



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE QUIXADÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO
MESTRADO ACADÊMICO EM COMPUTAÇÃO

ALAN NASCIMENTO GOMES

**UMA ABORDAGEM BASEADA EM BLOCKCHAIN PARA A GOVERNANÇA DA
CADEIA DE SUPRIMENTOS**

QUIXADÁ

2023

ALAN NASCIMENTO GOMES

UMA ABORDAGEM BASEADA EM BLOCKCHAIN PARA A GOVERNANÇA DA
CADEIA DE SUPRIMENTOS

Proposta de dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Computação da Universidade Federal do Ceará (UFC) como requisito parcial para a defesa de dissertação.
Orientador: Prof. Dr. Emanuel Ferreira Coutinho

QUIXADÁ

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G612a Gomes, Alan Nascimento.

Uma abordagem baseada em blockchain para a governança da cadeia de suprimentos /
Alan Nascimento Gomes. – 2023.
107 f. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Quixadá,
Programa de Pós-Graduação em Computação, Quixadá, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Emanuel Ferreira Coutinho.

1. Blockchains (Base de dados). 2. Cadeia de suprimentos. 3. Governança relacional. I.
Título.

CDD 005

ALAN NASCIMENTO GOMES

UMA ABORDAGEM BASEADA EM BLOCKCHAIN PARA A GOVERNANÇA DA
CADEIA DE SUPRIMENTOS

Proposta de dissertação apresentada ao Curso de Mestrado Acadêmico em Computação da Universidade Federal do Ceará (UFC) como requisito parcial para a defesa de dissertação.

Aprovada em: 20 de dezembro de 2023

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Emanuel Ferreira Coutinho (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Glauber Dias Gonçalves
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

Prof. Dr. Gabriel Antoine Louis Paillard
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Michel Sales Bonfim
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico este trabalho à minha família, pois tem sido o meu porto seguro.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela vida e por ter direcionado os meus caminhos para que eu chegasse até aqui.

Sou grato à minha família por ter dado todo apoio e estar comigo em todos os momentos.

Agradeço ao meu pai, Braz Gomes, pois sempre ofereceu o seu melhor para que minha família estivesse bem. Aos meus irmãos Erlânia, Gracilane e Diogo, que foram essenciais na minha carreira acadêmica, profissional e pessoal. Sem eles dificilmente teria conseguido.

Agradeço à minha esposa, Samara Silva, por ter me incentivado a continuar e por sempre estar aos meu lado, também pela paciência durante os momentos que estive ausente.

Agradeço aos colegas que tive o prazer de conhecer durante o programa de mestrado.

Expresso minha gratidão ao meu orientador Emanuel Ferreira Coutinho pelo apoio e pelo conhecimento compartilhado desde o período da graduação. Ele foi uma das principais pessoas que contribuíram para o meu êxito. Irei levar para a minha carreira muitos aprendizados adquiridos com as trocas de conhecimentos que tivemos.

Agradeço a toda a comunidade acadêmica da Universidade Federal do Ceará por todo apoio oferecido para o meu desenvolvimento pessoal, acadêmico e profissional.

RESUMO

Uma cadeia de suprimentos pode ser definida como uma rede interligada de indivíduos, empresas, recursos, processos e tecnologias envolvidos na fabricação e venda de um produto ou serviço. Constantemente, nessas redes, são realizados acordos com o objetivo das partes realizarem trocas de ativos. Esses acordos podem ser feitos por meio de contratos rigorosos ou até mesmo por simples relações de confiança que as partes possuem entre si. Devido ao alto crescimento da cadeia de suprimentos e à intensificação da complexidade das relações nessa rede, a confiança nas negociações ficou cada vez mais prejudicada, principalmente naquelas em que essa característica é a principal garantia dos acordos. Os mecanismos adotados para se garantir uma boa troca entre os envolvidos, podem ser atingidos através da implantação da governança nos relacionamentos. Ela, nesse contexto, define como as partes interessadas irão agir na construção das suas interações, gerando assim relacionamentos com características desejáveis, como a confiança. Dessa forma, tecnologias atuais podem possibilitar a aplicação da governança nas cadeias de suprimentos. A *blockchain* pode atuar como uma ferramenta para atenuar a falta de confiança nos relacionamentos da cadeia de suprimentos, devido às características como integridade, imutabilidade e descentralização das informações. Sob esse viés, este trabalho tem como objetivo propor uma solução para permitir a confiança da governança relacional entre os membros da cadeia de suprimento utilizando a tecnologia *blockchain*. Com o objetivo de avaliar o estado da arte sobre o tema governança na cadeia de suprimentos baseada em *blockchain* foi feita um mapeamento na literatura com a finalidade de buscar trabalhos relacionados sobre os termos: governança, cadeia de suprimentos e *blockchain*. A abordagem proposta é baseada em uma *blockchain* permissionada, o framework *Hyperledger Fabric*. Foram propostas métricas para avaliar os relacionamentos da cadeia de suprimentos, que foram: confiabilidade, engajamento e transparência. Os resultados desta pesquisa apresentam que as métricas são pertinentes para avaliar o relacionamento na cadeia de suprimentos e a tecnologia *blockchain* é uma ferramenta que pode melhorar a governança relacional dessa área.

Palavras-chave: blockchain; cadeia de suprimentos; governança relacional.

ABSTRACT

A supply chain can be defined as an interconnected network of individuals, companies, resources, processes and technologies involved in the manufacture and sale of a product or service. Agreements are constantly made in these networks with the aim of the parties exchanging assets. These agreements can be made through strict contracts or even simple relationships of trust that the parties have between themselves. Due to the high growth of the supply chain and the intensification of the complexity of relationships in this network, trust in negotiations has become increasingly undermined, especially in those in which this characteristic is the main guarantee of agreements. The mechanisms adopted to ensure a good exchange between those involved can be achieved through the implementation of governance in relationships. In this context, it defines how interested parties will act in the construction of their interactions, thus generating relationships with desirable characteristics, such as trust. In this way, current technologies can enable the application of governance in supply chains. Blockchain can act as a tool to mitigate the lack of trust in supply chain relationships, due to characteristics such as integrity, immutability and decentralization of information. Under this bias, this work aims to propose a solution to enable trust in relational governance between members of the supply chain using blockchain technology. With the aim of evaluating the state of the art on the topic of governance in the blockchain-based supply chain, a mapping was carried out in the literature with the purpose of searching for related works on the terms: governance, supply chain and blockchain. The proposed approach is based on a permissioned blockchain, the Hyperledger Fabric framework. Metrics were proposed to evaluate supply chain relationships, which were: reliability, engagement and transparency. The results of this research show that metrics are relevant for evaluating relationships in the supply chain and blockchain technology is a tool that can improve relational governance in this area.

Keywords: blockchain; supply chain; governance.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de atividades	20
Figura 2 – Um exemplo típico de cadeia de suprimentos.	25
Figura 3 – Blockchain e seus blocos.	30
Figura 4 – Ecossistema <i>Hyperledger</i>	36
Figura 5 – Exemplo de rede.	42
Figura 6 – Etapas de validação das transações na rede.	43
Figura 7 – Rede <i>Hyperledger</i>	44
Figura 8 – Relação da quantidade de trabalhos por ano.	51
Figura 9 – Nuvem de palavras das palavras-chave dos estudos selecionados.	51
Figura 10 – Visão geral da arquitetura	60
Figura 11 – Camadas	61
Figura 12 – Arquitetura permissionada baseada em unidade de negócio	63
Figura 13 – Configuração da Rede Permissionada	64
Figura 14 – Fluxo de do relacionamento	65
Figura 15 – Confiabilidade - Cumprimento de acordos	67
Figura 16 – Engajamento	70
Figura 17 – Modelo de transparência - Nível de Acesso	71
Figura 18 – Configuração da Rede Permissionada	73
Figura 19 – Configuração dos Discos	73
Figura 20 – Transações de cumprimento de acordos válidas pela <i>blockchain</i>	81
Figura 21 – Porcentagem de confiabilidade versus quantidade de submissões	82
Figura 22 – Transações de descumprimento de acordos validadas pela <i>blockchain</i>	82
Figura 23 – Quantidades de transações invalidadas na <i>blockchain</i>	83
Figura 24 – Detalhes das transações validadas na <i>blockchain</i>	84
Figura 25 – Detalhes das transações de descumprimento de acordo validadas na <i>blockchain</i>	84
Figura 26 – Relação da quantidade total de transações submetidas e a quantidade de transações validadas na <i>blockchain</i>	85
Figura 27 – Transações de engajamento invalidadas na <i>blockchain</i>	86
Figura 28 – Métricas das transações de engajamento na <i>blockchain</i>	87
Figura 29 – Transações de cumprimento de acordo validada na <i>blockchain</i>	88
Figura 30 – Transações de descumprimento de acordo validada na <i>blockchain</i>	88

Figura 31 – Transações invalidadas na <i>blockchain</i>	89
Figura 32 – Métricas de transações de cumprimento de acordo validada na <i>blockchain</i> .	89
Figura 33 – Métricas de transações de descumprimento de acordo validada na <i>blockchain</i>	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Quantidade de trabalhos	48
Tabela 2 – Lista de veículos de publicação	50
Tabela 3 – Comparação entre trabalhos	57
Tabela 4 – Configuração das Máquinas virtuais	74
Tabela 5 – Quantidade de Transações de Acordos para métrica de confiabilidade	79
Tabela 6 – Quantidade de Transações de Acordos para métrica de engajamento.	79
Tabela 7 – Quantidade de Transações de Acordos para métrica de transparência	81
Tabela 8 – Trabalhos Publicados	96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SCG	<i>Supply Chain Governance</i>
HLF	<i>Hyperledger Fabric</i>
SET	<i>Social Exchange Theory</i>
RET	<i>Relational Exchange Theory</i>
RBV	<i>Resource-Based View</i>
RDT	<i>Resource Dependency Theory</i>
EVM	<i>Ethereum Virtual Machine</i>
ERC-20	<i>Ethereum Request for Comment 20</i>
MSP	<i>Membership Service Provider</i>
PoW	<i>Proof-of-Work</i>
PBFT	<i>Practical Byzantine Fault Tolerance</i>
PoS	<i>Proof-of-Stake</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
VM	<i>Virtual Machine</i>
GCP	<i>Google Cloud Platform</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Motivação e Contextualização do Problema	15
1.2	Questões de Pesquisa e Objetivos	18
1.3	Metodologia	19
1.4	Contribuições	22
1.5	Organização do Trabalho	23
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	24
2.1	Cadeia de Suprimentos	24
2.2	Governança na Cadeia de Suprimentos	26
2.3	Tecnologia Blockchain	28
2.3.1	<i>Características Fundamentais</i>	29
2.3.2	<i>Modelos de Blockchain</i>	31
2.3.3	<i>Contratos Inteligentes</i>	32
2.4	Projeto Hyperledger	34
2.4.1	<i>Hyperledger Fabric</i>	36
2.4.2	<i>Ledger e Banco de Dados de Estado Global no Hyperledger</i>	37
2.4.3	<i>Chaincodes</i>	38
2.4.4	<i>Mecanismos de Consenso</i>	40
2.4.5	<i>Peers e Orderes (ou Pares e Ordenadores)</i>	41
2.4.6	<i>Canais de comunicação</i>	41
2.5	Casos de Usos	42
3	TRABALHOS RELACIONADOS	45
3.1	Planejamento da busca por trabalhos relacionados	45
3.1.1	<i>Identificar a necessidade do mapeamento</i>	45
3.1.2	<i>Desenvolver o protocolo do mapeamento</i>	45
3.1.3	<i>Definir critérios de Inclusão e Exclusão</i>	46
3.1.4	<i>Procedimentos para seleção e extração de dados</i>	47
3.2	Condução do mapeamento	47
3.3	Resultado do Mapeamento	48
3.4	Visão Geral dos Estudos	48

3.5	Resultado da Questão de Pesquisa	50
3.5.1	<i>Qual o estado da arte sobre a governança relacional em cadeias de suprimentos e como a blockchain atua nesse contexto?</i>	50
3.5.2	<i>Como a blockchain pode ser utilizada para melhorar a confiança da governança relacional em cadeias de suprimentos?</i>	52
3.6	Descrição dos Trabalhos Relacionados	53
3.7	Comparação dos Principais Trabalhos com o Trabalho Proposto	56
4	ARQUITETURA PROPOSTA	58
4.1	Arquitetura	58
4.1.1	<i>Visão Geral</i>	59
4.1.2	<i>Camadas da Arquitetura</i>	59
4.2	Representação da cadeia de suprimentos em uma rede permissionada .	61
4.3	Implementação da Arquitetura	63
4.4	Cumprimento de acordos e Fluxo para construção dos relacionamentos	64
4.5	Métricas de desempenho de governança relacional	65
4.5.1	<i>Confiabilidade</i>	66
4.5.2	<i>Engajamento</i>	69
4.5.3	<i>Transparência</i>	69
5	CENÁRIOS DE AVALIAÇÕES	72
5.1	Cenário para Métrica de Confiabilidade	74
5.2	Cenário para Métrica de Engajamento	76
5.3	Cenário para Métrica de Transparência	76
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	78
6.1	Configurações das Submissões	78
6.1.1	<i>Confiabilidade</i>	78
6.1.2	<i>Engajamento</i>	79
6.1.3	<i>Transparência</i>	80
6.2	Discussões	80
6.2.1	<i>Confiabilidade</i>	81
6.2.2	<i>Engajamento</i>	85
6.2.3	<i>Transparência</i>	87
6.3	Conclusões e Discussões Gerais dos Cenários Avaliados	90

6.3.1	<i>Limitações e Ameaças à Validade</i>	92
7	CONCLUSÕES	94
7.1	Considerações Finais	94
7.2	Publicações	95
7.3	Trabalhos Futuros	96
	REFERÊNCIAS	98

1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, são apresentadas a motivação e a contextualização desta pesquisa, a qual busca propor uma abordagem de governança relacional confiável para cadeias de suprimentos por meio da tecnologia *blockchain*. Na Seção 1.1, são debatidas a motivação e a contextualização desse trabalho. Na Seção 1.2, são apresentados os objetivos e as questões de pesquisa. Na Seção 1.3, é apresentada a metodologia adotada neste trabalho. Na Seção 1.4, são explicitadas as contribuições científicas e tecnológicas. Por fim, na Seção 1.5, é descrita a estrutura deste trabalho, apresentando a organização dos capítulos posteriores.

1.1 Motivação e Contextualização do Problema

Uma cadeia de suprimentos é uma rede interligada de indivíduos, empresas, recursos, processos e tecnologias envolvidos na fabricação e venda de um produto ou serviço. Uma cadeia de suprimentos começa quando um fornecedor disponibiliza as matérias-primas a um fabricante e termina quando o produto final ou serviço é entregue ao consumidor. Ela abrange todas as etapas entre o fornecimento das matérias-primas até a entrega do produto ao cliente, envolvendo produção, armazenamento e distribuição (Mentzer *et al.*, 2001).

Mourtzis e Panopoulos (2022) afirmam que as cadeias de suprimentos têm se tornado cada vez maiores e mais complexas devido às mudanças nas demandas do mercado global e à intensificação da concorrência entre as empresas. Além destes fatores, esta crescente complexidade é impulsionada por exemplo, pela diversidade de produtos e processos (Ersoy *et al.*, 2022), causando assim potenciais prejuízos como a baixa confiança nas interações entre os membros da cadeia. Essa baixa confiabilidade impacta toda a rede podendo gerar atrasos, aumento de custos e até mesmo a perda de negócios (Schäfer, 2022).

A confiança na cadeia de suprimentos é uma característica importante para a realização de trocas entre os seus membros (Assis *et al.*, 2022), através desta característica, as relações podem se tornar duradouras e trazerem benefícios para todas as partes. Além disso, credibilidade e compartilhamento de informações são atingidos nos relacionamentos em que a confiança está presente (Batwa; Norrman, 2021).

Criar relações de confiança é um processo social que demanda tempo e recursos significativos. Por isso, as empresas estão explorando alternativas para estabelecer confiança com seus fornecedores (Xu *et al.*, 2022). Nesse sentido, a adoção de tecnologias digitais para

gerenciar a cadeia de suprimentos tem gerado debates acadêmicos cada vez mais frequentes acerca da relação entre essas tecnologias e a confiança (Batwa *et al.*, 2021).

Sob esse viés, a governança é um termo que refere-se a um conjunto de mecanismos que visam analisar as relações interorganizacionais para reduzir a incerteza entre as partes envolvidas e assim os relacionamentos possam funcionar de forma efetiva (Dolci *et al.*, 2017; Jr *et al.*, 2010). A governança também pode ser aplicada nas cadeia de suprimentos, chamada de *Supply Chain Governance* (SCG), ou Governança da Cadeia de Suprimentos em português, estando associada aos relacionamentos no sentido de possibilitar a definição de regras e promover a colaboração entre os agentes envolvidos (Souza *et al.*, 2022; Cao *et al.*, 2022a).

Segundo Cao e Lumineau (2015), estes mecanismos podem ser classificados em governança contratual e governança relacional, sendo que o mecanismo utilizado depende do contexto da cadeia e do tipo de relacionamento. A governança relacional é o tipo mais predominante nos relacionamentos existentes das cadeias de suprimentos (Griffith; Myers, 2005). Esse tipo de governança fundamenta-se nas interações sociais e em padrões éticos e morais compartilhados, destacando a administração de conexões duradouras por meio de uma organização não formal, no sentido de não necessitar de um terceiro envolvido para a realização do acordo, e a autodeterminação de cada parte envolvida (Lumineau; Henderson, 2012). A governança baseada em contratos ressalta as regulamentações formais entre as entidades, realçando a significância dos acordos formais como meio de proteção contra comportamentos oportunistas (Cao; Lumineau, 2015).

A confiança no mecanismo de governança relacional é considerada importante, pois tem um papel significativo na melhoria do desempenho da cadeia de suprimentos. Por exemplo, os comportamentos oportunistas dos fornecedores podem ser minimizados, pois a confiança leva a redução dos riscos percebidos e da incerteza nas relações de fornecimento (Yawar; Seuring, 2017). Ao lado dos contratos, a confiança atua como um mecanismo de controle organizacional (Shahzad *et al.*, 2018; Dyer; Chu, 2000).

As relações nas cadeias de suprimentos não são homogêneas podendo ser construídas por diferentes quantidade de participantes e que pertencem a diferentes níveis da cadeia (Ahmed *et al.*, 2017). Por exemplo, as diádicas são relações em que apenas dois membros interagem. A relação entre um fornecedor e comprador pode ser citada como um exemplo por ser uma relação bastante comum. Este tipo de relacionamento, comumente, é realizado através da governança relacional onde as duas partes não necessitam realizar um acordo formal para realizar o contrato,

mas utilizam-se da confiança para realizar a troca de ativos (Bonatto *et al.*, 2020). Sendo assim, ambas as partes aceitam os riscos que estão sujeitas, como o oportunismo (Klassen *et al.*, 2023).

A implantação das ferramentas tecnológicas na cadeia de suprimentos gerou avanços para a realização dos processos neste setor. A *blockchain* é um exemplo de tecnologia que tem impactado não só esta área, mas diversas outras, como saúde e educação, desde o seu surgimento em 2008. Ela é reconhecida como um meio facilitador de governança devido à sua aplicabilidade, sendo essencial para mecanismos de gestão, pois permite o armazenamento seguro de transações (Lumineau *et al.*, 2021).

Diversas tecnologias podem ser integradas a cadeia de suprimentos para ajudar no gerenciamento e nos relacionamentos dos participantes, como a *blockchain*. A *blockchain* é uma tecnologia de registro distribuído que permite o registro seguro e transparente de transações e informações em uma rede descentralizada (Zhang *et al.*, 2022). Isso significa que as informações são compartilhadas entre os membros da rede em tempo real, permitindo uma maior transparência e confiança na cadeia de suprimentos. Além disso, a tecnologia *blockchain* pode ser usada para automatizar processos, como contratos inteligentes, reduzindo a necessidade de intermediários e, portanto, reduzindo a possibilidade de conflitos e problemas de relacionamento entre os membros da cadeia (Singh; Sharma, 2022).

Diversos trabalhos foram propostos nesse sentido. Por exemplo, no trabalho de Cao *et al.* (2022a) foi proposta uma abordagem multiassinatura baseada na *blockchain Ethereum* para a governança da cadeia de suprimentos. É proposta uma abordagem holística com o intuito de possibilitar o compartilhamento e visibilidade de informações a nível geral da cadeia de suprimentos. No estudo feito por esses autores foi mostrada a aplicabilidade da *blockchain* para transformar a governança da cadeia de suprimentos. No entanto, não foram definidas métricas para indicar a governança dos relacionamentos existentes na cadeia de suprimentos.

Este trabalho tem o foco de apresentar uma abordagem baseada em *blockchain* para possibilitar a governança relacional entre membros de uma cadeia de suprimentos. Essa abordagem utiliza-se dos benefícios trazidos da tecnologia *blockchain* permissionada para possibilitar um ambiente confiável. Com isso, é possível a realização da governança relacional em cadeia de suprimento, pois essa é uma característica fundamental nesse tipo de mecanismo de governança (Jeong; Oh, 2017). Dessa forma, a solução proposta neste trabalho pode melhorar a problemática relacionada à falta de confiança existente entre os membros da cadeia de suprimentos, por conta das características atribuídas aos dados quando gerenciados pela *blockchain*.

A implantação de *blockchain* permissionada na governança de relacionamento de cadeia suprimentos possibilita vantagens práticas devido a natureza de implementação desta tecnologia, como por exemplo a possibilidade de compartilhamento de dados privados, como citado, transparência flexível e a capacidade de modularidade, a qual está associada a capacidade de componentes serem adicionados ou removidos da rede de forma fácil (Ravi *et al.*, 2022). Além disso, existe uma tendência nos últimos anos por parte das empresas na utilização de redes permissionadas, como *Hyperledger Fabric* (HLF) (Vadgama; Tasca, 2021).

Somado a isso, neste trabalho também são propostas métricas que podem ser indicadores de um relacionamento confiável através da *blockchain* permissionada. Esses indicadores consequentemente impactam na governança relacional, por causa da dependência entre confiança e esse tipo de governança. Alguns autores, como Lemieux (2016), Grandison e Sloman (2000), Batwa *et al.* (2021), propuseram que a confiança através do uso da tecnologia é percebido através de duas dimensões: confiança nos registros e confiança na plataforma. Nesse sentido, esse trabalho propõe métricas baseadas nas características apresentadas pela *blockchain* permissionada utilizada para o desenvolvimento desse estudo, o *framework* HLF.

1.2 Questões de Pesquisa e Objetivos

Dessa forma, neste trabalho é buscado construir uma abordagem para melhorar a confiança da governança relacional entre membros da cadeias de suprimentos e responder às questões de pesquisa apresentadas a seguir:

- Como o uso da tecnologia *blockchain* ajuda na confiança da governança relacional entre os membros de uma cadeia de suprimentos?
- Quais métricas podem ser aplicadas para avaliar e aprimorar a governança relacional na cadeia de suprimentos utilizando a tecnologia *blockchain*?

Este trabalho está associado a área de cadeia de suprimentos, voltado ao estudo dos relacionamentos entre as partes interessadas dessa área. A tecnologia *blockchain* é tomada como ferramenta para ajudar na realização deste trabalho. O objetivo geral desta pesquisa é propor uma abordagem para permitir a governança relacional entre membros da cadeia de suprimentos, essa abordagem é baseada em *blockchain* para assegurar o cumprimento e a integridade dos acordos. É apresentada uma arquitetura que pode aumentar a confiança mútua e a colaboração entre as partes envolvidas.

Os objetivos específicos deste trabalho são: (i) realizar um mapeamento sistemático

da literatura, esse mapeamento surge da importância de identificar trabalhos relevantes que abordem a questão da confiança na governança relacional entre os membros através do uso da tecnologia *blockchain*. (ii) elaborar um modelo para representação da cadeia de suprimentos para troca de dados com confiança, para a governança relacional nas cadeia de suprimentos e análise dos relacionamentos, através desse modelo é possível que as organizações participe da rede de forma plugável e modularizada. Isso facilita a adição ou remoção de entidades organizacionais, que são operações comuns nesse tipo de contexto. (iii) realizar uma análise do comportamento da solução, sendo que o objetivo dessa análise é entender como a *blockchain* pode influenciar nas métricas de relacionamentos na cadeia de suprimentos, como confiabilidade, engajamento e transparência.

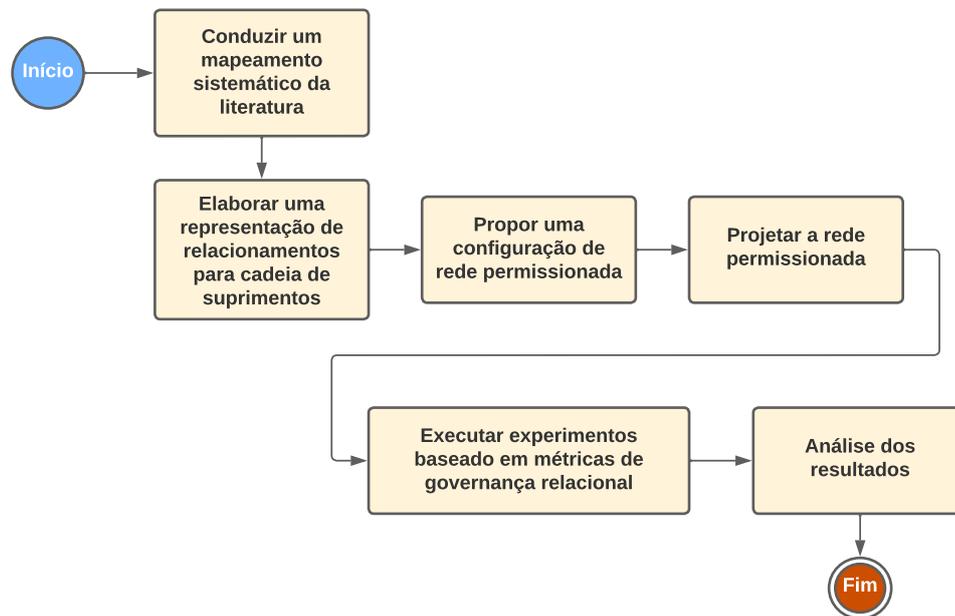
1.3 Metodologia

Com a finalidade de atingir os objetivos previamente estabelecidos, o presente projeto foi dividido em fases distintas. Em um primeiro momento, foram realizadas atividades de pesquisa comuns com o intuito de aprofundar o conhecimento sobre os conceitos, aplicações e problemas abordados na literatura. Tais atividades incluíram a realização de um levantamento bibliográfico e um estudo por meio de um mapeamento sistemático de trabalhos relacionados. Todas essas etapas iniciais foram realizadas com o propósito de desenvolver uma abordagem que pudesse permitir a confiança na governança relacional da cadeia de suprimentos utilizando a tecnologia *blockchain*. Além disso, outras fases da pesquisa foram planejadas e organizadas em um diagrama de atividades, a fim de garantir uma compreensão mais clara da execução das atividades (Figura 1). A seguir serão apresentadas as atividades que estão sendo e serão realizadas.

Na lista a seguir foi definida cada etapa apresentada na Figura 1.

- **Conduzir um mapeamento sistemático da literatura:** A realização de um mapeamento sistemático da literatura foi uma etapa essencial para o sucesso da pesquisa, uma vez que permitiu identificar e analisar as publicações relevantes sobre o tema. Nesta fase, foram definidos critérios de seleção para a escolha dos estudos a serem incluídos no mapeamento, a fim de garantir a qualidade e a relevância dos trabalhos selecionados. O mapeamento foi conduzido tendo por base o guia para mapeamento sistemático Kitchenham e Charters (2007), seguindo um protocolo pré-definido, que possibilitou a definição de diretrizes para o desenvolvimento da proposta de governança baseada em *blockchain* para cadeias de

Figura 1 – Diagrama de atividades



Fonte: Elaborado pelo autor.

suprimentos.

- **Elaborar uma abordagem baseada em *blockchain* permissionada para a representação de relacionamento na cadeia de suprimentos:** O modelo proposto baseado em *blockchain* para a governança relacional na cadeia de suprimentos utiliza o HLF como plataforma. A cadeia de suprimentos é um ambiente que muitas vezes sofre modificações em sua estrutura, sendo assim um cenário dinâmico onde relacionamentos podem ser frequentemente alterado. Nesse sentido, o *framework* HLF foi proposto para este trabalho, pois adiciona a característica de privacidade e imutabilidade na realização das transações, mostrando vantagens práticas no cenário de cadeia de suprimentos, devido a opção de customização de diversos componentes participantes da rede de forma escalável e plugável (Ravi *et al.*, 2022). No *framework* HLF existem várias entidades que participam da rede. Uma dessas são as chamadas organizações que são entidades estruturadas que operam os seus próprios nós e controlam suas próprias políticas de acesso. No contexto deste trabalho é proposta uma abordagem em que essas organizações da rede *blockchain* representam uma unidade de negócio da cadeia de suprimentos. Sendo que cada unidade de negócio tem a liberdade de estabelecer as políticas de acesso aos seus dados e como irão participar dos canais de comunicação.
- **Propor uma configuração de rede permissionada baseada no modelo A** abordagem

que representa o relacionamento da cadeia de suprimentos pode ser implementada no *framework* HLF através da utilização de tipos de compartilhamento: canais de comunicação e dados privados. Essas duas formas de compartilhamento na rede permitem que os dados estejam acessíveis apenas a determinadas partes interessadas, garantindo um melhor nível de confiança na troca de informações. A abordagem utilizada é caracterizada por cada participante da cadeia de suprimentos está associado a uma organização da rede HLF. Por conta disso, é possível que as unidades de negócio realizem troca de informações através do uso de canais quando necessitarem compartilhar dados para várias unidades de negócios e para os relacionamentos mais restritos serão usados dados privados, por exemplo de uma unidade para outra unidade.

- **Projetar a rede permissionada:** Esta etapa do trabalho consiste em projetar a rede permissionada baseada no modelo proposto. Neste momento, são definidos os componentes da rede que são as organizações juntamente com os componentes associadas a cada uma, como os nós *peers*, os nós *orderes*, as autoridades de certificações e o contrato inteligente. Sendo assim, foi criada uma rede que possui um conjunto de quatro organizações, sendo que três destas organizações possuem dois componentes *peers* para armazenamento de dados e uma autoridade de certificação para cada organização realizar a emissão de certificados digitais e, assim, possibilitar a comunicação dos seus clientes através da rede. Além disso, uma dessas organizações é destinada a executar os *orderes* que são os responsáveis por executar o algoritmo de ordenação das transações. Também foi implantado um canal que tem a responsabilidade de compartilhar com todos os membros da cadeia a realização das transações No contrato inteligente implantado é possível realizar a chamada de métodos para possibilitar o compartilhamento de dados privados entre as organizações, possibilitando a comunicação de um para um em um modo mais restrito.
- **Executar experimentos baseados em métricas de governança relacional:** Além dos passos anteriores, foi realizada a avaliação da arquitetura baseada em métricas que avaliam a governança relacional. O desempenho na gestão da cadeia de suprimentos é frequentemente aferido por indicadores operacionais. Contudo, o desempenho relacional refere-se à qualidade das interações, levando em conta elementos como a durabilidade da parceria, por exemplo. Este trabalho propõe três indicadores para avaliar a eficácia das relações entre os participantes da cadeia de suprimentos: confiabilidade, engajamento e transparência. Essas métricas foram baseadas na proposta de desempenho relacional que está associada a

continuidade de relacionamento, comprometimento e afinidade (Yeh, 2016).

