

Blockchain na Saúde: Avanços, Desafios e Perspectivas

Blockchain in Healthcare: Advances, Challenges, and Perspectives

Jackson Rodrigues*, Nilson Ribeiro Modro†

RESUMO

Esta revisão faz uma análise de vários artigos relacionados à utilização da tecnologia *Blockchain* no sistema de saúde, e pretende identificar os principais pontos levantados pelos autores dos artigos selecionados, referente às barreiras e aos benefícios que a tecnologia *Blockchain* podem trazer ao ser implementada na gestão dos dados e acessos dos usuários a esses sistemas. A revisão tem como objetivo trazer um panorama geral sobre o tema, e os pontos mais levantados pelos autores.

PALAVRAS-CHAVE: *Blockchain*, Saúde, Revisão Bibliográfica.

ABSTRACT

This review analyzes several articles related to the use of Blockchain technology in the healthcare system, and aims to identify the main points raised by the authors of the selected articles, regarding the barriers and benefits that Blockchain technology can bring by being innovative in the management of user data and access to these systems. The review aims to provide a general overview of the topic, and the points most raised by the authors.

KEYWORDS: *Blockchain, Health, Literature Review.*


1 INTRODUÇÃO

Satoshi Nakamoto é o pseudônimo do criador da tecnologia *Blockchain*, cuja finalidade inicial, ao ser criada em 2008, era permitir a realização de pagamentos em moedas digitais (criptomoedas) entre duas ou mais pessoas, sem intervenção bancária ou governamental, sendo que a *Bitcoin* foi a primeira moeda utilizada. As características diferenciadas e promissoras desta tecnologia fizeram com que seu uso se expandisse para além das criptomoedas, difundindo-se atualmente para diversos segmentos, como logística, seguros, saúde, pagamentos governamentais, eleições e *smart contracts*, com a finalidade de propiciar rapidez, independência e segurança nas transações realizadas por meio de suas redes, sem a intermediação de terceiros como bancos e cartórios. [15]

Na área da saúde, a tecnologia *Blockchain* apresenta-se como uma solução promissora para melhorar a segurança, a privacidade e a interoperabilidade dos sistemas de informação em saúde. A governança dos Prontuários Eletrônicos de Pacientes (PEPs) pode ser significativamente aprimorada com o uso de *Blockchain*, proporcionando maior controle, acesso e compartilhamento seguro dos dados devido à sua estrutura descentralizada de armazenamento e auditoria das redes. Diferente dos sistemas centralizados, onde as informações pessoais dos pacientes estão vulneráveis a acessos indevidos e adulterações, a *Blockchain* oferece uma rede distribuída que garante a inalterabilidade, privacidade e segurança dos dados registrados.

O uso de *Smart contracts*, definidos como programas de computador que interpretam e executam regras predeterminadas, também é uma vantagem significativa da *Blockchain* na saúde. Esses contratos inteligentes são capazes de automatizar processos e garantir que as transações sejam realizadas de forma segura e transparente, proporcionando registros de transações auditáveis e melhorando a eficiência dos sistemas de saúde "Os

*  UDESC, São Bento do Sul, SC, Brasil. ✉ rodriguesjackson928@gmail.com

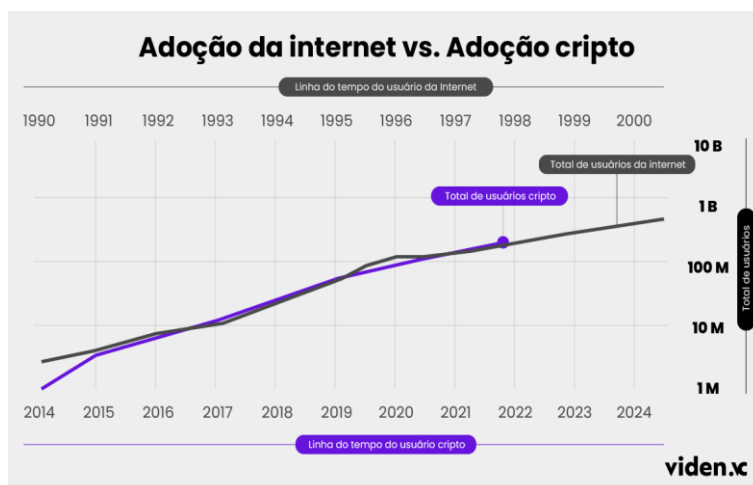
†  UDESC, São Bento do Sul, SC, Brasil. ✉ nilson.modro@udesc.br

smart contracts são capazes de automatizar processos e garantir que as transações sejam realizadas de forma segura e transparente, proporcionando registros de transações auditáveis e melhorando a eficiência dos sistemas de saúde" [2]. Além disso, a utilização de criptografia para proteger os registros armazenados na *Blockchain* é uma prática comum que garante a confidencialidade dos dados, tornando-os acessíveis apenas a partes autorizadas "A utilização de criptografia para proteger os registros armazenados na *Blockchain* é uma prática comum que garante a confidencialidade dos dados, tornando-os acessíveis apenas a partes autorizadas" [1].

A tecnologia *Blockchain* tem o potencial de resolver problemas críticos relacionados à interoperabilidade e à segurança dos dados de saúde. A diversidade de padrões e protocolos utilizados pelas organizações de saúde atualmente acarreta dificuldades para o compartilhamento eficiente de informações sobre os pacientes. A *Blockchain*, com seus padrões abertos e regulamentações baseadas em *Smart contracts*, pode facilitar o compartilhamento de dados dos prontuários entre diferentes organizações de saúde, além de conceder aos pacientes o controle sobre com quais instituições compartilhar seus dados, garantindo privacidade, auditabilidade e confiança " [2].

