

Soluções de Monitoramento de Redes Blockchain: Uma Revisão Sistemática da Literatura

Mateus Bastos¹, Caio Silva¹, Alan Veloso¹, Jeffson Celeiro^{1,2},
Bruno Evaristo^{1,2}, José Reynaldo Formigoni², Antônio Abelém¹

¹ Universidade Federal do Pará (UFPA)
Belém – PA – Brasil

²Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações (CPQD)
Campinas – SP – Brasil

{mateus.araujo, caio.santos.silva}@icen.ufpa.br, aveloso@ufpa.br
{jcsousa, elderb, formigoni}@cpqd.com.br, abelem@ufpa.br

Abstract. *Given the increased use of blockchain technologies by vertical parts of the industry, there is a need for efficient monitoring of these networks to preserve the quality of this service. This work aims to investigate and document information on monitoring systems in the literature. The results show that centralized monitoring systems predominate, with eight different modules and a variety of metrics monitored. In this way, this study presents the alternative blockchain monitoring systems present in the literature, providing valuable insights for the development of more efficient and comprehensive strategies for the area.*

Resumo. *Diante do aumento do uso de tecnologias blockchain por partes verticais da indústria, surge a necessidade do monitoramento eficiente destas redes, para preservação da qualidade deste serviço. Este trabalho tem como objetivo investigar e documentar as informações sobre os sistemas de monitoramento presentes na literatura. Os resultados revelam a predominância de sistemas de monitoramento centralizados, apresentando oito módulos distintos e variadas métricas monitoradas. Desta forma, este estudo apresenta as alternativas de sistemas de monitoramento blockchain presentes na literatura, fornecendo insights valiosos para o desenvolvimento de estratégias mais eficientes e abrangentes para a área.*

1. Introdução

A tecnologia blockchain é um sistema descentralizado de registro de transações que utiliza blocos encadeados criptograficamente por meio de *hashing* [Di Pierro 2017]. Cada bloco contém um registro permanente e imutável de transações, e é vinculado aos blocos anteriores, formando uma cadeia. Essa tecnologia é conhecida por sua segurança, transparência e resistência à adulteração, sendo utilizada em diversos setores, como finanças, logística e saúde, para garantir a integridade e autenticidade das informações.

Diante disso, houve um grande aumento da adoção por parte de organizações. Contudo, vulnerabilidades nos nós, nos contratos inteligentes, na segurança do usuário e no *design* da rede podem afetar sua credibilidade [Sunny et al. 2022]. Sendo assim, nota-se a importância de monitorar estas redes em aspectos como: segurança, integridade dos

dados, desempenho da rede e legalidade das transações; a fim de que indiquem a eficácia da rede, a otimização de recursos e garantia de satisfação do usuário.

Este trabalho visa investigar diferentes estratégias de monitoramento de redes blockchain. Esse objetivo é alcançado por meio de uma revisão sistemática [Petersen et al. 2015] do estado da arte das estruturas, ferramentas e técnicas disponíveis para o monitoramento de redes blockchain.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: a Seção 2 descreve a metodologia utilizada para busca e obtenção de conteúdo do levantamento. A Seção 3 detalha as análises e discussões dos resultados obtidos. Por fim, a Seção 4 apresenta a conclusão e trabalhos futuras acerca deste estudo.

2. Metodologia

Nesta seção será descrito o passo a passo da revisão sistemática deste trabalho. As subseções subsequentes abaixo mostrarão seu desenvolvimento.

2.1. Definição de Protocolo

A primeira fase da revisão é o planejamento, de início, a estratégia **PICO** (*Population* (População), *Intervention* (Intervenção), *Comparison* (Comparação) e *Outcomes* (Resultados)) foi utilizado para auxiliar na formulação da pergunta de pesquisa: a população foi definida como “Redes Blockchain”; a intervenção foi definida como “Monitoramento”; não foi utilizada comparação; quanto aos resultados, a pretensão era obter resultados sobre as “estruturas de monitoramento de redes blockchain”.

2.2. Questões de Pesquisa

Após a definição do protocolo, foram definidas as questões de pesquisa (QP):

- **QP1:** Quais são os componentes-chave do sistema de monitoramento em uma rede blockchain e como eles estão organizados ou interconectados?
- **QP2:** Quais ferramentas são empregadas na implantação de sistemas de monitoramento?
- **QP3:** Quais são as métricas que o monitoramento em redes blockchain está principalmente preocupado em avaliar, como segurança, desempenho, integridade ou outros?
- **QP4:** Quais são as tecnologias ou métodos fundamentais geralmente empregados no processo de monitoramento?
- **QP5:** Qual é a plataforma blockchain utilizado pela rede blockchain na qual o monitoramento está implantado?
- **QP6:** O sistema de monitoramento de rede blockchain é aplicado a um domínio ou campo específico? Se sim, qual é esse domínio?

2.3. Buscas de Dados e Informações

Em seguida foram definidas as palavras chave que integram a *string* de busca utilizada em cada base de dados, as quais foram: “*blockchain*”, relacionada a população e “*monitoring*”, relacionada a intervenção. Dito isto, a *string* original de busca foi definida como (“**blockchain monitoring**” OR “**monitoring of blockchain**”). Logo após, foram escolhidos as base de dados, listas a seguir, para ser feita a busca dos artigos, essas bases foram escolhidas pela abrangência e eficiência de suas buscas, além da confiabilidade de seus dados apresentados:

- ACM Digital Library
- IEEE Digital Library
- Science@Direct
- Scopus

2.4. Critérios de Inclusão e Exclusão

Seguindo o planejamento, houve a definição do critério de inclusão:

- O estudo aborda o monitoramento de redes blockchain

E dos critérios de exclusão:

- Não foi possível ter acesso ao estudo
- O estudo não está escrito em inglês
- O estudo não possui um resumo
- O estudo não trata de monitoramento de redes blockchain
- O estudo não é um estudo primário
- O estudo é publicado apenas como resumo
- O estudo é uma versão mais antiga de outro estudo

Dessa forma, foi finalizada a etapa de planejamento da revisão sistemática.