- **Analisar os resultados obtidos:** A etapa final envolveu uma análise empírica dos dados coletados dos testes realizados com a rede permissionada que foi criada, utilizando como base os critérios de governança relacional propostos (confiabilidade, engajamento e transparência). Cada métrica foi examinada observando os valores de performance retornados, para entender como esses indicadores afetam as cadeias de suprimentos operadas na estrutura *blockchain*. A métrica de confiabilidade foi avaliada através de experimentos que simularam tanto o cumprimento quanto o descumprimento de contratos. Quanto ao engajamento, a análise focou na eficácia das interações relacionadas ao cumprimento de acordo realizados pelas unidades de negócio. A métrica de transparência foi examinada com base nos resultados de testes que demonstraram cumprimento ou descumprimento de contratos. No entanto, ao contrário da métrica de confiabilidade, a análise da transparência não abrangeu todas as entidades da cadeia de suprimentos, já que essa métrica é caracterizada por ter restrição de acesso às informações.

1.4 Contribuições

Para o presente trabalho podem ser listadas contribuições científicas e tecnológicas, apresentadas a seguir:

Contribuições Científicas:

- Um mapeamento sistemático sobre a governança de relacionamento da cadeia de suprimentos;
- Uma abordagem para a representação da cadeia de suprimentos em rede *blockchain* permissionada;
- Métricas para avaliar os indicadores de confiança em relacionamento da cadeia de suprimentos;

Contribuições Tecnológicas:

- Desenvolvimento de uma solução baseada no HLF para a governança de relacionamento na cadeia de suprimentos.

1.5 Organização do Trabalho

O restante do trabalho está organizado da seguinte forma: no Capítulo 2, é apresentada a fundamentação, onde são discutidos os principais assuntos relacionados ao tema deste trabalho, como a cadeia de suprimentos, governança, *blockchain* e o *framework* HLF. Em seguida, no capítulo 3, são apresentados os processos e as atividades realizadas para a busca de trabalhos na literatura. No capítulo 4 são apresentados detalhes da arquitetura proposta. No capítulo 5 são apresentados detalhes sobre os cenários de desempenho relacional. No capítulo 6 são apresentados os resultados encontrados dos experimentos de avaliações. E, por fim, no capítulo 7, são apresentadas as conclusões e trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O presente capítulo tem como objetivo fornecer os conceitos fundamentais para a realização deste trabalho. Primeiramente, na Seção 2.1, será abordada a cadeia de suprimentos, tema central deste trabalho. Em seguida, na Seção 2.2, serão apresentados os modelos de governança para a cadeia de suprimentos, destacando a importância da gestão eficiente para o sucesso da cadeia. Na Seção 2.3, será abordada a tecnologia de *blockchain*, explicando suas definições e as áreas de aplicação. Serão apresentados os principais conceitos relacionados à tecnologia, tais como blocos. Na Seção 2.4, será apresentado o projeto *Hyperledger*, uma iniciativa da *Linux Foundation* que tem como objetivo fornecer uma plataforma de *blockchain* para negócios. Serão discutidas as principais características do projeto e suas aplicações na cadeia de suprimentos. Por fim, será apresentado um caso de uso que demonstra o potencial da tecnologia para melhorar a eficiência e transparência na cadeia de suprimentos.

2.1 Cadeia de Suprimentos

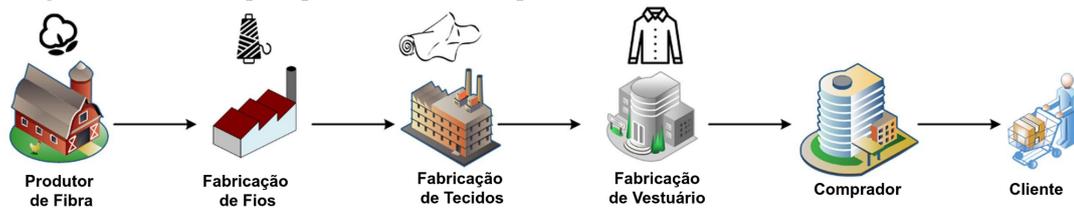
Mentzer *et al.* (2001) definiram que a cadeia de suprimentos é um grupo de três ou mais empresas ou entidades envolvidas em um fluxo de produtos, serviços e/ou informações de um fornecedor para cliente. Nesse sentido, todos os atores desempenham um papel crítico na cadeia de suprimentos e devem trabalhar juntos para garantir que o produto final atenda às expectativas do cliente.

Em outra perspectiva, para Cox *et al.* (2001), a cadeia de suprimentos é vista como uma série de conexões empresariais que transformam matérias-primas em produtos por meio de processos de agregação de valor, passando por várias etapas de transformação, com o objetivo final de satisfazer as necessidades do cliente final. Dessa forma, as definições de cadeia de suprimentos apresentam um consenso em relação à necessidade de colaboração e coordenação entre as empresas e entidades envolvidas no processo para entrega de um produto ou serviço para o cliente final. Isso porque a cadeia de suprimentos é um sistema complexo que envolve diversas etapas e processos interconectados.

A Figura 2 ilustra o processo típico de uma cadeia de suprimentos na indústria têxtil e de vestuário (Agrawal *et al.*, 2021). A cadeia inicia com um produtor de fibras, que pode ser uma empresa de cultivo que produz fibras naturais como o algodão, ou uma indústria produtora de fibras químicas derivadas do petróleo, como o poliéster. As fibras são então transformadas em

fios por meio de unidades de fabricação de fios, utilizando o processo de fiação. Posteriormente, os fios são convertidos em tecidos pelas unidades de fabricação de tecidos, utilizando processos de tecelagem. Os tecidos produzidos são enviados para indústrias de confecções. Esse é um exemplo que trata de uma rede que envolve diversos parceiros em cada fase da produção, os quais obtêm matérias-primas de vários fornecedores e as processam antes de transferir o produto resultante para o próximo comprador, até chegar ao cliente final.

Figura 2 – Um exemplo típico de cadeia de suprimentos.



Fonte: Adaptado de Agrawal *et al.* (2021)

A digitalização é um processo que afeta praticamente todas as áreas das organizações, incluindo os processos envolvidos na cadeia de suprimentos (Agrawal; Narain, 2018). A transformação da cadeia de suprimentos tradicional em uma digital é uma proposta de valor para fornecer agilidade e transparência na gestão da cadeia de suprimentos, consistindo na adoção de tecnologias digitais e a utilização de dados digitais para otimizar e aprimorar os processos ao longo da cadeia de suprimentos de uma organização (Aamer *et al.*, 2021; Aamer *et al.*, 2020).

O processo de digitalização permite a integração com diferentes tecnologias, trazendo benefícios para as operações realizadas na cadeia de suprimentos. Dentre esses benefícios podem ser citados a transparência e a eficiência dos processos (Zorić *et al.*, 2023). Assim, mitigam-se os problemas das cadeias de suprimentos tradicionais que algumas vezes mostram-se desorganizadas e com comunicação ineficiente entre as partes interessadas (Raut *et al.*, 2018).

Embora a digitalização da cadeia de suprimentos possa trazer muitos benefícios, sua implementação também apresenta desafios significativos (Rad *et al.*, 2022). Um dos principais desafios é a dificuldade de integração com sistemas, que podem não ser compatíveis com as novas tecnologias. Além disso, garantir a segurança dos dados e a privacidade das informações em um ambiente digital, especialmente em uma cadeia de suprimentos com várias partes envolvidas. Por fim, a mudança para uma cadeia de suprimentos digitalizada requer uma mudança cultural significativa, com a adoção de novos processos e procedimentos que podem ser difíceis de implementar e aceitar por todas as partes envolvidas (Ageron *et al.*, 2020).

2.2 Governança na Cadeia de Suprimentos

A governança da cadeia de suprimentos refere-se ao mecanismo que rege as transações entre os membros da cadeia de suprimentos (Cao *et al.*, 2022a). O termo governança pode ser descrito como uma abordagem para examinar as interações entre várias organizações, considerando suas diversas dimensões inseridas nas estruturas e nos procedimentos da empresa. Ao contrário da gestão da cadeia de suprimentos, que está focada nas atividades diretas da cadeia de suprimentos, como por exemplo atividades operacionais, a governança da cadeia de suprimentos busca estabelecer mecanismos e normas que reduzam a incerteza e garantam os processos que envolvem a realização de acordo da cadeia de suprimentos (Dolci *et al.*, 2017).

Uma empresa que adquire produtos ou serviços busca obter vantagens financeiras e sociais ao colaborar com seus fornecedores na cadeia de suprimentos (Um; Kim, 2019a). A colaboração bem-sucedida melhora não só o desempenho da empresa compradora, mas também reduz os custos das transações. A implementação de uma governança apropriada é fundamental para estabilizar o relacionamento e fortalecer o desempenho da cadeia de suprimentos.

Existem dois métodos comuns para a governança a cadeia de suprimentos: (i) governança contratual, que utiliza acordos formais por meio de contratos, e (ii) governança relacional, que se baseia em confiança, normas e expectativas mútuas para garantir o cumprimento das transações (Lumineau; Henderson, 2012; Jen *et al.*, 2020).

A governança contratual é um método amplamente utilizado para gerenciar a cadeia de suprimentos. Ela envolve a criação de acordos formais por meio de contratos, que definem as responsabilidades, obrigações e expectativas de todas as partes envolvidas (Cafaggi; Iamiceli, 2014). A governança contratual é particularmente útil em transações comerciais complexas, onde as partes envolvidas precisam de uma estrutura clara para garantir que suas expectativas sejam cumpridas (Lumineau; Malhotra, 2011; Um; Kim, 2019b). Além disso, ela ajuda a minimizar os riscos e as incertezas associadas à cadeia de suprimentos, garantindo que todas as partes envolvidas estejam cientes de suas obrigações e responsabilidades.

Por outro lado, a governança relacional é baseada em relações de confiança e co-operação entre as partes envolvidas na cadeia de suprimentos (Bonatto *et al.*, 2020). Ela se concentra na construção de relacionamentos entre as partes, com o objetivo de construir uma base de confiança mútua e comunicação aberta. Esse tipo de governança é comumente aplicada em relações diádicas, ou seja, entre duas partes, como uma empresa e seu fornecedor ou cliente (Cao *et al.*, 2022a). Nessa relação diádica, é mais fácil estabelecer e manter um alto nível de

confiança e comunicação aberta entre as partes envolvidas.

Na governança contratual, uma das desvantagens é que ela pode ser muito rígida e inflexível. Embora os contratos possam fornecer uma estrutura clara e segura para as partes envolvidas, eles podem tornar difícil a adaptação a mudanças no mercado ou na demanda do consumidor (Shamim *et al.*, 2020). Além disso, a governança contratual pode ser vista como um processo impessoal e muitas vezes é focada no cumprimento das obrigações contratuais em detrimento de outros aspectos importantes do relacionamento comercial, como a construção de um relacionamento de longo prazo baseado na confiança e na colaboração. A cadeia de suprimentos é o principal termo associado a este trabalho, pois é no contexto das relações desta área em que a solução proposta busca permitir a realização de acordos mais confiáveis através de tecnologias atuais, como a *blockchain*.

Os conceitos de governança relacional e governança contratual são definidos por meio de teorias que explicam as formas pelas quais as empresas podem gerenciar suas interações com outras organizações, como fornecedores, clientes e parceiros de negócios. No trabalho de (Pfaff *et al.*, 2023a) são apresentados teorias e mecanismos associados a cada dimensão de governança, contratual e relacional. Os mecanismos e teorias associados a governança relacional serão discutidos a seguir. Na dimensão da governança relacional existem teorias que norteiam as relações, que são as *Social Exchange Theory* (SET), *Relational Exchange Theory* (RET), *Resource-Based View* (RBV) e *Resource Dependency Theory* (RDT).

A primeira, SET, é baseada no conceito de confiança, essa parte do princípio de que as pessoas avaliam as recompensas e os custos envolvidos em um relacionamento social para decidir se devem mantê-lo ou encerrá-lo. Essas recompensas e custos não se limitam apenas a aspectos financeiros, mas também englobam aspectos sociais diretos ou indiretos, como bem-estar emocional, companheirismo, confiança/dependência mútua e apoio mútuo em situações difíceis (Jeong; Oh, 2017).

A troca social é baseada em relacionamentos recíprocos que garantem que as partes da troca satisfaçam sua parcela de necessidades socioemocionais no futuro. Nessa teoria, existem fatores principais que interferem na relações da cadeia de suprimento (CAN SAGLAM *et al.*, 2022). Como por exemplo compromisso relacional, esse é um fator que mostra importante na troca social, que está relacionado aos esforços que as partes interessadas realizam que geram bons resultados para todos os participantes (Morgan; Hunt, 1994). Outro fator é a qualidade de comunicação que refere-se à troca de informações oportunas e significativas entre os parceiros,

e seu aumento contribui para reduzir a falta de entendimento no processo (Park *et al.*, 2012; SAGLAM *et al.*, 2020).

A RET enfatiza as normas e valores que orientam os comportamentos desejados nos relacionamentos. Algumas normas exemplificadas incluem reciprocidade, planejamento, garantia de consentimento e flexibilidade (Pfaff *et al.*, 2023b). Por meio da reciprocidade (ou mutualidade), por exemplo, os *stakeholders* da cadeia de suprimentos podem desenvolver parcerias de longo prazo, alinhando objetivos, criando interesse mútuo e melhorando o desempenho geral (Shin *et al.*, 2019).

A RBV destaca a importância da vantagem competitiva por meio de ativos tangíveis e intangíveis, reconhecendo as interações como valiosas quando apoiadas por uma estrutura de governança eficiente (Barney, 1991; Dyer; Singh, 1998). Além da confiança e flexibilidade, essa abordagem sugere um conjunto de mecanismos, como habilidade, colaboração, comprometimento, cooperação, integração e relacionamento (Dolci *et al.*, 2017). Já a RDT considera a governança como um conjunto de mecanismos para o desenvolvimento de relacionamentos, a fim de garantir o alcance dos objetivos organizacionais por meio da obtenção de recursos relevantes e informações necessárias (Zhang; Aramyan, 2009).

2.3 Tecnologia Blockchain

A *blockchain* é uma tecnologia inovadora que permite a criação de livros contábeis distribuídos, ou *ledger* em inglês, atraindo tanto a academia quanto a indústria para o desenvolvimento de pesquisas e aplicações (Zhou *et al.*, 2020). O *ledger* é o principal componente da tecnologia *blockchain*, proporcionando uma estrutura para armazenamento das transações realizadas pelo sistema, semelhante aos livros contábeis utilizados no setor financeiro. Com essa tecnologia é possível garantir que todas as transações sejam registradas de forma transparente, confiável e imutável, sem a necessidade de uma autoridade central para validar as transações (Habib *et al.*, 2022a).

A chegada das criptomoedas foi um evento crucial que permitiu que a tecnologia de livro contábil distribuído fosse amplamente divulgada, trazendo consigo uma grande transformação para o mercado financeiro (Liu *et al.*, 2022). A implementação bem-sucedida da tecnologia nesse setor, juntamente com a incorporação de outras novas tecnologias em seu funcionamento, permitiu que o uso da tecnologia *blockchain* se expandisse para outras áreas. Um dos principais catalisadores dessa expansão foi a introdução de contratos inteligentes (*Smart Contracts*) (Swan,

2015).

Sistemas de informação que não possuem mecanismos de verificação ou auditoria de dados são frequentemente associados a problemas de confiança. Com o intuito de mitigar esses problemas no mercado financeiro, Nakamoto (2008) propôs conceitos inovadores, incluindo a criptomoeda Bitcoin e a tecnologia de registro distribuído conhecida como blockchain (Reyna *et al.*, 2018). A ideia por trás dessas soluções é permitir que os valores monetários sejam mantidos de forma descentralizada e segura, sem a necessidade de uma autoridade centralizada ou instituição financeira. Isso é possível graças a uma rede *peer-to-peer* que mantém os valores de forma coletiva (Nakamoto, 2008) .

2.3.1 Características Fundamentais

Ao longo dos anos, a tecnologia *blockchain* tem se destacado como uma ferramenta poderosa para a criação de sistemas mais seguros, transparentes e confiáveis. Nesta subseção, serão exploradas algumas das principais características dessa tecnologia, bem como os benefícios que ela pode oferecer em diferentes áreas. De acordo com Swan (2015) e Hoy (2017), a evolução da rede *blockchain* pode ser dividida em três fases distintas: *blockchain 1.0*, *blockchain 2.0* e *blockchain 3.0*. Cada fase é marcada por um conjunto de inovações e avanços que permitiram a expansão do potencial da tecnologia *blockchain*. A seguir, serão descritas em detalhes as características e os benefícios de cada fase.

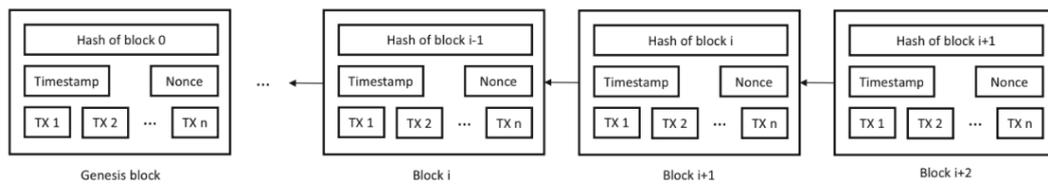
A primeira fase, denominada *blockchain 1.0*, teve início com o advento das criptomoedas, cuja proposta inicial foi apresentada por Nakamoto (2008). A segunda fase da evolução da tecnologia *blockchain*, conhecida como *blockchain 2.0*, foi marcada pela introdução dos contratos inteligentes. Essa fase foi inspirada no trabalho de Buterin *et al.* (2014), que possibilitou a realização de transações mais complexas. Os contratos inteligentes, ou *smart contracts*, são programas que executam automaticamente as regras e condições de um contrato, eliminando a necessidade de intermediários e tornando as transações mais seguras e eficientes.

Por fim, a terceira fase da evolução da tecnologia *blockchain*, chamada *blockchain 3.0*, é caracterizada pela ampliação do uso da rede para outras áreas, além do mercado financeiro. A tecnologia *blockchain* tem sido aplicada em diversos setores, como saúde, logística, votação eletrônica, dentre outros (Sharma *et al.*, 2022). Isso se deve à sua capacidade de garantir transparência, segurança e descentralização de informações.

A Figura 3 ilustra uma cadeia de blocos, que é uma estrutura de dados utilizada pela

tecnologia *blockchain* para registrar transações. Essa estrutura é capaz de garantir a integridade dos dados armazenados, graças à validação realizada por cada bloco em relação ao seu bloco pai (ou seja, ao bloco anterior na cadeia). Cada bloco pode armazenar diversas transações, que são validadas por meio de mecanismos criptográficos. Além disso, cada bloco contém um carimbo de data e hora (*timestamp*), o valor de resumo do bloco anterior e um número aleatório, conhecido como “*nonce*”, que é utilizado para verificar o *hash* e, portanto, garantir a integridade de toda a cadeia (Nofer *et al.*, 2017).

Figura 3 – Blockchain e seus blocos.



Fonte: Adaptado de Nofer *et al.* (2017)

A utilização da tecnologia *blockchain* em sistemas de informação traz diversos benefícios, tais como:

- **Descentralização:** a utilização da *blockchain* permite a criação de sistemas distribuídos, nos quais não há a necessidade de uma entidade intermediária e centralizada para controlar o sistema como um todo. Isso elimina problemas como a indisponibilidade, já que a cópia da cadeia de blocos é disseminada por toda a rede e validada de forma distribuída e descentralizada (Zhang *et al.*, 2022).
- **Tolerância a falhas:** em uma arquitetura descentralizada, é possível garantir a tolerância a falhas, já que é eliminado o risco de um único ponto de falha. Isso significa que, mesmo que um ou mais nós da rede falhem, as demais partes da rede continuam operando normalmente (Touloupou *et al.*, 2022).
- **Transparência:** os acessos que são efetuados aos dados armazenados na *blockchain* são auditáveis e permitem o rastreamento das informações. Isso significa que é possível verificar a origem e o histórico de uma determinada transação, aumentando a transparência nas operações realizadas na rede (Singh; Sharma, 2022).
- **Segurança:** a *blockchain* utiliza certificados digitais e funções criptográficas para garantir a segurança das transações realizadas na rede. Os participantes recebem endereços e chaves privadas que são utilizados para acessar a *blockchain*, aumentando a segurança e a confidencialidade dos dados (Wenhua *et al.*, 2023).

- **Pseudo-Privacidade:** as partes interessadas da rede podem verificar os dados enviados, bem como o remetente, sem depender de servidores centralizados. No entanto, uma vez que esses dados são adicionados à *blockchain*, eles não podem ser excluídos ou alterados, garantindo a pseudo-privacidade das informações (Wei *et al.*, 2020).
- **Auditabilidade:** a *blockchain* permite a criação de *logs* de atividades dos participantes da rede, o que garante a auditabilidade e a confiança entre os atores. Isso significa que as transações são registradas e armazenadas de forma segura e confiável na rede, permitindo a verificação e a validação posterior das informações (Zheng *et al.*, 2018).

2.3.2 Modelos de Blockchain

As propriedades mencionadas na subseção 2.3.1 são relevantes para *blockchains* em geral. No entanto, é possível categorizar essa tecnologia de acordo com a forma como os dados são protegidos. As duas principais categorias são conhecidas como “permissionadas” (ou *permissioned*, em inglês) e “não-permissionadas” (ou *permissionless*, em inglês) (Wüst; Gervais, 2018; Alhadhrami *et al.*, 2017).

As redes não-permissionadas caracterizam-se por serem abertas e transparentes para todos os participantes da rede. O *ledger* pode ser analisado por qualquer usuário e qualquer participante da rede tem a opção de se tornar um componente capaz de realizar a validação dos blocos (Helliard *et al.*, 2020). Como exemplos de *blockchains* não permissionadas, podem ser citados a plataforma *Ethereum* e a *blockchain* da criptomoeda *Bitcoin*.

Além disso, as redes não-permissionadas geralmente não possuem um único ponto de falha, já que não dependem de uma autoridade central para validar transações. Isso as torna mais resistentes à censura e à manipulação (Habib *et al.*, 2022b). No entanto, como qualquer participante pode validar blocos, a segurança da rede pode ser ameaçada por ataques de 51%, nos quais um único participante ou grupo de participantes detém a maioria do poder de processamento da rede (Saad *et al.*, 2020). Por essa razão, as redes não-permissionadas geralmente são mais adequadas para casos de uso em que a transparência e a descentralização são mais importantes do que a velocidade e a eficiência.

Blockchains permissionadas são plataformas de acesso restrito que permitem transações somente com permissão do administrador do sistema. Eles são desenvolvidos com foco em total privacidade, alta eficiência, transações mais rápidas, melhor escalabilidade e velocidade (Ruiz, 2020). Esses *blockchains* são úteis em organizações e empresas onde apenas mem-

bros selecionados podem participar, contendo segurança adequada, autorizações, permissões e acessibilidade. Eles são implantados para votação, gerenciamento de cadeias de suprimentos, gerenciamento de identidade digital e propriedade de ativos (Viriyasitavat; Hoonsopon, 2019). Alguns dos *blockchains* permissionadas populares são *Hyperledger* e *Corda*.

As *blockchains* permissionadas funcionam com nós autorizados, garantindo a privacidade das informações e dados de transação trocados entre os nós dentro da rede privada. Eles possuem vantagens e desvantagens em relação aos *blockchains* públicos, que devem ser considerados ao escolher a tecnologia a ser utilizada (Paul *et al.*, 2021).

A seguir são apresentadas as principais características dos tipos de *blockchains*, trazendo dois novos tipos a híbrida e a do tipo consórcio (Dib *et al.*, 2018) (Paul *et al.*, 2021). As *blockchains* públicas são notáveis por serem abertas e descentralizadas, sem restrições de acesso. Sua segurança é fundamentada em criptografia avançada, e a validação ocorre por consenso entre os participantes. Além disso, essas *blockchains* frequentemente oferecem incentivos, geralmente na forma de criptomoedas, para motivar e recompensar aqueles que contribuem para a rede.

As *blockchains* privadas, em contraste, são caracterizadas por serem centralizadas, com controle de acesso e tipicamente restritas a um grupo específico de usuários ou organizações. Assim como nas *blockchains* públicas, a segurança é garantida por meio de criptografia, e a validação ocorre por consenso entre os participantes autorizados. As *híbridas* combinam os elementos de redes públicas e privadas, com controle de acesso e validação por consenso limitados a um grupo específico de usuários ou organizações, segurança baseada em criptografia.

2.3.3 Contratos Inteligentes

Os contratos inteligentes são um dos principais componentes da *blockchain* e são responsáveis por possibilitar a interação dos usuários com os diferentes modelos de *blockchain* existentes. Esses contratos são definidos como protocolos de transação computadorizados que executam a vigência de um contrato, ou seja, são códigos executáveis que agem conforme as condições do acordo entre as partes interessadas (Szabo, 1994).

A implantação de contratos inteligentes foi um marco importante para a tecnologia *blockchain*, pois possibilitou acordos dinâmicos com maior confiança na troca de ativos digitais. Com o uso desses contratos, é possível usufruir das vantagens das redes *blockchain* de forma mais eficiente e segura, uma vez que as regras do contrato são imutáveis e transparentes, evitando fraudes e erros nas transações (Swan, 2015).

Os contratos inteligentes têm sido amplamente utilizados em aplicações baseadas em *blockchain*, trazendo diversos benefícios para os usuários. Esses contratos são uma forma de código executável que agem com base nas condições pré-estabelecidas pelas partes interessadas em um acordo, permitindo que as transações ocorram sem a necessidade de uma entidade intermediária para garantia da validade das operações (Kushwaha *et al.*, 2022). Entre os benefícios dos contratos inteligentes, pode-se destacar a redução de custos e a criação de novos modelos de negócios (Mohanta *et al.*, 2018). A utilização desses contratos tem se mostrado cada vez mais relevante no contexto atual, uma vez que proporciona maior segurança nas transações.

Na rede *Ethereum*, é possível implantar contratos inteligentes, que são programas que automatizam a execução de termos e condições entre duas partes não confiáveis. Esses contratos são escritos em *Solidity*, uma linguagem de programação usada para criar aplicativos descentralizados na plataforma *Ethereum*. Além das funções, eventos e variáveis de estado mencionados, os contratos inteligentes podem incluir outras características, como modificadores, estruturas e enumerações (Oliva *et al.*, 2020).

Os contratos inteligentes da *Ethereum* são executados na *Ethereum Virtual Machine* (EVM), um ambiente de execução de contratos inteligentes que é executado em todos os nós da rede *Ethereum*. Isso garante que os contratos inteligentes sejam executados de forma consistente em toda a rede e que os resultados sejam imutáveis. A execução do contrato inteligente requer a validação por meio de um protocolo de consenso, que é um processo que garante que todas as partes na rede *Ethereum* concordem com o resultado da transação (Kushwaha *et al.*, 2022).

No Código-fonte 1 é apresentado um exemplo básico de implementação de um *token Ethereum Request for Comment 20* (ERC-20), criado através de um contrato inteligente na *blockchain Ethereum*. Este é um padrão de *token* que define uma interface comum para *tokens* digitais (Somin *et al.*, 2020). São definidas funcionalidades básicas, como o nome, símbolo, número de casas decimais e funções para transferências de *tokens*. Esse *token* foi implementado através do contrato inteligente escrito em *Solidity*, uma linguagem de programação usada para desenvolver aplicativos descentralizados na rede *Ethereum*.

O contrato inteligente como apresentado no código tem uma básica. São definidas uma série de variáveis e funções que permitem que os usuários interajam com o *token*. A função *constructor* faz a inicialização do contrato e a função *transfer* permite que os usuários enviem *tokens* para outras contas. Este contrato inteligente é um exemplo simples, mas ilustra as principais características de um *token ERC-20* e como ele pode ser implementado em um

contrato inteligente na rede *Ethereum*.

Código-fonte 1 – Exemplo de contrato inteligente da *Ethereum*, escrito em Solidity.

```
1 pragma solidity >=0.4.22 <0.9.0;
2
3 contract Token {
4     string public name;
5     string public symbol;
6     uint256 public totalSupply;
7
8     mapping(address => uint) public balanceOf;
9
10    event Transfer(
11        address indexed _from,
12        address indexed _to,
13        uint256 _value
14    );
15    ...
16    function transfer(address _to, uint256 _value) public returns (bool
17        success) {
18        require(balanceOf[msg.sender] >= _value);
19        balanceOf[msg.sender] -= _value;
20        balanceOf[_to] += _value;
21        emit Transfer(msg.sender, _to, _value);
22        return true;
23    }
24 }
```

Fonte: O autor.

A *blockchain* e o contrato inteligente neste trabalho são utilizados como tecnologias para garantir a integridade dos dados compartilhados entre as unidades de negócios e permitir que os acordos realizados sejam confiáveis.

