



Fundação Universidade Federal do ABC

Pró reitoria de pesquisa

Av. dos Estados, 5001, Santa Terezinha, Santo André/SP, CEP 09210-580

Bloco L, 3ºAndar, Fone (11) 3356-7617

iniciacao@ufabc.edu.br

Projeto de Iniciação Científica submetido para  
avaliação no Edital 04/2022

**Título do projeto:** Análise de arquiteturas baseadas em tecnologias de registros distribuídos para sistemas de informações de saúde.

**Palavras-chave do projeto:** Arquiteturas, Tecnologias de registros distribuídos, Sistemas de informação de Saúde.

**Área de conhecimento do projeto:** Engenharia IV

## Sumário

<b>1 Resumo</b>	<b>2</b>
<b>2 Introdução e objetivos</b>	<b>2</b>
<b>3 Metodologia</b>	<b>6</b>
<b>4 Viabilidade</b>	<b>6</b>
<b>5 Cronograma</b>	<b>6</b>
<b>6 Referências Bibliográficas</b>	<b>7</b>

## 1 Resumo

Em um mundo que está cada vez mais conectado, os dados dos indivíduos continuam majoritariamente sob sistemas de registros centralizados em diferentes organizações, sejam públicas ou privadas. Observando especificamente a área da saúde, além do significativo compartilhamento de dados sensíveis (e.g., diagnósticos, exames, etc.) entre inúmeras unidades de saúde (e.g., clínicas, hospitais, postos de saúde, etc.), os pacientes em si têm pouco ou nenhum controle sobre estes dados. Neste contexto, o presente projeto tem o intuito de analisar arquiteturas baseadas em tecnologias de registros distribuídos (do inglês, *Distributed Ledger Technologies* - DLT) na implementação de sistemas de informação de saúde, considerando os requisitos de eficiência, segurança e escalabilidade. Na primeira parte deste projeto, será realizada uma revisão bibliográfica quanto às possibilidades de DLTs (e.g, Blockchain, DAG e Holochain). Na segunda parte, será feita a proposta de uma nova arquitetura baseada em DLT, bem como realizados testes de avaliação e validação, considerando métodos baseados em medições, modelagem analítica e/ou simulação. Concomitantemente, serão ainda produzidos artigos para publicação em periódicos científicos.

## 2 Introdução e objetivos

A sociedade atual não tem como escapar da intensa coleta de dados, pois vivemos hoje em um mundo quase completamente conectado pela Internet. A chegada de tecnologias, como a 5G (JOÃO PEDRO MALAR, 2021), acelera a transmissão de dados, e o conceito de Internet das Coisas (IoT, do inglês *Internet of Things*) (ORACLE, 2022) se torna cada vez mais ubíquo e pervasivo. Entretanto, a promessa de acesso a uma quantidade descomunal de informação

quase que instantaneamente também leva a questões éticas de segurança, incluindo questões legais de como estes dados são ou podem ser utilizados (MAGRANI, 2019).

Neste cenário disruptivo, a área da saúde se apresenta como um importante material de estudo. Qualquer indivíduo no mundo tem obrigatoriamente algum registro médico, manuscrito ou digital. Idealmente, no ambiente em que exploramos as possibilidades de conexão e soluções IoT, faz-se necessário que estes registros sejam completamente digitais.

Nos Estados Unidos, houve em 2009 um movimento do governo incentivando a troca dos registros físicos por digitais (ROBERT O'HARROW JR, 2009) e, por volta de 2015, mais de 95% dos hospitais estavam com registros *online*. Porém, esses registros *online* estão distribuídos entre diversas empresas que hoje disputam um mercado bilionário. Estas empresas também têm sérios problemas de segurança, com notícias de vazamentos de dados quase que diariamente (HSS, 2022). No Brasil, houve a inauguração da Rede Nacional de Dados em Saúde (RNDS) em 2020, que propõe justamente a integração dos dados no Brasil entre os diversos setores de saúde, pública e privada, em um só lugar (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2022). Todavia, essa plataforma também sofre de problemas de administração e segurança (KEVIN LIMA, 2021).

Mas, mesmo em uma situação hipotética em que estes problemas de segurança fossem extinguidos e as medidas novas de segurança fossem infalíveis, ainda não seria o cenário desejável para o usuário, tendo em vista os fatores de privacidade, transparência e conectividade. No caso dos EUA, as empresas ainda detêm os dados alheios e podem utilizá-los sem conhecimento explícito do usuário. No Brasil, apesar da idealização de uma plataforma integrada, ainda teríamos somente acesso ao que é repassado entre instituições, traduzindo-se em mera visualização e não de real controle.