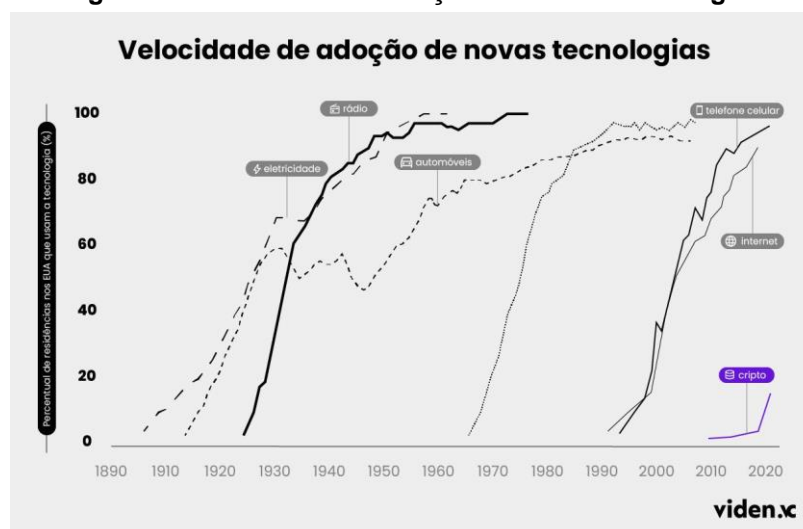
Por fim, a *Blockchain* também pode contribuir para a conformidade com regulamentações como a Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD), que exige que os dados de saúde sejam mantidos sob controle de quem os gerou e que sejam protegidos contra acessos não autorizados e adulterações. A utilização de *Blockchains* privadas e permissionadas, onde a governança é responsabilidade de um consórcio de corpos, é sugerida para a gestão tecnológica dos PEPs, oferecendo maior segurança e controle sobre os dados "A utilização de *Blockchains* privadas e permissionadas, onde a governança é responsabilidade de um consórcio de corpos, é sugerida para a gestão tecnológica dos PEPs, oferecendo maior segurança e controle sobre os dados" [2]. Dessa forma, as tecnologias *Blockchain* e *Smart contracts*, aliadas a repositórios digitais confiáveis, podem contribuir significativamente para proteger os PEPs contra acessos indevidos, adulterações e perdas de dados.

Estudos recentes destacam que a adoção de criptomoedas segue um padrão semelhante ao observado no surgimento da internet, como ilustrado na Figura 1. Além disso, observa-se uma aceleração significativa na taxa de adoção ao longo do tempo, como evidenciado por uma comparação na Figura 2, onde a velocidade de adoção das criptomoedas se assemelha a de outras tecnologias contemporâneas, tais como automóveis, internet, telefone celular, eletricidade e rádio.



Fonte: Adaptado de Morning Jog

Figura 2 – Velocidade de adoção de novas Tecnologias



Fonte: Adaptado de Morning Jog

2 MÉTODO DE PESQUISA

A pesquisa é uma revisão bibliográfica realizada em duas etapas:

- 1) seleção de textos teóricos, com extração de dados e conclusões;
- 2) cruzamento das informações encontradas, interpretação e discussão.

2.1 Questões de pesquisa

A *Blockchain* desperta crescente interesse na área da saúde devido à sua capacidade de promover segurança e transparência nos sistemas de gestão de dados. Esta revisão bibliográfica analisa o potencial impacto da *Blockchain* na saúde, explorando os desafios e benefícios identificados por diversos autores. Em seguida estão as questões das quais foram baseadas para o desenvolvimento da pesquisa bibliográfica.

Q1. Como a tecnologia *Blockchain* pode melhorar a segurança e confidencialidade dos dados de saúde?

Q2. Quais são os principais desafios enfrentados na adoção da *Blockchain* no setor de saúde?

Q3. Como a *Blockchain* pode contribuir para a interoperabilidade e compartilhamento de dados entre diferentes instituições de saúde?

Q4. Quais são os benefícios do controle de acesso na *Blockchain* para a gestão de dados de saúde?

Q5. Quais são as perspectivas futuras para o uso da *Blockchain* na saúde, em termos de segurança de dados, eficiência operacional e empoderamento do paciente?

2.2 Definição da *string* de busca

“*Blockchain* AND saúde”.

2.3 Critérios de Seleção

Para seleção de artigos primários, foi estabelecido um conjunto de critérios de inclusão e exclusão.

Entre os critérios de inclusão dos artigos a serem mapeados estão: artigos publicados até 2021. Para esta revisão, foram consideradas publicações referentes às áreas de *Blockchain* na saúde, não foi estabelecido nenhum critério de linguagem dos artigos, porém todos os artigos encontrados foram da língua portuguesa.

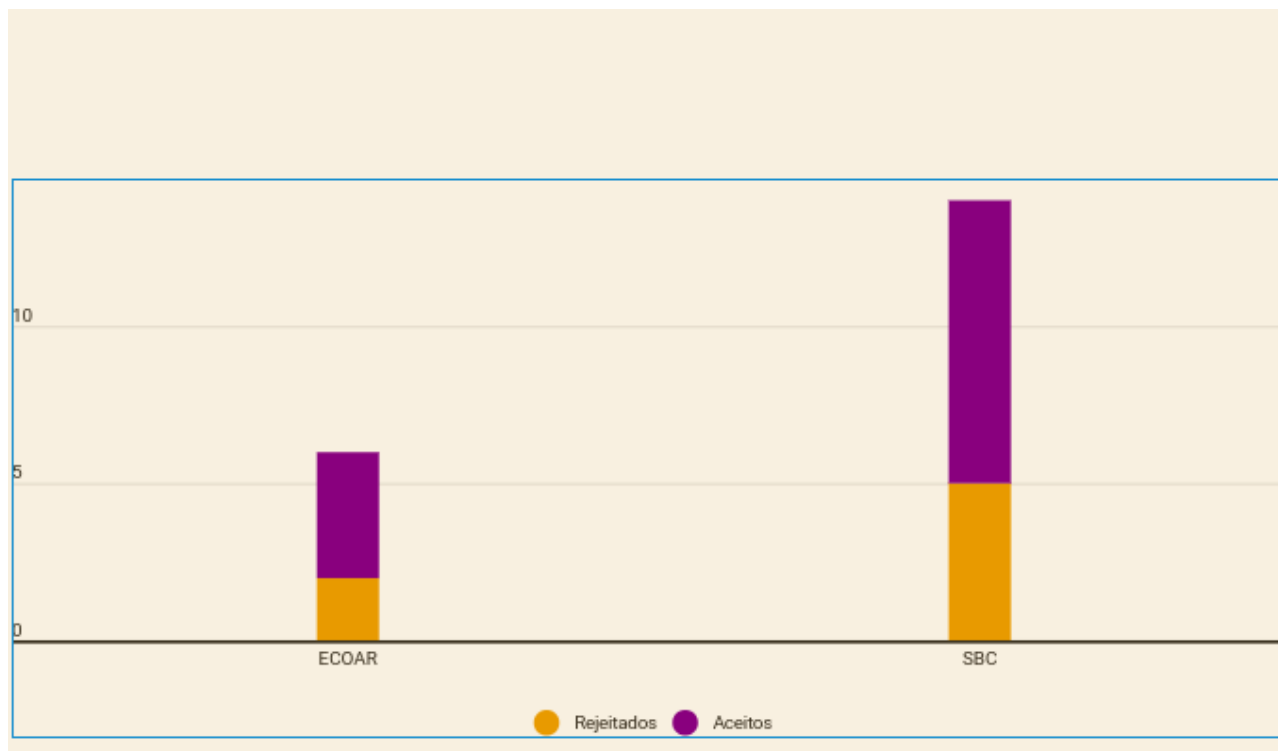
Quanto aos critérios de exclusão, foi realizada a leitura completa de todos os artigos encontrados e posteriormente descartados os artigos que não tinham como foco principal responder a alguma das questões de pesquisa.

