



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS DE CRATEÚS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM SISTEMAS DE INFORMAÇÃO

ANTONIO JEFFERSON FERREIRA DE MACEDO

**UMA API BASEADA EM BLOCKCHAIN PARA GARANTIA DA
INTEROPERABILIDADE E TRANSPARÊNCIA DE DADOS NOS PROCESSOS DE
REGISTRO E INSPEÇÃO DE BARRAGENS HÍDRICAS**

CRATEÚS

2022

ANTONIO JEFFERSON FERREIRA DE MACEDO

UMA API BASEADA EM BLOCKCHAIN PARA GARANTIA DA INTEROPERABILIDADE
E TRANSPARÊNCIA DE DADOS NOS PROCESSOS DE REGISTRO E INSPEÇÃO DE
BARRAGENS HÍDRICAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Sistemas de informação
do Campus de Crateús da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Sistemas de informação.

Orientador: Prof. Dr. Allysson Allex de
P. Araújo

Coorientadora: Me. Itamara Mary L. de
M. Taveira

CRATEÚS

2022

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M119a Macedo, Antonio Jefferson Ferreira de.
Uma API Baseada em Blockchain Para Garantia da Interoperabilidade e Transparência de Dados Nos Processos de Registro e Inspeção de Barragens Hídricas / Antonio Jefferson Ferreira de Macedo. – 2022. 75 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Sistemas de Informação, Crateús, 2022.

Orientação: Prof. Dr. Allysson Alex de Paula Araújo.

Coorientação: Profa. Ma. Itamara Mary Leite de Menezes Taveira.

1. Gestão de Barragens Hídricas. 2. Blockchain. 3. Governança. 4. Transparência de Dados. 5. Interoperabilidade de Dados. I. Título.

CDD 005

ANTONIO JEFFERSON FERREIRA DE MACEDO

UMA API BASEADA EM BLOCKCHAIN PARA GARANTIA DA INTEROPERABILIDADE
E TRANSPARÊNCIA DE DADOS NOS PROCESSOS DE REGISTRO E INSPEÇÃO DE
BARRAGENS HÍDRICAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Graduação em Sistemas de informação
do Campus de Crateús da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial à obtenção do
grau de bacharel em Sistemas de informação.

Aprovada em:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Allysson Alex de P. Araújo (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Me. Itamara Mary L. de M. Taveira (Coorientadora)
Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
(COGERH)

Prof. Me. Antonio Emerson Barros Tomaz
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Carla Beatriz Costa de Araújo
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Jeová Deus, pois sem Ele nada seria possível.

Agradeço aos meu pais, Ednaldo e Aparecida Macedo, por todo o suporte que me deram e por nunca me deixar desistir, sempre acreditando em mim e me ajudando a perseverar.

Agradeço ao meu irmão Emerson Macedo e minha tia Luciene Macedo por sempre estarem dispostos a me ajudar quando precisei.

Agradeço a todos que me ajudaram para a conclusão deste trabalho, aos meus amigos e turma que estiveram ao meu lado dando apoio e estudando cooperativamente durante toda a graduação.

Agradeço principalmente ao Programa de Aprendizagem Cooperativa em Células Estudantis (PACCE) por ter estado comigo durante 75% da minha formação e ter me ajuda a desenvolver muitas habilidades sociais e amizades.

Agradeço ao meu orientador Prof. Allysson Alex Araújo por me orientar, por compartilhar de seu conhecimento e pela paciência que demonstrou durante a construção deste trabalho.

Agradeço à minha coorientadora Itamara Taveira por sempre mostrar disposição e compartilhar de seu conhecimento, ajudando na construção deste trabalho.

Agradeço a todos os professores por todos os conhecimentos adquiridos.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para minha formação.