3. Resultados e Discussões

Os artigos selecionados e analisados apresentaram informações relevantes a respeito do monitoramento de redes blockchain e das questões de pesquisa formuladas na metodologia. Os resultados e discussões serão apresentados logo abaixo.

3.1. Execução da Busca por Artigos e Discussão

Esta Seção tem como foco a discussão sobre a análise dos artigos encontrados em nossas buscas por meio da revisão sistemática. A discussão está estruturada da seguinte forma:

1. Distribuição dos Artigos nas Bases de Dados
2. Ano de Publicação dos Estudos Analisados
3. Tipos de Publicação dos Artigos
4. Distribuição dos Países de Publicação e de Autores Principais
5. Áreas de Aplicação dos Artigos

Tabela 1. Distribuição dos artigos nas bases de dados

Base de Dados	Busca Inicial	Artigos duplicados	Critérios de Exclusão	Amostra Final
Scopus	11	4	4	3
ACM Digital Library	10	0	9	1
IEEE Digital Library	26	6	18	2
Science@Direct	4	0	3	1
Total de Artigos	51	10	34	7

Na fase de execução da revisão sistemática, foram inicialmente importados 51 artigos usando a *string* de busca especificada, distribuídos entre as bases ACM Digital Library (10), IEEE Digital Library (26), Science@Direct (4) e Scopus (11). Após aplicar critérios de seleção, 10 artigos duplicados foram identificados, restando 41. Desses, 7

foram aceitos conforme os critérios de inclusão. A Tabela 1 apresenta a distribuição dos artigos entre as bases de dados. A etapa seguinte envolveu a análise dos 7 artigos selecionados para documentar as estruturas de monitoramento de redes blockchain abordadas.

A Figura 1 ilustra a distribuição dos artigos obtidos pelo ano de suas publicações. Dito isto, pode-se notar que os anos que houveram mais publicações sobre monitoramento de redes blockchain são os anos de 2018 e 2019. Os próximos anos não houveram tantas publicações, tendo apenas uma em cada ano dos três subsequentes.

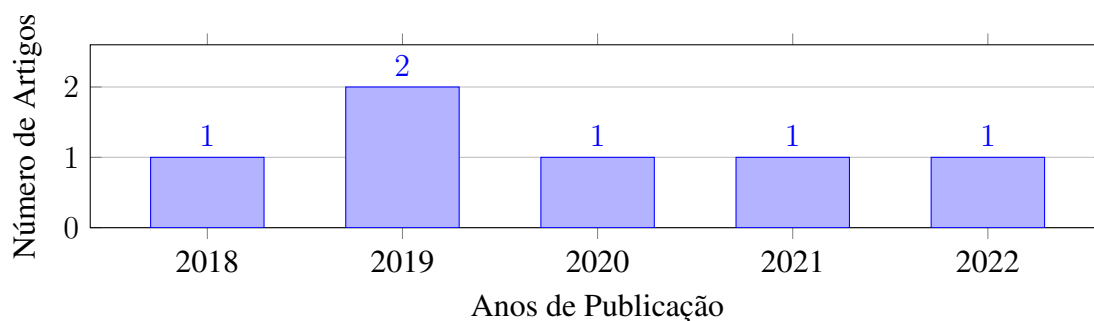


Figura 1. Número de artigos por ano de publicação

A Figura 2 detalha os tipos de publicações dos artigos analisados neste trabalho. A seguir estão os tipos de publicação identificados:

- Jornais;
- Simpósios;
- Conferências.

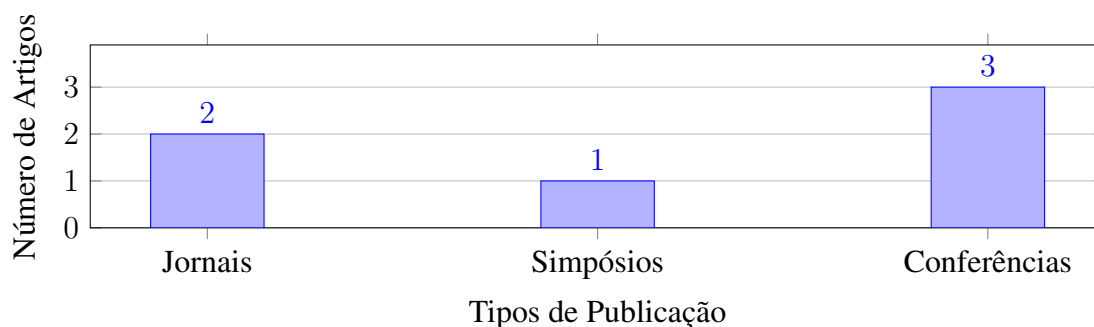


Figura 2. Número de artigos por tipo de publicação

Nesta busca foi identificado que estes trabalhos sobre monitoramento de redes blockchain tem como predominância conferências como meio de publicação (3), seguidas de jornais (2) e, por último, um artigo sendo publicado em um simpósio.

A Figura 3 mostra a distribuição dos artigos analisados pelos seus países de publicação. Onde Coreia do Sul (2) lidera com dois artigos publicados sobre o tema de monitoramento blockchain.