Nesse contexto de maior autonomia do paciente, a saída para essa problemática, proposta por este projeto, é o uso de uma arquitetura baseada em tecnologias de registros distribuídos (do inglês, *Distributed Ledger Technologies* - DLTs) (FARAHANI et al., 2021; ATLAM et al., 2019). Uma arquitetura baseada em DLT é um sistema digital *peer-to-peer* (P2P), que compartilha e sincroniza seus nós de maneira distribuída. Apesar de diferenças entre as arquiteturas, todas as arquiteturas baseadas em DLTs compartilham de princípios comuns, sendo estes (ITU-T, 2019):

- **Somente recebe adição** - Esta arquitetura tem como preceito só receber a adição de informações, e assim temos um registro completo daquele processo, sendo

altamente custoso e improvável a sobrescrição de registros, tal como também rastreável o histórico do processo.

- **Imutabilidade** – Usa-se criptografia e tem-se a imutabilidade, garantindo que o registro é confiável.
- **Compartilhamento** - Como é uma rede P2P, temos a conexão entre os diferentes nós do sistema, que podem ou não conter todas as informações dos outros nós. Também existe um algoritmo de consenso, garantindo a confiabilidade.
- **Distribuída/Escalonável** - Sua estrutura permite uma escalabilidade considerável.

Ela também tem suas divisões quanto a sua acessibilidade, podendo ser dividida também em três modalidades, a pública, a privada e a híbrida (ITU-T, 2019):

- **Pública** - Qualquer um pode adicionar um nó novo, e não necessita de nenhuma permissão para adicionar algo na base de dados.
- **Privada** - Somente quem tem permissão pode incluir um nó, como também é possível restringir quem pode ler o registro ou emitir/compartilhar informações.
- **Híbrida** - Dessa forma, o desenvolvedor escolhe o que será de domínio público ou privado, mantendo tanto informações livres como privadas.

Como indicado previamente, a DLT tem como forma de validação de registros o emprego de um algoritmo de consenso (ITU-T, 2019). Existem diversos algoritmos de consenso, como o *Proof of Work*, que consiste na resolução de um cálculo computacionalmente custoso. Este algoritmo é notório, pois é a base da famosa criptomoeda Bitcoin. Outro algoritmo de consenso é o *Proof of Stake*, este mais associado com o universo econômico, em que o nó é validado a partir da premissa que se alguém investiu naquele nó, é improvável que este tenha algum objetivo malicioso na rede. Outro algoritmo de consenso é de Tolerância a Falhas Bizantinas (BFT) (CASTRO; LISKOV, 1999). Neste caso, os nós participam através de votações e interações múltiplas, para então decidir sobre a validação de registros (MURATOV et al., 2018; FAN et al., 2021).

Existem diversas arquiteturas baseadas em DLTs atualmente, e algumas já são exploradas de forma experimental para a área de saúde. A DLT Blockchain, por exemplo, é amplamente explorada em aplicações IoT (RODRIGUES, 2021), e a literatura também se aprofunda na área médica (HARDIN et al., 2019; AGUIAR et al., 2021; KHUJAMATOV et

al., 2020; ZAABAR et al., 2021), como também em estudos de caso com o SUS no Brasil (RODRIGUES, 2021). Mas, apesar de ser a opção talvez mais famosa, a Blockchain não é a única disponível.

A Blockchain em específico possui alguns gargalos devido a sua própria estrutura linear, e por isso alternativas são constantemente criadas. Um estilo de construção famoso é a de Grafos Acíclicos Direcionados (DAG), que é a base da tecnologia Tangle e Hashgraph, rivais da Blockchain, que também tem aplicações IoT (SILVANO; MARCELINO, 2020). Outra opção, pode ser a Holochain, que utiliza uma forma de construção mais centrada em agentes/usuários, que também já tem aplicações na área da saúde (HOLOCHAIN, 2022) e estudos publicados sobre eficiência (ZAMAN et al., 2022). A escolha, porém, não precisa ser pautada em somente uma arquitetura. Por exemplo, o SOFIE (LAGUTIN et al., 2019; LAGUTIN, 2020) foi um projeto que teve o objetivo de utilizar conjuntamente múltiplas DLTs. O projeto foi considerado um sucesso, sendo testado em cinco casos pilotos complexos.

Considerando estes pontos, o objetivo específico deste projeto é realizar uma revisão bibliográfica quanto ao estado da arte de tecnologias de registro descentralizadas, focando nas necessidades da área da saúde debatidas ao longo do texto. Além disso, em seguida à revisão, será sumarizada em uma proposta para a área, com uma simulação (ou medição ou modelagem analítica) da arquitetura. Concomitantemente, serão produzidos artigos para publicação em periódicos científicos em todas as etapas do processo.