“Não tenha medo, pois estou com você. Não fique ansioso, pois eu sou o seu Deus. Vou fortalecê-lo, sim, vou ajudá-lo. Vou segurá-lo firmemente com a minha mão direita de justiça.(...) Pois eu, Jeová, seu Deus, seguro a sua mão direita; Sou aquele que lhe diz: ‘Não tenha medo. Eu o ajudarei.’” (Isaías 41:10, 13)

(Bíblia Sagrada)

RESUMO

O rompimento de barragens leva a catástrofes sociais, econômicas e ambientais. Para mitigar essa ameaça, a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) foi estabelecida a fim de regulamentar ações de segurança, incluindo requisitos para cadastro de barragens, inspeção técnica e atribuição de responsabilidades. Porém, mesmo com o esforço contínuo de garantir a segurança dos barramentos, existem desafios críticos em relação à interoperabilidade e transparência de dados concernentes aos processos de cadastro e inspeção de barragens. Em algumas regiões do Brasil, parte desses dados ainda são coletados por formulários de papel e os relatórios são apresentados em planilhas, por exemplo. Diante de tais particularidades, a tecnologia *blockchain* demonstra-se especialmente pertinente devido a sua capacidade de registrar eventos digitais de forma imutável, transparente e resiliente. Portanto, respaldada numa estratégia multimétodo baseada em *Design Science Research* visando explorar uma perspectiva sociotécnica, este trabalho tem como objetivo contornar os desafios da interoperabilidade e transparência de dados no contexto de cadastro e inspeção de barragens hídricas no Brasil através do desenvolvimento de uma Interface de Programação de Aplicação (API) baseada em *blockchain*. Para avaliação, foi realizado um experimento computacional com foco na análise de desempenho abrangendo diferentes cenários. Os resultados obtidos utilizando as métricas de tempo da amostra, vazão e tempo de latência mostraram a viabilidade do artefato em termos de desempenho computacional, apresentando comportamento exequível. Finalmente, tem-se como contribuição uma API inédita baseada em *blockchain* para cadastro e inspeção de barragens hídricas alinhada com a legislação no Brasil. Esta API leva a uma rica oportunidade para o avanço do conhecimento na interseção entre as áreas de Sistemas de Informação e Gestão de Barragens de um ponto de vista sociotécnico, que se mostra bastante escasso na literatura.

Palavras-chave: Gestão de Barragens Hídricas. *Blockchain*. Governança. Transparência de Dados. Interoperabilidade de Dados. *Hyperledger*.

ABSTRACT

The rupture of water dams leads to social, economic, and environmental catastrophes. To mitigate this threat, the Brazilian National Dam Safety Policy was designed to regulate safety actions, including requirements for dam registration, technical inspection, and accountability. However, even with the continuous effort to guarantee the safety of water dams, there are critical issues regarding data interoperability and transparency concerning dam registration and inspection processes. In regions of Brazil, part of this data is still collected on paper forms and reports are available as spreadsheets, for example. Faced with such peculiarities, blockchain technology has proved especially relevant due to its property of recording digital events in an immutable, transparent, and resilient way. Supported by a multimethod strategy based on Design Science Research to explore a sociotechnical perspective, this work aims to overcome the challenges of interoperability and transparency of data in the context of registration and inspection of water dams in Brazil through the development of a blockchain-based Application Programming Interface (API). Regarding the evaluation, a computational experiment was carried out focusing on performance analysis covering different scenarios. Average results of elapsed time, throughput, and latency time metrics showed the viability of the artifact in terms of computational performance, obtaining a feasible behavior. As contribution, it is discussed a novel blockchain-based API for water dam registration and inspection in line with Brazilian legislation. This API drives to a rich opportunity for advancing knowledge at the intersection between Information Systems and Dam Management fields from a sociotechnical point of view, which is quite scarce in the literature.