2.4 Conduzindo a revisão

Para esta pesquisa foram selecionados dois bancos de dados, que foram escolhidos devido a sua popularidade, os trabalhos aceitos e rejeitados são demonstrados na Figura 9.

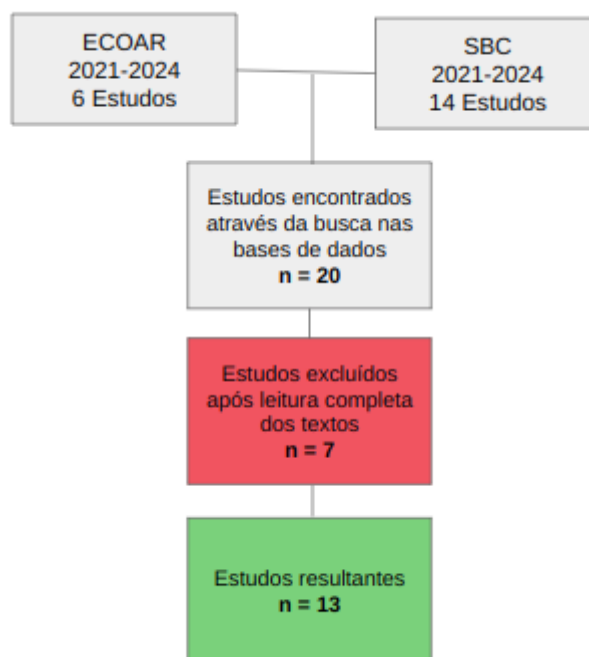
Após definida a *string* de busca e selecionado as bibliotecas, foi definido algumas etapas para filtrar os estudos.

Figura 9. Quantidade de estudos identificados por banco de dados.



Na primeira etapa foi aplicada a *string* de buscas, foram encontrados 20 artigos, em seguida, foram aplicados os critérios de seleção onde resultou em 13 estudos aprovados. Ao analisar os bancos de dados individualmente, foram encontrados os seguintes dados. No total 6 artigos foram selecionados na ECOAR, dos quais 4 foram aceitos e 2 recusados. Já no banco de dados SBC (Sociedade Brasileira de Computação) foram encontrados 14 artigos sobre o tema, 9 foram aceitos e 5 rejeitados. A Figura 10 retrata visualmente esse cenário.

Figura 10. Diagrama de fluxo PRISMA. Para cada dado fonte, é apresentado o número de estudos encontrados, bem como a gama de dados de publicação a partir desses estudos



3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 A Importância e Relevância da *Blockchain* na Saúde

- Segurança e Integridade

A tecnologia *Blockchain* oferece uma solução robusta para a segurança e integridade dos dados na saúde. [2] esclarece: "Essa ferramenta apresenta-se como uma rede distribuída que funciona em blocos, onde as informações registradas são criptografadas, garantindo assim a inalterabilidade, privacidade e segurança". A descentralização das informações dificulta ataques cibernéticos e fraudes, aspectos críticos em ambientes de saúde onde a integridade dos dados é essencial. Além disso, "o uso de criptografia dos registros e políticas de controle de acesso" é sugerido como uma solução para garantir a confidencialidade e integridade dos dados [1].

- Imutabilidade de Dados

A imutabilidade dos dados é um dos principais benefícios da *Blockchain* na saúde. "Registros armazenados na estrutura de dados da *Blockchain* ficam acessíveis a todos os participantes da rede, e a criptografia antes do armazenamento garante sua confidencialidade." [1]. Essa característica é crucial para a confiabilidade dos registros médicos, evitando alterações não autorizadas e garantindo a autenticidade das informações armazenadas.

- Interoperabilidade

A interoperabilidade entre diferentes sistemas de saúde é um desafio significativo que pode ser abordado com *Blockchain*. "A diversidade de padrões e protocolos utilizados pelas organizações de saúde acarretam dificuldades para o compartilhamento de informações sobre os pacientes. No entanto, tais dificuldades podem ser solucionadas por meio da

disponibilização dessas informações em padrões abertos e com regulamentações baseadas na tecnologia *Blockchain*, com a curadoria das regras de negócio executadas pelos *Smart contracts*" [2]. Isso permite um compartilhamento eficiente e seguro dos dados dos pacientes entre diferentes instituições de saúde.

- **Transparência e Auditoria**

A transparência e a capacidade de auditoria são características inerentes da tecnologia *Blockchain*. "Registros de transação auditáveis são proporcionados pelo mecanismo de *Smart contracts*" [1]. Essa capacidade de auditar transações e registros de forma descentralizada aumenta a confiança no sistema, permitindo que todas as partes envolvidas possam verificar a autenticidade e a integridade dos dados.

- **Redução de Custos e Eficiência Operacional**

A *Blockchain* também pode contribuir significativamente para a redução de custos e a melhoria da eficiência operacional na saúde. "*Blockchain* é uma tecnologia disruptiva que oferece recursos para redução de custos e burocracia nos relacionamentos entre organizações, em especial no registro público, auditável e descentralizado de dados" [10]. A eliminação de intermediários e a automatização de processos através de *Smart contracts* podem simplificar as operações e reduzir os custos administrativos.

- **Ética e Privacidade**

A privacidade de dados é um aspecto importante a ser considerado na implementação de *Blockchain* na saúde. "Uma discussão sobre de quem é a posse dos dados, e como eles podem ser utilizados é essencial para o futuro das aplicações de *Blockchain* na saúde" [5]. Este debate tem impacto direto em todas as áreas que utilizam *Blockchain*, especialmente na saúde, onde a proteção dos dados dos pacientes é de extrema importância.

4 DESAFIOS

Os principais desafios levantados pelos autores quanto a adoção da *Blockchain* foram a confidencialidade das informações, escalabilidade e latência.

A escalabilidade das informações é uma questão levantada pelo autor [12], pois transações em *Blockchain* podem ser muito custosas e lentas de acordo com o uso da rede e o tamanho da transação, "[...] depara-se ainda com o desafio de escalabilidade em *Blockchain* para armazenar, por exemplo, um arquivo de mídia". Para mitigar esse problema o autor destaca uma solução onde seria utilizada a *Blockchain* para o gerenciamento das informações, bem como o controle de acessos, porém os dados em si seriam armazenados em estruturas "*Off Chain*", como por exemplo, servidores externos, "Considera-se, portanto, o uso de estratégia *off-chain* para armazenamento de informações brutas em BD terceirizado".

