pesquisa entre esses campos. Por exemplo, temas como blockchain em roxo e data privacy em vermelho podem estar próximos ou conectados a áreas como cryptography e decentralized systems devido à intersecção de interesses de pesquisa, uma vez que a segurança e a privacidade de dados são frequentemente discutidas em conjunto com sistemas baseados em blockchain e contratos inteligentes.

7.4. Principais tópicos de interesse

Blockchain: O cluster de blockchain se destaca como um dos temas centrais neste mapa de documentos, cercado por clusters relacionados, como data privacy, cryptography, e distributed ledgers. Esse cluster é crucial para estudos que analisam contratos inteligentes e rastreabilidade, pois o blockchain fornece a infraestrutura essencial para garantir a autenticidade e a imutabilidade de registros de transações, fundamentais para a segurança de contratos inteligentes e o monitoramento de produtos ao longo de cadeias de suprimentos. O blockchain, como tecnologia distribuída e descentralizada que permite o desenvolvimento de contratos inteligentes que automatizam e verificam acordos entre partes sem a necessidade de intermediários.

Contratos Inteligentes contratos inteligentes são um subcampo significativo no cluster de blockchain, especialmente onde há sobreposição com cryptography e decentralized systems. Como contratos que executam automaticamente termos de um acordo com base em condições predefinidas, eles dependem de blockchain para garantir transparência e verificabilidade. A presença de temas como data privacy e access control também sugere que o controle de acesso e a privacidade dos dados são considerações importantes ao desenvolver e implementar contratos inteligentes, particularmente em setores onde a integridade de dados e a proteção contra alterações não autorizadas são críticas.

Big Data e Bibliometria: Esses campos indicam o uso de grandes conjuntos de dados e análises métricas para avaliar a produção acadêmica e o impacto de publicações nesses temas. A análise bibliométrica permite a identificação de tendências de pesquisa, mapeando o crescimento de áreas como blockchain e rastreabilidade, e também permite quantificar o impacto de publicações em subáreas como contratos inteligentes e privacidade de dados. A análise de grandes volumes de dados é muito aplicada na medição da relevância de tópicos e a contribuição de pesquisas em documentos que formam esses clusters.

Sistemas Descentralizados e Privacidade de Dados: A descentralização, é o ponto essencial da blockchain, permite a construção de sistemas que não dependem de um único ponto de controle, aumentando a segurança e a resistência a falhas. Outro ponto importante é a privacidade de dados, na proteção de informações pessoais e transnacionais, especialmente em sistemas onde a rastreabilidade e os contratos inteligentes dependem de dados confidenciais. A criptografia é um componente central para garantir a privacidade e a segurança, destacando a interconexão desses clusters no desenvolvimento de soluções seguras e privadas.

7.5. Análise da concentração e proximidade entre Clusters

Os clusters mais densos, com uma maior concentração de documentos, indicam áreas de pesquisa com mais publicações ou relevância atual na literatura. Por exemplo, *artificial intelligence e automation* têm uma alta concentração de documentos, sugerindo uma área em rápida expansão. A proximidade entre clusters como *AI systems, automation, big data e digital identity* indica uma intersecção significativa de temas onde inteligência artificial e automação são aplicadas, provavelmente em sistemas baseados em big data e identidades digitais.

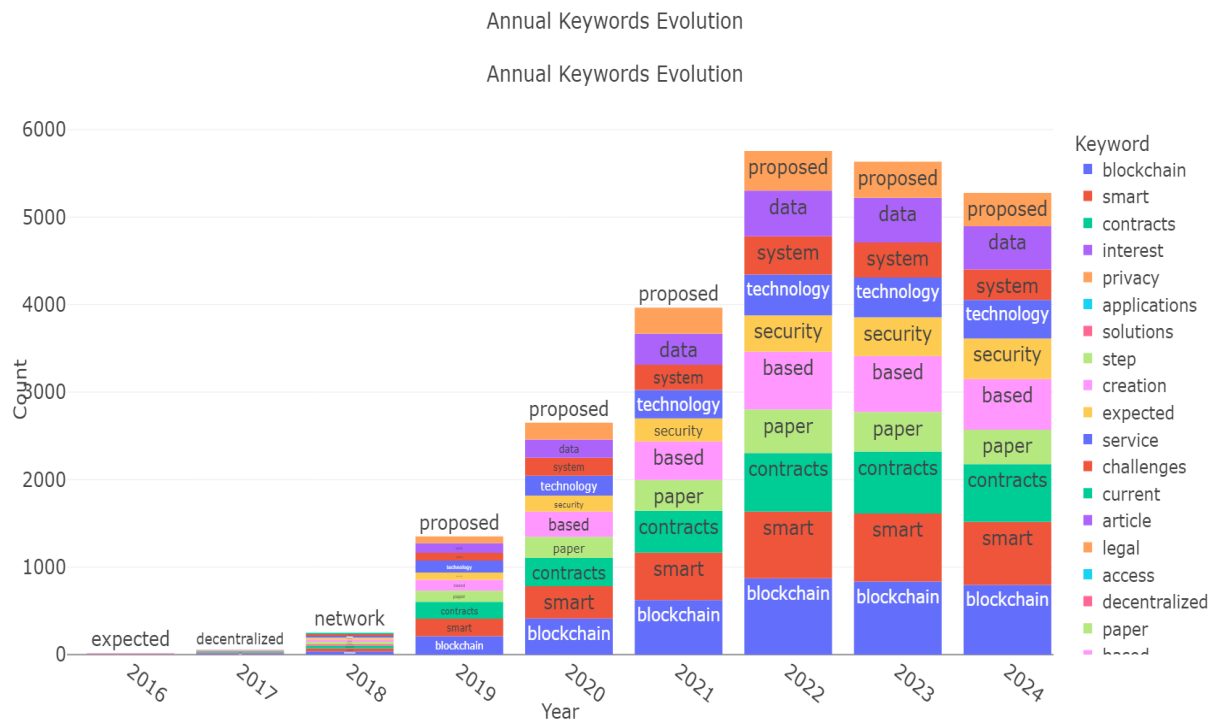
Essa configuração dos clusters relacionados ao espaço, nos sugere que temas de blockchain, sistemas descentralizados e criptografia estão localizados próximos, representando uma área de intersecção onde segurança, descentralização e privacidade de dados são abordados em conjunto. Além disso, o cluster de digital agriculture próximo ao de agri-food supply chain destaca a relevância da agricultura digital, onde o blockchain pode desempenhar um papel crucial na rastreabilidade e monitoramento de produtos agrícolas.