Keywords: Water Dam Management. Blockchain. Governance. Data Transparency. Data Interoperability. Hyperledger.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Estrutura brasileira de gestão para segurança de barragens.	20
Figura 2 – Dados solicitados em formulário para cadastro de barragens hídricas.	21
Figura 3 – Como funciona a tecnologia <i>Blockchain</i>	25
Figura 4 – Visão geral da proposta do Procedimentos Metodológicos.	34
Figura 5 – Passos para cadastro e inspeção de segurança regular de barragens hídricas.	40
Figura 6 – Visão do ativo <i>DamRecord</i> em relação ao <i>blockchain</i>	45
Figura 7 – Visão Geral da Arquitetura.	46
Figura 8 – Exemplo de configuração de rede <i>Fabric</i>	47
Figura 9 – Fluxo de criação do bloco de gênese.	48
Figura 10 – Implementação da função de registro de usuários.	49
Figura 11 – Implementação da função <i>InvokeTransaction</i>	50
Figura 12 – Implementação da função <i>QueryDam</i>	50
Figura 13 – Implementação do ativo <i>DamRecord</i>	51
Figura 14 – Implementação da função de registro.	52
Figura 15 – Implementação da função de leitura.	53
Figura 16 – Definição de tempo de inicialização no <i>JMeter</i>	55
Figura 17 – Médias de tempo das amostras (ms) utilizando <i>POST</i>	57
Figura 18 – Médias de tempo das amostras (ms) utilizando <i>GET</i>	58
Figura 19 – Média de vazão (tps) utilizando <i>POST</i>	59
Figura 20 – Médias de vazão (tps) utilizando requisição <i>GET</i>	60
Figura 21 – Médias de tempo de latência (ms) utilizando <i>POST</i>	61
Figura 22 – Médias de tempo de latência (ms) utilizando <i>GET</i>	62

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Periodicidade de inspeções de segurança regulares em barragens hídricas. . .	22
Quadro 2 – Referente às colunas situação, magnitude e nível de perigo.	23
Quadro 3 – Requisições da API.	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANM	Agência Nacional de Mineração
API	<i>Application Programming Interface</i>
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
DSR	<i>Design Science Research</i>
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ISR	Inspeção de Segurança Regular
JWT	JSON Web Token
MI	Ministério da Integração Nacional
MSP	<i>Membership Service Provider</i>
MVP	<i>Minimum Viable Product</i>
NP	Nível de Perigo
NPB	Nível de Perigo da Barragem
P2P	<i>Peer-to-peer</i>
PAE	Plano de Ação de Emergência
PNSB	Política Nacional de Segurança de Barragens
PSB	Plano de Segurança da Barragem
RIE	Registro de Identificação do Empreendedor
RSB	Relatório de Segurança de Barragens
SNISB	Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens
SRH	Secretaria dos Recursos Hídricos
VM	Máquina Virtual

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Justificativa	14
1.2	Objetivos	16
1.3	Estrutura do Trabalho	16
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	Cadastro e Inspeção de Barragens Hídricas	18
2.2	<i>Blockchain</i>	24
2.3	Governo Digital através de APIs	27
3	TRABALHOS RELACIONADOS	30
3.1	Transformação Digital na Gestão de Barragens	30
3.2	Inspeção e Transparência de Dados Baseada em <i>Blockchain</i>	31
3.3	Síntese Comparativa	32
4	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	34
5	CONSCIENTIZAÇÃO DO PROBLEMA	37
5.1	Validação do Problema	37
5.2	<i>Workflows</i> de Cadastro e Inspeção de Barragens	39
6	ARTEFATO PROPOSTO	42
6.1	Identificação de Papéis	42
6.2	Ativo de Armazenamento	44
6.3	Arquitetura de Software e Implementação	46
7	ESTUDO EMPÍRICO	54
7.1	Configuração do Experimento Computacional	54
7.2	Resultados e Análises	56
7.2.1	<i>Tempo da amostra</i>	56
7.2.2	<i>Vazão</i>	58
7.2.3	<i>Tempo de latência</i>	61
8	AMEAÇAS À VALIDADE	63
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
	REFERÊNCIAS	67
	APÊNDICES	74