Vale destacar que, por mais que os países europeus (França, Suécia e Países Baixos) possuam mais artigos publicados – de acordo com as análises deste trabalho – os autores principais são majoritariamente pesquisadores do continente asiático, de países como China (2) e Coreia do Sul (3). Além de também possuírem autores de Marrocos (1) e França (1). Estas informações estão presentes na Figura 4.

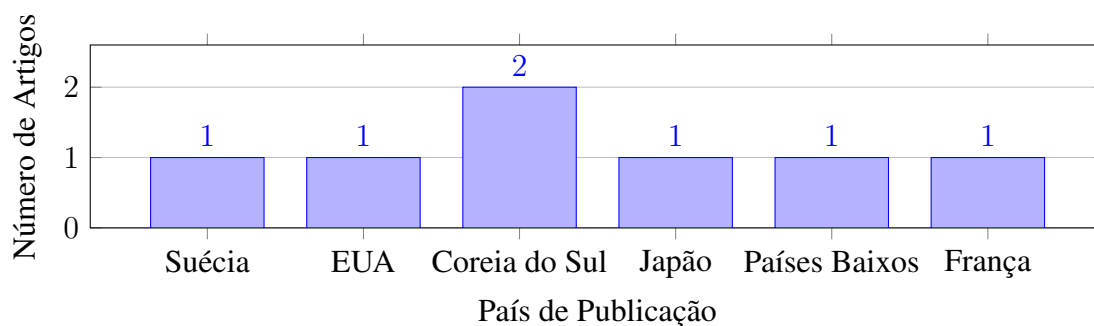


Figura 3. Número de artigos por país de publicação

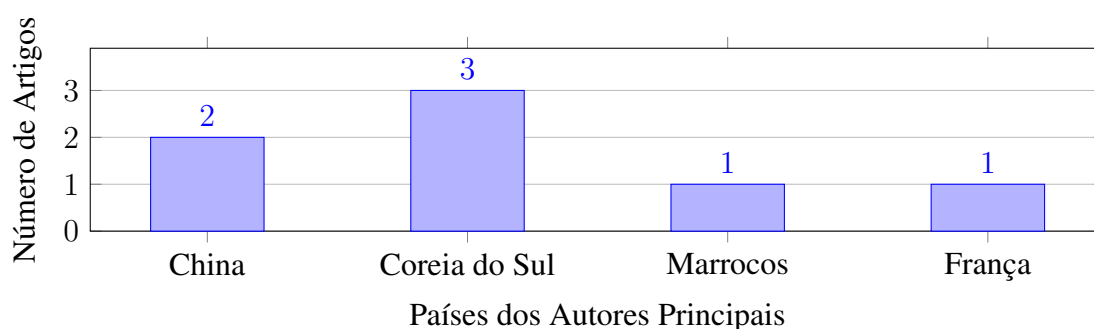


Figura 4. Gráfico de Distribuição de Artigos por Países dos Autores Principais

Por fim, a Figura 5 mostra a distribuição de áreas de estudos pelos artigos analisados neste trabalho. Nota-se a predominância de estudos voltados para o monitoramento em tempo real de redes blockchain, seguido de estudos baseados no método RPC, IoT e armazenamento de dados.

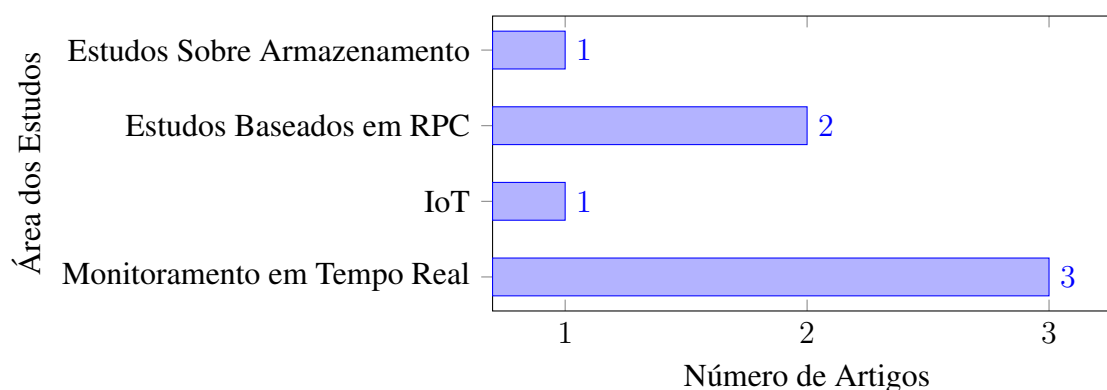


Figura 5. Gráfico de Distribuição de Áreas de Estudos pelo Número de Artigos

3.2. QP1: Quais são os componentes-chave do sistema de monitoramento em uma rede blockchain e como eles estão organizados ou interconectados?

A partir dos estudos analisados [Bang e Choi 2019, Kanga et al. 2020, Fakhri et al. 2021, Ko et al. 2018, Lee et al. 2019, Liu et al. 2022, Zheng et al. 2018], conseguimos definir uma estrutura de monitoramento genérica como mostrado na Figura 6 e trata-se de uma estrutura **centralizada**. Todos os sistemas de monitoramento possuem a divisão nos componentes: **agente de monitoramento** e **servidor de monitoramento**. Esses componentes

de maneira geral podem possuir oito diferentes módulos responsáveis por realizar tarefas como **coleta**, **pré-processamento**, **transmissão**, **recepção**, **enfileiramento**, **análise**, **armazenamento** e **visualização**.