7.6. Análise das palavras-chaves

7.6.1. Evolução anual das palavras-chave

O gráfico a seguir mostra a evolução anual das palavras-chave associadas a publicações sobre blockchain, *traceability* e contratos inteligentes de 2016 a 2024. Cada barra representa um ano e é dividida em várias cores, onde cada cor corresponde a uma palavra-chave específica, com a legenda indicando os termos mais frequentemente associados aos estudos sobre blockchain.

Ao observarmos o gráfico vemos a evolução ao longo dos anos e, nota-se um aumento significativo na contagem de palavras-chave, o que sugere um crescimento exponencial no volume de publicações relacionadas ao tema. Até 2018, havia uma escassez de estudos com esses termos, indicando que a pesquisa sobre blockchain e suas aplicações em rastreabilidade e contratos inteligentes era incipiente. Entretanto, a partir de 2019, o uso dos termos "*blockchain*", "*smart contracts*", "*data*" e "*technology*" começa a se intensificar, sinalizando um aumento do interesse na aplicação da tecnologia blockchain em contextos práticos, como a criação de contratos automatizados que são os contratos inteligentes e o gerenciamento seguro de dados.

Figura 12 – Evolução das palavra-chaves

Fonte: Elaboração própria.

Entre 2020 e 2024, o gráfico exibe um crescimento contínuo, com palavras-chave como *blockchain*, *smart*, *contracts*, *technology*, *security*, *proposed*, *based* e *data* sendo os termos mais frequentes. O termo *proposed* frequentemente associado ao conceito de *blockchain* indica que muitos estudos focam na proposição de novos métodos e soluções, voltados para a rastreabilidade de produtos, transparência na supply chain e o uso de contratos inteligentes para automação e segurança de transações ou processos.

Em 2021, a inclusão de termos como *security* e *data* aponta para uma ênfase nas preocupações com a privacidade e a proteção de informações, refletindo a importância da *blockchain* para a criação de sistemas confiáveis e resistentes a fraudes. A palavra *contracts*, presente constantemente a partir de 2019, sugere que os contratos inteligentes são um tema central nas discussões, como uma tecnologia de suporte a transações automatizadas, que garantem a autenticidade e a rastreabilidade dos produtos ao longo de suas cadeias produtivas.

Nos anos de 2023 e 2024, observa-se um pico no uso de palavras-chave, como “*contracts*, *blockchain*, *technology*, *security* e *smart*”, dominando a representação gráfica. Essa tendência indica que, no cenário atual, a pesquisa sobre *blockchain* consolidou-se, abordando

questões mais refinadas, como segurança, aplicação de contratos inteligentes e a implementação de tecnologias baseadas em blockchain para soluções práticas de rastreabilidade.

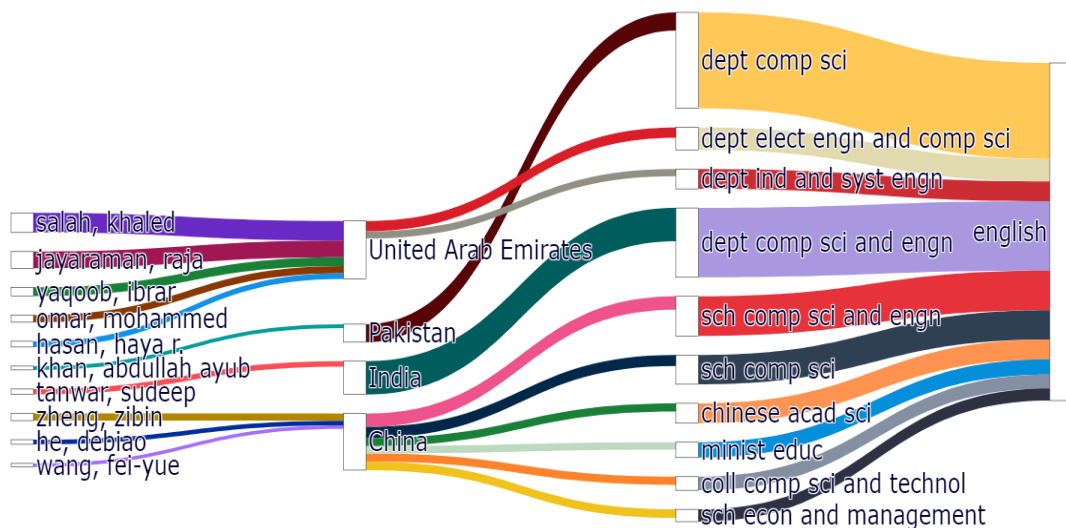
A palavra *system* sugere uma abordagem mais ampla, considerando o blockchain não apenas como uma tecnologia isolada, mas como um componente de sistemas maiores que englobam segurança, rastreamento e automação. Isso é particularmente relevante para produtos e cadeias de suprimento, onde a integridade e a rastreabilidade são vitais. Palavras como *paper* e *based* indicam uma base de pesquisa sólida, sugerindo que há um acúmulo de estudos que consolidam o conhecimento sobre blockchain e suas aplicações.