APÊNDICE A	–	Questionário sobre processo de cadastro de barragens . .	74
-------------------	----------	---	-----------

1 INTRODUÇÃO

As barragens possuem um papel fundamental para o desenvolvimento da sociedade, uma vez que, por meio destas, ocorrem atividades como o abastecimento de água potável, controle de enchentes, irrigação e hidroeletricidade (COELHO, 2017). A construção de barramentos para armazenamento de água é realizada desde as civilizações antigas e, junto ao desenvolvimento da sociedade moderna, novas formas de construção foram surgindo. Com o passar do tempo, essas construções acarretaram melhorias para a população que, por sua vez, cobraram como preço a alteração do meio ambiente e os efeitos disso (AZEEZ *et al.*, 2018).

Mediante o fato de que não se pode extinguir o risco de acidentes ou incidentes em um barramento, pois toda e qualquer construção passará pelo processo de envelhecimento e danificação, a inovação e adoção de Sistemas de Informação para fortalecer a segurança de barragens revela-se uma pauta deveras importante (ZUFFO *et al.*, 2005). Nesse sentido, a adesão de novas tecnologias construtivas, informações hidrológicas e o crescimento populacional nas proximidades das barragens revelam-se como fatores cruciais para o estabelecimento de legislação com objetivo de aumentar e melhorar a avaliação da segurança deste tipo de obras (ALMEIDA, 1998).

A Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, mais tarde alterada com a publicação da Lei nº 14.066/2020, foi sancionada no Brasil com o propósito de estabelecer uma Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) para regulamentação e padronização de ações de segurança durante toda a vida útil de um barramento. A PNSB impõe aos responsáveis legais, o cadastro e fiscalização de seus empreendimentos como meio de garantir a segurança e controle dos potenciais efeitos sociais e ambientais (BRASIL, 2020). Sendo assim, com a instituição dessa legislação, busca-se garantir um maior controle dos padrões mínimos de segurança em busca da redução da ocorrência de acidentes e as consequências dos mesmos (ANA, 2011a).

Uma importante forma de garantir o controle e manutenção dos barramentos é através do Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB). Em tal sistema são registradas todas as informações cadastrais de barragens regularizadas conforme a legislação (BRASIL, 2010). Assim, cada registro de barramento contém um Plano de Segurança da Barragem (PSB) em complemento à documentação referente às inspeções que, segundo a Lei nº 14.066/2020, devem ser realizadas constantemente para fins de mitigação de riscos de rompimento e outros possíveis desastres (ANA, 2016).

1.1 Justificativa

A Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) divulgou dados alarmantes no Relatório de Segurança de Barragens (RSB) referente a 2019, indicando que 156 barragens de 22 estados brasileiros estão em situação vulnerável, tendo ocorrido 12 acidentes e 58 incidentes com barragens em 15 diferentes estados, sendo a maior identificação de acidentes e incidentes (ANA, 2020). Agravando tal situação, das 19.388 barragens cadastradas no SNISB durante o ano de 2019, apenas cerca de 11% foram vistoriadas (ANA, 2020).

Atualmente, o Brasil apresenta uma estrutura de gestão para segurança de barragens onde são atribuídos o cadastro e a inspeção dos barramentos aos seus donos e designados órgãos federais e estaduais com responsabilidades de fiscalização (ANA, 2019). Em complemento, tem-se percebido uma evolução constante quanto à consolidação de iniciativas de transformação digital na Administração Pública (VIANA, 2021), incluindo parcerias com *GovTechs* e avanço do governo digital.

Todavia, ainda que se perceba um esforço contínuo na garantia da segurança das barragens, constata-se uma problemática quanto à fragilidade nas medidas de controle adotadas concernentes à gestão de riscos e prevenção de fraudes na gestão de barragens, incluindo a garantia de transparência e interoperabilidade de dados entre os diferentes atores. Após uma série de acidentes ocorridos ao longo dos últimos anos, alguns órgãos responsáveis pela fiscalização de barragens têm sido considerados expostos à fraudes (CPI, 2019).