### 3 Metodologia

A primeira etapa deste projeto consistirá na revisão da literatura sobre a área, seja por meio da leitura de artigos, periódicos, livros e até mesmo fichamentos técnicos, como apresentados pela União Internacional de Telecomunicações (ITU, do inglês *International Telecommunication Union*), agência da ONU especializada em tecnologias de comunicação e informação.

Essa busca bibliográfica será focada no tema de arquitetura de DLTs e suas aplicações em IoT ou cidades inteligentes (do inglês, *Smart Cities*), e utilizará como forma de busca bancos de dados e repositórios online, como [Sciencedirect](#) da Elsevier, [IEEEExplore](#), [Google Scholar](#) etc, através de palavras-chave como: “*Distributed ledger*”; “*Healthcare IoT*”; “*DLT Smart Cities*”; “*DLT Architectures*” .

Para a segunda etapa deste projeto, que consiste na elaboração da arquitetura e simulações (medições ou modelagens analíticas), serão realizadas análises de eficiência, segurança e escalabilidade, através de *softwares*, ferramentas de visualização e cálculos próprios.

## 4 Viabilidade

O orientando já participou de atividades de IC antes e demonstra interesse pela área, além de possuir a capacidade de ler artigos em inglês. O orientador já trabalha com tecnologias Blockchain, Tangle, IoT e DLTs há um longo período, e tem uma linha de pesquisa dentro da área de integração IoT desde 2019.

## 5 Cronograma

	Q3 / 2022	Q1 / 2023	Q2 / 2023
Revisão Bibliográfica	X	X	
Proposta de Arquitetura		X	X
Redação de manuscritos (artigos, relatório final, monografia final)	X	X	X

## 6 Referências Bibliográficas

AGUIAR, Erikson Júlio de; FAIÇAL, Bruno S.; KRISHNAMACHARI, Bhaskar; UEYAMA, Jó. A Survey of Blockchain-Based Strategies for Healthcare. **Acm Computing Surveys**, [S.L.], v. 53, n. 2, p. 1-27, 31 mar. 2021. Association for Computing Machinery (ACM). <http://dx.doi.org/10.1145/3376915>.

ATLAM, Hany F.; WILLS, Gary B.. Intersections between IoT and distributed ledger. **Advances In Computers**, [S.L.], p. 73-113, 2019. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/bs.adcom.2018.12.001>.

CASTRO, Miguel; LISKOV, Barbara. Practical Byzantine Fault Tolerance. In: SYMPOSIUM ON OPERATING SYSTEMS DESIGN AND IMPLEMENTATION, 3., 1999, New Orleans, Usa. **Proceedings [...]**. Cambridge, USA: Usenix, 1999. p. 173-186. Disponível em: <https://pmg.csail.mit.edu/papers/osdi99.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2022.

DMITRIJ LAGUTIN. Sofie Project. **Achievements of the SOFIE project**. 2020. Disponível em: <https://www.sofie-iot.eu/news/achievements-of-the-sofie-project>. Acesso em: 22 jun. 2022.

FAN, Yuqi; WU, Huanyu; PAIK, Hye-Young. DR-BFT: a consensus algorithm for blockchain-based multi-layer data integrity framework in dynamic edge computing system. **Future Generation Computer Systems**, [S.L.], v. 124, p. 33-48, nov. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2021.04.020>.

FARAHANI, Bahar; FIROUZI, Farshad; LUECKING, Markus. The convergence of IoT and distributed ledger technologies (DLT): opportunities, challenges, and solutions. **Journal Of Network And Computer Applications**, [S.L.], v. 177, p. 102936, mar. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jnca.2020.102936>.

HARDIN, Taylor; KOTZ, David. Blockchain in Health Data Systems: a survey. **Sixth International Conference On Internet Of Things: Systems, Management and Security (IOTSMS)**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 490-497, out. 2019. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/iotsms48152.2019.8939174>.

HHS (org.). **Breach Portal: Notice to the Secretary of HHS Breach of Unsecured Protected Health Information**. Disponível em: [https://ocrportal.hhs.gov/ocr/breach/breach\\_report.jsf](https://ocrportal.hhs.gov/ocr/breach/breach_report.jsf) . Acesso em: 22 jun. 2022.

HOLOCHAIN (org.). **Health Commons Connect**. Disponível em: <https://www.holochain.org/projects/>. Acesso em: 22 jun. 2022.

ITU-T. International Telecommunication Union (org.). **Technical Report FG DLT D1.2**: distributed ledger technology overview, concepts, ecosystem. Distributed ledger technology overview, concepts, ecosystem. 2019. Disponível em: <https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/dlt/Documents/d12.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2022.

ITU-T. International Telecommunication Union. **Technical Specification FG DLT D3.1**: distributed ledger technology reference architecture. Distributed ledger technology reference architecture. 2019. Disponível em: <https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/dlt/Documents/d31.pdf> . Acesso em: 22 jun. 2022.