7.6.2. Diagrama Sankey

O diagrama de Sankey permite visualizar a relação entre autores, países, instituições e a língua utilizada nas publicações, com um foco em estudos que abordam blockchain, rastreabilidade, produtos e contratos inteligentes. Usaremos esse diagrama em nossa análise bibliométrica para mapear a colaboração entre pesquisadores e instituições, além de ilustrar a distribuição geográfica das pesquisas e as redes acadêmicas formadas.

Figura 13 - Diagrama Sankey

Sankey Diagram (Authors / Countries / Institutions / Languages)



Fonte: Elaboração própria.

Observa-se que os principais autores listados incluem Khaled Salah, Raja Jayaraman, Ibrar Yaqoob, entre outros. Esses autores estão associados a diferentes países, com destaque para os Emirados Árabes Unidos, Paquistão, Índia e China, indicando uma colaboração internacional significativa. Isso reflete o interesse global no desenvolvimento de soluções blockchain para melhorar a rastreabilidade e a autenticidade de produtos por meio de contratos inteligentes, uma área de pesquisa emergente e relevante no contexto da economia digital.

O fluxo que conecta os autores aos países indica que, embora alguns autores estejam concentrados em regiões específicas, há também colaboração entre pesquisadores de diferentes países, o que sugere um esforço conjunto para enfrentar os desafios técnicos e operacionais na implementação de tecnologias de blockchain. Países como os Emirados Árabes Unidos e a China, por exemplo, estão fortemente representados, o que pode indicar que essas nações possuem estratégias nacionais ou políticas de incentivo para o desenvolvimento de blockchain em setores como logística, cadeia de suprimentos e segurança de dados.

Os países estão, então, conectados a diversas instituições acadêmicas e de pesquisa, como o Dept. Comp Sci e o Sch. Comp Sci and Engn, indicando que os departamentos de ciência da computação e engenharia são os principais centros de produção de conhecimento sobre esses tópicos. Isso é esperado, dado que o desenvolvimento de soluções baseadas em blockchain e contratos inteligentes requer habilidades avançadas em ciência da computação, engenharia de software e segurança da informação. Além disso, nota-se também uma predominância do inglês como idioma principal nas publicações, sugerindo que o idioma inglês é amplamente utilizado como língua franca para disseminar pesquisas relacionadas a blockchain e rastreabilidade, facilitando a comunicação e o compartilhamento de conhecimentos entre pesquisadores de diferentes países.

Este diagrama de Sankey, portanto, revela a complexa rede de colaboração entre autores, países e instituições no campo de blockchain, enfatizando a importância da cooperação internacional para o avanço de tecnologias que visam melhorar a rastreabilidade de produtos na supply chain e a confiabilidade dos contratos inteligentes. A visualização evidencia a interconectividade das redes de pesquisa e destaca como a análise bibliométrica pode ser útil para entender as dinâmicas de produção e disseminação do conhecimento em uma área tecnológica emergente.

A palavra *traceability* aparece indiretamente relacionada a termos como *product*, *supply*, *platform*, e *management*, indicando que a rastreabilidade de produtos é um tema que tem sido amadurecido nas pesquisas. O uso da tecnologia para garantir a autenticidade e a origem dos produtos torna-se evidente, especialmente no contexto de setores que demandam transparência, como o farmacêutico, alimentício, e de bens de consumo.

Outros termos relevantes na análise incluem *privacy* e *security*, sugerindo que uma preocupação central nas pesquisas é proteger a privacidade dos dados e garantir a segurança nas operações. Em contextos de rastreabilidade é essencial, onde a integridade e a confidencialidade das informações ao longo da cadeia de suprimentos são fundamentais.

Por outro lado, a presença de palavras como *network*, *distributed*, *decentralized*, e *peer* destaca o quão importante é o papel das redes descentralizadas no contexto abordado nessa pesquisa, uma característica intrínseca a tecnologia *blockchain* que promove a segurança e a transparência em ambientes onde várias partes estão envolvidas. Tais redes permitem que todas as partes tenham acesso a um registro compartilhado e imutável de transações, essencial para a rastreabilidade de produtos e para contratos inteligentes.

O termo *transaction*, *IoT*, *privacy*, *application*, e *platform*, reforçam o conceito de *blockchain* como uma tecnologia voltada para registrar e verificar transações de forma segura e transparente, além de explorar a integração da tecnologia com outras tecnologias emergentes para ampliar suas aplicações práticas. A capacidade do *blockchain* de documentar cada passo de um processo, desde a origem até o consumo final, é uma funcionalidade chave que permite que produtos sejam rastreados ao longo de suas cadeias de suprimento, e a integração do *IoT* com a tecnologia da *blockchain* é particularmente relevante em rastreabilidade, pois nos permite monitorar produtos em tempo real ao longo de sua jornada logística, assegurando que as informações sobre sua condição e localização estejam sempre atualizadas e acessíveis.

8. REVISÃO DA LITERATURA

8.1. Sustentabilidade na supply chain

Behnam, Joseph e Hoda (2015) ressaltam que a evolução da gestão da cadeia de suprimentos, deixou de se concentrar exclusivamente em questões operacionais e econômicas para adotar uma abordagem mais ampla e estratégica, que hoje, essa área também incorpora preocupações ambientais e sociais, refletindo uma mudança importante nas prioridades organizacionais. Acrescenta que esse amadurecimento é uma resposta às demandas crescentes

por sustentabilidade e responsabilidade social, que desafiam as empresas a equilibrarem eficiência econômica com práticas que minimizem impactos negativos ao meio ambiente e promovam condições justas de trabalho.