Essa fragilidade previamente exposta potencializa os riscos de rompimento, comprometendo a transparência dos dados e contribuindo para a ocorrência de novos desastres em decorrência da fragilização nas ações de fiscalização. Na presente data, por exemplo, o Relatório de Segurança de Barragens oriundo do SNISB está sob a forma de planilha e arquivos em PDF o que, por sua vez, impacta no consumo programático dos referidos dados por parte das partes interessadas.

Logo, identifica-se uma urgência quanto ao desenvolvimento de soluções que venham fortalecer a transparência e confiabilidade dos dados técnicos de cadastro e inspeção de segurança dos barramentos visando fortalecer as ações de fiscalização ao longo da vida útil de um barramento. Conforme destacado em (CPI, 2019) “avalia-se que os dados da instrumentação de monitoramento das barragens devem ser repassados sem interferências ao órgão fiscalizador e, preferencialmente, em tempo real, a fim de dar maior transparência, eficácia e efetividade aos bens tutelados da coletividade, entre eles o direito à vida, ao patrimônio e ao meio ambiente”.

Diante dos requisitos e motivação previamente contextualizada, a tecnologia *blockchain* demonstra-se promissora devido sua capacidade única de registro imutável de eventos digitais de forma transparente, segura e resiliente (BECK *et al.*, 2017). Combinando uma série de recursos tecnológicos como a criptografia e a tecnologia ponto-a-ponto (em inglês, *peer-to-peer* ou P2P), a *blockchain* utiliza-se de um mecanismo de consenso entre as entidades conectadas em rede para chegar a um acordo sobre uma versão única e imutável de dados, evitando, assim manipulação e fraudes após o registro dos mesmos (PIERRO, 2017).

Dessa forma, a adoção de *blockchain* vem se mostrando especialmente relevante como uma tecnologia para provimento de transparência de dados em diferentes áreas como, por exemplo, gestão de cadeia de suprimentos (TOYODA *et al.*, 2017), indústria de conteúdos (DIB, 2019; GOMES; TOMEIX, 2019) e saúde (JUNQUEIRA, 2020).

Assim como a *blockchain*, a adoção de Interfaces de Programação de Aplicações (em inglês, *Application Programming Interface* ou API) tem conquistado bastante espaço na indústria de software e também se caracteriza pela confiança como sendo um elemento-chave na interação entre diferentes aplicações (OFOEDA *et al.*, 2019). Logo, ao usufruir de ambas tecnologias, torna-se possível o desenvolvimento de uma API baseada em *blockchain*, cuja lógica de negócio e obrigações a serem cumpridas ficam descritas em contratos inteligentes, enquanto todo o processo de comunicação, interoperabilidade e acesso aos serviços fica estabelecido via API. Com tal tipo de solução, portanto, facilita-se a interoperabilidade e consumo dos dados confiáveis entre diferentes entidades.

Portanto, esta pesquisa faz uso de um enquadramento multimétodo e sociotécnico com escopo de avaliação quali-quantitativo orientado em *Design Science Research* (DSR) (KUECHLER; VAISHNAVI, 2004), para avaliar a proposta de solução quanto ao desempenho obtido a partir de um experimento computacional.

Em termos de contribuição, tem-se, de forma inédita, a proposição e avaliação de uma API pública baseada em *blockchain* para suporte ao cadastro e inspeção de barragens hídricas alinhado ao arcabouço regimental brasileiro. Tal contribuição, inclusive, dialoga com os desafios de transparência e interoperabilidade de dados destacados por Araújo e Suzana (2017) no *Grand Research Challenges in Information Systems in Brazil 2016-2026*.