2.4 Projeto Hyperledger

O *Hyperledger* é um projeto de *software* livre voltado para o desenvolvimento de tecnologias *blockchain* de código aberto, com o objetivo de criar infraestruturas seguras, flexíveis

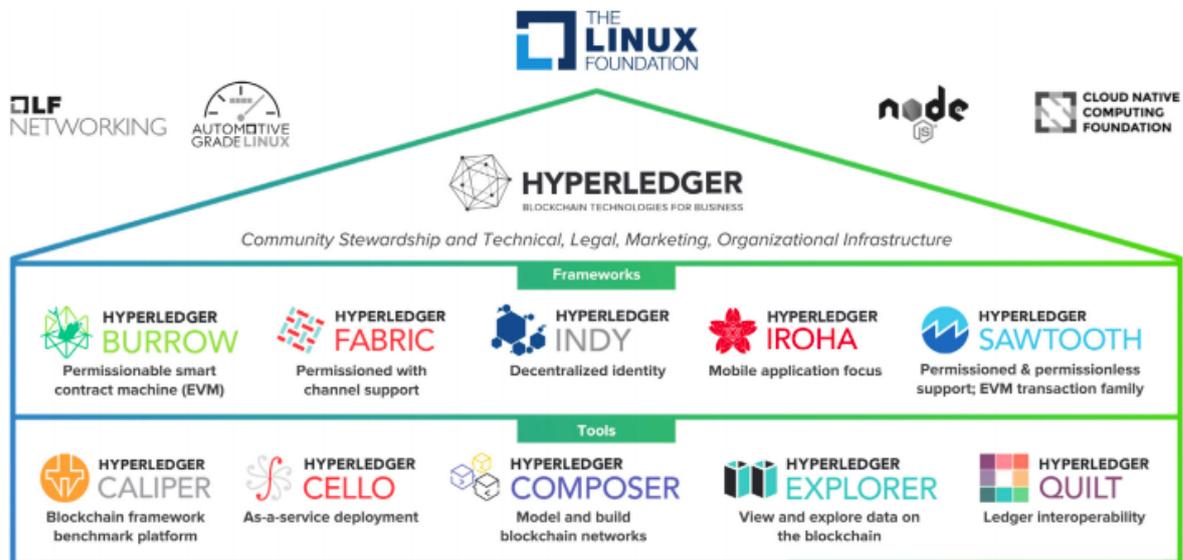
e escaláveis para aplicações empresariais. Este projeto é mantido pela *Linux Foundation* e conta com uma grande comunidade de desenvolvedores, empresas e instituições governamentais que colaboram para o desenvolvimento de *frameworks*, ferramentas e bibliotecas que facilitam a implementação e a interoperabilidade de redes *blockchain* (Nasir *et al.*, 2018). O *Hyperledger* oferece diferentes *frameworks*, cada um com suas próprias características e funcionalidades, que podem ser escolhidos de acordo com as necessidades específicas de cada projeto (Foschini *et al.*, 2020a).

Além da plataforma HLF, o projeto *Hyperledger* engloba outras iniciativas relacionadas à tecnologia *blockchain*. Na Figura 4, é possível visualizar o ecossistema de *frameworks* e ferramentas do *Hyperledger*, que tem como objetivo promover e alavancar a adoção da tecnologia *blockchain* para garantir auditoria, transparência e confiança entre parceiros de negócios, como (Yang, 2018):

- **SAWTOOTH:** é uma plataforma de tecnologia *blockchain* que permite a realização de transações simultâneas, por meio da segmentação dos blocos em fluxos paralelos. Além disso, a plataforma oferece uma funcionalidade importante, que é a facilidade de alterar o algoritmo de consenso. Essa ferramenta permite que os usuários possam adaptar a plataforma às suas necessidades específicas, sem que isso comprometa a segurança e a confiabilidade das transações (Ampel *et al.*, 2019).
- **IROHA:** é uma estrutura de tecnologia *blockchain* que faz parte dos projetos da *Hyperledger*. Ela foi desenvolvida para permitir a gestão de ativos digitais com operações de leitura rápidas e comandos eficientes. Com essa plataforma, os usuários podem manipular seus ativos digitais (Vlachou *et al.*, 2020).
- **INDY:** foi desenvolvido com o propósito de simplificar o processo de documentação e validação de empresas. Ele foi projetado para trabalhar com identidades descentralizadas e oferece uma variedade de ferramentas, bibliotecas e componentes reutilizáveis. Com essa plataforma, é possível garantir a interoperabilidade entre identidades em diferentes tipos de tecnologia *blockchain* (Bhattacharya *et al.*, 2020).
- **EXPLORER:** é uma ferramenta desenvolvida com o intuito de criar um explorador genérico de *blockchain* para a web. Com essa plataforma, é possível visualizar e analisar dados de *blockchain* de maneira mais acessível e dinâmica. Isso permite que os usuários possam monitorar as transações em tempo real, além de extrair informações relevantes sobre a rede de *blockchain* em questão (Li *et al.*, 2020).

- **CALIPER**: é uma ferramenta de *benchmarking* que oferece aos usuários a possibilidade de avaliar o desempenho de implementações específicas de *blockchain* com um conjunto pré-definido de casos de uso. Com essa plataforma, é possível medir a capacidade de processamento, a escalabilidade e a eficiência de uma rede de *blockchain* em ambiente de teste. Isso permite que os desenvolvedores possam identificar e corrigir possíveis problemas de desempenho antes de implantar uma rede em produção (Li *et al.*, 2020).

Figura 4 – Ecossistema *Hyperledger*.



Fonte: Adaptado de Yang (2018)

Além das ferramentas e *frameworks* mencionados anteriormente, o projeto *Hyperledger* oferece outra opção de *framework* para a implementação de soluções baseadas em *blockchain*. Nas próximas seções deste artigo, será apresentada uma análise detalhada do *framework Hyperledger Fabric*, abordando suas principais características, desempenho e casos de uso relevantes.

2.4.1 *Hyperledger Fabric*

A plataforma HLF é uma tecnologia de registro distribuído e autorizado, mantida pela *Linux Foundation*. Sua arquitetura altamente modular e extensível oferece recursos de confidencialidade, privacidade e escalabilidade para aplicativos corporativos baseados em *blockchain*. Como resultado desses atributos, a plataforma tem sido amplamente explorada em experimentos envolvendo aplicações práticas (Baliga *et al.*, 2018). Para este trabalho foi utilizado o HLF por possibilitar um ambiente capaz de operar em ambientes que necessitam de escalabilidade, além

de ter uma natureza plugável que é fundamental em cadeia de suprimentos onde a adição e a remoção de participantes pode acontecer (Ravi *et al.*, 2022).

Em uma rede *Hyperledger Fabric*, um conjunto de nós trabalha em conjunto para formar uma rede que pode se comunicar com aplicativos externos. As organizações são consideradas membros da rede *blockchain* e podem ser identificadas através do ID do *Membership Service Provider* (MSP). Esse componente é responsável por gerenciar como novos membros são adicionados à rede, recebem assinaturas digitais e são verificados (Androulaki *et al.*, 2018). É importante ressaltar que uma organização em uma rede HLF pode representar uma entidade tão grande quanto uma multinacional ou tão pequena quanto um indivíduo que utiliza a tecnologia *blockchain* para seus negócios.

Na rede HLF, os nós podem ser divididos em duas categorias distintas. A primeira categoria inclui os nós clientes, que podem ser aplicativos *web/móveis* ou kits de desenvolvimento de *software* (SDK). A segunda categoria é composta pelos *peers*, que são responsáveis por manter o *ledger* e executar o *chaincode*. Os *peers* são classificados em dois tipos: *peers* âncoras, que lidam com a comunicação entre diferentes organizações na rede e compartilham dados em suas respectivas organizações, e *peers* endossantes, que aprovam as transações. Vale destacar que a rede *Fabric* é uma opção para a implementação de redes *blockchain* permissionadas, o que permite maior controle e privacidade para as empresas que a utilizam. (Androulaki *et al.*, 2018).

2.4.2 Ledger e Banco de Dados de Estado Global no Hyperledger

O *ledger* distribuído é uma base de dados descentralizada que armazena todas as transações realizadas na rede. Esse *ledger* é compartilhado por todos os participantes da rede, o que torna o sistema mais transparente e confiável. Além disso, o *Hyperledger* utiliza um modelo de consenso para validar as transações, garantindo que todas as partes concordem com o estado atual da rede (Fabric, 2020).

O banco de dados de estado global, por sua vez, é responsável por armazenar o estado atual de cada conta na rede. Esse banco de dados é atualizado a cada nova transação e é mantido pelos nós da rede. Dessa forma, é possível garantir que todas as partes tenham uma visão precisa do estado atual da rede. O *ledger* distribuído possibilita a substituição do modelo de armazenamento de dados do estado mundial. Em geral, é utilizado um banco de dados do tipo chave-valor chamado *LevelDB* ou *CouchDB*. O *log* de transações não precisa ser conectado e registra os valores antes e depois do banco de dados do *ledger* que é utilizado pela

rede *blockchain* (Foschini *et al.*, 2020a).

2.4.3 Chaincodes

Os contratos inteligentes da plataforma *Hyperledger Fabric* são comumente denominados de *chaincode*. Os contratos inteligentes quando são implantados na rede *blockchain* são utilizados como aplicativos e são escritos nas linguagens Java, Go ou JavaScript e são implantados em um canal específico da rede *blockchain*, onde são executados em um ambiente isolado e seguro. Os *chaincodes* são usados para definir a lógica de negócios e as regras de transação para os ativos digitais na rede, permitindo que as partes interessadas interajam e transfiram ativos de forma transparente e segura. Outra função é gerenciar o acesso e as modificações realizadas nos conjuntos de pares de chave-valor no banco de dados na cadeia de blocos (Foschini *et al.*, 2020b).

Os *chaincodes* podem ser atualizados de forma independente, sem interromper a rede ou outras transações em andamento. Além disso, o *Hyperledger Fabric* permite que os usuários definam políticas de acesso e controle de versão para seus *chaincodes*, garantindo a segurança e a integridade dos dados na rede. No geral, os *chaincodes* são uma parte fundamental do *Hyperledger Fabric* e são essenciais para a construção de aplicativos distribuídos seguros e confiáveis para uma ampla gama de casos de uso de negócios (Beckert *et al.*, 2018).

O exemplo de contrato inteligente em *Go* apresentado no Código-fonte 2 é um contrato simples que lida com a criação e consulta de dados de um carro. Ele é implementado como um *chaincode* do *Hyperledger Fabric*, que é um código executado na *blockchain* e que define as regras de negócios para uma rede de *blockchain*.

Código-fonte 2 – Exemplo de contrato inteligente em Go.

```
1 package main
2 import (
3     ...
4     "github.com/hyperledger/fabric-chaincode-go/shim"
5     sc "github.com/hyperledger/fabric-protos-go/peer"
6     "github.com/hyperledger/fabric/common/flogging"
7 )
8
9 type Car struct {
10     Make    string `json:"make"`
```

```

11 }
12
13 func (s *SmartContract) queryCar(APIStub shim.ChaincodeStubInterface)
    sc.Response {
14     carAsBytes, _ := APIStub.GetState(args[0])
15     return shim.Success(carAsBytes)
16 }
17
18 func (s *SmartContract) createCar(APIStub shim.ChaincodeStubInterface)
    sc.Response {
19     var car = Car{Make: args[1]}
20     carAsBytes, _ := json.Marshal(car)
21     APIStub.PutState(args[0], carAsBytes)
22
23     return shim.Success(carAsBytes)
24 }

```

Fonte: O autor.

O contrato inteligente começa importando vários pacotes do *Hyperledger Fabric*, incluindo o pacote *shim* que fornece uma interface para interagir com a *blockchain*, o pacote *peer* que contém os tipos de mensagem usados pelo protocolo do *Hyperledger Fabric*, e o pacote *flogging* que é usado para gerenciar os *logs*.

Em seguida, é definida uma estrutura de dados chamada *Car*, que tem um único campo chamado *Make* que armazena a marca do carro. A marca é representada como uma *string* e é definida como um campo com tag `json:"make"`, o que significa que o campo será serializado em formato *JSON* e terá o nome *"make"* quando for armazenado na *blockchain*.

Em seguida, são definidos dois métodos para o contrato inteligente: *queryCar* e *createCar*. O método *queryCar* é usado para consultar informações sobre um carro existente na *blockchain*. Ele recebe um objeto *ChaincodeStubInterface* como entrada, que fornece uma interface para interagir com a *blockchain*. O método usa o método *GetState* do objeto *ChaincodeStubInterface* para obter o estado atual do carro a partir da chave fornecida como argumento, e retorna o estado do carro em formato *JSON* como uma resposta.

O método *createCar* é usado para criar um novo carro na *blockchain*. Ele recebe um objeto *ChaincodeStubInterface* como entrada, juntamente com a chave e marca do carro. O método cria um novo objeto *Car* com a marca fornecida, converte o objeto em formato *JSON*

e usa o método *PutState* do objeto *ChaincodeStubInterface* para armazenar o estado do carro na *blockchain*. O método retorna o estado do carro em formato *JSON* como uma resposta. Este exemplo de contrato inteligente é simples, mas ilustra como é possível implementar regras de negócios personalizadas na *blockchain* usando o *Hyperledger Fabric* e a linguagem de programação *Go*.

Além do exemplo apresentado, existem muitos outros contextos em que um contrato inteligente pode ser criado para implementar regras de negócios na *blockchain*. Por exemplo, contratos inteligentes podem ser usados para automatizar processos de gerenciamento de cadeia de suprimentos, rastrear a proveniência de produtos, gerenciar direitos autorais de conteúdo digital, implementar soluções de identidade digital seguras e muito mais (Baliga *et al.*, 2018).

2.4.4 Mecanismos de Consenso

Em uma arquitetura descentralizada, como a *blockchain*, é fundamental que haja confiança entre os participantes da rede. Para isso, são utilizados protocolos de consenso que permitem esta confiança durante a validação dos blocos que serão adicionados à cadeia de blocos. Diversos protocolos são utilizados em plataformas *blockchain*, como o *Proof-of-Work* (PoW), *Practical Byzantine Fault Tolerance* (PBFT), *Proof-of-Stake* (PoS) e Raft. Cada um desses protocolos possui regras pré-estabelecidas que utilizam os nós da rede para validar as transações (Mingxiao *et al.*, 2017a).

Esses protocolos são essenciais para garantir a segurança da rede, garantindo que todas as partes concordem com o estado atual da *blockchain*. Assim, é possível manter a transparência e confiabilidade do sistema, permitindo que ele seja utilizado para diversas aplicações em diferentes setores da economia (Chaudhry; Yousaf, 2018).

A seguir serão apresentados alguns protocolos de consenso. O PoW utiliza poder computacional para resolver problemas matemáticos complexos, chamados de prova de trabalho, para validar transações. O primeiro nó a resolver o problema recebe uma recompensa em forma de criptomoeda (Schinckus, 2021). O PBFT é um protocolo de consenso que permite a tolerância a falhas em sistemas distribuídos. Ele é capaz de garantir a segurança e a consistência da rede, mesmo que até um terço dos nós da rede sejam maliciosos (Onireti *et al.*, 2019). O PoW.

O PoS utiliza a quantidade de criptomoedas mantidas por um nó como prova de sua capacidade de validar transações. Em vez de utilizar a força computacional como prova de trabalho, o PoS utiliza a quantidade de criptomoedas em jogo para garantir a segurança e a

consistência da rede (Saad; Radzi, 2020). O RAFT Protocolo de consenso distribuído que utiliza um modelo de líder-eleitor para coordenar a gravação de logs em sistemas distribuídos. Ele foi projetado para ser simples e fácil de entender, tornando mais acessível a construção de sistemas distribuídos confiáveis e escaláveis (Mingxiao *et al.*, 2017b).

2.4.5 Peers e Orderes (ou Pares e Ordenadores)

Na rede *Hyperledger*, os *peers* são os nós que mantêm uma cópia do *ledger* compartilhada e executam os contratos inteligentes que implementam as regras de negócios da rede. Os *peers* interagem uns com os outros para validar transações e manter um consenso sobre o estado atual do *ledger* (Cachin *et al.*, 2016). Os nós ordenadores, por outro lado, são responsáveis por receber transações dos clientes, ordená-las em blocos e propagar esses blocos para os *peers*. Os nós ordenadores são essenciais para garantir a integridade e a segurança do *ledger*, pois determinam a ordem em que as transações são adicionadas ao *ledger* e garantem que todos os *peers* tenham uma cópia consistente do *ledger* (Sukhwani *et al.*, 2018).

2.4.6 Canais de comunicação

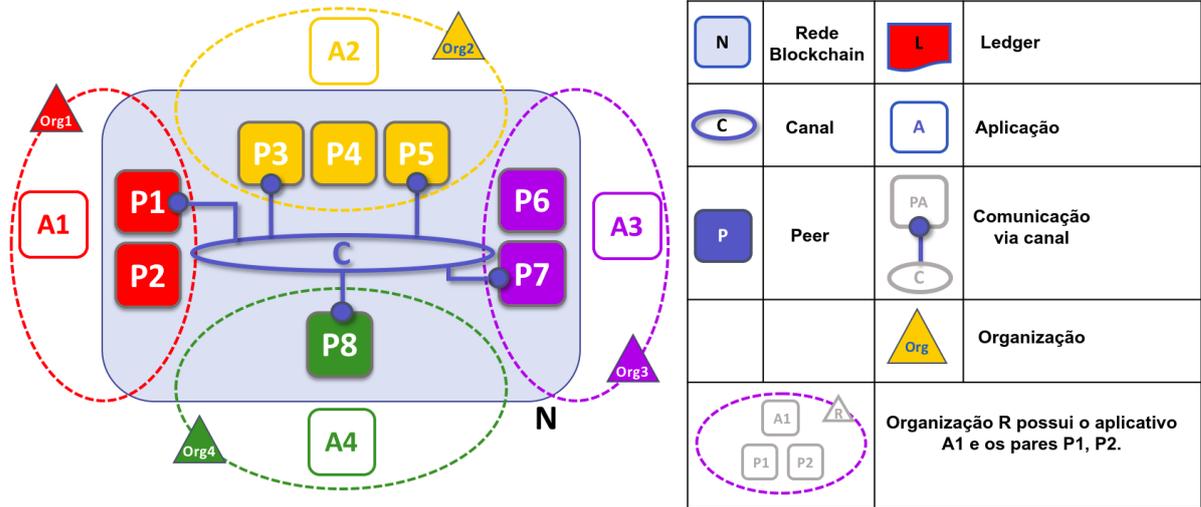
Uma das principais características da rede *Hyperledger* é a capacidade de criar canais de comunicação privados entre os participantes da rede. Os canais são uma forma de limitar o acesso aos dados do *ledger* e aos contratos inteligentes apenas aos participantes autorizados. Isso permite que várias organizações possam colaborar em uma rede compartilhada sem compartilhar todos os seus dados com todos os participantes. Os canais também podem ser usados para garantir a privacidade de informações confidenciais, como dados médicos ou informações de propriedade intelectual (Fernandes *et al.*, 2020).

Os canais são criados por meio de acordos entre as organizações participantes e podem ser configurados para permitir diferentes níveis de acesso aos dados do *ledger*. Cada canal tem seu próprio *ledger* privado, que é mantida pelos *peers* que fazem parte desse canal. Os canais podem ser criados, modificados e excluídos conforme necessário, permitindo que a rede *Hyperledger* se adapte às necessidades em constante mudança das organizações que a compõem. Sendo assim, os canais são uma ferramenta para permitir a colaboração segura e privada entre organizações em uma rede HLF (Yang *et al.*, 2020).

Na Figura 5, é apresentado um exemplo de uma rede HLF com seus componentes. São apresentadas quatro organizações sendo que cada uma delas possuem *peers*, responsáveis

por armazenar a cadeia de blocos, e uma aplicação que realiza a interface com o usuário. Além disso, existe um canal de comunicação que possibilita a comunicação entre as organizações e que permite a distribuição de dados quando existe uma nova transação para a rede.

Figura 5 – Exemplo de rede.



Fonte: Adaptado de Foundation (2022)

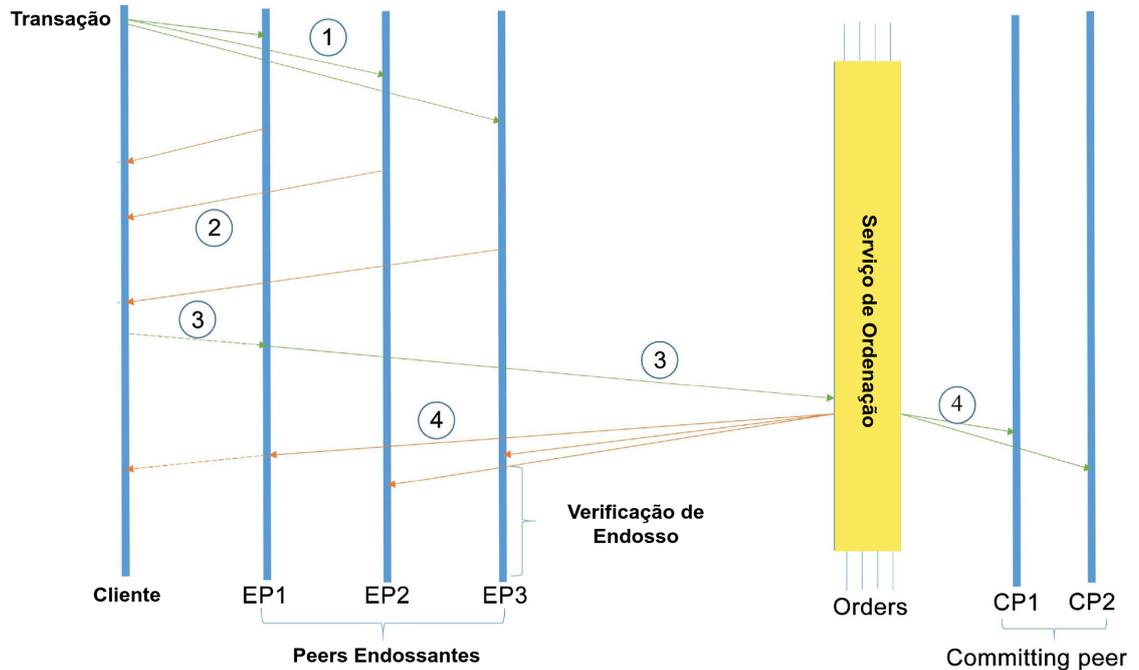
Para que as transações na rede HLF sejam validadas existe um processo que possibilita a integridade e distribuição dos dados. Na Figura 6 são apresentadas as etapas que uma transação possui ao ser feito o pedido de inserção na rede. A primeira etapa é a iniciação da transação (1) O cliente cria e assina uma proposta de transação para um *chaincode* e a envia ao canal. Após isso, é feita a execução da transação (2) os pares endossantes verificam a assinatura e autenticidade do cliente, executam a transação e retornam uma confirmação assinada ao cliente. Sem ainda haver alteração na cadeia de blocos.

A terceira etapa é a coleta de endossos (validações) e solicitações de pedidos (3). Inicialmente, o cliente verifica os endossos recebidos. Se for uma transação de escrita, consolida os informações numa transação e a envia para os *orders* do canal. Por fim, a validação e confirmação da transação (4). O solicitante distribui a transação em blocos para todos os pares no canal. Se validada, os pares adicionam o bloco a cadeia de blocos e assim todos devem confirmar a transação.

2.5 Casos de Usos

Nesta seção, será apresentado um exemplo de caso de uso de uma rede *blockchain* e suas aplicações. Esta seção tem o objetivo de apresentar a aplicabilidade da *blockchain* e a sua

Figura 6 – Etapas de validação das transações na rede.



Fonte: Adaptado de Ravi *et al.* (2022)

verstatilidade na aplicação de diferentes domínio, como o caso de cadeia de suprimentos e saúde.

Um exemplo da utilização do HLF foi a sua pela Circular, uma empresa de rastreabilidade da cadeia de suprimentos, que desenvolveu uma solução para acompanhar as matérias-primas ao longo de toda a cadeia de suprimentos, desde a extração até o fim da vida útil. Através do HLF, a integridade dos dados é assegurada em cada etapa do processo, ao mesmo tempo que assegura que diferentes partes interessadas tenham acesso apenas às informações relevantes para elas (Foundation, 2024). Existem outros exemplos de soluções como a *taXchain* que busca utilizar o *framework* HLF para troca de formulários fiscais digitalizados, com objetivo de criar uma plataforma para digitalizar formulários fiscais e diminuir custos (Foundation, 2024).

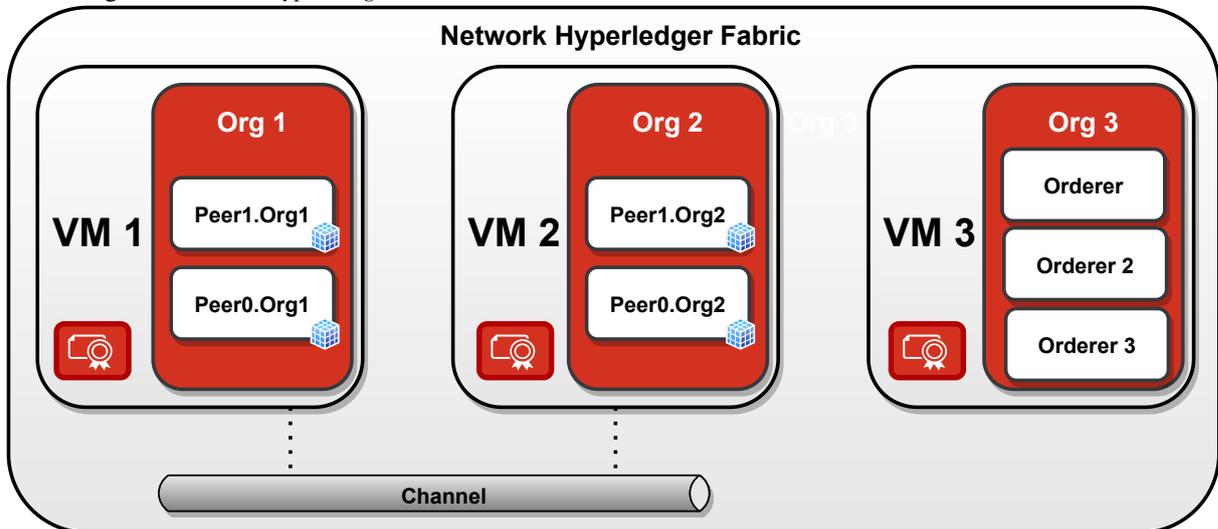
Outro exemplo de solução é apresentado por Gomes e Coutinho (2022) para compartilhamento de dados de saúde usando dispositivos de Internet das Coisas (IoT). O fluxo de dados começa com os pacientes conectados a sensores inteligentes que medem os sinais vitais e encaminham esses dados para componentes processam as informações. Esses dados são direcionados para um ponto inteligente para escolher o armazenamento *on-chain* (na cadeia de blocos), no *Hyperledger* ou *off-chain* (fora da cadeia de blocos), no *Postgresql*. Os dados também são exibidos em uma aplicação *WEB* para gráficos e *dashboards* que indicam o estado de saúde dos pacientes.

A infraestrutura da rede *Hyperledger Fabric*, apresentada na Figura 7, consiste em

sete nós executados em *containers* distribuídos em três máquinas virtuais, cada uma executando em um servidor *Linux*. Estes nós são instanciados em *containers docker* nas máquinas virtuais e executam os componentes da rede *Hyperledger*, como os nós *peers* que armazenam a cadeia de blocos e os nós *orderers*, ou ordenadores, que validam as transações. Além disso, cada organização da rede é representada pelo conjunto de indivíduos que têm acesso aos dados dos pacientes, sendo esta executada em uma máquina virtual separada. Autoridades de certificação também são instanciadas para distribuir certificados digitais para aplicações que desejam se associar às organizações. A infraestrutura inclui um canal de comunicação que permite a comunicação entre todas as organizações.

Na rede *Hyperledger Fabric* implantada, um contrato inteligente foi desenvolvido na linguagem *Go*. Esse contrato inteligente, ou *chaincode*, permite operações de escrita e leitura no *ledger*. Os dados armazenados na rede consistem nos valores obtidos dos sensores de saúde. O *chaincode* inclui métodos que fazem inicialização da rede para verificar se ela está disponível. Além disso, insere o estado de saúde do paciente na cadeia de blocos. Também um método que permite a leitura das variáveis de estado de saúde do paciente que já foram armazenadas na rede.

Figura 7 – Rede *Hyperledger*.



Fonte: Adaptado de (Gomes; Coutinho, 2022)

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Neste capítulo serão apresentados os passos para encontrar os trabalhos relacionados a esta pesquisa. Para tanto, é apresentado o planejamento para realizar a busca dos trabalhos e realizada a comparação entre esta proposta e os estudos relacionados. Para a realização desse mapeamento foi tido como base o guia para mapeamento sistemático Kitchenham e Charters (2007).

3.1 Planejamento da busca por trabalhos relacionados

A primeira atividade realizada para a busca de trabalhos relacionados foi o planejamento do mapeamento sistemático. A finalidade dessa atividade é definir os objetivos e escopos do mapeamento, bem como as questões de pesquisa, critérios de inclusão e exclusão, fontes de pesquisa, estratégias de busca e procedimentos de seleção e extração de dados. Essa atividade é fundamental para ajudar na qualidade e a validade do mapeamento sistemático, pois permite que os pesquisadores estabeleçam um plano para conduzir a revisão sistemática da literatura.

3.1.1 Identificar a necessidade do mapeamento

A necessidade de realizar um mapeamento sistemático sobre a governança relacional na cadeia de suprimentos surge da importância de identificar trabalhos relevantes que abordem a questão da confiança na governança relacional entre os membros envolvidos nesse contexto. A confiança é um fator crítico para a construção e manutenção de relacionamentos saudáveis e produtivos entre as organizações ao longo da cadeia de suprimentos. No entanto, a literatura existente sobre governança relacional é ampla e heterogênea, o que dificulta a identificação de evidências relevantes. Portanto, o mapeamento sistemático proposto tem como objetivo identificar e avaliar as pesquisas mais relevantes sobre esse tema, a fim de fornecer uma visão geral da literatura existente e identificar lacunas, tendências e oportunidades.

3.1.2 Desenvolver o protocolo do mapeamento

Após a necessidade da identificação do mapeamento foram definidas as questões de pesquisa para a realização da busca dos trabalhos. Nesse sentido, as perguntas definidas foram:

- *Qual o estado da arte sobre a governança relacional em cadeias de suprimentos e como a*

blockchain atua nesse contexto?

- *Como a blockchain pode ser utilizada para melhorar a confiança da governança relacional em cadeias de suprimentos?*

Após isso, foi realizada a definição das palavras-chave para a realização das buscas dos trabalhos relacionados, que foram: *governance*, *supply chain* e *blockchain*. As fontes de pesquisas utilizadas foram: *Scopus*¹, *IEEE Xplore*², *Science Direct*³ e *ACM Digital Library*⁴. Em seguida, foram feitas pesquisas dos trabalhos a partir das palavras-chave definidas nos buscadores das fontes indicadas anteriormente, através da opção pesquisa avançada. A busca das palavras-chave foi realizada considerando a presença das mesmas no título do artigo, resumo e palavras-chave.

3.1.3 Definir critérios de Inclusão e Exclusão

Após isso, foi aplicada as seguintes restrições nos trabalhos relacionados para a seleção dos trabalhos mais relevantes. Que foram os critérios de inclusão e exclusão definidos a seguir. Inicialmente, são definidos os **critérios de inclusão**:

- Estudos que abordem a governança relacional em cadeias de suprimentos;
- Estudos que abordem a tecnologia *blockchain* em cadeias de suprimentos;
- Estudos que avaliem a relação entre governança relacional e *blockchain* em cadeias de suprimentos;
- Estudos publicados a partir de 2019;
- Estudos publicados em inglês.

Os **critérios de exclusão** são:

- Estudos que não abordem a governança relacional em cadeias de suprimentos;
- Estudos que não abordem a tecnologia *blockchain* em cadeias de suprimentos;
- Estudos que não avaliem a relação entre governança relacional e *blockchain* em cadeias de suprimentos;
- Estudos publicados antes de 2019;
- Estudos publicados em idiomas diferentes do inglês.