Neste contexto, conseguimos ter noção de que sustentabilidade na supply chain envolve também a integração de práticas ambientais, sociais e econômicas em cada etapa do processo de produção e distribuição de produtos e serviços, o objetivo desta integração é de minimizar o impacto negativo no meio ambiente e na sociedade. Ela inclui desde a escolha responsável de matérias-primas, práticas éticas de trabalho, uso eficiente de recursos naturais, reduzindo a emissões de carbono, até a gestão adequada dos resíduos.

A integração bem-sucedida de metas de sustentabilidade econômica, ambiental e social tem sido a principal preocupação da gestão da cadeia de suprimentos e operações. Este campo emergente vem crescendo há pelo menos 20 anos e está bem em sua terceira década de investigação. Correspondendo a uma tendência global, o conceito de gestão da cadeia de suprimentos verde e sustentável recebeu mais atenção na última década e conquistou novos grupos de pesquisa nesta área (Behnam et al., 2015).

No contexto ambiental, práticas sustentáveis incluem a adoção de fontes de energia renováveis, otimização de rotas logísticas para reduzir emissões e a implementação de embalagens recicláveis ou biodegradáveis. Socialmente, a sustentabilidade envolve a garantia de condições de trabalho seguras e justas, respeito aos direitos humanos e investimentos nas comunidades locais onde a empresa atua. Economicamente, uma cadeia de suprimentos sustentável busca reduzir desperdícios e custos a longo prazo, aumentando a eficiência e, ao mesmo tempo, melhorando a reputação da empresa.

Dito isto, Perobelli e Bianchi(2015) falam que “Durante as operações de um supply chain são gerados impactos à natureza através do consumo de recursos naturais e da emissão de gases nocivos ao meio ambiente, tais impactos estão cada vez em destaque visto que estamos presenciando as consequências do consumo exagerado”.

Com base nisso, muitas organizações estão adotando tecnologias como blockchain para aumentar a transparência e rastreabilidade, garantindo que os produtos atendam a padrões de sustentabilidade em toda a cadeia de suprimentos. Perobelli e Bianchi(2015) destacam a importância de uma gestão estratégica e sustentável da cadeia de suprimentos para que as organizações alcancem uma vantagem competitiva duradoura, ao analisar e envolver todos os membros da cadeia e integrar os três pilares da sustentabilidade sendo, econômico, social e ambiental, e que as empresas podem criar um diferencial significativo no mercado.

8.2. Rastreabilidade de produtos baseada na blockchain para Supply chain

O sistema de rastreabilidade de produtos baseado em blockchain para supply chain oferece uma maneira mais segura e transparente de monitorar cada etapa da jornada de um produto, desde a matéria-prima até a entrega ao consumidor final. A tecnologia proposta, blockchain, armazena dados de forma descentralizada e imutável, permitindo que todos os participantes da cadeia de suprimentos acompanhem a origem, localização, e status dos produtos em tempo real. Por conta dos benefícios oferecidos pela tecnologia, hoje, os consumidores, empresas e parceiros, olham com outros olhos para o mundo da logística e supply chain, essa transformação e mudanças de opiniões deve-se a tecnologia do blockchain, sua aplicação em sistemas logísticos baseados na blockchain para rastreabilidade faz com que muitas empresas optem por seu uso com fim de automatizar processos, oferecer transparência e segurança na cadeia de suprimentos.

Algumas empresas como os membros da Bita (Blockchain In Transport Alliance) e não só, têm desenvolvido soluções de rastreabilidade envolvendo blockchain para resolver os problemas de falta de confiança na supply chain, por exemplo a Fedex, que faz parte da Bita e empresas como a IBM e Maersk que se uniram para desenvolver a Tradelens.

América Latina, 24 de outubro de 2019 – A IBM anuncia hoje que mais de 50 portos e terminais de diferentes países da América Latina estão trabalhando com o TradeLens, uma plataforma digital criada pela IBM e Maersk baseada em Blockchain. Com cinco das seis maiores linhas globais de transporte de contêineres, representando mais da metade da capacidade global de embarcações, o TradeLens permite a colaboração entre parceiros comerciais, gerando mais eficiência e insights em toda a cadeia global de comércio, digitalizando os fluxos de documentação commercial (IBM, 2019).

Salah et al (2019) em seu artigo que falam sobre Rastreabilidade da soja baseada em blockchain na cadeia de suprimentos agrícolas, afirmam que a tecnologia blockchain tem se destacado na gestão da cadeia de suprimentos, especialmente nos setores agrícola e alimentar, graças à sua capacidade de registrar transações de forma transparente e imutável, o que gera maior confiança entre as partes envolvidas. Essa tecnologia oferece segurança e rastreabilidade, características fundamentais em cadeias de suprimentos complexas e multifásicas, que envolvem desde agricultores e consumidores.

Importante também frisar que o blockchain usado nos sistemas de rastreabilidade nas cadeias de suprimentos é um blockchain privado. Tarun et al.(2021) sobre Estrutura baseada em blockchain para rastreabilidade da cadeia de suprimentos: “um exemplo de caso da indústria

têxtil e de vestuário”, os autores neste trabalho discutem questões sobre o porque o blockchain privado é uma solução ideal para cadeias de suprimentos, oferecendo benefícios que diferem significativamente dos blockchains públicos usados em criptomoedas, como o Bitcoin e Ethereum.

Esses blockchains públicos utilizados na bitcoin e ethereum, são descentralizados e abertos ao público, sendo que qualquer pessoa pode participar e visualizar as transações registradas. Neste tipo de rede a segurança é garantida por meio de um processo de consenso robusto, como a prova de trabalho, onde “Para modificar um bloco anterior, um atacante teria que refazer a prova-de-trabalho desse bloco e de todos os blocos seguintes e ainda alcançar e ultrapassar o trabalho dos nós honestos” Nakamoto (2008). Ou a prova de participação, onde participantes anônimos mantêm a rede segura.