Outro ponto bastante levantado é sobre a confidencialidade das informações, visto que em *Blockchain* públicas os dados nele registrados ficam acessíveis para qualquer pessoa com um dispositivo com acesso a internet, possíveis soluções apresentados pelos autores, além da possibilidade da utilização de *Blockchain* privadas quando possível, é a utilização de algum sistema ou mecanismo que criptografe os dados antes de serem registrados na cadeia, e os descriptografe no momento que algum usuário permitido os queira acessar, conforme destaca [1] "Registros armazenados na estrutura de dados da *Blockchain* também ficam acessíveis a todos os participantes da rede. Isso justifica a

preocupação em definir mecanismos para criptografá-los antes do armazenamento garantindo sua confidencialidade”.

A latência no processamento dos dados também é um problema relevante apresentado, visto que no setor da saúde quanto mais rápido for o tempo de resposta melhor, pois com a economia de alguns segundos pode-se salvar uma vida, conforme destaca o autor [1] “pode prejudicar o processo de assistência integrado ao envolver diferentes provedores de serviços de saúde, já que redes com mais participantes demandam mais tempo para efetivação de transações”. Esse definitivamente é um problema a ser resolvido no sistema de saúde, porém esse problema ocorre até mesmo quando não se utiliza *Blockchain*, conforme destaca o autor. Conforme destacado pelos autores como a interoperabilidade ser uma das dificuldades atuais dos sistemas de saúde, visto que a muita duplicidade de informações, pois diferentes instituições de saúde de diferentes estados ou municípios podem utilizar sistemas diferentes, o uso de *Blockchain* pode ajudar a mitigar esse problema, visto que todas as unidades de saúde poderiam utilizar das mesmas estruturas para registrar e acessar as informações.

5 BENEFÍCIOS

Os principais benefícios apresentados pelos autores quanto ao uso de *Blockchain* em sistemas de saúde são confidencialidade e controle de acessos, segurança e integridade dos dados e interoperabilidade e compartilhamento dos dados.

A confidencialidade dos dados apesar de ser também um ponto crítico no uso de *Blockchain* para a área da saúde, visto que as informações ficam acessíveis na rede para qualquer um com acesso à internet, podem ser mitigadas e torna-se benefícios para o uso das mesmas, como mencionado por um dos autores “Registros armazenados na estrutura de dados da *Blockchain* também ficam acessíveis a todos os participantes da rede. Isso justifica a preocupação em definir mecanismos para criptografá-los antes do armazenamento garantindo sua confidencialidade, [...] Estratégias mencionadas incluem a disponibilização de uma chave compartilhada e configuração de acesso total pelo profissional de saúde” [1]. O autor [9] também destaca que a *Blockchain* “apresenta benefícios intrínsecos como capacidade de auditoria, autenticidade, disponibilidade, não repudiabilidade e integridade das transações”. O autor [5] enfatiza que “a *Blockchain* possui o potencial para compensar a falta de instituições formais eficazes, como regras, leis, regulamentos e sua aplicação. Sendo assim, *Blockchain* afetará positivamente os países em desenvolvimento. Ela pode ajudar a reduzir a fraude e a corrupção.”

Além disso, a “*Blockchain* é uma tecnologia disruptiva que oferece recursos para redução de custos e burocracia nos relacionamentos entre organizações, em especial no registro público, auditável e descentralizado de dados” [10]. Essa característica tem o potencial de transformar a maneira como as organizações interagem e compartilham informações, proporcionando maior eficiência e transparência nos processos.

O controle de acesso é uma faceta crucial em qualquer sistema de gerenciamento de dados, e na área da saúde, onde a confidencialidade e a segurança dos registros são imperativos, torna-se ainda mais essencial. A *Blockchain* oferece uma solução inovadora e robusta para o controle de acesso, fornecendo uma camada adicional de segurança e transparência aos dados sensíveis dos pacientes e dos sistemas de saúde como um todo,

como destaca o autor [2] "A arquitetura da *Blockchain* fornece à governança dos PEPs maior segurança no controle, acesso e compartilhamento de seus dados por possuir uma estrutura descentralizada de armazenamento e auditoria de suas redes.", e o autor [11] "Esta tecnologia demonstra-se pertinente para o contexto de PEP devido à viabilização de partes completamente anônimas no compartilhamento de informações, de forma a garantir a confiabilidade, transparência e privacidade aos dados do paciente."

Um dos principais benefícios do controle de acesso na *Blockchain* é a utilização de *Smart contracts*. Esses contratos inteligentes são programas autoexecutáveis armazenados na *Blockchain*, que definem e automatizam as condições de acesso aos dados. Ao estabelecer regras claras e imutáveis, os *Smart contracts* garantem que apenas as partes autorizadas tenham permissão para visualizar, modificar ou interagir com os registros de saúde.

Além disso, a *Blockchain* se diferencia de bancos de dados tradicionais por sua natureza descentralizada e imutável. Enquanto os bancos de dados tradicionais permitem operações como delete e update, na *Blockchain* essas operações não existem. É possível apenas criar ou transferir um registro, o que garante que uma vez que os dados sejam registrados na *Blockchain*, eles permaneçam lá de forma permanente e não possam ser alterados ou excluídos sem o consenso da rede, conforme destaca o autor [13] "A *Blockchain* se difere de banco de dados tradicionais por [...] não existirem operações como delete e update, sendo possível apenas criar ou transferir um registro".

6 PERSPECTIVAS

Com base nos artigos estudados tem-se algumas perspectivas enxergadas pelos autores para o uso de *Blockchain* na área da saúde nos próximos anos, visto que seu uso pode preencher algumas lacunas em dificuldades e ineficiências existentes no sistema de saúde atual.

- Melhoria da Segurança de Dados:

A *Blockchain* oferece um ambiente altamente seguro para o armazenamento de informações de saúde, graças à sua estrutura descentralizada e à criptografia avançada. Nos próximos anos, espera-se que a adoção generalizada da *Blockchain* ajude a mitigar os riscos de violações de dados e vazamentos de informações pessoais, garantindo assim a privacidade e a confidencialidade dos pacientes, como também destacado pelo autor [3] "Vários casos graves de vazamento de dados ocorreram no SUS nos últimos anos, [...] evidenciando ainda mais a fragilidade do sistema de saúde."