¹ Scopus

² IEEE Xplore

³ ScienceDirect

⁴ ACM Digital Library

3.1.4 Procedimentos para seleção e extração de dados

Após a definição dos critérios descritos anteriormente, foram realizados os procedimentos de seleção e extração de dados dos trabalhos. A seleção dos trabalhos foi conduzida como descrito a seguir. Inicialmente, foi aplicada uma estratégia de busca nas fontes de pesquisa definidas, utilizando a ferramenta *Parsifal*⁵ para a condução do mapeamento. Os títulos e resumos dos artigos foram lidos e avaliados de acordo com os critérios definidos, determinando se seriam aceitos ou não. Os artigos selecionados foram lidos completamente e reavaliados quanto aos critérios de inclusão e exclusão. Após a leitura, foram realizadas a extração dos dados necessários.

Foram extraídas informações sobre se foi avaliado de alguma forma a governança relacional, o tipo de *blockchain* utilizada, a arquitetura proposta e as métricas utilizadas para avaliar a confiança nas relações em cadeias de suprimentos. Além disso, foram registrados dados sobre o período de publicação dos estudos, o tipo de estudo e a metodologia utilizada. Todos os dados foram organizados em uma planilha para análise e síntese dos resultados. A análise dos resultados foram conduzidas seguindo os critérios de inclusão e exclusão previamente definidos.

3.2 Condução do mapeamento

A condução do mapeamento foi realizada inicialmente realizando a busca dos trabalhos a partir da *string* de pesquisa nas bases destacadas anteriormente. Com isso, foram obtidos 20 trabalhos *ACM Digital Library*, 26 trabalhos no *IEEE Xplore*, 25 trabalhos na *Science Direct*, 173 trabalhos na *Scopus*, nesse momento a busca já foi realizada aplicando o filtro de data. No total, todos somaram 244 trabalhos encontrados. Após essa atividade foram lidos os títulos e resumos dos 244 trabalhos e aplicados os critérios de inclusão e exclusão. Após esse refinamento foram aceitos 23 trabalhos, sendo 18 pertencentes ao *Scopus*, 3 ao *Science Direct*, 1 da *ACM Digital Library* e 1 da *IEEE Digital Library*. Além disso, 41 eram trabalhos duplicados e 180 trabalhos foram rejeitados.

Tendo os 23 trabalhos selecionados foi feita a avaliação da qualidade de cada um desses estudos. Esses trabalhos foram lidos para descobrir se foi realizado algum estudo sobre governança relacional com uma abordagem utilizando *blockchain*. Além disso, foi verificado se havia sido abordado a avaliação da confiança nas relações. Em seguida, usando a ferramenta

⁵ *Parsifal*

Parsifal foi realizado a documentação dos dados extraídos dos trabalhos escolhidos, no item “Definir Procedimento de Extração de Dados”.

3.3 Resultado do Mapeamento

Como resultado do mapeamento foram obtidas uma visão geral dos estudos e a apresentação dos resultados das questões de pesquisa que serão descritos a seguir.

3.4 Visão Geral dos Estudos

Durante o processo de pesquisa, foram obtidos 244 trabalhos que abordavam o tema em questão. Para realizar uma seleção mais precisa, foi aplicado um primeiro filtro baseado no título, resumo e palavras-chave, resultando na escolha de apenas 23 trabalhos. Em seguida, foi realizado um segundo filtro, que considerou o texto completo dos trabalhos para extrair dados mais relevantes, resultando na seleção de apenas 10 trabalhos. A Tabela 1 apresenta um resumo dos resultados obtidos em cada fase, indicando a quantidade de trabalhos retornados por cada base de pesquisa e o número de trabalhos selecionados em cada etapa do processo de seleção. Dessa forma, foi possível obter uma seleção mais precisa e criteriosa dos trabalhos que seriam utilizados na análise e discussão do tema em questão.

Tabela 1 – Quantidade de trabalhos

Biblioteca Digital	Trabalhos Retornados	1ª Filtro	2º Filtro
<i>ACM Digital Library</i>	20	1	0
<i>IEEE Digital Library</i>	26	1	1
<i>Science Direct</i>	25	3	2
<i>Scopus</i>	173	19	7
Total	244	23	10

Fonte: O autor.

Apesar de *blockchain*, *supply chain* e governança serem temas de interesse, sua intersecção ainda é pouco explorada e estudada, representando oportunidades para novas pesquisas, isso pode estar associado ao fato de que a *blockchain* seja uma tecnologia emergente. Os 10 trabalhos selecionados serão apresentados a seguir, juntamente com seus objetivos de pesquisa. No trabalho (Cao *et al.*, 2022b) o objetivo é transformar a governança relacional baseada em confiança em uma cadeia de suprimentos de alimentos baseada em *blockchain*. Em (Schmidt; Wagner, 2019) o objetivo deste estudo é investigar de que maneira o uso do *blockchain* impacta as relações na cadeia de suprimentos.

O trabalho (Mishra *et al.*, 2022) tem como objetivo investigar como a tecnologia *blockchain* pode ser utilizada para lidar com efeitos negativos nas relações interorganizacionais ao longo do ciclo de vida dessas relações. Em (Guo; Yao, 2022) é tido como objetivo de estudo melhorar a relação de cooperação estável entre os participantes da cadeia de suprimentos de produtos agrícolas. O estudo sugere que a otimização da governança da cadeia de suprimentos pode ser realizada por meio da tecnologia *blockchain*.

O trabalho (Qian; Papadonikolaki, 2021) tem como objetivo analisar como a introdução da tecnologia *blockchain* afeta a confiança nas relações da cadeia de suprimentos da construção. A pesquisa utiliza entrevistas semiestruturadas e informações públicas de especialistas em *blockchain* e gestão da cadeia de suprimentos da construção para explorar como diferentes tipos de confiança são afetados pela tecnologia *blockchain*. O trabalho (Batwa *et al.*, 2021) tem como objetivo investigar a afirmação de que a tecnologia *blockchain* oferece um sistema sem confiança, onde a confiança é impulsionada pela tecnologia em vez de indivíduos ou organizações.

O objetivo de (Lang; Li, 2021) é explorar como a aplicação da tecnologia *blockchain* pode promover a mineração de valor de dados, a realização de processos automáticos e a construção de relacionamentos cooperativos na cadeia de suprimentos. O objetivo de (Lin; Zhang, 2020) é explorar como a tecnologia *blockchain* pode ser usada para facilitar a governança e execução de acordos multilaterais, visando melhorar a confiança entre as entidades participantes, através de uma arquitetura de *blockchain* de dois níveis.

O objetivo de (Lustenberger *et al.*, 2020) é avaliar se a tecnologia *blockchain* pode adicionar valor às cadeias de suprimentos. Para isso, os autores utilizaram uma abordagem de pesquisa de design de ação para desenvolver e avaliar dois artefatos em colaboração com empresas, a fim de entender como a tecnologia *blockchain* pode ajudar a superar problemas na fluxo de informação da cadeia de suprimentos. Em (Palm *et al.*, 2020) os autores apresentam requisitos para uma colaboração eficaz e mostram como sua arquitetura atende a esses requisitos, a fim de facilitar, por exemplo, a negociação.

Os trabalhos listados anteriormente refletem uma tendência geral de que a *blockchain* pode ser usada para melhorar a confiança na governança da cadeia de suprimentos. Eles enfatizam o papel da *blockchain* na implementação da confiança, limitando comportamentos oportunistas, melhorando as relações de confiança entre os membros, e até mesmo substituindo a confiança tradicional.

No entanto, alguns trabalhos também destacam que a aplicação da tecnologia *blockchain* não é uma solução completa para os problemas de confiança e que outras soluções complementares podem ser necessárias. Além disso, um estudo apontou que, mesmo com a aplicação da tecnologia *blockchain*, ainda haverá a necessidade de dimensões de confiança como benevolência, integridade, habilidade e credibilidade (Batwa *et al.*, 2021).

Na Tabela 2 é apresentada a lista de veículos de publicação dos trabalhos que foram escolhido ao final da seleção dos trabalhos relacionados. Entre eles estão periódicos e conferências, como: *Blockchain: Research and Applications*, *Journal of Purchasing and Supply Management*, *IEEE Vehicular Technology Conference*, entre outros. Na Figura 8 é apresentado a quantidade de trabalhos publicados por ano, é possível perceber uma tendência de aumento na publicação desses trabalhos, com destaque para o ano de 2022 que apresenta o maior número de publicações. Na Figura 9 é apresentada uma nuvem de palavras-chave. Nesta última, é possível perceber maiores ocorrências das palavras-chave: *blockchain*, *trust*, *supply chain governance* e *supply chain management*.

Tabela 2 – Lista de veículos de publicação

Blockchain: Research and Applications
Journal of Purchasing and Supply Management
International Journal of Operations and Production Management
International Journal of Organizational Analysis
Scientific Programming
Engineering, Construction and Architectural Management
Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics
Science and Technology Innovation (IAECST)
IEEE Vehicular Technology Conference
Lecture Notes in Business Information Processing
IEEE Access

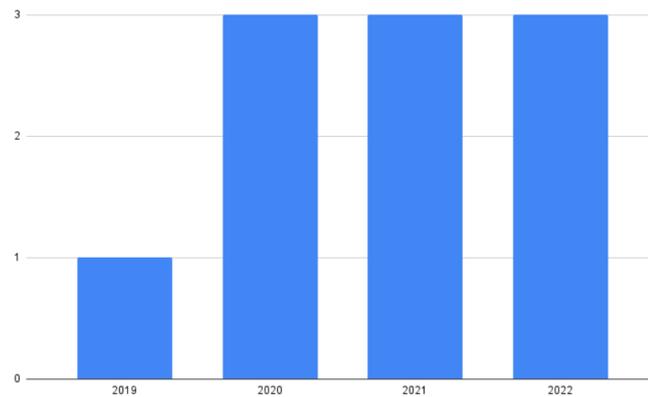
Fonte: O autor.

3.5 Resultado da Questão de Pesquisa

3.5.1 Qual o estado da arte sobre a governança relacional em cadeias de suprimentos e como a *blockchain* atua nesse contexto?

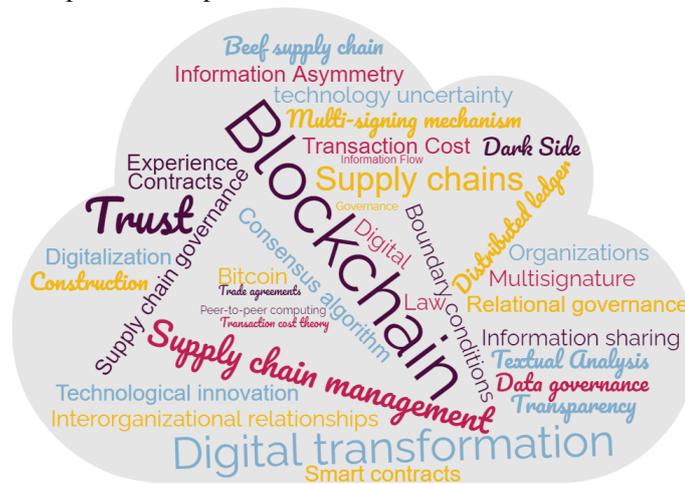
O estado da arte da governança relacional em cadeias de suprimentos é de desenvolvimento, com muitas pesquisas e práticas em andamento que buscam entender como melhorar as relações entre os membros da cadeia. Foram identificados vários estudos que abordam a

Figura 8 – Relação da quantidade de trabalhos por ano.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9 – Nuvem de palavras das palavras-chave dos estudos selecionados.



Fonte: Elaborado pelo autor.

governança relacional em cadeias de suprimentos e a aplicação da tecnologia *blockchain* nesse contexto. Esses estudos contribuem para a compreensão da governança relacional, propondo abordagens e modelos que visam melhorar a governança por meio da *blockchain*.

Com base nessas pesquisas, foi apresentado, através das abordagens empíricas e entrevistas, que a *blockchain* tem um potencial significativo para melhorar a governança relacional em cadeias de suprimentos. Suas características intrínsecas, como confiabilidade, transparência e imutabilidade, podem fortalecer a confiança entre os membros da cadeia, reduzir os custos de transação e proporcionar uma governança mais eficiente e orientada para o mercado.

No entanto, é importante destacar que a aplicação da tecnologia *blockchain* não é uma solução única e abrangente. É necessário considerar outras soluções complementares e abordar desafios específicos relacionados ao aumento dos problemas de confiança em sistemas *blockchain*. Por exemplo, nos trabalhos apresentados são propostas soluções que propõe a implantação da *blockchain* como uma solução para garantia de integridade, no entanto já existem

sistemas que executam nas organizações que também necessitam de atenção para garantia do relacionamento, já que a *blockchain* atua como uma parte da solução completa. Além disso, é importante reconhecer que a governança relacional em cadeias de suprimentos é um campo complexo e em constante evolução, exigindo pesquisas adicionais para aprimorar o entendimento e abordar lacunas existentes.

3.5.2 Como a blockchain pode ser utilizada para melhorar a confiança da governança relacional em cadeias de suprimentos?

A tecnologia *blockchain* tem o potencial de desempenhar um papel fundamental na melhoria da confiança da governança relacional em cadeias de suprimentos. A *blockchain*, por suas características intrínsecas, como transparência, imutabilidade e descentralização, oferece uma série de benefícios que podem fortalecer as relações de confiança entre os participantes da cadeia de suprimentos.

Os estudos analisados apontam que a *blockchain* pode atuar como uma ferramenta para implementar e garantir a confiança entre as partes interessadas. Ela pode limitar comportamentos oportunistas e incertezas que aumentam os custos de transação, reduzindo assim esses custos e permitindo transações mais eficientes e transparentes. Além disso, a *blockchain* pode fornecer registros validados e confiáveis, contribuindo para a construção de relações mais orientadas para o mercado.

Um exemplo mencionado é o uso da *blockchain* para gerenciar questões de proveniência nas cadeias de suprimentos, garantindo a autenticidade e rastreabilidade dos produtos ao longo do fluxo de fornecimento. Isso fortalece a confiança dos consumidores e das partes envolvidas na cadeia, pois podem ter maior garantia sobre a origem e a qualidade dos produtos.

No entanto, é importante ressaltar que, embora a *blockchain* possa ser uma ferramenta poderosa para melhorar a confiança na governança relacional, ela não é uma solução completa por si só. Por exemplo, as empresas que participam da cadeia de suprimentos já possuem sistemas digitais, dessa forma ferramentas complementares como sistemas de identidade digital para esses sistemas são essenciais para garantir a segurança da implementação *offchain* da cadeia. A implementação eficaz da *blockchain* exige considerações cuidadosas, como a definição adequada de regras e políticas, a colaboração entre os participantes da cadeia, a garantia de interoperabilidade entre diferentes sistemas e a abordagem de desafios específicos relacionados à confiança e segurança na tecnologia *blockchain*. Em resumo, os estudos indicam que a *blockchain*

pode ser utilizada para melhorar a confiança da governança relacional em cadeias de suprimentos, oferecendo transparência, rastreabilidade e segurança nas transações.

3.6 Descrição dos Trabalhos Relacionados

No trabalho de Cao *et al.* (2022a) é feito um estudo sobre a transformação digital da governança da cadeia de suprimentos por meio da tecnologia *blockchain*. O objetivo do estudo é apresentar o *design* e desenvolvimento de uma abordagem de *blockchain* de multiassinaturas, que foi implantada e avaliada em um caso de uso específico de uma cadeia de suprimentos de carne bovina australiana. Foi a abordagem de estudo de caso exploratório. Como resultados foi proposto uma solução de governança habilitada para *blockchain* para estender a governança relacional além dos níveis diádicos e permitir a visibilidade e o compartilhamento de informações em vários níveis da cadeia de suprimentos. Uma das contribuições do estudo é a compreensão de como a teoria da estratégia como prática pode ser aplicada na governança da cadeia de suprimentos em um contexto de uso de *blockchain*.

No trabalho dos autores Schmidt e Wagner (2019) é discutido o impacto potencial da tecnologia *blockchain* em cadeias de suprimentos e nas relações entre fornecedores e compradores. O objetivo do artigo é verificar como a tecnologia *blockchain* afeta as relações da cadeia de suprimento por meio de uma abordagem conceitual. A metodologia adotada é a formulação de proposições conceituais para argumentar que a *blockchain* limita o comportamento oportunista, o impacto do ambiente e a incerteza contratual. Conclui-se neste trabalho que a *blockchain* pode reduzir significativamente os custos de transação e de governança das transações da cadeia de suprimentos, além de promover estruturas de governança mais orientadas para o mercado. No entanto, é colocado que existe a necessidade de mais pesquisas empíricas para confirmar os resultados teóricos do estudo.

No trabalho de Mishra *et al.* (2022) é feito um estudo que investiga como a tecnologia *blockchain* pode lidar com efeitos negativos ou disfuncionais em diferentes estágios do ciclo de vida do relacionamento interorganizacional. O objetivo é abordar a contradição entre conceitos como confiança e cooperação, que normalmente resultam em resultados positivos de relacionamento, mas que podem levar a efeitos negativos em certas condições. No texto é apresentado que a *blockchain* pode distribuir confiança entre os participantes e evitar efeitos colaterais negativos, transformando as abordagens convencionais de governança em atividades criadoras de valor. Uma limitação apresentada no trabalho é a falta de testes empíricos para

validar as proposições de pesquisa apresentadas.

O trabalho de Guo e Yao (2022) tem como objetivo melhorar a relação de cooperação estável entre os sujeitos da cadeia de suprimentos de produtos agrícolas na China. No estudo mencionado, é utilizada uma abordagem analítica chamada “jogo estático” para avaliar a estabilidade de diferentes modos de organização da cadeia de suprimentos de produtos agrícolas. Isso envolve examinar as interações entre os participantes da cadeia em um momento específico, levando em consideração as decisões tomadas por cada um deles. O artigo sugere que a tecnologia *blockchain* pode ser utilizada para melhorar a governança da cadeia de suprimentos de produtos agrícolas, resolvendo problemas como a falta de confiança e contratos incompletos. No entanto, o estudo também indica que a aplicação da tecnologia *blockchain* não é uma solução completa para os problemas de governança da cadeia de suprimentos e que outras soluções complementares também podem ser necessárias.

No trabalho de Qian e Papadonikolaki (2021) visa examinar como a tecnologia *blockchain* afeta a confiança na gestão da cadeia de suprimentos da construção. O estudo é baseado em entrevistas semiestruturadas e informações públicas de especialistas em *blockchain* e gestão da cadeia de suprimentos da construção, e utiliza análise de conteúdo temática para explorar como os diferentes tipos de confiança são afetados pela tecnologia *blockchain*. Os resultados indicam que a tecnologia *blockchain* fornece soluções para rastreamento de dados, contratação e transferência de recursos na gestão da cadeia de suprimentos. Essas aplicações ajudam a melhorar as várias fontes de confiança na gestão da cadeia de suprimentos e fornecem mecanismos de proteção aos parceiros da cadeia de suprimentos. Uma das limitações desse estudo apontado pelos autores é o uso de dados empíricos de especialistas cujo conhecimento e cognição podem ser subjetivos.

O estudo de Batwa *et al.* (2021) tem como objetivo investigar a aplicabilidade da tecnologia *blockchain* na governança relacional em cadeias de suprimentos, utilizando *insights* relacionados à rastreabilidade da sustentabilidade na indústria metalúrgica. O estudo apoiou que, mesmo que a tecnologia *blockchain* seja aplicada, ainda haverá necessidade de dimensões de confiança como benevolência, integridade, habilidade e credibilidade. Como limitação do trabalho os autores incluíram o fato de que o estudo se baseou apenas em um projeto piloto testando a tecnologia *blockchain*, e nem todas as empresas da cadeia de suprimentos foram entrevistadas.

O trabalho de Lang e Li (2021) tem o objetivo de explorar como a aplicação da

tecnologia *blockchain* pode melhorar a mineração de valor de dados, promover a realização de processos automáticos e a construção de relacionamentos cooperativos na cadeia de suprimentos. A metodologia abordada no trabalho consiste em construir uma arquitetura de ferramentas digitais confiáveis para cadeias de suprimentos industriais baseada em infraestrutura *blockchain*. Como resultado os autores propuseram uma solução unificada que se integra com sistemas de negócios, processos, dados. Esse estudo também tem limitações apresentadas pelos autores, pois ainda não foram realizadas pesquisas detalhadas sobre a arquitetura para cenários de negócios específicos ou casos industriais.

No trabalho proposto pelos autores Lin e Zhang (2020) é investigado como as tecnologias *blockchain* podem ser aproveitadas para melhorar a eficácia dos acordos multilaterais entre nações em nível global. O estudo apresenta uma arquitetura de *blockchain* em dois níveis que pode melhorar a eficácia dos acordos multilaterais entre nações em nível global, aumentando a confiança entre as entidades participantes e permitindo a execução automatizada e rastreável de acordos mútuos usando contratos inteligentes. O estudo não apresenta de forma direta sobre as suas limitações, mas infere-se que o estudo ainda está em fase de prototipagem e, portanto, realizado avaliações de desempenho sobre a arquitetura proposta.

O contexto do estudo dos autores Lustenberger *et al.* (2020) é a aplicação da tecnologia *blockchain* na cadeia de suprimentos (SCM). O objetivo é investigar se a tecnologia *blockchain* pode ajudar a superar problemas no fluxo de informações atual para as redes de cadeia de suprimentos e como isso pode ser alcançado.

Os principais resultados encontrados foram que a tecnologia *blockchain* pode ser eficaz para superar problemas na cadeia de suprimentos, como visibilidade, auditabilidade, automação e intermediários. No entanto, para ser bem-sucedida, a implementação da tecnologia *blockchain* deve ocorrer em uma cadeia de suprimentos que já tenha uma organização descentralizada e uma estratégia de negócios que apoie a transparência e a auditabilidade. As limitações apresentadas no estudo incluem o fato de que os resultados foram baseados em dois casos de uso específicos e que mais estudos são necessários para investigar a aplicação da tecnologia *blockchain* em outras cadeias de suprimentos.

No trabalho de Palm *et al.* (2020) é feita uma análise das tecnologias de *ledger* distribuído, como *R3 Corda*, *Hyperledger Fabric* e *Ethereum*, e seu potencial para digitalizar diferentes formas de cooperação contratual. O objetivo do estudo é mostrar como a arquitetura de *Exchange Network* pode ser aplicada para evitar problemas que as tecnologias de *ledger*

distribuído enfrentam, como a dependência de contratos baseados em código e algoritmos de consenso distribuído. Os principais resultados encontrados no estudo incluem a demonstração de como a arquitetura *Exchange Network* pode evitar os disruptores comuns das tecnologias de *ledger* distribuído, como a dependência de contratos baseados em código e algoritmos de consenso distribuído. O estudo não trata diretamente da governança relacional em cadeia de suprimentos. No entanto, ele aborda uma arquitetura que tem princípios baseados em *blockchain* para melhorar aspectos como a realização de acordos entre partes interessadas.

Além dos trabalhos apresentados, o trabalho de (Yeh, 2016) mostrou resultados que estão alinhados aos resultados deste trabalho, como por exemplo os autores indicaram que a governança relacional está positivamente correlacionada com a qualidade do relacionamento, no entanto diferenciou-se por não focar em tecnologias como a rede *blockchain*.

3.7 Comparação dos Principais Trabalhos com o Trabalho Proposto

A Tabela 3 apresentada descreve uma comparação entre o trabalho proposto e outros trabalhos relacionados no contexto de governança relacional na cadeia de suprimentos utilizando *blockchain*. Cada linha da tabela corresponde a um estudo relacionado, e as colunas representam diferentes características dos estudos.

A primeira característica é a presença de uma arquitetura específica. Alguns trabalhos relacionados têm uma arquitetura definida para sua proposta, enquanto outros não possuem uma arquitetura específica e são marcados como N.A. (*Not Available* ou não disponível em português). A segunda característica é o uso da tecnologia *blockchain*. Alguns estudos mencionam a *blockchain* utilizada em sua proposta, como *Ethereum*, *Corda* e *Hyperledger Fabric*, enquanto outros não especificam qual *blockchain* é utilizada e são marcados como N.A.

A terceira característica é a abordagem em relação à governança relacional. Alguns estudos abordam diretamente a governança relacional na cadeia de suprimentos, enquanto outros a abordam indiretamente. Alguns estudos não mencionam claramente sua abordagem e são marcados como N.A. A última característica é a inclusão de métricas para avaliação. Esse trabalho proposto se destaca por incluir métricas para avaliar a eficácia da solução proposta, enquanto a maioria dos trabalhos relacionados não inclui métricas para avaliação e é marcada como N.A.

As métricas avaliadas nesse trabalho são baseadas na *blockchain* permissionada, que serão a taxa de sucesso e falha de transações, transações por segundo e latência das transações.

Essas métricas podem apresentar indícios de confiança nos relacionamentos, como no caso das transações por segundo e taxa de sucesso e falha que indicam a eficiência do sistema e se estão aptos a possibilitar a realização de relacionamentos confiáveis entre entidades. Os trabalhos que tiveram a proposta de uma arquitetura baseada em *blockchain* não realizaram a comparação da solução proposta com outras tecnologias, a fim de se obter uma avaliação mais detalhada da solução proposta.

Tabela 3 – Comparação entre trabalhos

Estudo	Arquitetura	Blockchain	Governança Relacional	Métricas
(Cao <i>et al.</i> , 2022a)	Sim	Ethereum	Sim	Não
(Schmidt; Wagner, 2019)	Não	N.A.	Sim	Não
(Mishra <i>et al.</i> , 2022)	Não	N.A.	Sim	Não
(Guo; Yao, 2022)	Não	N.A.	Sim	Não
(Qian; Papadonikolaki, 2021)	Não	N.A.	Indiretamente	Não
(Batwa <i>et al.</i> , 2021)	Não	N.A.	Sim	Não
(Lang; Li, 2021)	Sim	Genérico	Sim	Não
(Lin; Zhang, 2020)	Sim	Corda	Indiretamente	Não
(Lustenberger <i>et al.</i> , 2020)	Não	HLF e Ethereum	Indiretamente	Não
(Palm <i>et al.</i> , 2020)	Sim	Exchange Network	Indiretamente	Não
Trabalho Proposto	Sim	Hyperledger Fabric	Sim	Sim

Fonte: O autor.

4 ARQUITETURA PROPOSTA

Neste capítulo, será abordada uma arquitetura baseada em *blockchain* permissionada para possibilitar o relacionamento entre os membros da cadeia de suprimentos e avaliar o desempenho da governança relacional. Esta arquitetura é construída baseada no *framework Hyperledger Fabric*, através da utilização de seus componentes para garantir a criação de uma infraestrutura distribuída e que possibilita a integridade e confiabilidade de dados. A seguir, serão apresentados detalhes de funcionamento e organização da infraestrutura. Na Seção 4.1, é apresentada a organização das camadas da arquitetura baseada em *blockchain* para possibilitar os relacionamentos entre os membros. Na Seção 4.2, é apresentada a representação da cadeia de suprimentos em uma rede permissionada. Na Seção 4.3, são apresentadas as tecnologias envolvidas para construção da arquitetura. Na Seção 4.4, é apresentado o fluxo para a criação de um relacionamento. Na Seção 4.5, são apresentadas as métricas de governança relacional.

4.1 Arquitetura

A utilização de *blockchain* como base para arquitetura de *software* tem se tornado cada vez mais comum, por causa dos benefícios trazidos por esta tecnologia aos dados gerenciados por essa ferramenta, como descentralização, auditabilidade, segurança e privacidade. As *blockchains* permissionadas como o HLF é um exemplo de *framework* que tem ganhado destaque nos últimos anos, devido a sua versatilidade e escalabilidade em ambientes empresariais. Neste trabalho é proposto uma arquitetura baseada no HLF para promover a governança relacional da cadeia de suprimentos.

O *framework* HLF foi selecionado para a implementação desta arquitetura, pois adiciona a característica de privacidade e imutabilidade na realização das transações. Além disso, o compartilhamento de informações é gerenciável por conta da transparência flexível desta plataforma, no sentido de que apenas os participantes autorizados podem participar do processo de troca de informações. Diferente das *blockchains* públicas que por sua natureza não apresentam tanta flexibilidade em disponibilizar privacidade nas transações quanto os modelos permissionados (Ravi *et al.*, 2022). Além disso, dentre os modelos de *blockchains* permissionadas o HLF destaca-se por conta da sua eficiência e desempenho nas aplicações industriais (Capocasale *et al.*, 2023).

4.1.1 Visão Geral

Na Figura 10, é apresentada uma visão geral da arquitetura, sendo destacados os principais componentes, definidos como quatro itens responsáveis pela realização dos relacionamentos propostos na arquitetura deste trabalho. Inicialmente, o item 1 da figura em questão, é possível perceber a existência das unidades de negócios que fornecem serviços na cadeia de suprimentos, essas unidades realizam acordos para que o serviço seja mais eficiente e lucrativo para ambas as partes.

Na Figura 10, é apresentada também uma *Application Programming Interface* (API), no item 2 da figura citada, responsável por possibilitar a integração das unidades de negócios com a arquitetura. Uma vantagem significativa dessa abordagem é que, ao disponibilizar uma API que possibilita a comunicação com a rede *blockchain*, os membros têm uma melhor garantia de que as transações realizadas entre as partes interessadas sejam íntegras. Isso, por sua vez, resulta em um aumento significativo na chance de que o acordo definido seja cumprido entre as partes.

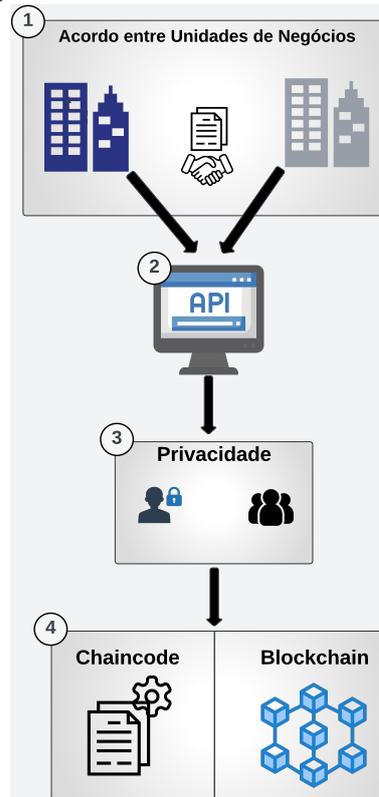
Através da API, as operações disponibilizadas são especificamente projetadas para se integrarem com as funções de regras de negócio definidas no contrato inteligente, que por sua vez está implantado na rede. Isso permite que operações que exijam algum grau de privacidade sejam realizadas, habilitando a possibilidade de operações de restrições de acesso às informações dos acordos realizados entre os membros da cadeia de suprimentos, item 3 da Figura 10.