Neste contexto, um blockchain privado é mais adequado, pois permite controlar quem tem acesso às informações e quais dados cada participante pode visualizar. Ele é configurado para que apenas parceiros autorizados como fornecedores, fabricantes, transportadores e distribuidores tenham acesso. A restrição é para que organizações ou consórcio específico gerem, garantindo que a informação seja compartilhada apenas com quem realmente precisa dela.

Em comparação com a rede pública de bitcoin, a blockchain para cadeia de suprimentos precisa ter privacidade e acesso restrito. Deve ser privado com parceiros autorizados e identificáveis. Além disso, pode haver um requisito de diferentes níveis de visibilidade e acessibilidade para cada parceiro (TARUN et al., 2021).

Como definimos anteriormente, Guangjie et al. (2023) trazem uma definição semelhante em seu artigo, onde dizem que “rastreabilidade se refere ao rastreamento de todos os processos, desde a aquisição de matéria-prima até a produção, consumo e descarte para identificar “onde, quando e por quem o produto foi feito”.

Então, conseguimos notar o quão importante é a evolução dos sistemas de rastreamento na supply chain, ainda mais com a aplicação do blockchain. Sua aplicação torna-se mais visível na rastreabilidade de produtos agrícolas e farmacêuticos, com isso, chegamos a confirmar sobre o impacto positivo que a tecnologia blockchain traz nos sistemas de rastreabilidade. A organização mundial de saúde na sua página oficial publicou um artigo onde falar sobre segurança alimentar, trazendo dados importantes que nos levam a refletir sobre a gestão da cadeia de suprimentos

A Organização Mundial de Saúde ([s.d.]) diz que segurança alimentar ou ter acesso a alimentos seguros e saudáveis é fundamental para manter uma vida saudável e prevenir doenças, pois quando os alimentos não são seguros, contaminados com bactérias, vírus, parasitas ou produtos químicos prejudiciais podem provocar mais de 200 doenças, desde problemas gastrointestinais até cânceres. “Exemplos de alimentos inseguros incluem alimentos crus de origem animal, frutas e vegetais contaminados com pesticidas e fezes, e mariscos crus contendo biotoxinas marinhas” Organização Mundial de Saúde ([s.d.]).

No entanto, quando esses alimentos não são seguros, chegam até o consumidor e podem provocar situações drásticas. A organização mundial de saúde aponta números, situações que poderiam ser evitadas com um acompanhamento detalhado de toda cadeia de suprimentos, onde tanto os produtores quanto os consumidores pudessem ter acesso a todas informações ou transações na rede, vendo o estado dos produtos até chegar no destino, evitando graves consequências como mostra o site da organização mundial de saúde.

Mais de 50.000 pessoas morrem todos os anos na Região do Pacífico Ocidental por consumir alimentos não seguros e outros 125 milhões adoecem por causa de alimentos não seguros. A cada ano, 30% dos casos de doenças transmitidas por alimentos ocorrem em crianças menores de 5 anos e estima-se que 7.000 crianças morram como resultado disso(Organização Mundial de Saúde, [s.d.]).

Dito isto, Guangjie et al (2023) fala que o sistema de rastreabilidade tem um papel crucial na resposta ágil a problemas que surgem na cadeia de suprimentos até em algumas ocasiões, evitando recalls. Quando ocorre uma falha, permite o acesso rápido a informações detalhadas sobre a produção e distribuição do produto envolvido, assim, facilitando a investigação para identificar a causa do problema e sua localização. Esse processo direcionado de resolução ajuda a aliviar riscos com alguma precisão, além de reduzir o impacto de produtos defeituosos, assegurando uma resposta eficiente e eficaz na proteção do consumidor e da reputação da empresa.

8.3. Contratos inteligentes

A ideia de aplicação do blockchain para outras áreas levou com que um indivíduo, Vitalik Buterin desenvolvesse uma tecnologia que depois, seria considerada a segunda maior aplicação da tecnologia blockchain, que são os contratos inteligentes através da plataforma ethereum, que é plataforma para desenvolvimento de contratos inteligentes mais popular dentre as outras que existem no mercado, Ribeiro e Mendizabal (2019) “[...] existem

inúmeras plataformas para criação de Contratos Inteligentes, entre elas: Ethereum, Hyperledger Fabric, Stellar, EOA, e outras”.

Então começamos por definir o que são contratos inteligentes ou smart contracts, que segundo (Mohamed et al. 2023) contratos inteligentes são nada mais nada menos que programas digitais autoexecutáveis que operam em plataformas de blockchain, permitindo que as partes envolvidas estabeleçam acordos de forma automática quando as condições são satisfeitas e sem a necessidade de intermediários. Eles contêm um conjunto de instruções codificadas que definem as condições e ações de um contrato tradicional. Assim, uma vez que as condições predefinidas sejam cumpridas, o contrato executa as ações correspondentes automaticamente.

Contratos inteligentes são amplamente aplicáveis, em diversos setores, inclusive na logística e na gestão da cadeia de suprimentos, onde ajudam a assegurar o cumprimento de prazos e a rastrear produtos de forma confiável e transparente.

Os contratos inteligentes são desenvolvidos pela ethereum, são escritos na linguagem de programação solidity que é uma linguagem de alto nível e orientada a objetos, que segundo seu white paper oficial é definido como sendo uma coleção de código e dados que reside em um endereço específico no blockchain Ethereum (Solidity, [s.d.]).