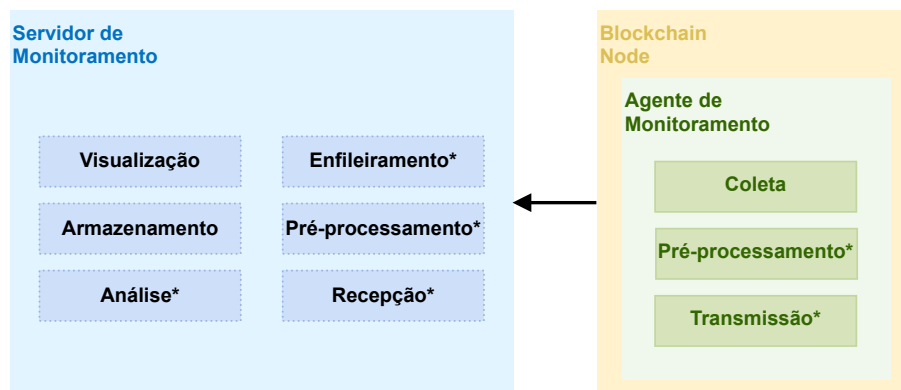


Figura 6. Arquitetura do Sistema de Monitoramento Centralizado.

Algumas dessas funções estão presentes em todos os sistemas de monitoramento, como a coleta, o armazenamento e a visualização; as outras estão presentes em apenas alguns artigos e destacamos isso na Figura 6. Além disso, algumas funções são exclusivas de alguns componentes, como a coleta que é exclusivamente realizada pelo agente de monitoramento, mas existem funções realizadas ora pelo agente de monitoramento, ora pelo servidor de monitoramento, que é caso do pré-processamento, onde em [Zheng et al. 2018] é realizado pelo agente de monitoramento e em [Bang e Choi 2019] é pelo servidor de monitoramento.

3.2.1. Sistema de Monitoramento Centralizado

Na análise dos estudos, as informações captadas pelo sistema de monitoramento são provenientes de agentes de monitoramento implantados nos diversos nós distribuídos pela rede. Estes agentes captam os dados de forma distribuída, pois existe um destes para cada nó individual, contudo, os dados obtidos são transferidos para um servidor de monitoramento responsável por armazenar, analisar e fornecer a visualização ou outra ferramenta de processamento. Dessa forma, ocorre a centralização após a captação dos dados, onde estes são capturados pelos agentes de monitoramento e são unificados em um servidor de monitoramento centralizado.

3.2.2. Agente de Monitoramento

Os agentes de monitoramento são configurados para efetuar diversas tarefas, como a detecção de métricas de sistema, como CPU, memória e tráfego de entrada e saída, como mostrado no estudo [Fakhri et al. 2021]. Entretanto, sua principal tarefa, como foi observado em todos os estudos, é a de coleta de informações e envio dessas para o servidor de monitoramento. Observa-se que os agentes de monitoramento são implantados nos nós (um agente de monitoramento para cada nó). Dessa forma, efetuam a coleta e envio das informações necessárias para o monitoramento. A transmissão e armazenamento desses dados em servidores de monitoramento e bancos de dados são etapas para garantir

a disponibilidade das informações para análise e visualização. Além disso, os estudos [Ko et al. 2018] e [Zheng et al. 2018] possuem agentes semelhantes, pois apresentam os mesmos módulos de coleta e transmissão de dados.

3.2.3. Servidor de Monitoramento

O servidor de monitoramento possui a função de oferecer ferramentas e métodos para analisar os dados coletados pelo agente de monitoramento, a fim de que essas informações tenham um caminho a seguir para serem interpretadas, calculadas e visualizadas pelo usuário que está efetuando o monitoramento.

Existem semelhanças entre as ferramentas de monitoramento presentes nos estudos, porém os estudos [Fakhri et al. 2021] e [Kanga et al. 2020] apresentam exatamente os mesmos componentes em seus respectivos servidores, com ressalvas de que o estudo [Kanga et al. 2020] é um documento teórico e utiliza a literatura para citar os componentes. Já o estudo [Fakhri et al. 2021] implementa os componentes através de ferramentas utilizadas pelos autores, possuindo nomes similares e que fazendo as mesma funções propostas no estudo [Kanga et al. 2020]. Ademais, nestes estudos, nenhum deles não faz referência ao outro em suas bibliografias.

3.2.4. Módulos de Monitoramento

Cada módulo possui uma função específica no processo de monitoramento de blockchain, alguns destes não se fazem presentes em todos os estudos analisados, contudo, cada um destes foi percebido nos artigos explorados nesta revisão.

Coleta: Este módulo é responsável por coletar as informações da rede blockchain onde a ferramenta de coleta está implantada, comumente está presente no agente de monitoramento. Os artigos [Ko et al. 2018] e [Zheng et al. 2018] possuem o mesmo módulo de coleta, isso se dá pelo fato do estudo [Zheng et al. 2018] utilizar o agente de monitoramento elaborado no estudo [Ko et al. 2018], o qual é referenciado em sua bibliografia.

Pré-processamento: Módulo responsável por processar os dados obtidos pelo componente de coleta, a fim de que sejam transformados em informações que possam ser lidas pelos futuros componentes que irão compor o processo de monitoramento. Os estudos [Fakhri et al. 2021] e [Kanga et al. 2020] fazem uso dos mesmos componentes para o processamento de dados, sendo que o estudo [Fakhri et al. 2021] apenas utiliza uma ferramenta com outro nome, mas com o mesmo princípio.

Transmissão: Responsável pela transmissão de dados após o seu processamento, contudo, este módulo é apenas abordado nos estudos [Ko et al. 2018], [Zheng et al. 2018] e [Bang e Choi 2019], sendo que neste último não possui uma definição de sua implementação. Semelhantemente ao módulo de coleta, os estudos [Ko et al. 2018] e [Zheng et al. 2018] também possuem o mesmo módulo de transmissão.