No item 4 da Figura 10, são apresentados os componentes cruciais da visão geral desta arquitetura, que são o contrato inteligente, ou *chaincode*, e a própria rede *blockchain*. Estes dois componentes interagem diretamente para possibilitar que as informações estejam íntegras e distribuídas entre todas as partes interessadas e assim haja um melhor relacionamento entre as unidades de negócios que definem acordos.

4.1.2 Camadas da Arquitetura

Na solução, baseada em *blockchain*, proposta por este trabalho, são organizadas três camadas para a realização dos relacionamentos na cadeia de suprimentos, apresentado na Figura 11. Na primeira camada, estão os componentes da cadeia de suprimentos, que são as unidades de negócios responsáveis por agregar algum valor ao acordo que está sendo processado na rede. Estas unidades de negócios constantemente realizam acordos entre si para obter de alguma forma

Figura 10 – Visão geral da arquitetura



Fonte: O autor.

lucro com essas relações. É nessa camada que são geradas as informações para a alimentação dos dados que serão tratados pela rede *blockchain*. Estas informações podem ter dados relacionados ao próprio contrato acordado entre as partes.

A segunda camada, chamada de Autenticação e Comunicação, é a responsável por permitir a comunicação e gerenciar as credenciais de acesso para as unidades de negócios e assim, em decorrência da geração dos certificados distribuídos para as unidades de negócio, ser permitido o relacionamento entre essas entidades de forma confiável. Existem basicamente dois componentes nessa camada, o primeiro é a autoridade de certificação, responsáveis por gerarem os certificados digitais que permitem transacionar na rede e realizar os relacionamentos. A autoridade de certificação utilizada nesse trabalho é o próprio componente da rede *Fabric*.

O outro componente é a API, esse é responsável por permitir que as unidades de negócios interajam com a rede *blockchain*. Através dele é possível realizar operações de escrita, leitura e busca de histórico de informações. A API deste trabalho foi desenvolvida em *Node JS* e permite as operações operações elencadas logo a seguir:

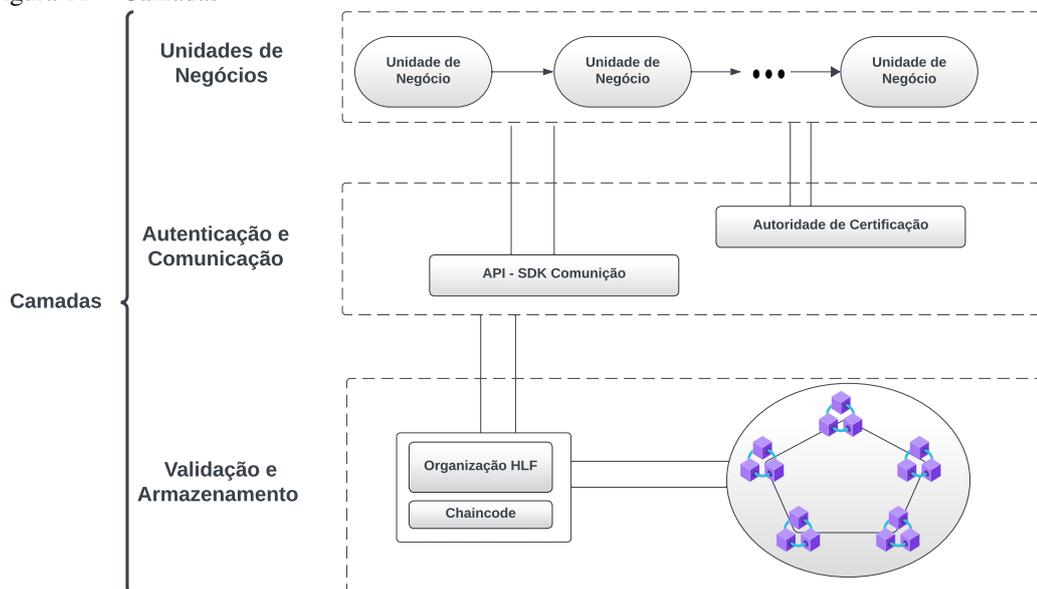
- **Escrita:** Inserção de dados na rede *blockchain*. Através desta inserção é possível escolher o grau de transparência que as informações estão disponíveis, podendo ser públicas, no

sentido de que qualquer unidade de negócio tenha algum tipo de acesso; ou compartilhada apenas entre específicos membros da cadeia de suprimentos, que são inserções mais restritas.

- **Leitura:** A leitura é uma operação que possibilita verificar as informações contidas na rede e recuperar informações de marcação de data e hora do dado armazenado. Essa operação pode estar também sujeita a restrições de acesso, assim como as operações de escrita;
- **Busca de histórico:** Através da operação de busca de histórico é possível identificar todas as versões de um mesmo ativo. Esse tipo de operação é comumente realizada ao ser buscado informações que desejam ser rastreadas e auditadas.

E, por fim, a camada de validação e armazenamento. É nesta camada que estão os principais componentes da rede *blockchain*, como organizações, *peers*, *orders*, canais de comunicação e contrato inteligente. Esta camada é responsável por receber os dados vindos da API e inseri-los na *blockchain*. Após a validação de inserção da informação é enviado o retorno de confirmação da operação para o requisitante.

Figura 11 – Camadas



Fonte: O autor.

4.2 Representação da cadeia de suprimentos em uma rede permissionada

Uma cadeia de suprimentos nessa abordagem é representada através de organizações da rede *Hyperledger*. As unidades de negócios são as partes interessadas da cadeia de suprimentos, as quais têm o objetivo de agregar valor ao acordo que está sendo processado pela

rede. Dessa forma, a arquitetura da rede permissionada também é definida através do modo organizacional da cadeia de suprimentos, sendo que uma organização *Fabric* representa uma unidade de negócio.

Na Figura 12, é apresentada a arquitetura da rede permissionada da cadeia de suprimentos. São destacados 5 itens principais dessa arquitetura: o item 1 são as organizações, que representam entidades da vida real na rede; o item 2 são os nós *peers*; o item 3 é o canal de comunicação; o item 4 são os nós ordenadores; e, por fim, o item 5 são os canais de comunicação privada. São definidas 6 organizações no total, onde cada organização possui dois nós *peers* responsáveis por armazenar a estrutura de dados que contém as informações da cadeia.

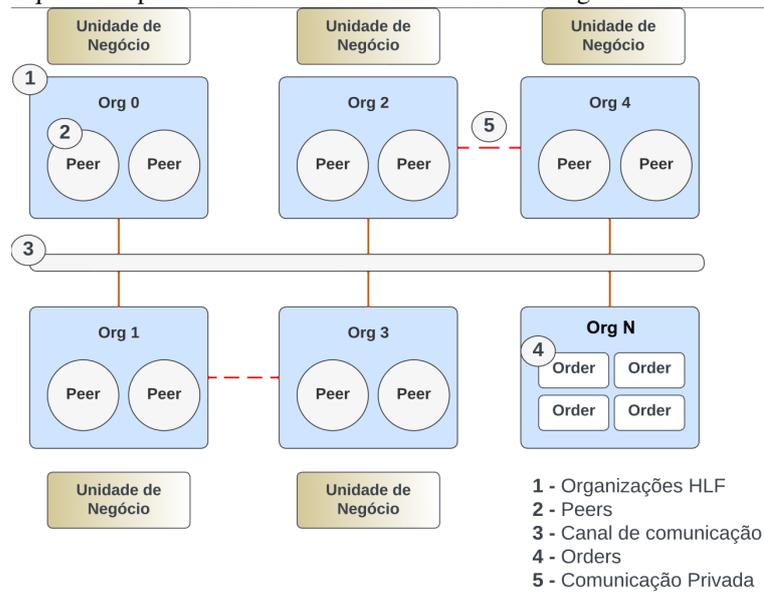
Nessa rede permissionada o algoritmo de consenso é executado pelos nós *orders* que participam do processo de validação e ordenação das transações, para a execução desses componentes é dedicado uma organização específica. Além disso, nessa infraestrutura é utilizado o *RAFT* por ser o recomendado pela documentação *Hyperledger*.

O canal de comunicação apresentado, item 3, é o meio pelo qual é permitido a comunicação entre todas as organizações, sendo assim, quando existe uma atualização da estrutura de dados ocorre uma replicação para todas as organizações, desde que essas tenham a permissão de acesso. Além disso, para permitir a comunicação privada, item 5, é usado o compartilhamento de dados privados. Com essa abordagem, é possível obter um melhor controle de compartilhamento de informações. Essa característica é possível devido ao gerenciamento da própria rede *blockchain* permissionada, através da utilização da permissão concedido pelas funções de comunicação disponibilizada pelo contrato inteligente implantado na rede.

Além disso, através do *chaincode*, ou contrato inteligente, implantado na rede é possível a execução da lógica de negócio. Cada uma das organizações possuem acesso às operações implementadas no contrato para a realização das transações. Sendo assim, o controle de acesso às informações podem ser realizadas pelas próprias organizações ao utilizar os métodos fornecidos por esse componente, usando métodos que compartilham dados privados ou públicos. O *chaincode* é instalado nos próprios *peers* das organizações e instanciados no canal de comunicação.

Importante destacar que na Figura 12, não é representada a quantidade de organizações da arquitetura de teste proposta neste trabalho, os componentes apresentados nessa figura inicialmente são apenas para ilustração do comportamento da comunicação da rede *blockchain*. Na próxima seção, Seção 4.3, são apresentados detalhes da rede utilizada para experimentos deste

Figura 12 – Arquitetura permissionada baseada em unidade de negócio



Fonte: O autor.

trabalho, descritos posteriormente.

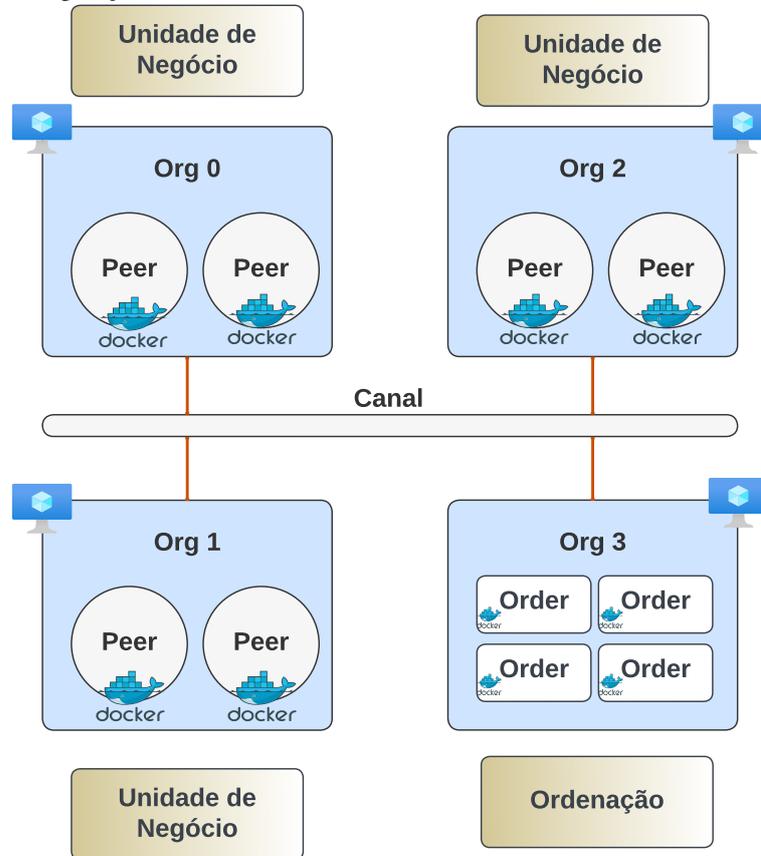
4.3 Implementação da Arquitetura

As organizações da rede representam unidades de negócios e são executadas em máquinas virtuais. Estas possuem dois *peers*, que armazenam a estrutura de dados e participam do processo de validação das transações. Esses *peers* são instâncias de *containers dockers* das imagens disponibilizadas pelo HLF. Essa abordagem de utilização de *containers* foi utilizada pela flexibilidade e escalabilidade através da utilização desses componentes, ao contrário do uso de máquinas virtuais que necessitaria do preparo do ambiente com a instalação de ferramentas e dependências. Além disso, os nós ordenadores, também são instanciados e executados em *containers*.

A solução implementada, baseada no HLF, foi construída usando *Virtual Machine* (VM), apresentada na Figura 13. No total foram quatro VMs, cada uma tendo uma configuração de 8GB de memória RAM executando o sistema operacional *Linux* e com um armazenamento secundário de 30GB de disco. Na Figura 18, são apresentadas as máquinas configuradas no *Google Cloud Platform* (GCP) e na Figura 19 é exibida a configuração no GCP dos discos utilizados. As VMs foram instanciadas no GCP por permitir um bom gerenciamento de diferentes máquinas e por possibilitar um considerável período de teste das máquinas. Cada organização é executada em uma máquina virtual, sendo assim três organizações representam unidades de negócio da cadeia de suprimentos, além disso, uma quarta VM é dedicada a execução dos

componentes *orders*.

Figura 13 – Configuração da Rede Permissionada



Fonte: O autor.

Neste trabalho, foi criado um canal público para a comunicação de todas as organizações. O sistema de canais do HLF permitem que a rede se torne totalmente transparente para as partes interessadas definidas, ao mesmo tempo que bloqueia o acesso a qualquer entidade fora da lista de sistemas autorizados. Neste trabalho foi implementado uma rede *overlay* (sobreposta) que permite a implantação do canal de comunicação.

4.4 Cumprimento de acordos e Fluxo para construção dos relacionamentos

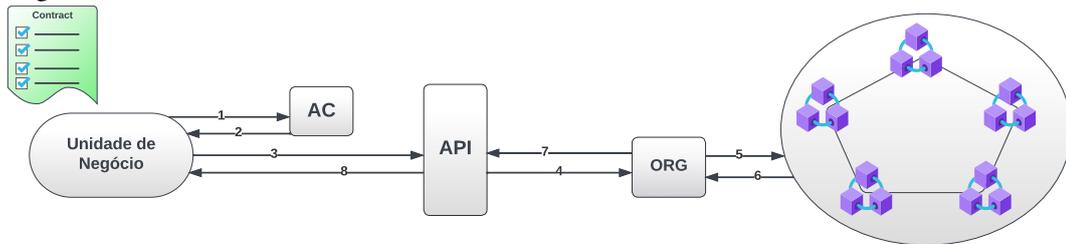
Ao ser definido um acordo entre os membros da cadeia de suprimentos as partes interessadas podem ou não realizar o cumprimento do acordo. Todas as vezes que uma unidade de negócio cumpre totalmente ou parte do acordo estabelecido é realizado uma transação para a *blockchain* com a finalidade de garantir a atualização do *status* do acordo estabelecido entre as unidades de negócios. Ao ser realizado uma transação de cumprimento de acordo a tecnologia *blockchain* garante que a transação foi realizada e qual unidade de negócio foi a autora da

transação, garantindo o não-repúdio da informação.

Na Figura 14 é apresentado o fluxo para realizar uma operação com a rede. No total são realizados 8 operações, que são detalhadas na lista a seguir:

1. Requisição de certificados para realizar operações com a rede;
2. Resposta com certificados;
3. Requisição à API para realizar operação com a rede;
4. Comunicação com a organização para realização da operação;
5. Comunicação com a rede;
6. Resposta da rede para a organização;
7. Resposta da organização à API;
8. Resposta processada pela API para a unidade de negócio.

Figura 14 – Fluxo de do relacionamento



Fonte: O autor.

Através deste processo é possibilitado que uma unidade de negócio representada por uma organização, realize operações como leitura, escrita ou busca de histórico. Essas operações são definidas no *chaincode*, contrato inteligente do HLF, e assim todos os cumprimentos de acordos ou atualizações feitas no banco de dados são passíveis de serem rastreados.

4.5 Métricas de desempenho de governança relacional

O desempenho na cadeia de suprimentos, comumente, é medido através de métricas operacionais, como prazo de entrega, qualidade, aumento de produção (Abdallah *et al.*, 2017). No entanto, o desempenho relacional está associado a qualidade do relacionamento, considerando fatores como continuidade do relacionamento, comprometimento e afinidade (Yeh, 2016). Dessa forma, nesta pesquisa são propostas três métricas para realizar a avaliação do desempenho dos relacionamentos entre os membros da cadeia de suprimentos, que são: confiabilidade, engajamento e transparência. Essas métricas considera a confiança e a colaboração como elementos-chave para o sucesso da cadeia de suprimentos.

4.5.1 Confiabilidade

A primeira métrica que tem o objetivo de avaliar os relacionamentos na cadeia de suprimentos é a confiabilidade. A confiabilidade em relacionamentos nas cadeias de suprimentos pode ser medida a partir da quantidade de acordos realizados entre as partes, neste trabalho esta métrica é calculada através da verificação de acordos que foram cumpridos ou não. Quanto maior a quantidade de acordos cumpridos, maior será a possibilidade de uma organização de ser confiável. A *blockchain* é uma ferramenta que pode ajudar a avaliar o cumprimento dos acordos e assim verificar a confiabilidade entre os membros da cadeia de suprimentos, por causa da característica de integridade e distribuição de dados proporcionada por essa tecnologia. A *blockchain* permissionada *Fabric* permite que transações sejam realizadas para a rede, sendo que os nós que fazem parte da rede são conhecidos e autenticados.

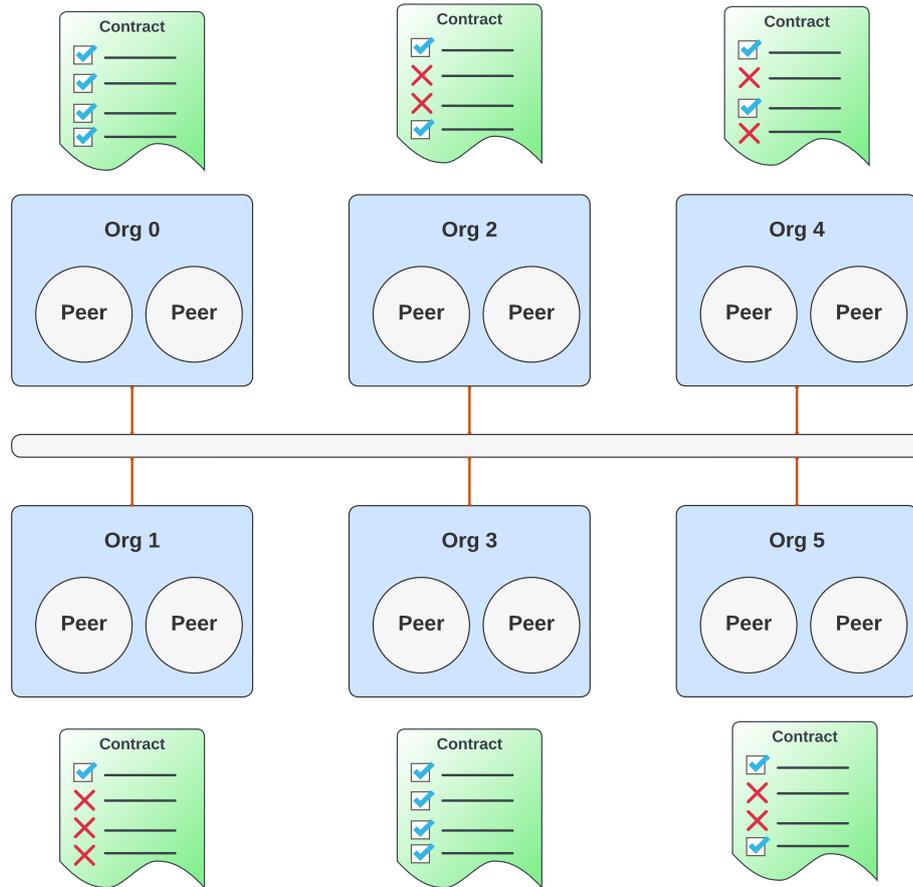
Na Figura 15, é apresentada uma rede *Hyperledger Fabric* com um conjunto de seis organizações que representam unidades de negócios de uma cadeia de suprimentos. Cada uma dessas podem interagir com a rede entregando algum tipo de valor a cadeia, por exemplo, armazenando um valor esperado pelas demais organizações.

A realização ou não do acordo pode classificar esta organização como cumpridora ou não do acordo. Esta métrica pode ajudar a classificar melhor as organizações que possuem um maior chance de realizarem acordos dado o histórico de relacionamentos. Por exemplo, a organização 0 e 3 realizam o cumprimento do acordo, enquanto as demais não realizaram o cumprimento. Na imagem em questão o cumprimento do acordo está sendo definido de forma ilustrativa quando no contrato todos os itens estão marcados com um símbolo de verificação.

A verificação da confiabilidade pode ser calculada através do uso de contratos inteligentes. Por exemplo, um contrato inteligente pode definir uma lógica de negócio em que os membros de uma organização entram em um acordo para fornecer informações adicionais a um determinado produto. No Código-Fonte 3 é apresentado um contrato inteligente do *framework Fabric*, escrito na linguagem *Go*. Existe uma função (linha 18) que possibilita realizar a recuperação do histórico de alterações de um produto. Nesse histórico são retornadas todas as versões da chave, nesse caso o identificador do produto, contendo o valor serializado que foi armazenado pela organização e um *timestamp* (carimbo de data e hora) que marca a data e hora em que essa versão foi gravada na *blockchain*.

Os resultados retornados pelo histórico podem ser verificados e analisados para a constatação de que se todas as partes interessadas no acordo realizaram o cumprimento das

Figura 15 – Confiabilidade - Cumprimento de acordos



Fonte: O autor.

decisões estabelecidas. Como a cadeia de blocos é uma estrutura imutável e segura é garantido que as partes estão seguras do que foi armazenado pelas unidades de negócios. A confiabilidade também pode ser avaliada de forma quantitativa percentual, sendo definida através da razão entre a quantidade de transações cumpridas pela quantidade total de transações submetidas, como apresentado na equação 4.1. Dessa forma, quanto maior a quantidade de transações de cumprimento de acordo maior será o percentual de confiabilidade para uma organização. Esse valor pode ser calculado a nível de organização a fim de caracterizar o estado de uma organização em relação as suas atividades anteriores.

$$\text{Confiabilidade}(org) = \frac{Q_{cumpridas}}{Q_{total}} \quad (4.1)$$

$Q_{cumpridas}$: Quantidade de operações que representam o cumprimento de acordo de uma organização da rede.

Q_{total} : Quantidade total de operações submetidas para a rede, incluindo operação de cumprimento e descumprimento de contrato.

Código-fonte 3 – Contrato Inteligente escrito em Go para buscar do histórico de informações.

```
1 package main
2
3 type Product struct {
4     OrganizationID string `json:"organization_id"`
5     ValueAdded string `json:"added_value_product"`
6 }
7 ...
8 func (t *ProductChaincode) Invoke(stub shim.ChaincodeStubInterface)
   pb.Response {
9     function, args := stub.GetFunctionAndParameters()
10    switch function {
11        case "getHistory":
12            return t.getHistory(stub, args)
13        default:
14            return shim.Error("Invalid Function")
15    }
16 }
17 func (t *ProductChaincode) getHistory(...) pb.Response {
18     id := args[0]
19     resultsIterator, err := stub.GetHistoryForKey(id)
20     defer resultsIterator.Close()
21     var buffer bytes.Buffer
22     buffer.WriteString("[")
23     first := true
24
25     for resultsIterator.HasNext() {
26         historico, err := resultsIterator.Next()
27         buffer.WriteString(string(historic.Value))
28         first = false
29     }
30
31     buffer.WriteString("]")
32     return shim.Success(buffer.Bytes())
33 }
34 }
```

Fonte: O autor.

4.5.2 Engajamento

A segunda métrica que o objetivo de avaliar o relacionamento na cadeia de suprimentos é o engajamento. Essa métrica está relacionada a quanto uma organização interage com as demais partes interessadas. Essa métrica é calculada pela quantidade de interações feitas para a rede. Na Figura 16, é apresentado um conjunto de seis organizações com as mesmas características arquiteturais da Figura 15. Em cada uma dessas existem diferentes quantidades de conexões realizadas para a rede, indicando o grau de engajamento. Por exemplo, a organização 1 realizou cinco operações para a rede, enquanto a organização 0 realizou duas operações e a organização 2 apenas uma operação. A *blockchain* possibilita que essas operações sejam metrificadas de forma segura devido à característica de rastreabilidade atribuídas rede, onde cada ativo possui um histórico de versões, como foi apresentado na Código-Fonte 3.

Na análise da Figura 16, percebe-se que a organização 4 é uma das mais ativa, com cinco transações registradas, indicando a organização que teve o mais alto nível de engajamento, dentre as 6 organizações. Em contraste, a Organização 2 mostra um engajamento mínimo, com apenas uma transação realizada. A avaliação proporcionada através da métrica de engajamento pode sugerir como a organização está atuante na rede.

O engajamento também pode ser avaliado de uma forma quantitativa através da razão entre a quantidade total de transações submetidas e o tempo total que a organização participa da rede. Através desse valor é possível avaliar o quanto uma organização está ativa na rede desde a sua primeira participação, apresentada na Equação 4.2. Dessa forma, com essa equação é retornado a quantidade de operações realizadas por uma organização por dia, sendo possível assim perceber o grau de engajamento que a organização possui. Para evitar comportamentos indesejados, como o conluio, essa métrica é avaliada apenas para operações de compartilhamento geral com a rede, impedindo assim a falsa contabilização de operações.

$$Engajamento(org) = \frac{Q_{total}}{T_{total}} \quad (4.2)$$

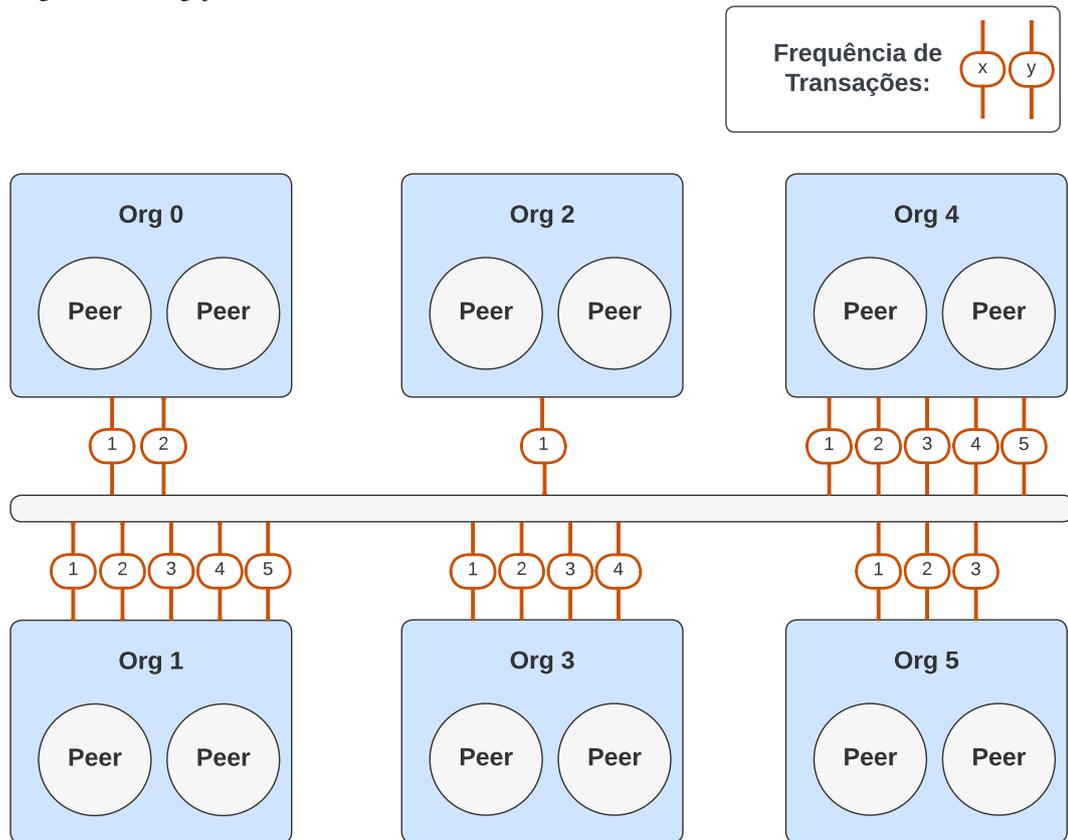
Q_{total} : Quantidade de operações realizadas para rede.

T_{total} : Tempo em dias que a organização participa da rede.

4.5.3 Transparência

A terceira métrica que tem o objetivo de avaliar o relacionamento na cadeia de suprimentos é a transparência. Essa métrica está relacionada ao grau de controle de acesso da

Figura 16 – Engajamento



Fonte: O autor.

informação que é compartilhada na rede. Dessa forma, uma informação pode ser propagada apenas entre dois indivíduos, um grupo de indivíduos ou totalmente por todas as organizações.

O uso de *blockchain* permissionada oferece uma solução para se obter um melhor controle da transparência, devido à necessidade de identificação de participantes através de certificados digitais. Esta tecnologia permite que todas as partes envolvidas acessem informações atualizadas. Através de sua arquitetura descentralizada, a *blockchain* permite a construção de um ambiente confiável e verificável para transações e trocas de dados (Christidis; Devetsikiotis, 2016).

O impacto das transações com restrições de acesso a dados em certas organizações pode variar significativamente em comparação com as transações completamente públicas, que são abertas a todas as entidades. No ambiente do *framework Fabric*, pode-se medir essa diferença observando como esta restrição específica influencia o desempenho das operações, especialmente quando comparadas com cenários de compartilhamento de dados sem restrições entre todas as organizações participantes.