8.4. Análise econômica da cadeia de suprimentos (Supply chain)

A implementação de sistemas de rastreabilidade na cadeia de suprimentos com base em blockchain oferece uma série de benefícios econômicos significativos, principalmente na redução de custos operacionais e aumento da eficiência, ou seja, melhorias nos processos de toda cadeia produtiva através da tecnologia. Segundo o Moavenzadeh do World Economic Forum (2023), diz que existem duas grandes barreiras na cadeia de suprimentos que são a administração e transporte de fronteiras e infraestrutura de comunicação. É possível melhorar esses aspectos sem a integração de tecnologia apropriada quebrando as barreiras, apenas reduzindo as tarifas? A medida em que nos questionamos, buscamos ponto da análise feita no relatório do fórum econômico mundial e poderíamos para responder de forma negativa, onde afirmam que “A redução de tarifas estimula o comércio, mas empalidece em comparação ao crescimento econômico visto quando as barreiras da cadeia de suprimentos ao comércio são reduzidas ou eliminadas (World Economic Forum, 2013)”.

O fórum econômico mundial complementa de forma a responder positivamente à questão feita no parágrafo anterior, dizendo que as cadeias de suprimentos podem impulsionar o crescimento econômico ao adotar tecnologias e práticas que aumentem a eficiência e a

sustentabilidade (World Economic Forum, 2023). E este crescimento deve-se, principalmente por meio da digitalização e automação, que tornam as operações mais resilientes e capazes de responder rapidamente a mudanças nos mercados.

O artigo publicado no Sustainability Journal fala sobre o uso do índice Altman Z-Score¹ como uma métrica para avaliar a sustentabilidade financeira das cadeias de suprimentos. Estudo que demonstra que a previsão de risco financeiro e a identificação de potenciais falências são essenciais para a estabilidade das cadeias de suprimentos, pois problemas financeiros em uma parte da cadeia podem gerar efeitos em cascata que impactam toda a operação (Roberto Alcalde et al., 2022). O artigo oferece uma abordagem técnica para medir a saúde econômica de diferentes setores e suas cadeias de suprimentos.

No entanto, a adoção de blockchain na rastreabilidade da cadeia de suprimentos não está isenta de desafios econômicos. O custo inicial para implementação, que inclui a criação da infraestrutura necessária, a integração com sistemas existentes, pode ser elevado, especialmente para empresas menores ou aquelas que operam em cadeias de suprimentos complexas e globais, apresentando-se como uma proposta de solução do problema não visto na rodada de Doha de negociações comerciais. A adoção desta tecnologia na rastreabilidade da cadeia de suprimentos pode oferecer uma solução inovadora para os desafios que contribuíram para o fracasso da rodada de Doha e melhorar o comércio global, beneficiando especialmente as economias em desenvolvimento, garantindo informações bem detalhadas sobre a origem, produção, e transporte de produtos podem, sendo registradas em um sistema seguro e imutável, aumentando a transparência e reduzindo fraudes e ineficiências.

[...]. Uma das razões pelas quais Doha falhou foi que várias economias em desenvolvimento sentiram que os benefícios do acordo eram tendenciosos para os países desenvolvidos. Uma das principais descobertas da nossa análise é que a abordagem da cadeia de suprimentos para o comércio na verdade beneficia as nações em desenvolvimento – particularmente na África Subsaariana e no Sudeste Asiático – proporcionalmente mais do que as nações desenvolvidas (World economic forum, s.p. 2023).

O fracasso da Rodada de Doha expôs uma importante divisão entre as necessidades dos países desenvolvidos e os interesses das economias em desenvolvimento. Muitos países emergentes sentiram que as condições propostas favoreciam desproporcionalmente as nações ricas, especialmente no que tange a subsídios agrícolas e acesso a mercados globais,

¹ O índice Altman Z-Score é uma fórmula desenvolvida por Edward Altman em 1968 para avaliar o risco de falência de empresas. Ele é especialmente útil para prever a saúde financeira de uma empresa, indicando a probabilidade de insolvência dentro de um horizonte de dois anos.

difícultando um acordo equitativo. Esse modelo de rastreabilidade pode proporcionar vantagens significativas para países da África Subsaariana e do Sudeste Asiático, onde as infraestruturas logísticas e os sistemas de controle são mais frágeis.

A aplicação do blockchain permite que pequenas empresas desses países tenham maior credibilidade e visibilidade no mercado global, conquistando novos compradores que valorizam informações transparentes e confiáveis sobre a procedência dos produtos. Além disso, ao simplificar a verificação e o cumprimento de normas de comércio, o blockchain reduz barreiras burocráticas que tradicionalmente dificultam a entrada dos produtos dessas regiões no mercado internacional. Dessa forma, a tecnologia tem o potencial de equilibrar os benefícios do comércio, garantindo que as nações em desenvolvimento se beneficiem de maneira mais equitativa em uma economia global interconectada.

8.5. Limitações na aplicação do blockchain na supply chain

A aplicação da tecnologia blockchain no gerenciamento da cadeia de suprimentos ainda está em um estágio emergente, poucas fontes revisadas por pares e foco predominante em abordagens conceituais, ao invés de implementações práticas. A implementação de sistemas de rastreabilidade baseados em blockchain na cadeia de suprimentos apresenta várias limitações econômicas e sua complexidade pode afetar sua viabilidade e adoção em larga escala.

Primeiramente, falaremos sobre a questão do desempenho, Bloomberg (2017), fala em seu artigo sobre a questão do consenso que pode afetar no seu desempenho pois, “as transações só podem ser concluídas quando todas as partes atualizarem seus respectivos livros-razão”. Além disso, os custos operacionais contínuos, incluindo o monitoramento de dados e a manutenção da segurança na rede, também podem tornar a tecnologia blockchain economicamente desafiadora para algumas partes da cadeia de suprimentos, sobretudo em setores com margens de lucro mais estreitas.