- Aumento da Eficiência Operacional:

Com a *Blockchain*, os processos administrativos e clínicos podem se tornar mais eficientes e transparentes. A tecnologia permite o compartilhamento instantâneo e seguro de dados entre diferentes instituições de saúde, reduzindo a duplicação de esforços, erros e atrasos no atendimento ao paciente. Nos próximos anos, espera-se que a integração de sistemas baseados em *Blockchain* simplifique a coordenação do cuidado, melhorando assim a qualidade dos serviços de saúde, como destacam os autores, "A *Blockchain* vem como mecanismo para adicionar tecnologia e segurança no registro e governança de informações e dados na Indústria 4.0." [2], "A *Blockchain* pode ajudar a resolver a

duplicidade de informações e falta de integração entre os sistemas de diferentes órgãos de saúde." [8]

- Empoderamento do Paciente:

Como mencionam os autores [5][6], a *Blockchain* oferece aos pacientes maior controle sobre seus próprios dados de saúde, permitindo que decidam com quem desejam compartilhá-los e sob quais condições. Nos próximos anos, espera-se que a transparência e a acessibilidade dos registros médicos sejam aprimoradas por meio da *Blockchain*, capacitando os pacientes a tomar decisões informadas sobre sua saúde e tratamento.

7 FRAMEWORKS PARA DESENVOLVIMENTO EM BLOCKCHAIN

O desenvolvimento em *Blockchain* é uma área em constante evolução, que exige ferramentas robustas e confiáveis para a criação de contratos inteligentes e aplicações descentralizadas (dApps). Entre os diversos *frameworks* disponíveis, destacam-se *Truffle*, *Hardhat* e *OpenZeppelin*, especialmente no ecossistema Ethereum. Estes *frameworks* fornecem funcionalidades essenciais que facilitam e agilizam o processo de desenvolvimento, garantindo segurança e eficiência.

- *Truffle*

Truffle é um ambiente de desenvolvimento, estrutura de teste e pipeline de ativos para Ethereum, projetado para simplificar a vida dos desenvolvedores. Ele oferece uma série de funcionalidades que incluem o gerenciamento de contratos inteligentes, integração com bibliotecas populares e suporte para desenvolvimento de *frontend*. *Truffle* permite que os desenvolvedores compilem, implementem e testem seus contratos inteligentes de maneira integrada, otimizando o fluxo de trabalho e minimizando erros. Além disso, *Truffle* possui uma ferramenta de migração que facilita a implantação de contratos inteligentes em diferentes redes Ethereum, tornando-o uma escolha popular entre desenvolvedores que buscam eficiência e robustez em seus projetos [17].

- *Hardhat*

Hardhat é um ambiente de desenvolvimento Ethereum voltado para profissionais. Este *framework* auxilia os desenvolvedores na gestão e automação das tarefas recorrentes envolvidas na construção de contratos inteligentes e dApps, além de incorporar as melhores práticas e ferramentas mais recentes no processo de desenvolvimento. *Hardhat* se destaca por sua capacidade de depuração, permitindo que os desenvolvedores depurem contratos inteligentes de maneira eficiente e intuitiva. Ele também oferece uma interface amigável para a integração de *plugins*, possibilitando a personalização do ambiente de desenvolvimento conforme as necessidades específicas do projeto [18].

- *OpenZeppelin*

OpenZeppelin é uma biblioteca de contratos inteligentes para Ethereum amplamente utilizada por desenvolvedores para garantir a segurança de seus contratos. Ela fornece contratos pré-auditados e reutilizáveis para uma variedade de padrões, incluindo *tokens* e governança. O uso de contratos *OpenZeppelin* ajuda a reduzir os riscos associados ao desenvolvimento de contratos inteligentes, ao mesmo tempo em que economiza tempo e recursos. A biblioteca é constantemente atualizada para incorporar as melhores práticas de segurança, tornando-se uma ferramenta indispensável para qualquer desenvolvedor que busca construir contratos inteligentes seguros e eficientes [19].

Esses *frameworks* não apenas simplificam o desenvolvimento de aplicações na *Blockchain* Ethereum, mas também proporcionam uma base sólida e segura para a criação de soluções inovadoras no espaço *Blockchain*. Cada um deles oferece um conjunto único de funcionalidades que podem ser aproveitadas conforme as necessidades específicas de cada projeto, tornando-os ferramentas essenciais no arsenal de qualquer desenvolvedor de *Blockchain*.

8 TRABALHOS CORRELATOS EM *BLOCKCHAIN* NA SAÚDE

A revisão bibliográfica deste trabalho explora trabalhos correlatos que investigam o uso de *Blockchain* na gestão de dados de saúde. A seleção dos estudos baseia-se na relevância e contribuição para compreender os benefícios, desafios e aplicações práticas dessa tecnologia emergente. Entre os trabalhos revisados, destacam-se os seguintes:

- [1] *Blockchain* na Viabilização de Compartilhamento Seguro de Registros Eletrônicos de Saúde (RES)

Este estudo revisa artigos publicados entre julho de 2018 e julho de 2021, destacando a necessidade de os pacientes serem proprietários de seus próprios dados de saúde. Discute desafios como escalabilidade e latência em redes *Blockchain*.

- [6] Uma Solução para Compartilhamento de Dados de Saúde Baseada em *Blockchain* e IoT para Hospitais Inteligentes

Gomes e Coutinho propõem uma solução que integra *Blockchain* permissionada com Internet das Coisas (IoT) para melhorar a segurança e privacidade dos dados de saúde em ambientes hospitalares. O estudo avalia aspectos como fluxo de dados e latência, demonstrando aplicabilidade prática no monitoramento contínuo de pacientes.

- [11] Prontuário Eletrônico do Paciente Baseado em *Blockchain*: Um Desenho de Pesquisa Sociotécnico

Soares e colaboradores exploram como *Blockchain* pode revolucionar a gestão de informações clínicas, garantindo segurança, privacidade e interoperabilidade entre dados médicos compartilhados.

Estes trabalhos fornecem uma base sólida para entender como a tecnologia *Blockchain* pode ser implementada na saúde, destacando suas potenciais vantagens e desafios a serem enfrentados. A análise crítica desses estudos contribui para fundamentar a pesquisa atual e explorar novas oportunidades na aplicação de *Blockchain* em sistemas de saúde.