Recepção: Este módulo é responsável por receber as informações coletadas, processadas e transmitidas até ele. Os artigos [Ko et al. 2018] e [Bang e Choi 2019] são os únicos que explicitam este componente, e ambos utilizam interfaces de nós blockchain para esta função.

Enfileiramento: O módulo de enfileiramento é o responsável por obter as informações recebidas pelo módulo de recepção e as organizar para que não sobrecarregue o componente que irá fazer as análises desses dados. Nos artigos analisados, apenas três explicitaram um método de enfileiramento, sendo estes os estudos [Ko et al. 2018], [Bang e Choi 2019] e [Kanga et al. 2020].

Análise: Este módulo é um dos principais componentes de monitoramento, pois ele é responsável por calcular e analisar as informações obtidas, organizadas e transmitidas por todos os módulos anteriores, calculando não apenas informações de transação, bloco, *hash* ou contrato inteligente, como também informações de hardware e rede em alguns casos. Os estudos [Fakhri et al. 2021] e [Zheng et al. 2018] são exemplos de que a coleta de dados da CPU, memória e informação de aplicações estão presentes nos artigos analisados. Além disso, a maioria dos estudos apresentam este componente de análise, o estudo [Ko et al. 2018] não define uma ferramenta específica de análise e o estudo [Zheng et al. 2018] sendo a exceção, não apresenta este componente.

Armazenamento: Também sendo um dos principais módulos de monitoramento, este é responsável por armazenar as informações analisadas pelo componente anterior, a fim de que sejam organizadas em um único lugar, para serem acessadas pelo usuário que solicitará as informações que são monitoradas. Este módulo é apresentado em todos os artigos analisados nesta revisão, sendo que os artigos [Fakhri et al. 2021] e [Kanga et al. 2020] demonstram o mesmo componente para ambos, e os estudos [Ko et al. 2018] e [Bang e Choi 2019] não o especificam a ferramenta.

Visualização: Este módulo é responsável por permitir visualizar os dados calculados e armazenados após todo o processo para efetuar o monitoramento, deste modo, podendo alertar o usuário de possíveis anomalias presentes na rede blockchain. Todos os artigos analisados apresentam este componente, porém, o estudo [Ko et al. 2018] não o define.

Em resumo, a semelhança entre os textos está presente na abordagem geral de monitoramento de redes blockchains, destacando a importância dos agentes de coleta de dados, padronização na coleta de informações, transmissão, armazenamento e visualização dos dados. O conjunto de estudos compartilham a utilização de ferramentas e arquiteturas técnicas específicas para alcançar os objetivos de monitoramento e análise de redes blockchain, arquiteturas essas que também serão abordadas no decorrer deste estudo.

Tabela 2. Ferramentas utilizadas pelos artigos nos módulos de monitoramento.

Artigo	Coleta	Pré-Processamento	Transmissão	Recepção	Enfileiramento	Análise	Armazenamento	Visualização
[Zheng et al. 2018]	Log Parser/Analyzer	Log Parser/Analyzer	-	-	-	Data Collector/Calculator	Banco de Dados	Web Frontier (Angular JS)
[Bang e Choi 2019]	Indefinido	Apache Storm	Indefinido	Node Interface	Apache Kafka	Apache Storm	Indefinido	Web Server
[Ko et al. 2018]	Monitor	Identifier e Classifier	Transmitter	Blockchain Interface	Classifier	Indefinido	Indefinido	Indefinido
[Kanga et al. 2020]	Indefinido	Classifier	-	-	Log Collection	Plataforma de Visualização	Elastic Node Cluster	Plataforma de Visualização
[Fakhri et al. 2021]	Beats	Logstash	-	-	-	ElasticSearch	Banco de Dados ElasticSearch	Kibana
[Lee et al. 2019]	Monitor	-	Transmitter	-	-	-	MySQL	Explorer
[Liu et al. 2022]	cAdvisor	-	-	-	-	Data Parser	TSDB Prometheus	Grafana

3.3. QP2: Quais ferramentas são empregadas na implantação de sistemas de monitoramento, especialmente no contexto de redes blockchain?

Os estudos analisados destacam as ferramentas utilizadas na implementação das estruturas de monitoramento de redes blockchain propostas. A seleção dessas ferramentas é determinada pela arquitetura da estrutura de monitoramento, podendo ser ferramentas disponíveis no mercado ou construídas pelos próprios idealizadores.

A Tabela 2 demonstra todas as ferramentas utilizadas nos estudos analisados por nós. Vale destaque para os módulos de **coleta**, **armazenamento** e **visualização**, as quais se fazem presentes em todos os artigos e, por mais que algumas estejam indefinidas, apresentam ferramentas para todos estes módulos.

3.4. QP3 :Quais são as métricas que o monitoramento em redes blockchain está principalmente preocupado em avaliar, como segurança, desempenho, integridade ou outros?

Na análise dos artigos, foi observado que os estudos apresentam várias semelhanças quando diz respeito às métricas avaliadas por cada uma das estruturas propostas em seus textos.

A Figura 7 demonstra as métricas de avaliação analisadas pelos artigos. Nota-se 3 focados em métricas de legalidade e 2 que se destacam na captação de métricas de desempenho e capacidade; o artigo [Liu et al. 2022] possui um *metric set* próprio chamado 5D-QMF que avalia 5 métricas: segurança, eficiência, estabilidade, interatividade e desempenho; e 1 artigo que não especificou as métricas coletadas.