1.2 Objetivos

Este trabalho objetiva contornar os desafios da interoperabilidade e transparência de dados no contexto de cadastro e inspeção de barragens hídricas no Brasil através do desenvolvimento de uma API baseada em *blockchain*.

Em relação aos objetivos específicos, pretende-se:

- Compreender como ocorrem os processos de cadastro e inspeção de barragens à luz do regimento brasileiro, assim como mapear as entidades que os compõem;
- Conduzir uma validação do problema com profissionais da área de barragens hídricas para fins de redução de incertezas e riscos quanto ao desenvolvimento da pesquisa;
- Propor um modelo arquitetural para uma API baseada em *blockchain* aderente aos processos de cadastro e inspeção de barragens sob o contexto brasileiro;
- Realizar um estudo empírico da solução sob um ponto de vista técnico quanto ao desempenho computacional visando prover uma análise de viabilidade inicial.

1.3 Estrutura do Trabalho

O restante desta pesquisa está estruturado da seguinte forma:

- **Capítulo 2 – Fundamentação Teórica:** Com objetivo de abordar os principais conceitos que compõem as áreas de estudo deste trabalho, são desenvolvidas as seções conceituais sobre: Cadastro e Inspeção de Barragens Hídricas, *Blockchain* e Governo Digital através de APIs;
- **Capítulo 3 – Trabalhos Relacionados:** Com intenção de discorrer sobre os principais trabalhos utilizados para a construção do presente trabalho;
- **Capítulo 4 – Procedimentos Metodológicos:** Com o propósito de detalhar a metodologia empregada nesta pesquisa;
- **Capítulo 5 – Conscientização do Problema:** Tem por objetivo descrever o processo de Conscientização do Problema que levou à construção da Proposta;
- **Capítulo 6 – Artefato Proposto:** Com a finalidade de descrever a formulação e construção do artefato proposto neste trabalho;
- **Capítulo 7 – Estudo Empírico:** Tem como intuito apresentar o experimento computacional e, em seguida, discute-se os resultados e análises acerca da avaliação da solução proposta;

- **Capítulo 8 – Ameaças à Validade:** Com o fim de discutir acerca das potenciais ameaças que podem afetar a validade deste trabalho;
- **Capítulo 9 – Conclusão:** A fim de apresentar as contribuições e trabalhos futuros desta pesquisa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este Capítulo apresenta os conceitos e definições fundamentais inerentes ao desenvolvimento deste trabalho. Primeiramente, na Seção 2.1, são expostas as diretrizes regulamentárias em relação ao cadastro e inspeção de barragens, tendo como foco as barragens hídricas, ou seja, barragens de acumulação de água. A Seção 2.2 concentra-se nos princípios da tecnologia *Blockchain*. Já a Seção 2.3 apresenta o Governo Digital através de APIs.

2.1 Cadastro e Inspeção de Barragens Hídricas

Segundo a Portaria Nº 2747 da Secretaria dos Recursos Hídricos (SRH) do Estado do Ceará, pode-se entender por barragem “qualquer obstrução em um curso permanente ou temporário de água para fins de retenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquido e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas” (CEARÁ, 2017).

As barragens possuem grande relevância para a humanidade, devido ao seu potencial de gerar um maior abastecimento hídrico às pessoas e minimizar o risco de inundações, sendo essencial em meio à seca que aflige determinadas regiões, além de possibilitar a expansão de energia hidrelétrica e fomentar a agricultura irrigada (SILVA; FILHO, 2013).

A região semiárida brasileira, por exemplo, apresenta grande variabilidade espaço-temporal das precipitações, além da ocorrência, de forma predominante, de um déficit hídrico, devido, dentre outros fatores, às altas temperaturas da região. Dessa forma, por estar sujeito à estiagem durante a maior parte do ano, estabeleceu-se uma cultura de construção de reservatórios superficiais como forma de transportar água no tempo e garantir o abastecimento da população (CABRAL *et al.*, 2016).