9 MODELO DE PRONTUÁRIO ELETRÔNICO BASEADO EM *BLOCKCHAIN*

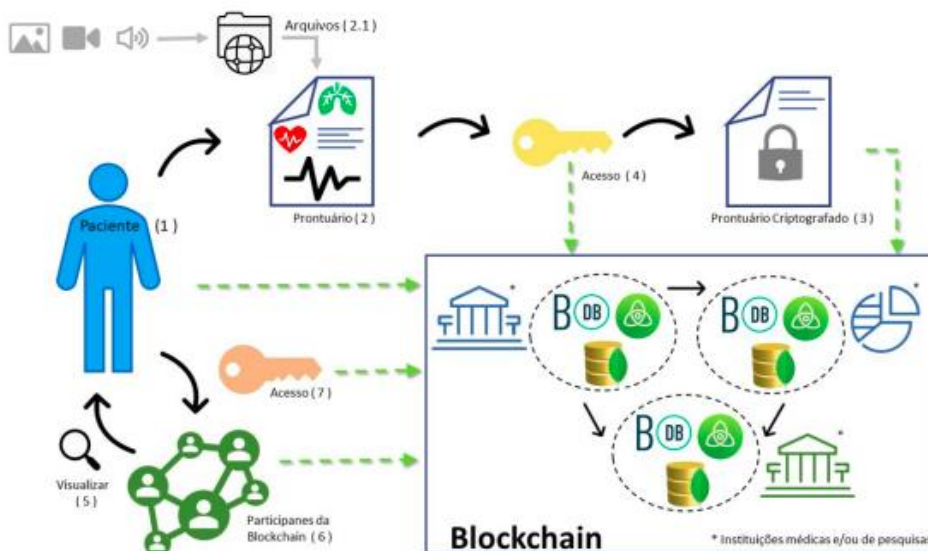
A implementação permitiu a criação de todos os atores de um cenário de prontuários médicos eletrônicos submetidos em uma *Blockchain* permissionada. "A escolha de uma *Blockchain* pública permissionada garante que sejam conhecidos os validadores da rede e que estes tenham total interesse na confiabilidade das informações submetidas." [14]

- Visão Geral do Modelo Desenvolvido

"A Figura 3 mostra uma visão geral do modelo desenvolvido neste trabalho. O processo começa com o paciente e a instituição médica sendo adicionados à *Blockchain*. Uma vez adicionados, eles podem gerar um prontuário. Se houver arquivos adicionais, são inseridos apontamentos desses arquivos no prontuário. O

prontuário é criptografado e armazenado no banco de dados. A chave utilizada na criptografia do prontuário é criptografada de forma assimétrica utilizando as chaves públicas de todos os proprietários do prontuário, criando um ativo de acesso. Caso uma nova instituição solicite a visualização, é necessário criar um novo ativo do tipo acesso." [14]

Figura 3. Visão geral do modelo desenvolvido



Fonte da imagem: adaptadas de Leoratto, 2021

- Integração com Outros Sistemas: API REST

Para uma melhor utilização do modelo desenvolvido e possíveis integrações com outros sistemas, foi criada uma Interface de Programação de Aplicativos (API) do tipo REST. A API REST é uma arquitetura que fornece padrões para comunicação entre sistemas na web, facilitando a interação entre eles. Esta interface é baseada no protocolo HTTP e utiliza quatro comandos principais:

- GET: Retorna um registro específico ou uma coleção.
- POST: Cria um novo registro.
- PUT: Atualiza um registro. Dentro de uma *Blockchain*, não é possível alterar registros, pois isso afeta a característica de imutabilidade.
- DELETE: Remove um registro. Este comando também não pode ser utilizado dentro da *Blockchain* devido à imutabilidade dos registros."

"Foi utilizada a linguagem de programação Python em conjunto com o *framework* Flask para o desenvolvimento. O Flask é um micro *framework* que visa ter funcionalidades simples, mas extensíveis. Uma das extensões disponibilizadas pelo Flask é o Flask-RESTPlus, que permite construir uma API REST e expor sua documentação de forma compreensível." [14]

Figura 4. Lista de Interfaces criadas para interação do modelo desenvolvido

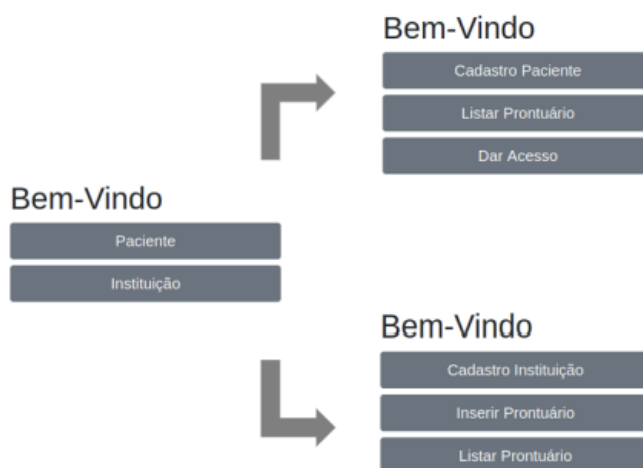
block BlockALL Metodos	
POST	/block/api/instituicao/create Cria Instituição
POST	/block/api/paciente/create Cria Paciente
POST	/block/api/prontuario/access Access Prontuários
POST	/block/api/prontuario/create Cria Prontuário
GET	/block/api/prontuario/list/{id} Lista Prontuários
POST	/block/api/prontuario/view View Prontuários

Fonte da imagem: adaptadas de Leoratto, 2021

- Interação com Usuários: Aplicação Front-End

"Com as interfaces criadas, foi necessário desenvolver uma aplicação para utilizá-las e interagir com os usuários finais. Para a criação da aplicação, foi utilizada a extensão WTForms do Flask. Essa extensão é usada para trabalhar com formulários que podem validar e submeter informações para as interfaces criadas. Primeiramente, foi criada uma tela inicial para diferenciar o perfil do usuário, seja paciente ou instituição." [14]

Figura 5. Tela inicial da aplicação com direcionamento conforme perfil



Fonte da imagem: adaptadas de Leoratto, 2021

"Na criação de um paciente, a aplicação solicita o identificador e o nome do paciente. Após isso, é necessário submeter as informações na *Blockchain*. A Figura 6 apresenta a tela de sucesso na criação do paciente, mostrando o identificador da transação. O paciente deve baixar o arquivo contendo as chaves privadas, que deve ser guardado para futura identificação na *Blockchain*. O processo de cadastro de uma instituição médica ou de pesquisa segue de forma semelhante, também gerando um arquivo com as chaves privadas." [14]

Figura 6. Tela de paciente criado com sucesso

Sucesso

Transação criada:

234d46545060f1d92b0d52fe937d79a07cc32d03abc0ac3c9b804972946ab489

[Download Chaves](#)

[Voltar](#)

Fonte da imagem: adaptadas de Leoratto, 2021

- Cadastro e Gerenciamento de Prontuários

"A opção de inserir um prontuário está disponível apenas no perfil da instituição. A aplicação solicita o identificador da instituição e do paciente para identificar os atores e guardar suas chaves públicas. A Figura 7 demonstra a tela de cadastro do prontuário na estrutura SOAP e um campo de cabeçalho para facilitar visualizações futuras. A instituição deve informar seu arquivo contendo as chaves privadas para validar sua identificação. Após a submissão do prontuário na *Blockchain*, a propriedade é transferida para o paciente e um ativo de acesso é criado." [14]