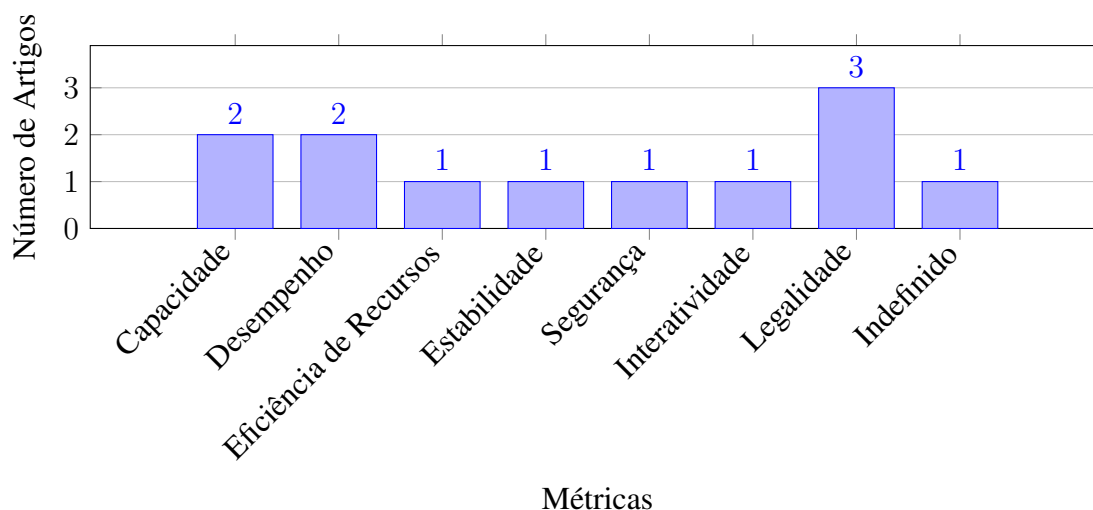


Figura 7. Gráfico das Métricas Utilizadas pelos Artigos

Os estudos [Fakhri et al. 2021] e [Zheng et al. 2018] são os 2 que avaliam apenas métricas de desempenho por parte de suas estruturas. Diferentemente, os estudos [Ko et al. 2018, Bang e Choi 2019, Lee et al. 2019] são os que avaliam a legalidade das transações monitoradas pelos sistemas de monitoramento de blockchain. O estudo [Liu et al. 2022] apresenta o maior conjunto de métricas de avaliação, como mencionado, contudo, a segurança que este estudo avalia é diferente da legalidade monitorada pelos outros artigos mencionados, já que [Liu et al. 2022] se importa mais com a robustez do

sistema de monitoramento contra ataques maliciosos de redes, além disso, possui 2 dimensões que se preocupam com o desempenho e eficiência de recursos computacionais. Já [Kanga et al. 2020] é o artigo que não define suas métricas de avaliação.

3.4.1. Métricas de Avaliação de Legalidade das Transações na Rede:

São utilizadas pelas estruturas de monitoramento de redes blockchain para verificar possíveis transações envolvendo crimes nas redes blockchain públicas e permissionadas.

O artigo [Lee et al. 2019] evidencia uma estrutura de monitoramento, cuja finalidade é detectar transações ilegais (que envolvem lavagem de dinheiro e tráfico de drogas) nas redes blockchain públicas. Para realizar esse procedimento a estrutura de monitoramento utiliza informações como: dados de **bloco** e **transação** de cada nó completo da rede blockchain.

No artigo [Bang e Choi 2019] a finalidade é semelhante ao artigo anterior, onde a estrutura de monitoramento visa detectar transações ilegais por meio da análise forense em redes blockchain públicas e permissionadas. São utilizadas métricas como dados de **bloco**, **transações**, **contratos** e **informações de nós**.

No artigo [Ko et al. 2018] explicita o uso de métricas de avaliação de segurança no âmbito de verificação de transações ilegais, coletando os seguintes dados para a avaliação de segurança: **bloco**, **transações**, **dados de contrato** e **informações do nó**.

3.4.2. Métricas de Avaliação de Desempenho dos Componentes da Rede:

São métricas de avaliação de desempenho das redes blockchain que utilizadas pelas estruturas de monitoramento para obter resultados sobre o desempenho de seus componentes, como o desempenho dos nós completos, desempenho da comunicação entre os nós e do poder computacional da rede no geral.

No artigo [Zheng et al. 2018]. Este estudo propõe uma divisão entre métricas gerais e métricas específicas para desenvolvedores. As métricas gerais são compostas de: **transações por segundo**, **atraso médio de resposta**, **transações por CPU**, **transações por segundo de memória**, **transações por entrada/saida de disco** e **transações por dados de rede**. Já as métricas específicas são compostas por: **taxa de descoberta de pares**, **taxa de resposta RPC**, **taxa de transferência de transações**, **tempo de execução do contrato**, **tempo de atualização do estado** e **tempo de custo de consenso**.

O artigo [Fakhri et al. 2021] propõe a estrutura de monitoramento SpeedChain, que também utiliza métricas de avaliação de desempenho e eficiência para coleta de dados, as métricas observadas por esta estrutura de monitoramento são relacionadas a CPU, taxa de transferência e latência, sendo as métricas destacadas no artigo: **tempo de mineração do bloco**, **tamanho do bloco**, **numero de transação por obstrução**, **tarifas**, **dificuldade de mineração**, **taxa global de hash** e **transações por segundo**.

O artigo [Liu et al. 2022] possui 2 dimensões de métricas que também se preocupam com o desempenho, sendo estas a dimensão de capacidade e a dimensão de eficiência de recursos. Na dimensão de capacidade, o tipo de dado coletado é referente ao desempenho da blockchain para processamento de transações simultâneas, esta dimensão

é composta por duas métricas, são elas: taxa de transferência e confirmação de latência. A dimensão de eficiência de recursos coleta dados referentes a eficiência de recursos computacionais como energia, CPU, memória, disco e rede.