Finalmente, há o desafio de garantir a integridade dos dados inseridos no sistema blockchain. A tecnologia é capaz de garantir a imutabilidade dos dados, mas depende da precisão e da confiabilidade das informações fornecidas por humanos. Isso significa que, embora a blockchain possa manter registros incorruptíveis, não impede a inserção inicial de dados incorretos ou enganosos, o que pode prejudicar a confiança no sistema (Bloomberg, 2017).

9. CONCLUSÕES E PESQUISAS FUTURAS

A tecnologia blockchain se destaca como uma solução promissora para transformar a gestão da cadeia de suprimentos, oferecendo rastreabilidade, transparência e eficiência. Ao permitir o registro imutável de transações e processos, a blockchain elimina a necessidade de intermediários e reduz significativamente os riscos associados a fraudes e a erros de rastreamento. Esse estudo demonstrou que a blockchain não apenas melhora a confiança entre os participantes, mas também cria um ambiente em que os consumidores podem verificar a procedência dos produtos, aumentando a responsabilidade das empresas e o compromisso com práticas sustentáveis. No entanto, apesar de suas vantagens, a implementação dessa tecnologia em supply chains ainda enfrenta barreiras, como altos custos, complexidade técnica e desafios regulatórios que dificultam a adoção em massa.

As análises revelam que os contratos inteligentes ampliam o potencial da blockchain, possibilitando uma automação segura e autônoma de processos críticos, como controle de qualidade, pagamentos e rastreamento de etapas específicas da cadeia. Ainda assim, a confiabilidade dos dados inseridos na blockchain continua sendo um desafio, uma vez que a precisão dos registros depende de informações iniciais fornecidas por humanos. Assim, é fundamental desenvolver padrões de qualidade e mecanismos de validação que garantam a integridade dos dados, fortalecendo a confiança na blockchain.

Em suma, a blockchain mostra-se uma ferramenta essencial para o futuro da rastreabilidade nas cadeias de suprimentos, mas sua plena adoção dependerá do desenvolvimento de novas políticas, regulamentações e inovações tecnológicas que tornem sua implementação mais acessível e confiável para empresas de todos os portes. Acredita-se que a continuidade do investimento em pesquisa e desenvolvimento na área será crucial para superar esses desafios e explorar todo o potencial da blockchain na economia global.

Os estudos futuros podem focar na criação de modelos híbridos que combinem blockchain pública e privada, permitindo que empresas possam escolher o nível de visibilidade e controle mais adequado para suas operações. Essa abordagem pode reduzir os custos de implementação e facilitar o processo de adaptação da tecnologia a diferentes setores, especialmente nas pequenas e médias empresas que muitas vezes não possuem os recursos para investir em sistemas complexos. Ao testar diferentes combinações e metodologias de blockchain, as pesquisas poderão identificar as melhores práticas para otimizar a rastreabilidade, mantendo a segurança e a privacidade dos dados.

Em segundo lugar, há uma necessidade crescente de explorar o impacto da integração de blockchain com outras tecnologias emergentes, como a Internet das Coisas (IoT) e inteligência artificial (IA), para melhorar a automação e o monitoramento em tempo real. A IoT permite que sensores monitorem a condição dos produtos em cada etapa da cadeia, e a IA pode analisar esses dados para prever falhas e recomendar ações corretivas. Investigações nessa área podem revelar métodos inovadores para sincronizar as informações de blockchain com os dados dos dispositivos IoT, criando uma cadeia de suprimentos ainda mais resiliente e inteligente.

Por fim, é importante desenvolver pesquisas que abordam as implicações legais e regulatórias da blockchain na rastreabilidade. A padronização global de normas e políticas para o uso da blockchain em cadeias de suprimentos é crucial para que a tecnologia seja amplamente aceita. Assim, futuras investigações poderão avaliar a criação de um marco regulatório que assegure a proteção dos dados e ofereça diretrizes para a implementação ética e eficiente da tecnologia em diferentes setores e regiões. Essas investigações, ao abordarem a harmonização de regulamentações, podem facilitar uma adoção global da blockchain, com benefícios tanto para os consumidores quanto para as empresas que desejam operar com transparência e responsabilidade.

10. REFERÊNCIAS

AGRAWAL, Tarun Kumar; KUMAR, Vijay; PAL, Rudrajeet; WANG, Lichuan; CHEN, Yan. **Blockchain-based framework for supply chain traceability: A case example of textile and clothing industry**. *Computers & Industrial Engineering*, v. 154, p. 107130, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107130>.

ALCALDE, R.; ALONSO DE ARMIÑO, C.; GARCÍA, S. **Analysis of the Economic Sustainability of the Supply Chain Sector by Applying the Altman Z-Score Predictor**. *Sustainability*, [S.l.], v. 14, p. 851, 2022. DOI: 10.3390/su14020851. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su14020851>.

ALQARNI, M. A.; ALKATHEIRI, M. S.; CHAUHDARY, S. H.; SALEEM, S. **Use of blockchain-based smart contracts in logistics and supply chains**. *Electronics*, v. 12, n. 1340, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/electronics12061340>.

BLOOMBERG, Jason. **Eight reasons to be skeptical about blockchain**. *Forbes*, 31 maio 2017. Disponível em: <https://www.forbes.com/sites/jasonbloomberg/2017/05/31/eight-reasons-to-be-skeptical-about-blockchain/#7ef65f125eb1>.

DUDCZYK, Patrick; DUNSTON, Julie K.; CROSBY, Garth V. **Blockchain technology for global supply chain management: a survey of applications, challenges, opportunities, and implications**. *IEEE Access*, v. 12, p. 70065-70088, 2024.