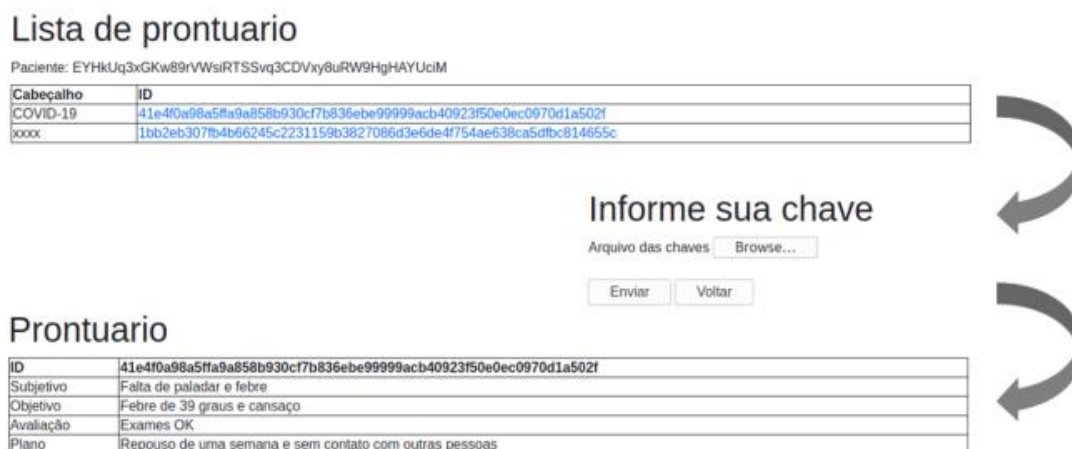
Figura 7. Tela de cadastro de prontuário do paciente com sucesso

The image shows a transition from a registration form to a success screen. On the left, the 'Cadastro Prontuário' form includes fields for 'Cabeçalho' (COVID-19), 'Subjetivo' (Falta de paladar e febre), 'Objetivo' (Febre de 39 graus e cansaço), 'Avaliação' (Exames OK), and 'Plano' (Repouso de uma semana e sem contato com outras pessoas). Below the form is a file upload section for 'Arquivo das chaves' and buttons for 'Criar' and 'Voltar'. An arrow points to the right, where the 'Sucesso' screen displays the 'Prontuario' and 'Acesso' transaction hashes and a 'Voltar' button.

Fonte da imagem: adaptadas de Leoratto, 2021

"Para listar os prontuários de um paciente específico, é utilizada a opção de listar prontuários, disponível tanto para pacientes quanto instituições. A aplicação solicita os identificadores do paciente e da instituição, retornando todos os prontuários do paciente existentes. A Figura 8 mostra a lista de prontuários, exibindo apenas o identificador e o cabeçalho do prontuário. Para visualizar o conteúdo, é necessário ter um ativo de acesso vinculado ao prontuário e fornecer a chave privada." [14]

Figura 8. Tela com a lista e visualização dos prontuários do paciente



Fonte da imagem: adaptadas de Leoratto, 2021

- Gerenciamento de Acesso aos Prontuários

"O paciente pode dar acesso aos prontuários para qualquer instituição médica ou de pesquisa. A aplicação solicita o identificador do paciente e retorna os prontuários existentes, permitindo que o paciente selecione o prontuário para o qual deseja conceder acesso. A aplicação então solicita o identificador da instituição e o arquivo de chave privada do paciente. Se tudo ocorrer com sucesso, um novo ativo de acesso é criado, permitindo que a nova instituição visualize o prontuário do paciente." [14]

10 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão bibliográfica sobre o uso da tecnologia *Blockchain* na área da saúde revela um cenário promissor, embora desafiador. Autores destacaram os benefícios potenciais, como a melhoria da segurança de dados, o aumento da eficiência operacional e o empoderamento do paciente, ao mesmo tempo em que apontaram desafios significativos a serem superados.

Um dos principais desafios identificados é a questão da escalabilidade, confidencialidade e latência. A escalabilidade das transações na *Blockchain* continua sendo uma preocupação, especialmente em setores como a saúde, onde o volume e a velocidade dos dados são críticos. Conforme destacam os autores [12][1], estratégias "off-chain" e mecanismos avançados de criptografia são propostos para mitigar essas preocupações.

A confidencialidade dos dados surge como uma preocupação central, dada a natureza pública de muitas *Blockchains*. Autores como [1][3] propõem o uso de *Blockchains* privadas e robustos mecanismos de criptografia para proteger informações sensíveis.

Além disso, a latência no processamento de dados e a interoperabilidade são desafios relevantes, especialmente no setor da saúde. A *Blockchain* pode oferecer uma solução potencial para melhorar a interoperabilidade, proporcionando uma estrutura comum para o registro e acesso de informações, conforme observado por [2][6].

No entanto, apesar dos desafios, os benefícios potenciais do uso da *Blockchain* na saúde são significativos. A tecnologia oferece maior segurança e integridade dos dados, controle de acessos aprimorado e potencial para transformar os processos administrativos e clínicos, tornando-os mais eficientes e transparentes, conforme destacado por [4][8]. Adicionalmente, a *Blockchain* capacita os pacientes, permitindo-lhes maior controle sobre seus próprios dados de saúde e decisões de tratamento [7][9].

Para concluir, o futuro da aplicação da *Blockchain* na saúde parece promissor, mas requer esforços contínuos para superar os desafios técnicos, garantir a conformidade com regulamentações de privacidade e segurança e promover a adoção generalizada da tecnologia. Investimentos em pesquisa e desenvolvimento, juntamente com parcerias entre instituições de saúde, empresas de tecnologia e reguladores, serão essenciais para realizar o potencial transformador da *Blockchain* na área da saúde.

Os *frameworks* *Truffle*, *Hardhat* e *OpenZeppelin* desempenham papéis essenciais no desenvolvimento de aplicações *Blockchain*, oferecendo não apenas ferramentas poderosas, mas também estabelecendo padrões de segurança e eficiência. O modelo de prontuário eletrônico desenvolvido por Leoratto (2021) exemplifica como a *Blockchain* pode ser aplicada de forma prática e segura na gestão de informações clínicas, integrando-se com sistemas existentes por meio de API REST e aplicativos *frontend*. Essas soluções não apenas melhoram o acesso aos dados médicos, mas também garantem a segurança e privacidade das informações, promovendo avanços significativos na gestão de saúde.

Em resumo, a tecnologia *Blockchain*, impulsionada por *frameworks* avançados e implementações inovadoras como a de Leoratto (2021), está posicionada para transformar profundamente a gestão de dados na saúde, oferecendo soluções seguras, transparentes e eficientes para benefício de pacientes, instituições médicas e pesquisadores.