3.4.3. Métrica de Avaliação 5D-QMF (*Quantitative Metric Framework*):

Além das dimensões de capacidade e de eficiências de recursos, o estudo [Liu et al. 2022] também possui as dimensões de segurança, estabilidade e interatividade. A dimensão de segurança é responsável por medir o DP (*Defensive Performance*), a qual é uma métrica desenvolvida pelos autores para avaliar a robustez da rede perante a ataques maliciosos contra a rede. A dimensão de estabilidade refere-se a captação de dados que desafiam a estabilidade das blockchains orientadas a IoT. Por fim, a dimensão de interatividade é referente a preocupação com funcionamento dinâmico da blockchain orientada a IoT, essa dimensão reúne duas métricas: taxa de desempenho de interação para aquisição de dados e taxa de desempenho de interação para criptografia.

Em resumo, foi observado que o desenvolvimento da avaliação dessas métricas de monitoramento de redes blockchain essencialmente se preocupam com a avaliação de **legalidade das transações** e a avaliação de **desempenho** das redes blockchain. Além disso, pode-se afirmar que o estudo [Liu et al. 2022] apresenta pontos em comum com [Fakhri et al. 2021] e [Zheng et al. 2018], visto que possuem métricas de avaliação do desempenho de hardware, software e rede.

3.5. QP4: Quais são as tecnologias ou métodos fundamentais geralmente empregados no processo de monitoramento?

O texto descreve as bases para captação de informações utilizadas para obter informações das redes nas estruturas de monitoramento, identificando dois principais métodos para captação de informação: métodos baseados em logs e métodos baseados em chamadas de procedimento remoto (RPC). A Figura 8 apresenta o gráfico de distribuição dos métodos utilizados por todos os artigos analisados.

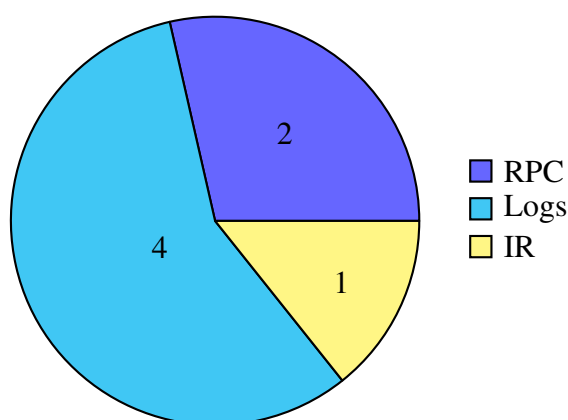


Figura 8. Distribuição dos Métodos Utilizados.

Estruturas de Monitoramento baseadas em Logs: Essas estruturas utilizam logs automáticos gerados por componentes da rede blockchain, como nós. Estudos como

[Zheng et al. 2018], [Bang e Choi 2019], [Kanga et al. 2020] e [Fakhri et al. 2021] empregam essa abordagem.

Estruturas de Monitoramento baseadas em RPC: Essas estruturas usam chamadas de procedimento remoto para obter informações sobre o funcionamento, estado ou componentes específicos da rede blockchain. Estudos como [Ko et al. 2018] e [Lee et al. 2019] empregam esse método, sendo o último uma extensão do primeiro.

Método de *Interaction Requests* (IRs): Este método, exemplificado pelo artigo [Liu et al. 2022], envolve a utilização de solicitações de interação para coletar dados, o que é uma generalização do método RPC. As IRs são divididas em API, RPC (usando JSON-RPC e gRPC) e SDK. Cada plataforma blockchain é monitorada por uma ou mais IRs, independentemente de ser pública ou privada.

As estruturas de monitoramento de rede blockchain apresentam abordagens distintas para captação de dados, como estratégias utilizando logs e RPC (bases de obtenção de informações comumente utilizadas) até bases utilizadas para cenários específicos como as IRs voltada para o cenário específico de aplicação em blockchain orientadas a IoT. Essa diversidade das bases de obtenção de informações ressalta a adaptabilidade das estruturas de monitoramento às necessidades específicas de monitoramento.

3.6. QP5: Quais plataformas blockchain são comumente utilizadas pela rede blockchain na qual o monitoramento está implantado?

Os artigos analisados documentam que as estruturas de monitoramento de blockchains abrangem dois tipos de plataformas: **públicas** e **permissionadas**. Plataformas públicas, utilizadas em [Ko et al. 2018] e [Lee et al. 2019], como **Bitcoin** e **Ethereum**, são descentralizadas e transparentes, permitindo a participação aberta. Já as permissionadas, utilizadas em [Fakhri et al. 2021] e [Liu et al. 2022], como **HyperLedger Fabric** e **Corda**, restringem o acesso a usuários autorizados, proporcionando maior controle e privacidade.

Também monitoradas pelas estruturas de monitoramento, existem **IOTA** presente no artigo [Liu et al. 2022], sendo esta uma plataforma com função de ser um livro distribuído para IoT; e a plataforma **CITA** no estudo [Zheng et al. 2018], a qual é chamada de Cryptape Inter-enterprise Trust Automation e, por sua vez, sendo uma plataforma de kernel blockchain rápido e escalável para empresas.