Na Figura 17, é exposta uma arquitetura de rede *blockchain* que possibilita diferentes tipos de compartilhamento de informações. Estes tipos de comunicação na rede HLF são

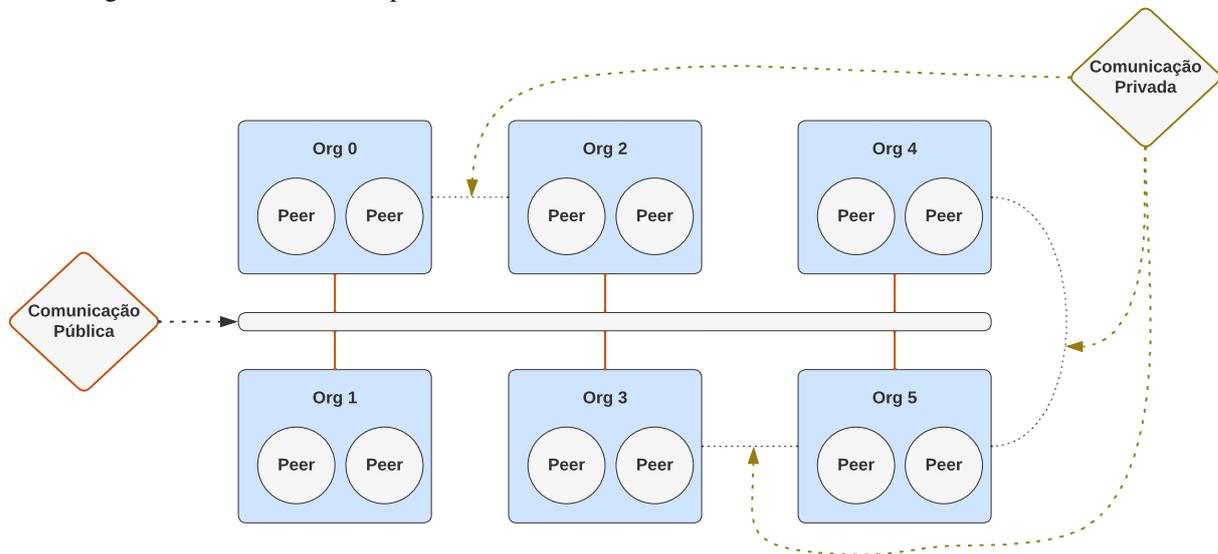
possibilitadas através do uso de comunicação privada e o compartilhamento de dados público. Para a comunicação privada é apresentada a interação realizada entre as organizações 0 e 2; entre as organizações 3 e 5 e entre as organizações 4 e 5. Esse relacionamento é realizado através do compartilhamento de dados privados do HLF. O compartilhamento de dados públicos entre as organizações é realizado através do canal de comunicação público em que todas as organizações possuem um total controle de acesso. Na Equação 4.3, é possível verificar uma fórmula para a definição da métrica de transparência. Nessa fórmula, é avaliada a proporção de relações restritas que uma organização possui. Sendo que organizações que possuem mais relações restritas tendem a ser menos transparentes. Esse valor torna-se importante para organizações que desejam realizar acordos apenas com organizações que tenham relações mais transparentes.

$$Transparencia(org) = 1 - \frac{Q_{rr}}{Q_{orgs}} \quad (4.3)$$

Q_{rr} : Quantidade de relações restritas que uma organização possui.

Q_{orgs} : Número total de organizações pertencente a rede.

Figura 17 – Modelo de transparência - Nível de Acesso



Fonte: O autor.

5 CENÁRIOS DE AVALIAÇÕES

Este estudo emprega simulações para avaliação da solução proposta, focando nas três métricas estabelecidas: confiabilidade, engajamento e transparência. Situadas no âmbito de cadeia de suprimentos, essas simulações refletem como diversas unidades de negócios interagem e formam acordos. As métricas são exploradas através dos cenários apresentados nas subseções 5.1, 5.2 e 5.3, construídos para observar o efeito direto da tecnologia *blockchain* nas operações que estão associadas às métricas da governança relacional. O objetivo é entender como o uso da *blockchain* na implementação da arquitetura pode influenciar nas operações relacionadas às métricas de relacionamentos propostas para a cadeia de suprimentos.

Nesta pesquisa, foram analisadas as respostas da rede durante as operações que são fundamentais para as métricas de governança relacional. Com isso, foi possível analisar o comportamento da rede quando são processadas transações que simulam interações ou acordos entre os participantes da cadeia de suprimentos. Para fazer isso, o sistema foi avaliado usando quatro métricas: quantidade de transações válidas, quantidade de transações sem sucesso, latência média das operações e *throughput*.

A quantidade de transações válidas refere-se ao número de acordos ou interações que foram corretamente verificadas e aprovadas pela rede. Este indicador busca avaliar a confiabilidade percebida entre parceiros da cadeia de suprimentos. Com o sucesso da validação das transações é confirmado que a *blockchain* suporta a interação entre as partes. Esta eficiência operacional é crucial para construir e manter a confiança entre os participantes, pois demonstra a capacidade da rede de manter a integridade e a continuidade dos negócios. Nos experimentos realizados foram avaliados o comportamento tanto de transações que indicam o cumprimento de acordo, como o descumprimento de acordos.

A quantidade de transações invalidadas é o número de transações que não passaram no processo de validação. Esse valor indica a quantidade total de transações que a rede não conseguiu processar e, portanto, não foram salvos na *blockchain*. Um número significativo de transações invalidadas pode ser um sinal de alerta para os *stakeholders*, indicando possíveis falhas ou ineficiências na rede. No contexto da governança relacional, isso pode afetar a confiança entre os membros, pois sugere incerteza na capacidade da rede de executar acordos de forma consistente e confiável.

A latência é o outro indicador avaliado para cada uma das métricas. Esse indicador pode ser considerado como o tempo necessário para que uma transação seja confirmada na rede

blockchain. Esse indicador pode possuir implicações significativas para a confiança e a eficiência percebida entre os parceiros. Latências menores indicam respostas rápidas, o que é crucial em ambientes de cadeia de suprimentos onde o tempo de processamento pode afetar diretamente a agilidade dos negócios, a tomada de decisões e a capacidade de atender a demandas.

O *throughput*, ou seja, o volume de transações que a rede pode gerenciar com sucesso em um determinado período, também é um componente vital da governança relacional. Em cadeias de suprimentos complexas, a capacidade de processar um grande número de transações de forma eficiente é crucial para manter a operacionalidade do sistema. A eficiência do *throughput* pode aumentar significativamente a confiança entre os participantes, pois fornece a base para uma melhor colaboração e interações para relações entre os membros das cadeias de suprimentos.

Uma visão geral das configurações das máquinas virtuais junto com os componentes é apresentado na Tabela 4, nessa tabela é apresentado o identificador da máquina virtual, a quantidade de memória dedicada para cada máquina, sistema operacional utilizado, quantidade de nós sendo executados em cada máquina e quais componentes são executados. A abreviatura AC está se referindo ao componente Autoridade de Certificação, responsável por gerar os certificados digitais para cada organização.

Figura 18 – Configuração da Rede Permissionada

Instâncias da VM						
Filtro Insira o nome ou o valor da propriedade						
<input type="checkbox"/>	Status	Nome ↑	Zona	Recomendações	Em uso por	IP Interno
<input type="checkbox"/>	✓	vm1	us-central1-a	💡 Aumentar desemp.		10.128.0.2 (nic0)
<input type="checkbox"/>	✓	vm2	us-central1-a			10.128.0.3 (nic0)
<input type="checkbox"/>	✓	vm3	us-central1-a			10.128.0.4 (nic0)
<input type="checkbox"/>	✓	vm4	us-central1-a			10.128.0.5 (nic0)

Fonte: O autor.

Figura 19 – Configuração dos Discos

Discos				
CRIAR DISCO				
ATUALIZAR				
EXCLUIR				
Filtro Insira o nome ou o valor da propriedade				
<input type="checkbox"/>	Status	Nome ↑	Tipo	Tamanho
<input type="checkbox"/>	✓	vm1	Disco permanente equilibrado	30 GB
<input type="checkbox"/>	✓	vm2	Disco permanente equilibrado	30 GB
<input type="checkbox"/>	✓	vm3	Disco permanente equilibrado	30 GB
<input type="checkbox"/>	✓	vm4	Disco permanente equilibrado	30 GB

Fonte: O autor.

Tabela 4 – Configuração das Máquinas virtuais

Máquina	RAM	Sist. Operacional	Quant. de Nós	Componentes
1	8	Linux	3	2 Peer + 1 AC
2	8	Linux	3	2 Peer + 1 AC
3	8	Linux	3	2 Peer + 1 AC
4	8	Linux	5	cccc 4 Order + 1 AC

Fonte: O autor.

5.1 Cenário para Métrica de Confiabilidade

A métrica de confiabilidade tem como objetivo medir o nível de confiança que as unidades de negócios estabelecem com base em suas interações prévias. O uso da tecnologia *blockchain* neste cenário, destaca-se pela preservação da integridade das informações. Isso assegura que cada transação feita por uma unidade empresarial seja mantida íntegra, e o acesso aos dados compartilhados sejam disponibilizados a todas as partes interessadas. Desse modo, a *blockchain* reforça a confiança mútua, garantindo que todas as informações sejam transparentes e inalteradas.

Para avaliação dessa métrica, foram simuladas três organizações em uma rede de teste, como apresentado na Seção 4.3. Foi implementado um contrato inteligente para permitir que uma organização indique quando o cumprimento do contrato foi realizado. Dessa forma, ao ser indicado que essa ação foi realizada existe a garantia de não-repúdio e assim as demais partes interessadas estão cientes do que foi realizado.

No Código-Fonte 4 é apresentado o contrato inteligente implantado na rede para que uma organização possa salvar detalhes e o *status* do acordo realizado. Na rede são armazenados informações sobre o acordo através de quatro definições da estrutura *Agreement* definido no contrato inteligente. *BusinessAgreementId* é o identificador do contrato realizado pelas partes. *OrganizationsInvolved* possui os identificadores das organizações que fazem parte do acordo. *AgreementDetails* possui detalhes ou informações adicionais submetida por cada organização e, por fim, *Status* é o campo que define a situação de cada organização em relação ao cumprimento com acordo, é nesse campo que é definido se a organização cumpriu ou não o acordo. Através do contrato inteligente é possível a criação de um novo acordo entre as unidades de negócios, com a chamada do método *CreateAgreement* da linha 20, qualquer alteração realizada é salva na cadeia de blocos fazendo com que as transações sejam rastreáveis e identificadas. Dessa forma, a API e o contrato inteligente são as soluções propostas neste trabalho para ser integrado ao componentes do HLF com objetivo de permitir os relacionamentos entre as organizações da cadeia.

Código-fonte 4 – Contrato Inteligente avaliar confiabilidade no cumprimento de acordos.

```

1 package main
2
3 type Agreement struct {
4     BusinessAgreementId string `json:"business_agreement_id"`
5     OrganizationsInvolved string `json:"organizations_involved"`
6     AgreementDetails string `json:"agreement_details"`
7     Status string `json:"status"`
8 }
9 ...
10 func (t *ProductChaincode) Invoke(stub shim.ChaincodeStubInterface)
    pb.Response {
11     function, args := stub.GetFunctionAndParameters()
12     switch function {
13         case "createAgreement":
14             return t.createAgreement(stub, args)
15         default:
16             return shim.Error("Invalid Function")
17     }
18 }
19
20 func (s *SmartContract) createAgreement(...) sc.Response {
21     var agreement = Agreement {
22         Businessagreementid: args[1],
23         Organizationsinvolved: args[2],
24         Agreementdetails: args[3],
25         Status: args[4],
26     }
27
28     agreementAsBytes, _ := json.Marshal(agreement)
29     APIstub.PutState(args[0], agreementAsBytes)
30
31     return shim.Success(agreementAsBytes)
32 }

```

Fonte: O autor.

5.2 Cenário para Métrica de Engajamento

A métrica de engajamento busca avaliar o quão uma unidade de negócio está comprometida com os acordos realizados, no sentido da frequência de participação nos relacionamentos. Assim como no cenário de avaliação de confiabilidade, para avaliação da métrica de engajamento foram simuladas três organizações em uma rede de teste, como apresentado na Seção 4.3. Para avaliação dessa métrica foram utilizados o mesmo *chaincode* e a mesma configuração de rede apresentada na métrica de confiabilidade.

Dentro desse contexto, a tecnologia *blockchain* sustenta o processo, assegurando o não-repúdio nas atualizações de contratos e facilitando o compartilhamento de informações entre entidades autorizadas. O cenário desta métrica está associado à realização de diferentes quantidades de transações para simular o engajamento de organizações. Desde poucas interações até valores mais expressivos. O objetivo é avaliar o comportamento da *blockchain* em diferentes contextos de engajamento.

5.3 Cenário para Métrica de Transparência

A métrica de transparência busca avaliar o comportamento que o compartilhamento de dados possui quando as transações que representam o cumprimento ou descumprimento do acordo são feitas de forma restrita e controlada. Para avaliação da métrica foram simuladas três organizações em uma rede de teste, como exposto na Seção 4.3. Foi implementado um contrato inteligente para permitir que as organizações realizem a inserção e leitura de dados privados para se ter um controle da quantidade de organizações que possuem acesso aos dados compartilhados.

Para essa métrica específica é possível se aproveitar da característica de compartilhamento de dados privados proporcionado pelo *framework* HLF. Onde é possível realizar uma operação de escrita ou leitura entre um conjunto de organizações específicas. No Código-Fonte 5, na linha 18, é proposto um método para realizar a criação de acordo que seja compartilhado entre apenas duas organizações. Dessa forma, o cenário de avaliação para esta métrica está associado à criação de diferentes quantidades de transações que realizam o cumprimento ou descumprimento de um acordo, no entanto, diferente da métrica de confiabilidade, o acordo não estará visível para todas as organizações envolvidas na cadeia de suprimentos. Sendo assim, será possível analisar o comportamento da *blockchain* em um contexto onde existe o cumprimento ou descumprimento de acordos entre organizações com restrições de compartilhamento de dados.

Código-fonte 5 – Contrato Inteligente escrito em Go para criação de dados privado com duas organizações.

```

1 type Agreement struct {
2     BusinessAgreementId  string `json:"business_agreement_id"`
3     OrganizationsInvolved string `json:"organizations_involved"`
4     AgreementDetails     string `json:"agreement_details"`
5     Status               string `json:"status"`
6 }
7 ...
8 func (t *ProductChaincode) Invoke(stub shim.ChaincodeStubInterface)
   pb.Response {
9     function, args := stub.GetFunctionAndParameters()
10    switch function {
11        case "createPrivateAgreementForSpecificOrg":
12            return t.createPrivateAgreementForSpecificOrg(stub, args)
13        default:
14            return shim.Error("Invalid Function")
15    }
16 }
17
18 func (s *SmartContract) createPrivateAgreementForSpecificOrg(...)
   sc.Response {
19     var agreement = Agreement {
20         Businessagreementid: args[1],
21         Organizationsinvolved: args[2],
22         Agreementdetails: args[3],
23         Status: args[4],
24     }
25
26     agreementAsBytes, _ := json.Marshal(agreement)
27     APIstub.PutState(args[0], agreementAsBytes)
28
29     err := APIstub.PutPrivateData("_implicit_org_OrgMSP", args[0],
   agreementAsBytes)
30
31     return shim.Success(agreementAsBytes)
32 }

```

Fonte: O autor.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este trabalho está relacionando o uso da tecnologia *blockchain* com a governança relacional na cadeia de suprimentos, baseado em métricas de relacionamentos. Para avaliar as métricas de confiabilidade, engajamento e transparência, foram conduzidos experimentos fundamentados nos cenários descritos anteriormente. Os experimentos seguiram a ideia da arquitetura proposta, centrada nas unidades de negócios da cadeia de suprimentos. Foi utilizado o *framework Caliper* para gerar a carga de trabalho e coletar dados sobre os tempos de submissão das transações. Essas informações foram cruciais para a análise e interpretação dos resultados alcançados.

6.1 Configurações das Submissões

A seguir, serão apresentadas as configurações de envio de transações para a realização de cada experimento das métricas. Na Subseção 6.1.1, é apresentada a configuração de confiabilidade. Na Subseção 6.1.2, é abordada a configuração de engajamento. Na Subseção 6.1.3, é explorada a configuração de transparência. Essas configurações têm como objetivo avaliar o impacto que a *blockchain* possui no processo de relacionamento da cadeia de suprimentos.

6.1.1 Confiabilidade

Para a métrica de confiabilidade, foram simuladas transações para a rede *blockchain* que indicassem a realização de acordo entre membros da cadeia de suprimentos. Nesse sentido, cada uma dessas transações indicam se o acordo foi realizado com sucesso ou falha. Através do *Caliper*, ferramenta de geração de carga de trabalho, é possível submeter os dois tipos de transações descritas anteriormente. Sendo assim, para cada um dos tipos de transação, em relação ao cumprimento ou descumprimento de contrato, foram submetidas um total de 3.600 transações, totalizando 7.200 indicações que definem se um contrato foi cumprido ou descumprido. As realizações dessas transações foram feitas de forma gradual. A primeira submissão foi com 100 transações e as demais foram sendo incrementadas de 200 em 200. Assim, foi efetuado um conjunto de seis submissões no total, como apresentado na Tabela 5. Este valor foi escolhido porque representa um grande volume de transações que simulam interações de relacionamentos, com o objetivo de alcançar resultados que se assemelham a cenários do mundo real, que também envolvem muitas operações.

Tabela 5 – Quantidade de Transações de Acordos para métrica de confiabilidade

Experimento	Quantidade de Transações de Cumprimento	Quantidade de Transações de Descumprimento	Total
1	100	100	200
2	300	300	600
3	500	500	1000
4	700	700	1400
5	900	900	1800
6	1100	1100	2200
Total	-	-	7200

Fonte: O autor.

6.1.2 Engajamento

Para a obtenção dos resultados da métrica de engajamento, foram executadas transações para a rede *blockchain* que indicassem a realização de cumprimento de acordo dos contratos. A quantidade de interações de cumprimento de acordo realizadas com a rede indicam o quanto uma unidade de negócio está interagindo através das operações do contrato inteligente implantado na rede. Utilizando a ferramenta *Caliper* é possível simular o engajamento de uma unidade de negócio e assim verificar como a *blockchain* é capaz de validar todas as transações submetidas. Dessa forma, para avaliar o comportamento da *blockchain* no processo de engajamento das unidades de negócios, foram submetidas transações que indicassem o cumprimento do acordo e quanto dessas transações eram validadas.

Usando a ferramenta de geração de carga de trabalho descrita, foram geradas um total de 19000 transações. A geração dessas transações também foi feita de forma gradual, iniciando com uma submissão de 100 transações e para as demais foram incrementadas 400. Dessa forma, foram dez submissões no total. A Tabela 6 apresenta a quantidade de transações submetidas. Como no processo de engajamento foram consideradas apenas as transações que indicam cumprimento de acordo, a quantidade de transações realizadas foi bem superior a métrica de confiabilidade, com objetivo de simular operações de engajamento em cenários reais.

Tabela 6 – Quantidade de Transações de Acordos para métrica de engajamento.

Experimento	Quantidade de Transações de Cumprimento
1	100
2	500
3	900
4	1300
5	1700
6	2100
7	2500
8	2900
9	3300
10	3700
Total	19000

Fonte: O autor.

6.1.3 *Transparência*

Na métrica de transparência, foram realizadas transações para simular operações de acesso restrito a informações. No *framework* HLF é possível a criação de compartilhamento de dados privados. Para isso são definidos métodos específicos que permitem que apenas algumas das organizações participantes da rede tenham acesso à informação. Dessa forma, é permitido que a realização de acordo entre partes interessadas da cadeia de suprimentos que necessitam dessa característica seja feita utilizando a arquitetura da rede distribuída. Sendo assim, foi adicionado ao contrato inteligente a possibilidade desse tipo de operação.

No experimento, foram conduzidas simulações para avaliar as transações de cumprimento e descumprimento de acordo, onde o acesso a informações era restrito através do compartilhamento de dados privados. Este método seguiu a mesma classificação utilizada nas avaliações anteriores de confiabilidade. O foco está em simular um ambiente onde o acesso à informação é controlado e restringido.

Os experimentos consistiram em um total de 7.200 transações simuladas. Metade dessas transações, ou seja, 3.600, foram casos de cumprimento de acordo, onde os termos foram seguidos conforme estabelecido. As outras 3.600 transações foram instâncias de descumprimento de acordo, representando situações em que houveram violação dos termos pré-determinados.

Para avaliar de forma mais precisa o comportamento das transações neste cenário, as transações foram executadas em um processo gradual e escalonado. Iniciou-se com um valor de 100 transações para ambos os tipos (cumprimento e descumprimento). Após essa fase inicial, foi incrementado o número de transações em grupos de 200, continuando nesse padrão até que cada categoria atingisse um total de 3.600 transações. Na Tabela 7, são expostas as quantidades de transações submetidas para a avaliação da métrica de transparência.

Esse método foi aplicado igualmente às transações de cumprimento de acordo e às de descumprimento de acordo. Essa abordagem escalonada permitiu monitorar e avaliar cuidadosamente o impacto e os resultados de cada conjunto de transações, garantindo que cada etapa do experimento fosse conduzida com controle e precisão.

6.2 **Discussões**

Nesta seção, serão apresentadas as discussões relacionadas às métricas envolvidas na análise de governança relacional da cadeia de suprimentos.

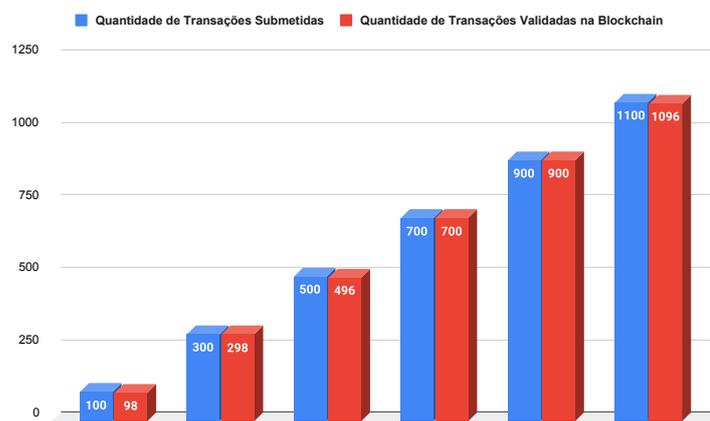
Tabela 7 – Quantidade de Transações de Acordos para métrica de transparência

Experimento	Quantidade de Transações de Cumprimento	Quantidade de Transações de Descumprimento	Total
1	100	100	200
2	300	300	600
3	500	500	1000
4	700	700	1400
5	900	900	1800
6	1100	1100	2200
Total	-	-	7200

Fonte: O autor.

6.2.1 Confiabilidade

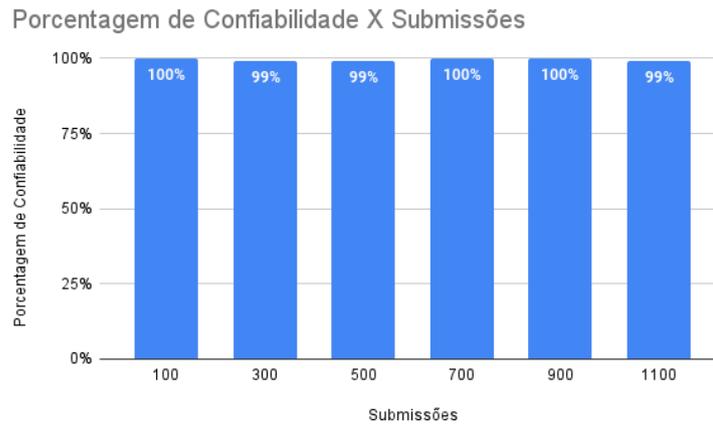
Na Figura 20, é apresentado um gráfico dos resultados da realização dos experimentos de transações que indicam cumprimento de contrato. Nesse gráfico, é indicado a relação entre a quantidade de transações submetidas (barras azuis) e a quantidade de transações que foram aceitas e validadas pela *blockchain* (barras vermelhas). Esta figura indica uma tendência positiva, sendo que à medida que o número de transações submetidas aumenta, o número de transações validadas pela *blockchain* também aumenta. Em quase todos os cenários, a diferença entre as transações submetidas e as validadas é mínima, indicando um alto nível de conformidade. No gráfico da Figura 21 são apresentados os valores da equação 4.1. Todas as quantidades de submissões ficaram com um valor de confiabilidade acima de 99%.

Figura 20 – Transações de cumprimento de acordos válidas pela *blockchain*

Fonte: O autor.

Na Figura 22, é exposto um gráfico dos resultados da realização dos experimentos que indicam transações de descumprimento de contrato. Nesse gráfico, é feita a relação entre quantidade de transações submetidas (barras azuis) e transações que foram aceitas e validadas pela *blockchain* (barras vermelhas). Da mesma forma que a Figura 20, observa-se um aumento proporcional no número de transações validadas em relação às submetidas. No entanto, nota-se

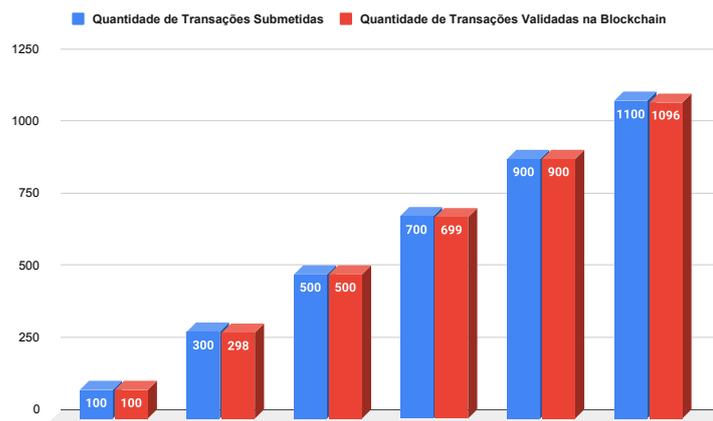
Figura 21 – Porcentagem de confiabilidade versus quantidade de submissões



Fonte: O autor.

uma diferença em 700 transações, onde houve uma transação a menos validada em relação às submetidas.

Figura 22 – Transações de descumprimento de acordos validadas pela *blockchain*

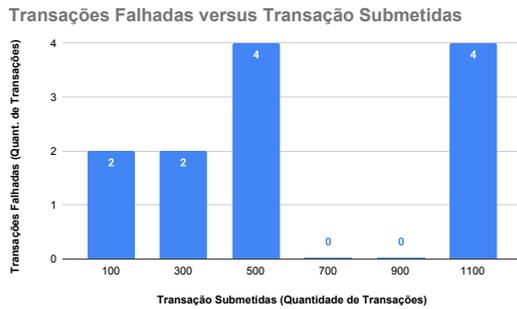


Fonte: O autor.

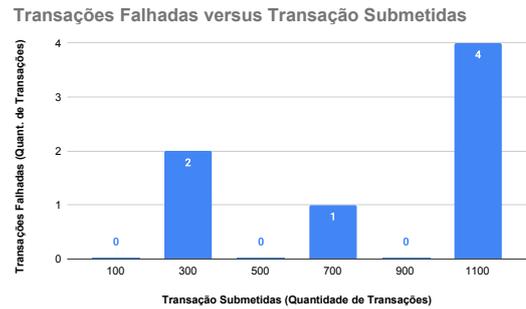
Em complemento aos gráficos anteriores, as Figuras 23a e 23b indicam a quantidade de transações que não foram validadas pela *blockchain*, uma indicando as falhas ocorridas nas transações de cumprimento de contrato e a outra relacionada às falhas de descumprimento de contrato, respectivamente. A partir destes gráficos, observa-se que, independentemente de os acordos serem cumpridos ou descumpridos, o número de transações falhadas é bastante baixo em comparação com o número total de transações submetidas.

Dessa forma, a métrica de confiabilidade, como proposto, pode ser um indicador da governança relacional na cadeia de suprimentos usando uma abordagem baseada em *blockchain* permissionada. Uma das observações é a conformidade entre transações submetidas e validadas, especialmente nas Figuras 20 e 22. Isso indica que a maioria das transações, seja ela represen-

Figura 23 – Quantidades de transações invalidadas na *blockchain*



(a) Transações invalidadas na *blockchain* do tipo cumprimento de contrato.



(b) Transações invalidadas na *blockchain* do tipo descumprimento de contrato.

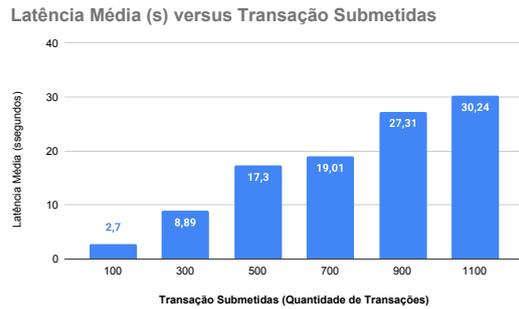
Fonte: O autor.

tando um acordo cumprido ou descumprido, está sendo validada pela *blockchain* sem muitas falhas. A capacidade de rastrear e validar acordos, sejam eles cumpridos ou descumpridos, em uma plataforma de *blockchain* oferece um considerável nível de transparência e responsabilidade na cadeia de suprimentos. Isso pode servir como um forte fator para organizações que possam considerar o descumprimento de acordos, sabendo que suas ações serão registradas e validadas na *blockchain*.

Na Figura 24a, são apresentados os valores de latência para as transações que representaram o cumprimento de acordo. Na Figura 24b, são apresentados os valores de *throughput* para as transações que representaram o cumprimento de acordo. A latência média aumenta conforme o número de transações submetidas cresce. Isso é um comportamento esperado, já que um volume maior de transações tende a exigir mais tempo para ser processado e validado na *blockchain*. Nota-se que, para 100 transações, a latência é de apenas 2,7 segundos, enquanto que para 1100 transações, a latência sobe para 30,24 segundos. Isso representa um aumento substancial e sugere que a eficiência do sistema pode diminuir sob carga pesada. O *throughput* tem uma tendência consistente, variando de 17,4 TPS (transação por segundo) para 500 transações até 19,9 TPS para 1100 transações. Isso indica que o sistema teve uma capacidade de processamento média de 18,8 TPS ao operar com um grande volume de transações por segundo, mantendo uma considerável eficiência.

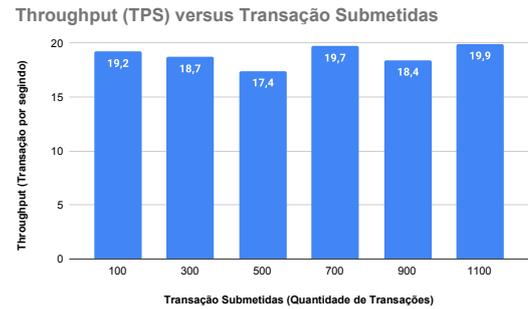
Na Figura 25a, são apresentados os valores de latência para as operações que representaram o descumprimento de acordo. Na Figura 25b, são apresentados os valores de *throughput* para as operações que representaram o descumprimento de acordo. Assim como na Figura 24, a latência média também aumenta com o número de transações submetidas. O *throughput* varia ligeiramente, iniciando em 15,7 TPS para 100 transações e atingindo um pico de 19,9 TPS para

Figura 24 – Detalhes das transações validadas na *blockchain*



(a) Latência média das transações de cumprimento de acordo validadas na *blockchain*.

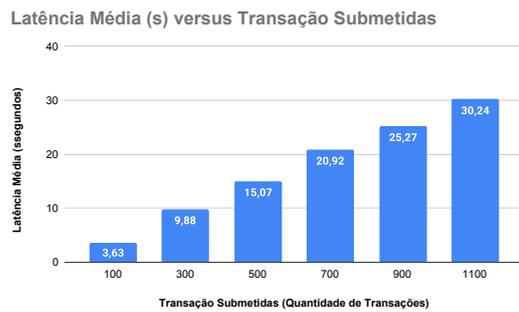
Fonte: O autor.



(b) Throughput das transações de cumprimento de acordo validadas na *blockchain*.