JOÃO PEDRO MALAR. CNN Brasil. **Entenda o que é o 5G e como está sua implementação no Brasil**. 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/entenda-o-que-e-o-5g-e-como-esta-sua-implementacao-no-brasil/> . Acesso em: 22 jun. 2022.

KEVIN LIMA. G1. **Além dos efeitos do ataque hacker, usuários do ConecteSUS sofrem com erros nos cadastros**. 2021. Disponível em: <https://g1.globo.com/saude/noticia/2021/12/11/alem-dos-efeitos-do-ataque-hacker-usuarios-do-conectesus-sofrem-com-erros-nos-cadastros.ghtml> . Acesso em: 22 jun. 2022.

KHUMAMATOV, Khalimjon; REYPAZAROV, Ernazar; AKHMEDOV, Nurshod; KHASANOV, Doston. Blockchain for 5G Healthcare architecture. **2020 International Conference On Information Science And Communications Technologies (Iciset)**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 1-5, 4 nov. 2020. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/iciset50599.2020.9351398>.

LAGUTIN, Dmitriy; BELLESINI, Francesco; BRAGATTO, Tommaso; CAVADENTI, Alessio; CROCE, Vincenzo; KORTESNIEMI, Yki; LELIGOU, Helen C.; OIKONOMIDIS, Yannis; POLYZOS, George C.; RAVEDUTO, Giuseppe. Secure Open Federation of IoT Platforms Through Interledger Technologies - The SOFIE Approach. **2019 European Conference On Networks And Communications (Eucnc)**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 518-522, jun. 2019. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/eucnc.2019.8802017>.

MAGRANI, Eduardo. **Entre dados e robôs: ética e privacidade na era da hiperconectividade**. 2. ed. Porto Alegre: Arquipélago Editorial Ltda., 2019. Disponível em: <http://eduardomagrani.com/wp-content/uploads/2019/07/Entre-dados-e-robo%CC%82s-Pallotti-13062019.pdf> . Acesso em: 22 jun. 2022.

Ministério da Saúde (org.). **Rede Nacional de Dados em Saúde - RNDS**. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/rnd> . Acesso em: 22 jun. 2022.

MURATOV, Fedor; LEBEDEV, Andrei; IUSHKEVICH, Nikolai; NASRULIN, Bulat; TAKEMIYA, Makoto. YAC: bft consensus algorithm for blockchain. **Arxiv**, Soramitsu, Japan, v. 1, n. 1, p. 1-7, set.

2018. ArXiv. <http://dx.doi.org/10.48550/ARXIV.1809.00554>. Disponível em: <https://arxiv.org/pdf/1809.00554.pdf> . Acesso em: 22 jun. 2022.

ORACLE. **O que é IoT?** Disponível em: <https://www.oracle.com/br/internet-of-things/what-is-iot/> . Acesso em: 22 jun. 2022.

ROBERT O'HARROW JR.. Washington Post. **The Machinery Behind Health-Care Reform**. 2009. Disponível em: <https://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2009/05/15/AR2009051503667.html?noredirect=on> . Acesso em: 22 jun. 2022.

RODRIGUES, Carlo Kleber da Silva. Analyzing Blockchain integrated architectures for effective handling of IoT-ecosystem transactions. **Computer Networks**, [S.L.], v. 201, p. 108610, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108610>.

RODRIGUES, Carlo Kleber da Silva. BLOCKCHAIN-BASED PLATFORM FOR MANAGING PATIENTS' DATA IN THE PUBLIC HEALTHCARE SYSTEM OF BRAZIL. **Revista de Sistemas e Computação**, [S.L.], v. 11, n. 3, p. 63-72, 2021. Revista de Sistemas e Computação - RSC. <http://dx.doi.org/10.36558/rsc.v11i3.7541>.

SILVANO, Wellington Fernandes; MARCELINO, Roderval. Iota Tangle: a cryptocurrency to communicate internet-of-things data. **Future Generation Computer Systems**, [S.L.], v. 112, p. 307-319, nov. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2020.05.047>.

ZAABAR, Bessem; CHEIKHROUHOU, Omar; JAMIL, Faisal; AMMI, Meryem; ABID, Mohamed. HealthBlock: a secure blockchain-based healthcare data management system. **Computer Networks**, [S.L.], v. 200, p. 108500, dez. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2021.108500>.

ZAMAN, Shakila; KHANDAKER, Muhammad R. A.; KHAN, Risala T.; TARIQ, Faisal; WONG, Kai-Kit. Thinking Out of the Blocks: holochain for distributed security in iot healthcare. **Ieee Access**, [S.L.], v. 10, p. 37064-37081, 2022. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). <http://dx.doi.org/10.1109/access.2022.3163580>.