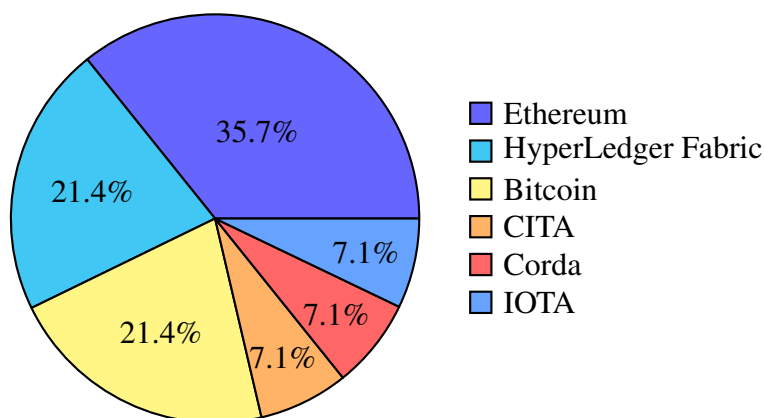


Figura 9. Gráfico de Plataformas mais Utilizadas

Conforme mostrado na Figura 9, identifica-se a Ethereum como a plataforma pública mais monitorada pelos artigos e a HyperLedger Fabric como a plataforma permissionada mais monitorada. Essa variedade de plataformas monitoradas pelas estruturas de monitoramento destaca a adaptação dessas estruturas às diversas necessidades de monitoramento, abrangendo tanto contextos públicos quanto permissionados.

3.7. QP6: Os sistemas de monitoramento das redes blockchain são aplicados a um domínio ou campo específico? Se sim, qual é esse domínio?

Todos os estudos analisados possuem uma aplicabilidade mais geral, todavia, [Liu et al. 2022] possui foco na aplicabilidade do monitoramento de redes blockchain orientadas a IoT (*Internet of Things*).

IoT: O estudo [Liu et al. 2022] menciona que, com o crescimento das aplicações de IoT (*Smart Homes, Smart Factories, etc*), a segurança de dados e confiabilidade dos dispositivos vêm se tornando preocupações relevantes a se ter. Por isso, o uso de blockchain foi usado como alternativa para contribuir com a rastreabilidade dos dados e monitoramento de falhas nessas aplicações. Contudo, o baixo poder computacional dos sistemas IoT limitam essas implantações pelo fato das execuções de blockchain possuírem um alto consumo de recursos e de desempenho. Portanto, observando a falta de ferramentas de análise de blockchain, os autores desenvolveram este estudo voltado ao campo de IoT.

4. Conclusão e Trabalhos Futuros

Neste estudo foi apresentado um levantamento sobre as características e arquitetura das estruturas de monitoramento de redes blockchain. Foram analisadas diferentes estruturas de monitoramento, sendo estas utilizam uma arquitetura de sistema de monitoramento **centralizado**. Foram relatados os componentes fundamentais de uma estrutura de monitoramento (agente e servidor de monitoramento), além de identificar diversas ferramentas e técnicas para efetuar a implantação destas estruturas. Ademais, foram identificadas as métricas analisadas pelos sistemas de monitoramento e as plataformas blockchain comumente utilizadas para aplicação do monitoramento por parte das estruturas documentadas.

Dito isto, as semelhanças presentes em todos os estudos foram identificadas, no intuito de que o desenvolvimento futuro de um sistema de monitoramento blockchain seja facilitado para desenvolvedores e/ou pesquisadores em diversas áreas além do IoT. Além disso, este estudo também pode contribuir para futuras pesquisas envolvendo outras governanças de rede blockchain, como o desenvolvimento de uma estrutura de monitoramento descentralizada, delegada ou federada.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com o apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), da Rede Nacional de Ensino e Pesquisa (RNP) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), por intermédio do projetos No. 2023/00811-0, No. 2020/04031-1, No. 2021/00199-8, e projeto No. 2018/23097-3.

Referências

Bang, J. and Choi, M.-J. (2019). Design and Implementation of Storage System for Real-time Blockchain Network Monitoring System. In *2019 20th Asia-Pacific Network*

- Operations and Management Symposium (APNOMS)*, pages 1–4, Matsue, Japan. IEEE.
- Di Pierro, M. (2017). What is the blockchain? *Computing in Science & Engineering*, 19(5):92–95.
- Fakhri, M., Zegre, B., Omrane, N., and Jaziri, R. (2021). SpeedChain: A framework for Monitoring and Alerting blockchain projects. In *2021 11th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS)*, pages 1–5, Paris, France. IEEE.
- Kanga, D. B., Azzouazi, M., El Ghoumrari, M. Y., and Daif, A. (2020). Management and Monitoring of Blockchain Systems. *Procedia Computer Science*, 177:605–612.
- Ko, K., Lee, C., Jeong, T., and Hong, J. W.-K. (2018). Design of rpc-based blockchain monitoring agent. In *2018 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, pages 1090–1095.
- Lee, C., Kim, H., Maharjan, S., Ko, K., and Hong, J. W.-K. (2019). Blockchain Explorer based on RPC-based Monitoring System. In *2019 IEEE International Conference on Blockchain and Cryptocurrency (ICBC)*, pages 117–119, Seoul, Korea (South). IEEE.
- Liu, Y., Qian, K., Wang, K., and He, L. (2022). BCmaster: A Compatible Framework for Comprehensively Analyzing and Monitoring Blockchain Systems in IoT. *IEEE Internet of Things Journal*, 9(22):22529–22546.
- Petersen, K., Vakkalanka, S., and Kuzniarz, L. (2015). Guidelines for conducting systematic mapping studies in software engineering: An update. *Information and Software Technology*, 64:1–18.
- Sunny, F. A., Hajek, P., Munk, M., Abedin, M. Z., Satu, M. S., Efat, M. I. A., and Islam, M. J. (2022). A systematic review of blockchain applications. *IEEE Access*, 10:59155–59177.
- Zheng, P., Zheng, Z., Luo, X., Chen, X., and Liu, X. (2018). A detailed and real-time performance monitoring framework for blockchain systems. In *Proceedings of the 40th International Conference on Software Engineering: Software Engineering in Practice*, pages 134–143, Gothenburg Sweden. ACM.