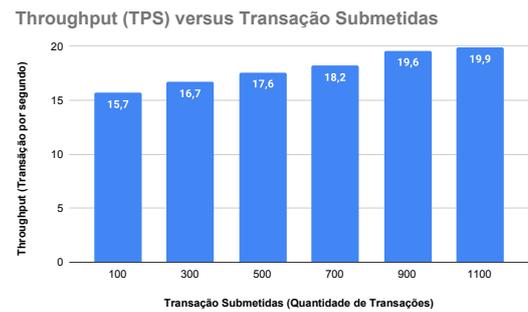
1100 transações. Percebe-se que os valores de latência e *throughput* são próximos aos valores obtidos nas operações de cumprimento de acordo.

Figura 25 – Detalhes das transações de descumprimento de acordo validadas na *blockchain*



(a) Latência média das transações de descumprimento de acordo validadas na *blockchain*.

Fonte: O autor.



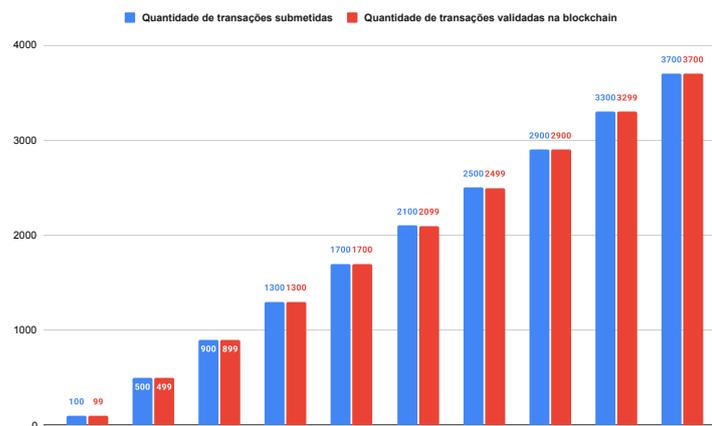
(b) Throughput das transações de descumprimento de acordo validadas na *blockchain*.

As métricas de latência e *throughput* são vitais para avaliar o desempenho e a eficiência de um sistema *blockchain*, especialmente em um contexto de governança relacional na cadeia de suprimentos. O aumento da latência com o número crescente de transações sugere a necessidade de otimização ou escalabilidade do sistema à medida que o volume de transações cresce. Isso pode ser crítico em cadeias de suprimentos maiores ou mais complexas. O *throughput* consistente apresentado é um bom indicador da robustez do sistema. No entanto, é essencial garantir que essa eficiência não comprometa o tempo de resposta do sistema quando integrado à outras soluções.

6.2.2 Engajamento

Na Figura 26, é apresentado o gráfico da quantidade de transações que representam o cumprimento de acordos e quantas delas foram validadas pela *blockchain*. Em todos os cenários desta figura, observa-se que o número de transações validadas segue bem próximo ao número de transações submetidas, com pequenas variações. Isso indica uma alta taxa de sucesso na validação de transações e, conseqüentemente, uma forte integridade e confiabilidade do sistema. Isso implica que as transações, uma vez submetidas, são quase sempre validadas com sucesso. Os experimentos foram todos realizados no mesmo dia, com isso a equação 4.1, possui o mesmo valor da quantidade de transações submetidas. Em aplicações reais, em que as entidades participam por diversos dias da cadeia de suprimentos, essa equação retorna valores mais expressivos em relação a interpretação.

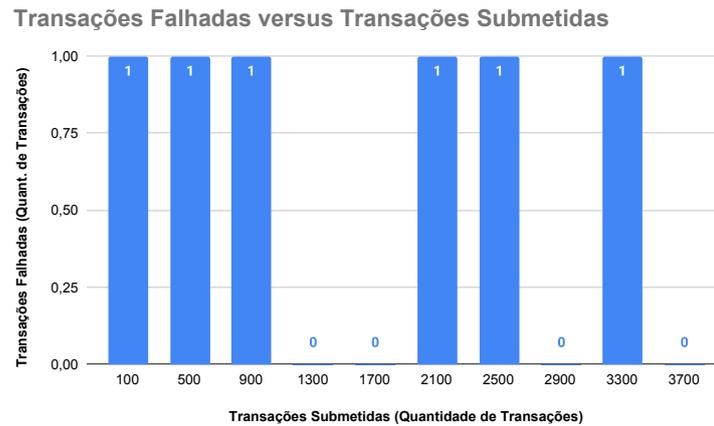
Figura 26 – Relação da quantidade total de transações submetidas e a quantidade de transações validadas na *blockchain*.



Fonte: O autor.

Na Figura 27, é apresentado o gráfico da quantidade de transações invalidadas pela *blockchain* que deveriam ser validadas. À medida que a quantidade de transações submetidas aumenta, a proporção de transações não validadas permaneceu consistente em 0 e 1 para as contagens testadas. Por exemplo, as submissões com um quantidade de 1.300, 1.700, 2.900 e 3.700 tiveram 0 transações com falhas, e as demais quantidade de submissões apenas 1 transação com falha. Isso é demonstrado pelas colunas de barra azul, cada uma representando uma proporção de 1 em relação às transações falhadas. Essa consistência sugere que o sistema *blockchain* é capaz de manter uma considerável garantia de processamento das transações, mesmo quando submetido a um volume maior.

Figura 27 – Transações de engajamento invalidadas na *blockchain*



Fonte: O autor.

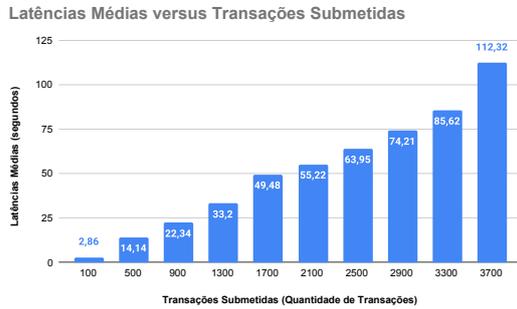
Na Figura 28a, são apresentados os valores de latência para as transações que representaram o engajamento de uma organização de acordo com uma diferente quantidade de transações submetidas. Pode-se notar que, conforme o número de transações submetidas aumenta, a latência média das transações de engajamento também cresce. Inicialmente, com 100 transações, a latência é de apenas 2,86 segundos. No entanto, ao atingir 3700 transações, a latência atinge 112,32 segundos. Isso sugere que, à medida que a rede é submetida a um volume maior de transações, a latência aumenta, indicando um tempo de resposta mais longo para a validação de cada transação de engajamento.

Na Figura 28b, são apresentados os valores de *throughput* para as transações que representaram o engajamento de uma organização de acordo com uma diferente quantidade de transações submetidas. Observa-se uma tendência de queda suave no *throughput* à medida que o número de transações submetidas cresce, caindo para 17,8 transações por segundo com 3700 transações. Este comportamento pode indicar que, embora a rede possa lidar com um aumento inicial no volume de transações, sua capacidade de processamento começa a diminuir à medida que é submetida a uma carga mais intensa.

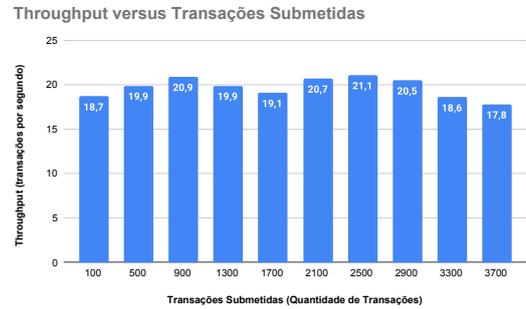
O aumento na latência à medida que mais transações são submetidas pode indicar um gargalo no processamento, que precisa ser considerado para otimizações futuras, principalmente em cenários reais onde a quantidade de transações pode ser ainda mais significativa. Já a tendência de queda com o aumento do número de transações do *throughput*, conforme visto na Figura 28b, sugere que há um limite na capacidade de processamento da rede. Isso pode ser devido a vários fatores, como a capacidade de processamento dos nós ou a comunicação entre eles. No entanto, é relevante notar que o *throughput* permanece relativamente estável, mesmo

com o aumento da carga, o que é um indicativo positivo da robustez da rede.

Figura 28 – Métricas das transações de engajamento na *blockchain*



(a) Latência média das transações de engajamento validada na *blockchain*



(b) Throughput das transações de engajamento validada na *blockchain*

Fonte: O autor.

6.2.3 Transparência

Na Figura 29, é apresentada a relação entre a quantidade de transações de cumprimento de acordo submetidas e a de validadas pela *blockchain*. Em todos os conjuntos de dados, quase todas as transações submetidas foram validadas. Isso indica uma alta taxa de sucesso na confirmação de operações de cumprimento em cenários de restrições de acesso. Na Figura 30, é apresentada a relação entre o número de transações submetidas e inseridas na *blockchain*, ambas sendo do tipo de descumprimento. Em termos de proporção entre procedimentos submetidos e validados, a Figura 30, que apresenta a quantidade de transações validadas para operação de descumprimento, apresenta uma tendência similar à Figura 29. A baixa diferença de transações entre as submetidas e as validadas pode ter acontecido devido a indisponibilidade da rede. Em relação a Equação 4.3 o valor obtido para a variável transparência foi de 66%, pois em cada experimento foi realizado apenas uma relação restrita, como apresentado na Equação 6.1.

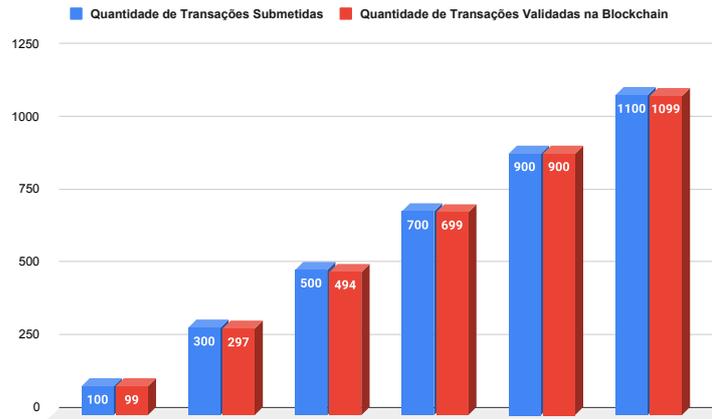
$$Transparencia(org) = 1 - \frac{Q_{rr}}{Q_{orgs}} = 66\% \quad (6.1)$$

Q_{rr} : 1.

Q_{orgs} : 3.

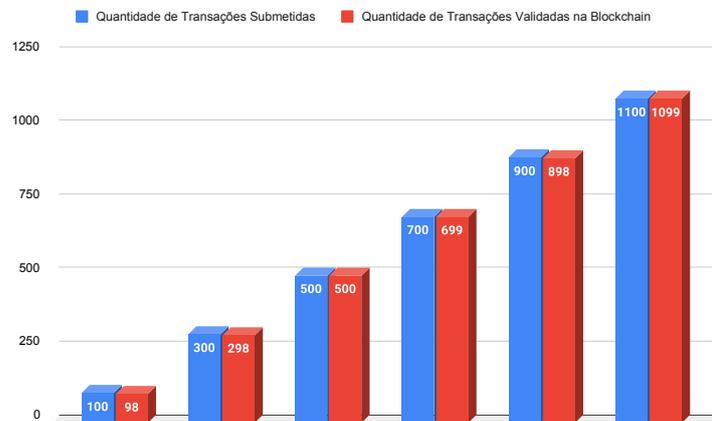
Na Figura 31a, é apresentado um gráfico da quantidade das transações invalidadas das operações de cumprimento de acordo. No geral, a taxa de falha é baixa em comparação com o total de transações submetidas, o que indica que a maioria das transações de cumprimento é

Figura 29 – Transações de cumprimento de acordo validada na *blockchain*.



Fonte: O autor.

Figura 30 – Transações de descumprimento de acordo validada na *blockchain*.



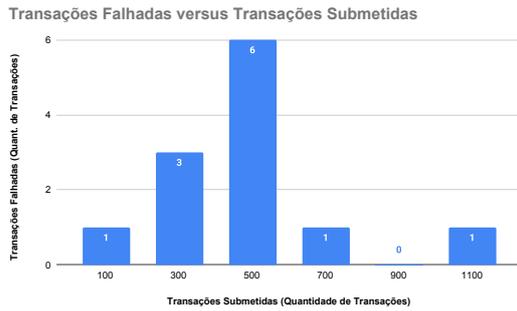
Fonte: O autor.

processada com sucesso. Na Figura 31b, é apresentado um gráfico da quantidade das transações invalidadas das operações de descumprimento de acordo. Embora algumas transações tenham falhado, a grande maioria foi processada com sucesso. Isso confirma a confiabilidade da rede *blockchain* na gestão dessas transações.

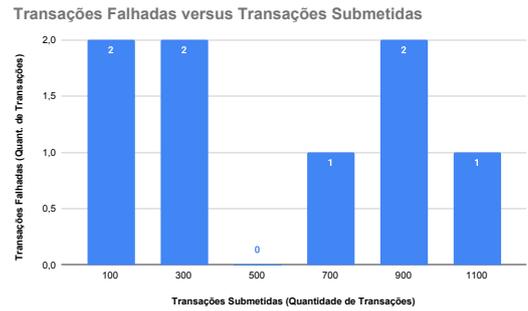
Na Figura 32a, são apresentados os valores de latência para as transações que representaram o cumprimento de acordo. Esta figura indica que à medida que o volume de transações submetidas cresce, a latência média aumenta. Isso sugere que, quando a rede enfrenta um maior volume de transações, o tempo de processamento de cada uma delas tende a ser mais longo. Em sistemas distribuídos, é esperado que um aumento significativo no tráfego leve a um aumento na latência, à medida que os nós lidam com o excesso de carga.

Na Figura 32b, são apresentados os valores de *throughput* para as transações que representaram o cumprimento de acordo. O *throughput* estável indica que a rede é capaz de

Figura 31 – Transações invalidadas na *blockchain*



(a) Transações de cumprimento de acordo **invalidada** na *blockchain*.

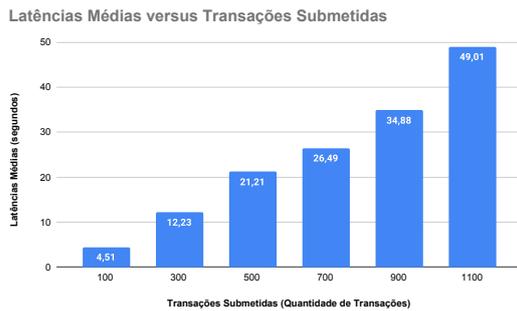


(b) Transações de descumprimento de acordo **invalidada** na *blockchain*.

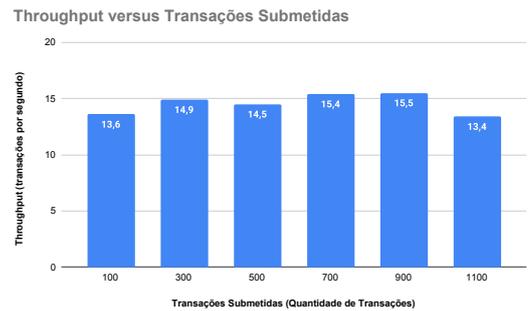
Fonte: O autor.

processar e confirmar um número consistente de acordos por segundo, independentemente do volume. Isso é crucial para a governança relacional, garantindo que todas as partes tenham uma visão transparente e atualizada dos acordos cumpridos.

Figura 32 – Métricas de transações de cumprimento de acordo validada na *blockchain*



(a) Latência das transações



(b) Throughput das transações

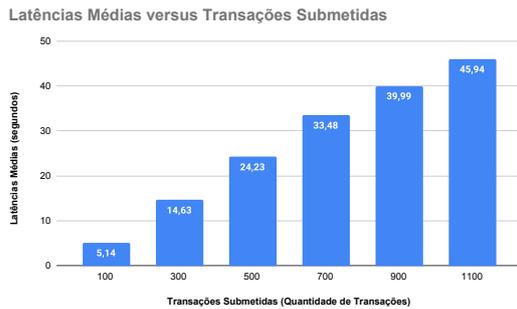
Fonte: O autor.

Na Figura 33a, são apresentados os valores de latência para as operações que representaram o descumprimento de acordo. A latência observada nas faixas iniciais (100-500 transações) indica que, para volumes menores de transações, a rede é eficiente em realizar operações necessárias em casos sobre descumprimentos. Esta eficiência é crucial para a tomada de decisão rápida. Como também, a tendência crescente da latência sugere a necessidade de otimizar ou escalar a rede conforme a demanda aumenta, para garantir a eficácia da governança relacional.

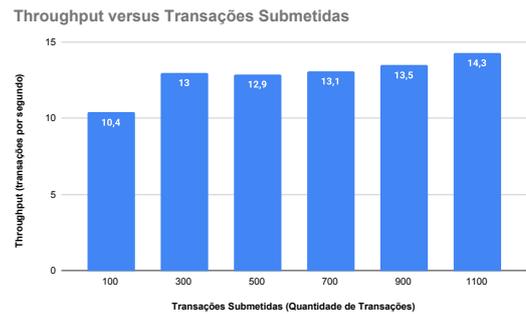
Na Figura 33b, são apresentados os valores de *throughput* para as operações que representaram o descumprimento de acordo. O *throughput* geralmente estável sugere que a rede pode consistentemente processar e confirmar descumprimentos em uma taxa semelhante,

independentemente do volume de transações. Esta consistência é vital para manter a integridade e a transparência na governança relacional. Dessa forma, apesar das transações que envolvem limitação de acesso envolver um menor número de organização o comportamento das métricas são equivalentes aos resultados obtidos na métrica de confiabilidade, apesar de existir restrições de compartilhamento para a presente métrica.

Figura 33 – Métricas de transações de descumprimento de acordo validada na *blockchain*



(a) Latência das transações



(b) Throughput das transações

Fonte: O autor.

6.3 Conclusões e Discussões Gerais dos Cenários Avaliados

Dessa forma, ao se avaliar as métricas de confiabilidade, engajamento e transparência propostas para a governança de relacionamento na cadeia de suprimentos, foi possível notar o impacto que a rede *blockchain* permissionada possui nas operações que são comuns à realização de acordo entre os membros da cadeia. Através da observação do comportamento das métricas por meio da verificação de transações validadas, tempos médios de resposta e *throughput*, foi possível verificar a possibilidade da implantação rede *blockchain* no cenário da cadeia de suprimento.

Para cada um dos cenários de avaliações, foi possível perceber que a rede *blockchain* possui uma alta capacidade para a validação das operações de relacionamento na cadeia de suprimentos. Até mesmo, quando existem cenários que possuem altos valores de submissões e com altas quantidades de informações já processadas. Essa característica corrobora para que essa abordagem pode ser aplicada a aplicações que necessitam de uma camada a mais de validação de transações e que necessitam de características importantes associadas aos dados, como integridade e rastreabilidade.

Além disso, em relação ao tempo médio de resposta apresentado nas avaliações, no

geral, obteve-se um aumento proporcional da latência em relação a quantidade de operações realizadas com a rede. Sendo assim, através dos resultados é possível perceber a necessidade que as aplicações que pretendem realizar a integração com a rede *blockchain* possuem de realizar a observação desses valores, já que as aplicações possuem necessidades de tempos específicos.

Nesse mesmo sentido, para os valores de capacidade de processamento, como o *throughput*, em todos os cenários, a rede *blockchain* foi capaz de processar as transações recebidas, mesmo quando em cenários mais intensos que necessitavam de uma alta capacidade de processamento. Dessa forma, foi possível validar que a utilização da rede *blockchain* pode ser capaz de processar as operações em tempos hábeis, no entanto, vale ressaltar que existe a necessidade de observação desses valores para as aplicações que possuem capacidade de processamento restrito.

Neste trabalho, foram propostas equações para quantificar as métricas definidas, permitindo a avaliação numérica das interações entre os membros. As equações para confiabilidade (Equação 4.1), engajamento (Equação 4.2) e transparência (Equação 4.3) foram utilizadas para calcular valores que possibilitam uma comparação mais precisa entre as organizações. Por exemplo, a métrica de confiabilidade, que considera a relação entre transações cumpridas e total de transações, oferece um indicador do grau de confiabilidade de cada organização.

Na métrica de engajamento, é possível avaliar o grau de envolvimento medindo a relação entre o número total de transações e um período de tempo específico, como dias. Essa medida não apenas revela o nível de atividade, mas também a consistência do engajamento ao longo do tempo. Ao comparar organizações, é importante estabelecer um intervalo de tempo para avaliar não apenas o volume absoluto de transações, mas também a sua distribuição ao longo desse período. Isso proporciona uma compreensão mais completa da dinâmica das interações na rede.

Quanto à métrica de transparência, ela envolve a contabilização da quantidade de relações restritas de uma organização em relação ao total de organizações na rede. Além disso, é crucial considerar a natureza dessas relações. Por exemplo, não se trata apenas de quantificar o número de relações restritas, mas também de analisar a proporção dessas relações em relação ao volume total de transações realizadas pela organização. Isso permite uma compreensão mais precisa da abertura e governança das relações dentro da rede, destacando a transparência relativa de cada organização e sua propensão para interações mais abertas ou restritas.

6.3.1 Limitações e Ameaças à Validade

A arquitetura proposta neste trabalho considerou uma pequena quantidade de organizações quando comparada com as cadeias de suprimentos da vida real. Essa limitação ocorreu pela quantidade de infraestrutura disponível para a realização dos experimentos. Além disso, as métricas propostas neste trabalho consideraram apenas as transações com a rede *blockchain*. No entanto, no processo de relacionamento existem outras partes da cadeia que devem ser consideradas para a análise da governança relacional, como por exemplo, a maneira que as aplicações serão integradas e como elas participarão do processo de análise das métricas de relacionamento.

Outra limitação está associada ao contrato inteligente utilizado para a realização do acordo dos membros da cadeia de suprimentos. O contrato inteligente neste trabalho foi genérico, considerando informações básicas de um contrato, possuindo o *status* do contrato na realização da operação. Dessa forma, seria interessante ter uma estrutura mais completa para que os participantes da rede pudessem definir melhor as especificações do relacionamento.

Em relação a efetuação dos experimentos, não foram testados cenários com a ocorrência de relacionamentos simultâneos entre várias organizações com a realização de acordos. Esse é um comportamento que pode ocorrer em uma cadeia de suprimentos da vida real. Outro ponto de atenção são as quantidades de transações executadas para cada experimento. Apesar de ter sido utilizada uma considerável quantidade de transações para a rede durante os testes, uma cadeia de suprimentos da vida real pode chegar a valores muito maiores.

Além disso, a arquitetura de rede implantada ainda estava operando com a realização das transações submetidas e estava pronta para o recebimento de novos testes com uma maior carga de trabalho. O aumento da quantidade de transações poderia apresentar uma melhor análise do comportamento da rede e, assim, perceber o funcionamento da rede em ambientes mais complexos.

Em relação às equações, também foram identificadas limitações nos cálculos durante os experimentos. Por exemplo, ao analisar a métrica de transparência, observou-se que apenas uma organização estava envolvida em operações restritas, o que limitou a amplitude da análise. Além disso, no caso da métrica de confiabilidade, o intervalo de tempo para a análise foi restrito a um dia devido à natureza dos experimentos, que foram conduzidos de forma sucessiva, sem ultrapassar esse período. Entretanto, é importante ressaltar que em cadeias de suprimentos reais, tanto a duração do engajamento quanto o número de organizações envolvidas em transações

restritas são maiores. Essa diferença de escala pode impactar significativamente a interpretação dos resultados.

7 CONCLUSÕES

Os relacionamentos são uma das principais operações realizadas na cadeia de suprimentos. Uma cadeia de suprimentos que possui relacionamentos estáveis se beneficia não apenas da coordenação entre suas partes interessadas, mas também da confiança e da transparência nas ações e decisões tomadas ao longo da cadeia. No contexto atual, em que a digitalização e a segurança da informação se tornaram primordiais, emergem tecnologias, como a *blockchain*, que podem proporcionar avanços significativos nessa direção.

Este trabalho está associado a área de cadeia de suprimentos, voltado ao estudo dos relacionamentos entre as partes interessadas dessa área. Nesta pesquisa, a utilização da *blockchain* na cadeia de suprimentos mostrou-se como uma tecnologia capaz de permitir os relacionamentos de forma confiável. Através do *framework* HLF, que possui uma estrutura escalável de componentes e que garante a segurança das transações, foi possível analisar o comportamento da rede para a simulação de operações de relacionamentos da cadeia de suprimentos.

Neste trabalho, alguns pontos de vantagens foram trazidos, como uma arquitetura baseada no HLF para construção de uma rede *blockchain* que permite o relacionamento entre unidades de negócio, uma representação da cadeia de suprimentos baseada em unidades de negócios e métricas que podem avaliar a governança de relacionamento na cadeia de suprimentos.

7.1 Considerações Finais

Nesse trabalho, foi proposta uma abordagem baseada em *blockchain* permissionada para a governança da cadeia de suprimentos, sendo avaliado o relacionamento da cadeia de suprimentos através de métricas que avaliam a qualidade das interações entre os membros da cadeia, que foram: confiabilidade, engajamento e transparência. Essas métricas foram observadas através da criação de cenários que simularam a realização de acordos na cadeia de suprimentos.

Dessa forma, foi visto o quanto as operações que simulam os relacionamentos impactam na *blockchain*. Além disso, foi observado que a abordagem baseada em *blockchain* mostra-se como uma tecnologia capaz de proporcionar a governança relacional, pois em diferentes cenários, a arquitetura manteve-se operante e foi capaz de validar as operações que realizavam o relacionamento entre as partes interessadas. Permitindo, dessa forma, a integridade das informações gerenciadas pela rede.

Apesar dos resultados apresentarem a possibilidade da realização das operações

de relacionamento, também surgem desafios relacionados a implantação da *blockchain* nesse contexto. A tecnologia adiciona mais tempo de processamento e conseqüentemente altera o tempo de resposta geral do sistema, sendo que torna-se necessário uma análise para a implantação dessa solução com intuito de verificar se a complexidade adicionada não irá comprometer o funcionamento do sistema.

Em relação a primeira questão de pesquisa definida inicialmente neste trabalho: *Como o uso da tecnologia blockchain ajuda na confiança da governança relacional entre os membros de uma cadeia de suprimentos?* É possível concluir que a tecnologia *blockchain* é uma solução que possibilita o aumento da confiança da governança relacional através da garantia de integridade e validação das transações que são submetidas para a rede, além de permitir a realização das operações associadas aos relacionamentos da cadeia de suprimentos em diferentes cenários de submissão. Obteve-se essa conclusão, pois através dos experimentos realizados as transações foram validadas com um alto grau de sucesso, por exemplo, em todos experimentos a quantidade de transações falhadas foram muito menores que a quantidade de transações com sucesso. Dessa forma, isso pode proporcionar uma maior garantia de que as informações dos acordos foram processadas corretamente pela rede, e assim todas as partes envolvidas possuem a garantia de integridade permitida pela *blockchain*.

Com base na questão de pesquisa proposta: *"Quais métricas podem ser aplicadas para avaliar e aprimorar a governança relacional na cadeia de suprimentos utilizando a tecnologia blockchain?"* O presente estudo identificou que as métricas de confiabilidade, engajamento e transparência são pertinentes para avaliar o relacionamento na cadeia de suprimentos, que emprega a *blockchain* como instrumento de compartilhamento e validação de dados. Essa conclusão foi alcançada por meio de simulações que representaram diferentes volumes de transações, visando verificar a formação de vínculos e a realização de acordos entre os participantes da cadeia de suprimentos. Com a utilização da arquitetura baseada em *blockchain* foi possível perceber o comportamento das métricas em cada cenário, sendo assim, foram vistos que os resultados podem ser comparados, e assim, permitir a qualificação dos relacionamentos.

7.2 Publicações

Foram publicados artigos que estão relacionados ao tema desta pesquisa. Esses trabalhos também utilizam a tecnologia *blockchain* como ferramenta para as construções das propostas. Através da realização desses trabalhos foram obtidas experiências para a implemen-

tação da solução proposta neste trabalho, além de ter proporcionado uma compreensão mais aprofundada das potencialidades e limitações da *blockchain* na aplicação de diferentes contextos. A seguir no Quadro 8 são apresentados os trabalhos publicados.

Tabela 8 – Trabalhos Publicados

Artigo	Veículo de Publicação
Um Estudo Inicial sobre a Importância de Simular Contratos Inteligentes em Blockchain	Anais do IV Workshop em Modelagem e Simulação de Sistemas Intensivos em Software
A Performance Analysis of Hyperledger Fabric: A Perspective of the ISO/IEC 25010 Product Quality Model	Proceedings of the 11th Euro American Conference on Telematics and Information Systems
Uma Solução para Compartilhamento de Dados de Saúde Baseada em Blockchain Permissionada e Internet das Coisas para Hospitais Inteligentes	Anais do V Workshop em Blockchain: Teoria, Tecnologias e Aplicações
Analyzing a Blockchain Application for the Educational Domain from the Perspective of a Software Ecosystem	Anais do III Workshop sobre as Implicações da Computação na Sociedade
Um Estudo sobre Arquiteturas e Desempenho em Infraestruturas de Blockchain Permissionadas	III Workshop Brasileiro de Cidades Inteligentes (WBCI 2022) - Colóquio em Blockchain e Web Descentralizada

Fonte: O Autor.

7.3 Trabalhos Futuros

Nesta seção, são discutidos os possíveis trabalhos futuros que podem ser gerados a partir desta pesquisa. O primeiro trabalho futuro destacado é a implementação de uma aplicação destinada ao usuário final que irá realizar a comunicação com a API de comunicação da rede *blockchain*. A integração dessa aplicação com a API é crucial para avaliar a viabilidade desse processo de integração com a rede. Essa aplicação tem como objetivo proporcionar aos usuários uma interface intuitiva, facilitando a formalização de acordos.

Outro trabalho futuro relevante é a realização da validação da arquitetura deste trabalho, através da comparação da solução proposta com outros *frameworks* que podem se aplicar a governança relacional na cadeia de suprimentos. Por exemplo, a utilização de outras *blockchains* para a realização da garantia de integridade dos acordos. Por conta de limitações de infraestrutura, como máquinas virtuais e/ou até mesmo serviços da nuvem para realizar a

construção de um ambiente capaz de portar a execução de outra arquitetura para comparação, não foi possível realizar a comparação entre diferentes infraestruturas.

Os acordos geralmente necessitam de campos variáveis para aprimorar a descrição do contrato. Em algumas situações, cláusulas específicas são essenciais para consolidar o entendimento entre as partes. Uma perspectiva futura inclui permitir a customização dessa comunicação com a API, de modo a viabilizar flexibilidade nos acordos. Dessa forma, é possível que possa ser expandido para outros contextos a realização de acordos através da utilização da *blockchain* permissionada para o gerenciamento de acordos.