EXTRA GLOBO. **Intoxicação alimentar mata mais de 350 mil pessoas por ano, alerta OMS**. Disponível em: <https://extra.globo.com/noticias/saude-e-ciencia/intoxicacao-alimentar-mata-mais-de-350-mil-pessoas-por-ano-alerta-oms-15768390.html>.

FAHIMNIA, Behnam; SARKIS, Joseph; DAVARZANI, Hoda. **Green supply chain management: A review and bibliometric analysis**. *International Journal of Production Economics*, v. 162, p. 101-114, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.01.003>.

FERREIRA, Frederico Lage. **Blockchain e Ethereum: aplicações e vulnerabilidades**. 2017.

GLIGOR, David Mário; DAVIS-SRAMEK, Beth; TAN, Alberto; VITALE, Alex; RUSSO, Ivan; GOLGEI, Ismael; WAN, Xiang. **Utilizando a tecnologia blockchain para transparência da cadeia de suprimentos: uma perspectiva de orquestração de recursos**. *Journal of Business Logistics*, [S.l.], v. 42, n. 1, p. 61-76, 2021. DOI: 10.1111/jbl.12287. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jbl.12287>.

HAN, Y.; FANG, X. **Systematic review of blockchain adoption in supply chain management: bibliometric analysis and thematic discussion**. *International Journal of Production Research*, v. 62, n. 3, p. 991–1016, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2236241>.

IBM. **Portos da América Latina integram plataforma Blockchain da IBM e Maersk para impulsionar participação no comércio global**. 2019. Disponível em: <https://www.ibm.com/blogs/ibm-comunica/portos-da-america-latina-integram-plataforma-blockchain-da-ibm-e-maersk-para-impulsionar-participacao-no-comercio-global/>.

LEÃO, Thiago. **Cadeia de suprimentos: o que é, para que serve e exemplos.** *Nomus Blog Industrial*, Rio de Janeiro, 10 jun. 2024. Disponível em: <https://www.nomus.com.br/blog-industrial/cadeia-de-suprimentos/>.

LEONELLI, Fabiana Cunha Viana; TOLEDO, José Carlos de. **Rastreabilidade em cadeias agroindustriais: conceitos e aplicações.** São Carlos, SP, 2006.

LI, Kunpeng; GHAREHGOZLI, Amir; AHUJA, Mohit Vijay; LEE, Jun-Yeon. **Blockchain in the maritime supply chain: a synthesis analysis of benefits, challenges, and limitations.** *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, v. 141, p. 102025, 2020.

LV, G.; SONG, C.; XU, P.; QI, Z.; SONG, H.; LIU, Y. **Blockchain-Based Traceability for Agricultural Products: A Systematic Literature Review.** *Agriculture*, 2023, v. 13, p. 1757. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13091757>.

MACHADO, João Guilherme de Camargo Ferraz; NANTES, José Flávio Diniz. **A rastreabilidade na cadeia da carne bovina.** In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE TECNOLOGIAS DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA AGRO-PECUÁRIA, 1., 2004. *Anais [...]*. [S.l.: s.n.], 2004.

MORESI, Eduardo Amadeu Dutra; PINHO, Isabel. **Análise bibliométrica da pesquisa em educação durante a pandemia da COVID-19.** *ETD - Educação Temática Digital*, Campinas, SP, v. 24, n. 1, p. 238–256, 2022. DOI: 10.20396/etd.v24i1.8666120. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/etd/article/view/8666120>.

NAKAMOTO, Satoshi. **Bitcoin: um sistema de dinheiro eletrônico ponto a ponto.** 2008. Disponível em: <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2024.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Segurança alimentar.** Disponível em: https://www.who.int/health-topics/food-safety#tab=tab_1.

PEROBELLI, João Antônio de Menezes; BIANCHI, Renata Coradini. **Sustainable supply chain management: creating competitive advantage through sustainability.** In: FÓRUM INTERNACIONAL ECOINNOVAR, 4., 2015, Santa Maria. *Anais [...]*. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

RIBEIRO, Lucas; MENDIZABAL, Odorico. **Introdução à Blockchain e Contratos Inteligentes: apostila para iniciante.** *Relatório Técnico INE 001/2021*, 2019.

SABERI, S.; KOUHIZADEH, M.; SARKIS, J.; SHEN, L. **Blockchain technology and its relationship with sustainable supply chain management.** *International Journal of Production Research*, v. 57, n. 7, p. 2117–2135, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1533261>.

SALAH, K.; NIZAMUDDIN, N.; JAYARAMAN, R.; OMAR, M. **Blockchain-based soybean traceability in agricultural supply chain.** *IEEE Access*, v. 7, p. 73295–73305, 2019. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2918000.

SAP. **O que é SCM (gestão da cadeia de suprimentos)?** *SAP Brasil*. Disponível em: [SILVA, Jefferson Roberto de Oliveira; FERNANDES FILHO, Euclides. **Gestão da cadeia de suprimentos \(SCM - Supply Chain Management\): conceitos e aplicações**. In: FATECLOG – LOGÍSTICA 4.0 & A SOCIEDADE DO CONHECIMENTO, X, 2019, Guarulhos. *Anais \[...\]*. Guarulhos: FATEC Guarulhos, 2019.](https://www.sap.com/brazil/products/scm/what-is-supply-chain-management.html#:~:text=A%20gest%C3%A3o%20da%20cadeia%20de%20suprimentos%20incluir%20todas%20as%20atividades,e%20a%20satisfa%C3%A7%C3%A3o%20dos%20clientes>..</p></div><div data-bbox=)

SOLIDITY. **Solidity Documentation**. Disponível em: <https://docs.soliditylang.org/en/v0.8.28/>.

WORLD ECONOMIC FORUM. **How can supply chains drive growth?**. 2013. Disponível em: <https://www.weforum.org/stories/2013/01/how-can-supply-chains-drive-growth/>.