Agradecimentos

Os autores agradecem a UDESC, aos seus familiares e a DEUS.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

[1] Pimenta, F. U., & Silva, M. A. D. (2021). *Blockchain* na viabilização de compartilhamento seguro dos dados de Registros Eletrônicos de Saúde (RES). *Research, Society and Development*, 10(16), e194101623410. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i16.23410>. ISSN 2525-3409.

[2] Xavier, A. C. C., & Gottschalg-Duque, C. (2021). Prontuário eletrônico do paciente: qual a contribuição da arquivística e do *Smart contracts* para a sua gestão na Era da Saúde 4.0? [Electronic health records: what is the contribution of archivistics and *Smart contracts* for their management during the period of Health 4.0?]. *AtoZ: Novas Práticas em Informação e Conhecimento*, Volume(Issue), Páginas. ISSN: 2237-826X.

[3] Nunes, C., Ma, S., & Teixeira Filho, M. S. (2021). Armazenamento descentralizado no Sistema Único de Saúde brasileiro (SUS) usando InterPlanetary File System (IPFS) e

Blockchain [Decentralized storage in the Brazilian Unified Health System (SUS) using InterPlanetary File System (IPFS) and *Blockchain*]. Revista de Direito de Viçosa, 13(01), ISSN 2527-0389. DOI: doi.org/10.32361/2021130111695.

[4] Camara, M. A. A., Lins, G. H. A., Oliveira, F. H. C., Camelo, E. M. A., & Medeiros, N. R. F. C. de. (2021). Internet das Coisas e *Blockchain* no Sistema Único de Saúde: a proteção dos dados sensíveis diante da Lei Geral de Proteção de Dados [Internet of Things and *Blockchain* used in the Brazilian Unified Health System: how to protect sensitive data considering the imminence of the Data Protection Law].

[5] Coutinho, E. F., Bezerra, W. L. B., & Maia, D. (2021). Uma Análise Inicial sobre a Aplicação de *Blockchain* na Sociedade. Programa de Pós-Graduação em Computação (PCOMP), Universidade Federal do Ceará (UFC) - Campus de Quixadá.

[6] Gomes, A. N., & Coutinho, E. F. (2022). Uma Solução para Compartilhamento de Dados de Saúde Baseada em *Blockchain* Permissionada e Internet das Coisas para Hospitais Inteligentes. Programa de Pós-Graduação em Computação (PCOMP), Universidade Federal do Ceará (UFC) - Quixadá - CE - Brasil.

[7] Mendonça, R. D., Gomes, O. S., Vieira, A. B., & Nacif, J. A. (2021). Tratamento de Concessão e Revogação de Acesso a Registros Eletrônicos de Saúde em *Blockchain*. Instituto de Ciências Exatas e Tecnológicas, Campus UFV-Florestal, Universidade Federal de Viçosa.

[8] Divino, M. A., & Freitas, A. E. (2023). Gerenciamento de Solicitação de Medicamento por Via Judicial com *Blockchain*. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Sistemas e Produtos, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA). Endereço: R. Emídio dos Santos, s/n - Salvador - BA - Brasil.

[9] Soares, P., Araújo, A. A., Saraiva, R., & Souza, J. (2021). Escalabilidade no contexto de Prontuário Eletrônico do Paciente baseado em *Blockchain*: Um Estudo Experimental sobre Armazenamento *Off-chain*. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PPGCC), Universidade Estadual do Ceará (UECE) - Fortaleza, Ceará - Brasil. Grupo de Estudos em Sistemas de Informação e Inovação Digital (GESID), Universidade Federal do Ceará (UFC) - Crateús, Ceará - Brasil.

[10] Dantas, P. H., Gonçalves, G. D., & Vieira, A. B. (2023). B-Drive: em Direção a Redes para Compartilhamento de Registros Médicos Eletrônicos via Tecnologia *Blockchain*. Universidade Federal do Piauí - CSHNB, Universidade Federal de Juiz de Fora - DCC.

[11] Soares, P., Araújo, A. A., Saraiva, R., Santos, R., & Souza, J. (2021). Prontuário Eletrônico do Paciente baseado em *Blockchain*: Um Desenho de Pesquisa Sociotécnico. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PPGCC), Universidade Estadual do Ceará (UECE) - Fortaleza, Ceará - Brasil. Grupo de Estudos em Sistemas de Informação e Inovação Digital (GESID), Universidade Federal do Ceará (UFC) - Crateús, Ceará - Brasil.

[12] Soares, P., Araújo, A. A., Saraiva, R., Souza, J., Sousa, G., & Duarte, L. (2021). Prontuário Eletrônico do Paciente baseado em *Blockchain*: Uma Análise das Potencialidades e Desafios à Luz dos Requisitos da SBIS e LGPD. Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação (PPGCC), Universidade Estadual do Ceará (UECE) - Fortaleza, Ceará -

Brasil. Grupo de Estudos em Sistemas de Informação e Inovação Digital (GESID), Universidade Federal do Ceará (UFC) - Crateús, Ceará - Brasil. Programa de Pós-graduação em Cuidados Clínicos em Enfermagem e Saúde (PPCCLIS), Universidade Estadual do Ceará (UECE) - Fortaleza, Ceará - Brasil.

[13] Klein, A. C. D., Baloneker, C. S., Pelegrino, M. C., & Lazarin, N. M. (2021). Transação segura de informações médicas usando BigchainDB. Bacharelado em Sistemas de Informação - Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (Cefet/RJ) - Nova Friburgo, RJ - Brasil.

[14] Leoratto, Tiago. (2021). "Modelo para Criação de Prontuário Eletrônico de Paciente Baseado em *Blockchain* Integrado a Banco de Dados Orientado a Documentos." Dissertação de mestrado, Centro Universitário Campo Limpo Paulista, Programa de Mestrado em Ciências da Computação, 2021.

[15] SOUZA, Felipe. Quem é Satoshi Nakamoto? Veja teorias sobre sua identidade. InvestNews, 18 de dezembro de 2020. Disponível em: <https://investnews.com.br/perfis/satoshi-nakamoto/>. Acesso em: 06 set. 2024.

[16] MORNING JOG. É muito tarde ou muito cedo para comprar *Bitcoin*? Morning Jog, 12 jun. 2023. Disponível em: <https://www.morningjog.com.br/p/e-muito-tarde-ou-muito-cedo-para>. Acesso em: 10 jun. 2024.

[17] TRUFFLE SUITE. *Truffle*. Disponível em: <https://www.Trufflesuite.com/Truffle>. Acesso em: 29 jun. 2024.

[18] HARDHAT. *Hardhat*. Disponível em: <https://Hardhat.org/>. Acesso em: 29 jun. 2024.

[19] OPENZEPPELIN. *OpenZeppelin*. Disponível em: <https://OpenZeppelin.com/contracts/>. Acesso em: 29 jun. 2024.