Para Zuffo e Genovez (2009), uma barragem é segura quando há garantia do seu funcionamento, com realização periódica de manutenções apenas preventivas, sendo necessário para isso que exista equilíbrio entre o projeto, sua execução e manutenção. No entanto, mesmo uma barragem segura, com o tempo envelhece e se torna passível de sofrer com reduções de resistência da estrutura, interferências do ambiente em sua volta, sejam construções, mudanças climáticas ou hidrológicas, e isso pode levar a uma inadequação do barramento, tornando-o propenso a transbordar ou romper (ANA, 2010).

Tais problemas são identificados como anomalias, que, de acordo com a Resolução ANA 742/2011, podem ser compreendidas como “qualquer deficiência, irregularidade, anor-

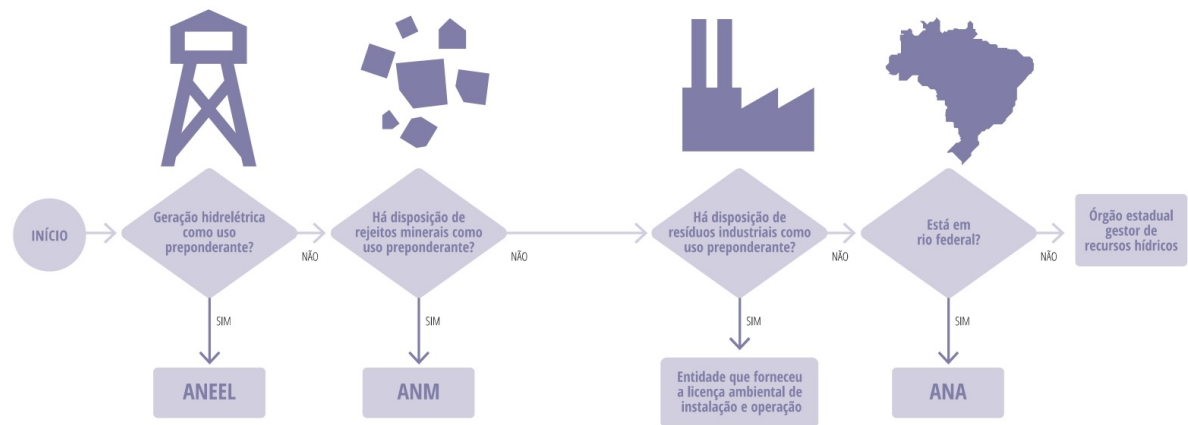
malidade ou deformação que possa vir a afetar a segurança da barragem, tanto a curto como a longo prazo” (ANA, 2011b). Estas anomalias podem afetar a integridade estrutural e operacional da barragem e, por consequência, causar danos econômicos, ambientais e sociais devido ao rompimento da estrutura. Para garantir as condições necessárias que possam precaver a sociedade de danos associados às barragens, torna-se essencial a tomada de medidas para que seja mantida a segurança das barragens.

Entre as medidas e cuidados citados na legislação torna-se obrigatório o cadastro, inspeção e monitoramento de qualquer barragem destinada à acumulação de água que se enquadre em pelo menos uma das seguintes características: i) altura do maciço, medida do encontro do pé de talude de jusante com o nível do solo até a crista de coroamento do barramento, maior ou igual a 15 (quinze) metros; ii) capacidade total do reservatório maior ou igual a três milhões de metros cúbicos; iii) reservatório que contenha resíduos perigosos conforme normas técnicas aplicáveis; iv) categoria de dano potencial associado, médio ou alto, em termos econômicos, sociais, ambientais ou de perda de vidas humanas; v) categoria de risco alto, a critério do órgão fiscalizador (BRASIL, 2020).