É vital ampliar o número de organizações envolvidas no processo de interação com a rede. Isso possibilitará a avaliação do comportamento da rede em cenários de maior complexidade e, conseqüentemente, realizar um melhor estudo das métricas por causa do número diversificado de organizações integrantes da cadeia de suprimentos. Com o aumento do número de organizações participantes, é possível se aproximar do contexto de cadeia de suprimentos da vida real, permitindo que o processo de validação de transações e os algoritmos que realizam o processo de confirmação de transações tenham uma maior demanda de processamento.

Além desses, é possível a condução de experimentos com uma maior participação de clientes na rede, simulando a realização de contratos e operações de confiabilidade de maneira simultânea, para buscar entender o desempenho das métricas de relacionamento no contexto deste estudo proposto.

REFERÊNCIAS

- AAMER, A.; YANI, L. E.; PRIYATNA, I. A. Data analytics in the supply chain management: Review of machine learning applications in demand forecasting. **Operations and Supply Chain Management**, v. 14, n. 1, p. 1–13, 2020.
- AAMER, A. M.; AL-AWLAQI, M. A.; AFFIA, I.; ARUMSARI, S.; MANDAHAWI, N. **The internet of things in the food supply chain**, 2021.
- ABDALLAH, A. B.; ABDULLAH, M. I.; SALEH, F. I. M. The effect of trust with suppliers on hospital supply chain performance: the mediating role of supplier integration. **Benchmarking**, Emerald Publishing Limited, v. 24, n. 3, p. 694–715, 2017.
- AGERON, B.; BENTAHAR, O.; GUNASEKARAN, A. Digital supply chain challenges and future directions. In: TAYLOR & FRANCIS. **Supply Chain Forum**. [S. l.], 2020. v. 21, n. 3, p. 133–138.
- AGRAWAL, P.; NARAIN, R. Digital supply chain management: An overview. In: IOP PUBLISHING. **IOP Conference Series**. [S. l.], 2018. v. 455, n. 1, p. 012074.
- AGRAWAL, T. K.; KUMAR, V.; PAL, R.; WANG, L.; CHEN, Y. Blockchain-based framework for supply chain traceability: A case example of textile and clothing industry. **Computers Industrial Engineering**, v. 154, p. 107130, 2021. ISSN 0360-8352. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835221000346>. Acesso em: 10 out. 2023.
- AHMED, M. U.; KRISTAL, M. M.; PAGELL, M.; GATTIKER, T. F. Towards a classification of supply chain relationships. **Supply Chain Management**, Emerald Publishing Limited, v. 22, n. 4, p. 341–374, 2017.
- ALHADHRAMI, Z.; ALGHFELI, S.; ALGHFELI, M.; ABEDLLA, J. A.; SHUAIB, K. Introducing blockchains for healthcare. In: **2017 International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications (ICECTA)**. [S. l.: s. n.], 2017. p. 1–4.
- AMPEL, B.; PATTON, M.; CHEN, H. Performance modeling of hyperledger sawtooth blockchain. In: **2019 IEEE International Conference on Intelligence and Security Informatics (ISI)**. [S. l.: s. n.], 2019. p. 59–61.
- ANDROULAKI, E.; BARGER, A.; BORTNIKOV, V.; CACHIN, C.; CHRISTIDIS, K.; CARO, A. D.; ENYEART, D.; FERRIS, C.; LAVENTMAN, G.; MANEVICH, Y.; MURALIDHARAN, S.; MURTHY, C.; NGUYEN, B.; SETHI, M.; SINGH, G.; SMITH, K.; SORNIOTTI, A.; STATHAKOPOULOU, C.; VUKOLIĆ, M.; COCCO, S. W.; YELICK, J. Hyperledger fabric: A distributed operating system for permissioned blockchains. In: **2021 Association for Computing Machinery**. New York, NY, USA: [S. n.], 2018. ISBN 9781450355841. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3190508.3190538>. Acesso em: 14 set. 2021.
- ASSIS, M. T.; LUCAS, M. R.; RAINHO, M. J. M. A meta-analysis on the trust in agrifood supply chains. **Food Frontiers**, Wiley Online Library, v. 3, n. 3, p. 413–427, 2022.
- BALIGA, A.; SOLANKI, N.; VEREKAR, S.; PEDNEKAR, A.; KAMAT, P.; CHATTERJEE, S. Performance characterization of hyperledger fabric. In: IEEE. **2018 Crypto Valley conference on blockchain technology (CVCBT)**. [S. l.], 2018. p. 65–74.

- BARNEY, J. Firm resources and sustained competitive advantage. **Journal of management**, Sage Publications Sage CA: Thousand Oaks, CA, v. 17, n. 1, p. 99–120, 1991.
- BATWA, A.; NORRMAN, A. Blockchain technology and trust in supply chain management. **Operations and Supply Chain Management**, v. 14, n. 2, p. 203–220, 2021.
- BATWA, A.; NORRMAN, A.; ARVIDSSON, A. How blockchain interrelates with trust in the supply chain context: Insights from tracing sustainability in the metal industry. In: BERLIN: EPUBLI GMBH. **How Digitalization Shapes Sustainable Logistics and Resilient Supply Chain Management. Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL), Vol. 31.** [S. l.], 2021. p. 329–351.
- BECKERT, B.; HERDA, M.; KIRSTEN, M.; SCHIFFL, J. Formal specification and verification of hyperledger fabric chaincode. In: **3rd Symposium on Distributed Ledger Technology (SDLT-2018) co-located with ICFEM.** [S. l.: s. n.], 2018. p. 44–48.
- BHATTACHARYA, M. P.; ZAVARSKY, P.; BUTAKOV, S. Enhancing the security and privacy of self-sovereign identities on hyperledger indy blockchain. In: **2020 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC).** [S. l.: s. n.], 2020. p. 1–7.
- BONATTO, F.; RESENDE, L. M. M. de; PONTES, J. Relational governance in supply chain. **An International Journal**, Emerald Publishing Limited, v. 27, n. 6, p. 1711–1741, 2020.
- BUTERIN, V. *et al.* A next-generation smart contract and decentralized application platform. **white paper**, v. 3, n. 37, 2014.
- CACHIN, C. *et al.* Architecture of the hyperledger blockchain fabric. In: CHICAGO, IL. **Workshop on distributed cryptocurrencies and consensus ledgers.** [S. l.], 2016. v. 310, n. 4, p. 1–4.
- CAFAGGI, F.; IAMICELI, P. Supply chains, contractual governance and certification regimes. **European journal of law and economics**, Springer, v. 37, p. 131–173, 2014.
- CAN SAGLAM, Y.; Yildiz Çankaya, S.; GOLGECI, I.; SEZEN, B.; ZAIM, S. The role of communication quality, relational commitment, and reciprocity in building supply chain resilience. **Transportation Research Part E**, v. 167, p. 102936, 2022. ISSN 1366-5545. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1366554522003131>. Acesso em: 9 out. 2023.
- CAO, S.; FOTH, M.; POWELL, W.; MILLER, T.; LI, M. A blockchain-based multisignature approach for supply chain governance. v. 3, n. 4, p. 100091, 2022. ISSN 2096-7209. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S209672092200032X>. Acesso em: 8 out. 2023.
- CAO, S.; FOTH, M.; POWELL, W.; MILLER, T.; LI, M. A blockchain-based multisignature approach for supply chain governance. **Research and Applications**, Elsevier, v. 3, n. 4, p. 100091, 2022. Acesso em: 8 out. 2023.
- CAO, Z.; LUMINEAU, F. Revisiting the interplay between contractual and relational governance: A qualitative and meta-analytic investigation. **Journal of operations management**, Elsevier, v. 33, p. 15–42, 2015.

CAPOCASALE, V.; GOTTA, D.; PERBOLI, G. Comparative analysis of permissioned blockchain frameworks for industrial applications. **Research and Applications**, Elsevier, v. 4, n. 1, p. 100113, 2023.

CHAUDHRY, N.; YOUSAF, M. M. Consensus algorithms in blockchain: Comparative analysis, challenges and opportunities. In: IEEE. **2018 12th International Conference on Open Source Systems and Technologies (ICOSST)**. [S. l.], 2018. p. 54–63.

CHRISTIDIS, K.; DEVETSIKIOTIS, M. Blockchains and smart contracts for the internet of things. **Ieee Access**, Ieee, v. 4, p. 2292–2303, 2016.

COX, A.; SANDERSON, J.; WATSON, G. Supply chains and power regimes: toward an analytic framework for managing extended networks of buyer and supplier relationships. **Journal of supply chain management**, Blackwell Publishing Ltd., v. 37, n. 2, p. 28, 2001.

DIB, O.; BROUSMICHE, K.-L.; DURAND, A.; THEA, E.; HAMIDA, E. B. Consortium blockchains: Overview, applications and challenges. **Int. J. Adv. Telecommun**, v. 11, n. 1, p. 51–64, 2018.

DOLCI, P. C.; MAÇADA, A. C. G.; PAIVA, E. L. Models for understanding the influence of supply chain governance on supply chain performance. **An International Journal**, Emerald Publishing Limited, 2017.

DYER, J. H.; CHU, W. The determinants of trust in supplier-automaker relationships in the us, japan and korea. **Journal of international business studies**, Springer, v. 31, p. 259–285, 2000.

DYER, J. H.; SINGH, H. The relational view: Cooperative strategy and sources of interorganizational competitive advantage. **Academy of management review**, Academy of Management Briarcliff Manor, NY 10510, v. 23, n. 4, p. 660–679, 1998.

ERSOY, P.; BÖRÜHAN, G.; MANGLA, S. K.; HORMAZABAL, J. H.; KAZANCOGLU, Y.; LAFCI, Ç. Impact of information technology and knowledge sharing on circular food supply chains for green business growth. **Business Strategy and the Environment**, Wiley Online Library, v. 31, n. 5, p. 1875–1904, 2022.

FABRIC, H. **The Operations Service — hyperledger-fabricdocs master**. 2020. Disponível em: <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-2.2/>. Acesso em: 10 jul. 2021.

FERNANDES, A.; ROCHA, V.; CONCEIÇÃO, A. F. d.; HORITA, F. Scalable architecture for sharing ehr using the hyperledger blockchain. In: **2020 IEEE International Conference on Software Architecture Companion (ICSA-C)**. [S. l.: s. n.], 2020. p. 130–138.

FOSCHINI, L.; GAVAGNA, A.; MARTUSCELLI, G.; MONTANARI, R. Hyperledger fabric blockchain: Chaincode performance analysis. In: **ICC 2020 - 2020 IEEE International Conference on Communications (ICC)**. [S. l.: s. n.], 2020. p. 1–6.

FOSCHINI, L.; GAVAGNA, A.; MARTUSCELLI, G.; MONTANARI, R. Hyperledger fabric blockchain: Chaincode performance analysis. In: IEEE. **ICC 2020-2020 IEEE International Conference on Communications (ICC)**. [S. l.], 2020. p. 1–6.

FOUNDATION, L. **Taxchain provides a faster, better, cheaper way to complete eu tax forms using hyperledger fabric**. 2024. Disponível em: <https://www.hyperledger.org/case-studies/taxchain-case-study>. Acesso em: 06 fev. 2024.

FOUNDATION, T. L. **Peers and Applications**. 2022. Disponível em: <https://hyperledger-fabric.readthedocs.io/en/release-2.2/peers/peers.html>. Acesso em: 25 nov. 2023.

GOMES, A. N.; COUTINHO, E. F. Uma solução para compartilhamento de dados de saúde baseada em blockchain permissionada e internet das coisas para hospitais inteligentes. In: SBC. **Anais do V Workshop em Blockchain**. [S. l.], 2022. p. 1–14.

GRANDISON, T.; SLOMAN, M. A survey of trust in internet applications. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, IEEE, v. 3, n. 4, p. 2–16, 2000.

GRIFFITH, D. A.; MYERS, M. B. The performance implications of strategic fit of relational norm governance strategies in global supply chain relationships. **Journal of international business studies**, Springer, v. 36, p. 254–269, 2005.

GUO, W.; YAO, K. Supply chain governance of agricultural products under big data platform based on blockchain technology. **Scientific Programming**, Hindawi Limited, v. 2022, p. 1–16, 2022.

HABIB, G.; SHARMA, S.; IBRAHIM, S.; AHMAD, I.; QURESHI, S.; ISHFAQ, M. Blockchain technology: Benefits, challenges, applications, and integration of blockchain technology with cloud computing. **Future Internet**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 14, n. 11, p. 341, 2022.

HABIB, G.; SHARMA, S.; IBRAHIM, S.; AHMAD, I.; QURESHI, S.; ISHFAQ, M. Blockchain technology: Benefits, challenges, applications, and integration of blockchain technology with cloud computing. **Future Internet**, v. 14, n. 11, 2022. ISSN 1999-5903. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-5903/14/11/341>. Acesso em: 12 jun. 2023.

HELLIAR, C. V.; CRAWFORD, L.; ROCCA, L.; TEODORI, C.; VENEZIANI, M. Permissionless and permissioned blockchain diffusion. **International Journal of Information Management**, v. 54, p. 102136, 2020. ISSN 0268-4012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268401219314586>. Acesso em: 23 out. 2021.

HOY, M. B. An introduction to the blockchain and its implications for libraries and medicine. **Medical Reference Services Quarterly**, Routledge, v. 36, n. 3, p. 273–279, 2017. PMID: 28714815. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02763869.2017.1332261>. Acesso em: 05 out. 2021.

JEN, C. T.; HU, J.; ZHENG, J.; XIAO, L. L. The impacts of corporate governance mechanisms on knowledge sharing and supply chain performance. **International Journal of Logistics Research and Applications**, Taylor Francis, v. 23, n. 4, p. 337–353, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/13675567.2019.1691515>. Acesso em: 19 nov. 2023.

JEONG, M.; OH, H. Business-to-business social exchange relationship beyond trust and commitment. **International Journal of Hospitality Management**, v. 65, p. 115–124, 2017. ISSN 0278-4319. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278431916303528>. Acesso em: 12 nov. 2023.

JR, R. G. R.; ROATH, A. S.; WHIPPLE, J. M.; FAWCETT, S. E. Exploring a governance theory of supply chain management: barriers and facilitators to integration. **Journal of business logistics**, Wiley Online Library, v. 31, n. 1, p. 237–256, 2010.

- KITCHENHAM, B. A.; CHARTERS, S. **Guidelines for performing Systematic Literature Reviews in Software Engineering**. [S. l.], 2007. Disponível em: https://www.elsevier.com/__data/promis_misc/525444systematicreviewsguide.pdf. Acesso em: 23 jun. 2023.
- KLASSEN, R. D.; SHAFIQ, A.; JOHNSON, P. F. Opportunism in supply chains: Dynamically building governance mechanisms to address sustainability-related challenges. **Transportation Research Part E**, Elsevier, v. 171, p. 103021, 2023.
- KUSHWAHA, S. S.; JOSHI, S.; SINGH, D.; KAUR, M.; LEE, H.-N. Systematic review of security vulnerabilities in ethereum blockchain smart contract. **IEEE Access**, v. 10, p. 6605–6621, 2022.
- LANG, X.; LI, L. Research on trusted digital capability architecture of industrial supply chain based on blockchain infrastructure. In: IEEE. **2021 3rd International Academic Exchange Conference on Science and Technology Innovation (IAECST)**. [S. l.], 2021. p. 17–23.
- LEMIEUX, V. L. Trusting records: is blockchain technology the answer? **Records Management Journal**, Emerald Group Publishing Limited, 2016.
- LI, D.; WONG, W. E.; GUO, J. A survey on blockchain for enterprise using hyperledger fabric and composer. In: **2019 6th International Conference on Dependable Systems and Their Applications (DSA)**. [S. l.: s. n.], 2020. p. 71–80.
- LIN, C.; ZHANG, Z. W. A two-tier blockchain architecture for the digital transformation of multilateralism. In: IEEE. **2020 IEEE 91st Vehicular Technology Conference (VTC2020-Spring)**. [S. l.], 2020. p. 1–5.
- LIU, F.; FAN, H.-Y.; QI, J.-Y. Blockchain technology, cryptocurrency: entropy-based perspective. **Entropy**, MDPI, v. 24, n. 4, p. 557, 2022.
- LUMINEAU, F.; HENDERSON, J. E. The influence of relational experience and contractual governance on the negotiation strategy in buyer–supplier disputes. **Journal of Operations Management**, Elsevier, v. 30, n. 5, p. 382–395, 2012.
- LUMINEAU, F.; MALHOTRA, D. Shadow of the contract: How contract structure shapes interfirm dispute resolution. **Strategic management journal**, Wiley Online Library, v. 32, n. 5, p. 532–555, 2011.
- LUMINEAU, F.; WANG, W.; SCHILKE, O. Blockchain governance—a new way of organizing collaborations? **Organization Science**, INFORMS, v. 32, n. 2, p. 500–521, 2021.
- LUSTENBERGER, M.; SPYCHIGER, F.; MALESEVIC, S. Towards a better understanding of the value of blockchains in supply chain management. In: SPRINGER. **Information Systems**. [S. l.], 2020. p. 101–112.
- MENTZER, J. T.; DEWITT, W.; KEEBLER, J. S.; MIN, S.; NIX, N. W.; SMITH, C. D.; ZACHARIA, Z. G. Defining supply chain management. In: . [S. l.]: Wiley Online Library, 2001. v. 22, n. 2, p. 1–25.
- MINGXIAO, D.; XIAOFENG, M.; ZHE, Z.; XIANGWEI, W.; QIJUN, C. A review on consensus algorithm of blockchain. In: **2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)**. [S. l.: s. n.], 2017. p. 2567–2572.

MINGXIAO, D.; XIAOFENG, M.; ZHE, Z.; XIANGWEI, W.; QIJUN, C. A review on consensus algorithm of blockchain. In: IEEE. **2017 IEEE international conference on systems, man, and cybernetics (SMC)**. [S. l.], 2017. p. 2567–2572.

MISHRA, D. P.; KUKREJA, R. K.; MISHRA, A. S. Blockchain as a governance mechanism for tackling dark side effects in interorganizational relationships. **International Journal of Organizational Analysis**, Emerald Publishing Limited, v. 30, n. 2, p. 340–364, 2022.

MOHANTA, B. K.; PANDA, S. S.; JENA, D. An overview of smart contract and use cases in blockchain technology. In: IEEE. **2018 9th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)**. [S. l.], 2018. p. 1–4.

MORGAN, R. M.; HUNT, S. D. The commitment-trust theory of relationship marketing. **Journal of marketing**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 58, n. 3, p. 20–38, 1994.

MOURTZIS, D.; PANOPOULOS, N. Digital transformation process towards resilient production systems and networks. In: **Supply Network Dynamics and Control**. [S. l.]: Springer, 2022. p. 11–42.

NAKAMOTO, S. **Bitcoin**: A peer-to-peer electronic cash system. [S. l.: s. n.], 2008. v. 4.

NASIR, Q.; QASSE, I. A.; TALIB, M. A.; NASSIF, A. B. *et al.* Performance analysis of hyperledger fabric platforms. **Security and Communication Networks**, Hindawi, v. 2018, 2018.

NOFER, M.; GOMBER, P.; HINZ, O.; SCHIERECK, D. Blockchain. **Business & Information Systems Engineering**, v. 59, n. 3, p. 183–187, Jun 2017. ISSN 1867-0202. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12599-017-0467-3>. Acesso em: 12 nov. 2021.

OLIVA, G. A.; HASSAN, A. E.; JIANG, Z. M. An exploratory study of smart contracts in the ethereum blockchain platform. **Empirical Software Engineering**, Springer, v. 25, p. 1864–1904, 2020.

ONIRETI, O.; ZHANG, L.; IMRAN, M. A. On the viable area of wireless practical byzantine fault tolerance (pbft) blockchain networks. In: IEEE. **2019 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)**. [S. l.], 2019. p. 1–6.

PALM, E.; BODIN, U.; SCHELÉN, O. Approaching non-disruptive distributed ledger technologies via the exchange network architecture. **IEEE access**, IEEE, v. 8, p. 12379–12393, 2020.

PARK, J.; LEE, J.; LEE, H.; TRUEX, D. Exploring the impact of communication effectiveness on service quality, trust and relationship commitment in it services. **International Journal of Information Management**, Elsevier, v. 32, n. 5, p. 459–468, 2012.

PAUL, P.; AITHAL, P.; SAAVEDRA, R. Blockchain technology and its types—a short review. **International Journal of Applied Science and Engineering (IJASE)**, v. 9, n. 2, p. 189–200, 2021.

PFAFF, Y. M.; BIRKEL, H.; HARTMANN, E. Supply chain governance in the context of industry 4.0: Investigating implications of real-life implementations from a multi-tier perspective. **International Journal of Production Economics**, Elsevier, v. 260, p. 108862, 2023.

PFÄFF, Y. M.; BIRKEL, H.; HARTMANN, E. Supply chain governance in the context of industry 4.0: Investigating implications of real-life implementations from a multi-tier perspective. **International Journal of Production Economics**, v. 260, p. 108862, 2023. ISSN 0925-5273. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527323000944>.

QIAN, X.; PAPADONIKOLAKI, E. Shifting trust in construction supply chains through blockchain technology. **Engineering, Construction and Architectural Management**, Emerald Publishing Limited, v. 28, n. 2, p. 584–602, 2021.

RAD, F. F.; OGHAZI, P.; PALMIÉ, M.; CHIRUMALLA, K.; PASHKEVICH, N.; PATEL, P. C.; SATTARI, S. A systematic literature review of the benefits, challenges, and critical success factors of 11 core technologies. **Industrial Marketing Management**, v. 105, p. 268–293, 2022. ISSN 0019-8501. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S001985012200147X>. Acesso em: 12 jun. 2023.

RAUT, R. D.; GARDAS, B. B.; KHARAT, M.; NARKHEDE, B. Modeling the drivers of post-harvest losses—mcdm approach. **Computers and Electronics in Agriculture**, Elsevier, v. 154, p. 426–433, 2018.

RAVI, D.; RAMACHANDRAN, S.; VIGNESH, R.; FALMARI, V. R.; BRINDHA, M. Privacy preserving transparent supply chain management through hyperledger fabric. **Research and Applications**, Elsevier, v. 3, n. 2, p. 100072, 2022.

REYNA, A.; MARTÍN, C.; CHEN, J.; SOLER, E.; DÍAZ, M. On blockchain and its integration with iot. challenges and opportunities. **Future generation computer systems**, Elsevier, v. 88, p. 173–190, 2018.

RUIZ, J. **Public-permissioned blockchains as common-pool resources**. Tese (Doutorado) – Alastria Blockchain Ecosystem, 2020.

SAAD, M.; SPAULDING, J.; NJILLA, L.; KAMHOUA, C.; SHETTY, S.; NYANG, D.; MOHAISEN, D. Exploring the attack surface of blockchain: A comprehensive survey. **IEEE Communications Surveys & Tutorials**, IEEE, v. 22, n. 3, p. 1977–2008, 2020.

SAAD, S. M. S.; RADZI, R. Z. R. M. Comparative review of the blockchain consensus algorithm between proof of stake (pos) and delegated proof of stake (dpos). **International Journal of Innovative Computing**, v. 10, n. 2, 2020.

SAGLAM, Y. C.; SEZEN, B.; ÇANKAYA, S. Y. The inhibitors of risk information sharing in the supply chain: A multiple case study in turkey. **Journal of Contingencies and Crisis Management**, Wiley Online Library, v. 28, n. 1, p. 19–29, 2020.

SCHÄFER, N. Making transparency transparent: a systematic literature review to define and frame supply chain transparency in the context of sustainability. **Management Review Quarterly**, Springer, p. 1–26, 2022.

SCHINCKUS, C. Proof-of-work based blockchain technology and anthropocene: An undermined situation? **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 152, p. 111682, 2021.

SCHMIDT, C. G.; WAGNER, S. M. Blockchain and supply chain relations: A transaction cost theory perspective. **Journal of Purchasing and Supply Management**, Elsevier, v. 25, n. 4, p. 100552, 2019.

SHAHZAD, K.; ALI, T.; TAKALA, J.; HELO, P.; ZAEFARIAN, G. The varying roles of governance mechanisms on ex-post transaction costs and relationship commitment in buyer-supplier relationships. **Industrial Marketing Management**, Elsevier, v. 71, p. 135–146, 2018.

SHAMIM, S.; ZENG, J.; KHAN, Z.; ZIA, N. U. Big data analytics capability and decision making performance in emerging market firms: The role of contractual and relational governance mechanisms. **Technological Forecasting and Social Change**, Elsevier, v. 161, p. 120315, 2020.

SHARMA, P.; JINDAL, R.; BORAH, M. D. A review of smart contract-based platforms, applications, and challenges. **Cluster Computing**, Springer, p. 1–27, 2022.

SHIN, N.; PARK, S. H.; PARK, S. Partnership-based supply chain collaboration: Impact on commitment, innovation, and firm performance. **Sustainability**, MDPI, v. 11, n. 2, p. 449, 2019.

SINGH, V.; SHARMA, S. K. Application of blockchain technology in shaping the future of food industry based on transparency and consumer trust. **Journal of Food Science and Technology**, Springer, p. 1–18, 2022.

SOMIN, S.; GORDON, G.; PENTLAND, A.; SHMUELI, E.; ALTSHULER, Y. Erc20 transactions over ethereum blockchain: Network analysis and predictions. **arXiv preprint arXiv:2004.08201**, 2020.

SOUZA, O. d.; MACHADO, M. C.; CORREA, V. S.; TELLES, R. Influence of governance instruments on supply chain quality: a qualitative investigation in the dairy industry. **An International Journal**, Emerald Publishing Limited, 2022.

SUKHWANI, H.; WANG, N.; TRIVEDI, K. S.; RINDOS, A. Performance modeling of hyperledger fabric (permissioned blockchain network). In: **2018 IEEE 17th International Symposium on Network Computing and Applications (NCA)**. [S. l.: s. n.], 2018. p. 1–8.

SWAN, M. **Blockchain: Blueprint for a new economy**. [S. l.]: O'Reilly Media, Inc., 2015.

SZABO, N. **Smart contracts**. 1994. Disponível em: <https://www.fon.hum.uva.nl/rob/Courses/InformationInSpeech/CDROM/Literature/LOTwinterschool2006/szabo.best.vwh.net/smart.contracts.html>. Acesso em: 12 jul. 2021.

TOULOUPOU, M.; THEMISTOCLEOUS, M.; IOSIF, E.; CHRISTODOULOU, K. A systematic literature review toward a blockchain benchmarking framework. **IEEE Access**, v. 10, p. 70630–70644, 2022.

UM, K.-H.; KIM, S.-M. The effects of supply chain collaboration on performance and transaction cost advantage. **International Journal of Production Economics**, v. 217, p. 97–111, 2019. ISSN 0925-5273. Recent issues and future directions on effective multi-tier supply chain management for sustainability. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527318301506>. Acesso em: 12 nov. 2023.

UM, K.-H.; KIM, S.-M. The effects of supply chain collaboration on performance and transaction cost advantage: The moderation and nonlinear effects of governance mechanisms. **International Journal of Production Economics**, Elsevier, v. 217, p. 97–111, 2019.

VADGAMA, N.; TASCA, P. An analysis of blockchain adoption in supply chains between 2010 and 2020. **Frontiers in Blockchain**, Frontiers Media SA, v. 4, p. 610476, 2021.

VIRIYASITAVAT, W.; HOONSOPON, D. Blockchain characteristics and consensus in modern business processes. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 13, p. 32–39, 2019. ISSN 2452-414X. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452414X18300815>. Acesso em: 11 jul. 2021.

VLACHOU, V.; KONTZINOS, C.; MARKAKI, O.; KOKKINAKOS, P.; KARAKOLIS, V.; PSARRAS, J. Leveraging hyperledger iroha for the issuance and verification of higher-education certificates. **International Journal of Educational and Pedagogical Sciences**, v. 14, n. 9, p. 755–763, 2020.

WEI, P.; WANG, D.; ZHAO, Y.; TYAGI, S. K. S.; KUMAR, N. Blockchain data-based cloud data integrity protection mechanism. **Future Generation Computer Systems**, v. 102, p. 902–911, 2020. ISSN 0167-739X. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167739X19313494>. Acesso em: 24 nov. 2023.

WENHUA, Z.; QAMAR, F.; ABDALI, T.-A. N.; HASSAN, R.; JAFRI, S. T. A.; NGUYEN, Q. N. Blockchain technology: Security issues, healthcare applications, challenges and future trends. **Electronics**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 12, n. 3, p. 546, 2023.

WüST, K.; GERVAIS, A. Do you need a blockchain? In: **2018 Crypto Valley Conference on Blockchain Technology (CVCBT)**. [S. l.: s. n.], 2018. p. 45–54.

XU, D.; DAI, J.; PAULRAJ, A.; CHONG, A. Y.-L. Leveraging digital and relational governance mechanisms in developing trusting supply chain relationships: the interplay between blockchain and norm of solidarity. **International Journal of Operations & Production Management**, Emerald Publishing Limited, n. ahead-of-print, 2022.

YANG, R.; WAKEFIELD, R.; LYU, S.; JAYASURIYA, S.; HAN, F.; YI, X.; YANG, X.; AMARASINGHE, G.; CHEN, S. Public and private blockchain in construction business process and information integration. **Automation in construction**, Elsevier, v. 118, p. 103276, 2020.

YANG, S. T. D. V. G. W. B. **An Introduction to Hyperledger**. [S. l.: s. n.], 2018.

YAWAR, S. A.; SEURING, S. Management of social issues in supply chains: a literature review exploring social issues, actions and performance outcomes. **Journal of Business Ethics**, Springer, v. 141, n. 3, p. 621–643, 2017.

YEH, Y.-P. Critical influence of relational governance on relationship value in strategic supply management. **European Business Review**, Emerald Group Publishing Limited, v. 28, n. 2, p. 137–154, 2016.

ZHANG, L.; MA, X.; LIU, Y. Sok: Blockchain decentralization. **arXiv preprint arXiv:2205.04256**, 2022.

ZHANG, X.; ARAMYAN, L. H. A conceptual framework for supply chain governance: An application to agri-food chains in china. **China Agricultural Economic Review**, Emerald Group Publishing Limited, 2009.

ZHENG, Z.; XIE, S.; DAI, H.-N.; CHEN, X.; WANG, H. Blockchain challenges and opportunities: A survey. **International journal of web and grid services**, Inderscience Publishers (IEL), v. 14, n. 4, p. 352–375, 2018.

ZHOU, Q.; HUANG, H.; ZHENG, Z.; BIAN, J. Solutions to scalability of blockchain: A survey. **IEEE Access**, v. 8, p. 16440–16455, 2020.

ZORIĆ, N.; MARIĆ, R.; MARIĆ, T. Đurković; VUKMIROVIĆ, G. The importance of digitalization for the sustainability of the food supply chain. **Sustainability**, v. 15, n. 4, 2023. ISSN 2071-1050. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/4/3462>. Acesso em: 26 nov. 2023.