O Brasil possui uma estrutura de gestão para a segurança de barragens onde a responsabilidade de fiscalização é atribuída de acordo com critérios específicos (ANA, 2019). As barragens de acumulação de água (foco da presente pesquisa) possuem como órgão fiscalizador federal a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), se estiver em rios de domínios federais. Para as barragens localizadas em rios de domínio estadual, a responsabilidade de fiscalização é atribuída à entidade que outorga o direito de uso dos recursos hídricos, definida como órgão fiscalizador estadual. Um exemplo de órgão fiscalizador estadual é a Secretaria dos Recursos Hídricos (SRH) no Ceará.

Por sua vez, se a barragem tiver por finalidade a contenção de rejeitos de mineração, a Agência Nacional de Mineração (ANM) será responsável por sua fiscalização. Já barragens de contenção de resíduos industriais terão sua fiscalização atribuída tendo em vista o licenciamento ambiental, pois se estiver localizada na esfera federal, será de responsabilidade do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), mas se for em esfera estadual, os órgãos ambientais estaduais serão responsáveis por sua fiscalização. Por fim, barragens de acúmulo de água com propósito de geração de energia hidrelétrica têm a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) como órgão fiscalizador. Esta estrutura de gestão, assim como os critérios que a definem, estão esboçados na Figura 1.

Figura 1 – Estrutura brasileira de gestão para segurança de barragens.



Fonte: ANA (2019).

Junto ao estabelecimento da PNSB, foi criado o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (BRASIL, 2010), que visa registrar todos os cadastros de barragens efetuados em âmbito estadual e federal, independentemente de sua capacidade de acumulação. Em seu Portal¹ são encontradas todas as informações cadastrais das barragens brasileiras realizadas pelos órgãos fiscalizadores, tendo sido apresentado a existência de um total de 19.388 barragens cadastradas no ano de 2019, estando 8.763 regularizadas (ANA, 2020). De acordo com o Relatório Nacional de Barragens de 2019, 5.285 barragens são submetidas à PNSB e devem possuir um Plano de Segurança de Barragens com informações sobre a barragem, sua segurança, dados técnicos, estrutura organizacional da equipe de segurança da barragem, manuais de procedimentos e monitoramento, relatórios das Inspeções de Segurança, dados do empreendedor e, se necessário, Plano de Ação de Emergência (PAE). Além disso, 2.336 não são submetidas à PNSB e as outras 11.767 barragens não possuem informações suficientes para se obter um parecer (ANA, 2020).

Todas as barragens, independentemente de sua capacidade de armazenamento, devem ser cadastradas junto ao seu respectivo órgão fiscalizador (ANA, 2011c). Segundo a Secretaria dos Recursos Hídricos do Estado do Ceará, o cadastro de barragens visa integrar e consolidar dados das barragens e obter o mínimo de informações que permitam a tomada de decisão em situações de emergência (CEARÁ, 2017). Por meio das informações fornecidas durante o processo de cadastro de um barramento é possível determinar se o empreendimento está dentro das características estabelecidas pela Lei Federal 14.066/2020. Tendo como exemplo o formulário de cadastro fornecido pela SRH, são solicitadas informações de estricta importância

¹ ANA. Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. Disponível em: <<http://www.snisb.gov.br/portal/snisb>>. Acesso em 07 de setembro de 2020.

como os dados de identificação do empreendedor, identificação da barragem e dados principais da barragem, e em soma a isso, são solicitados os dados de responsável legal, usos da barragem, gestão de segurança da barragem, além de informações complementares. Com base no manual de preenchimento do formulário de cadastro para barragem de acumulação de água (SRH, 2018), tal processo é sintetizado na Figura 2.

Figura 2 – Dados solicitados em formulário para cadastro de barragens hídricas.



Fonte: Adaptado de SRH (2018).

A PNSB também estabelece como um de seus instrumentos o Plano de Segurança da Barragem com conteúdo mínimo definido no artigo 8º da Lei Federal 12.334/2010 (BRASIL, 2010). Dentre as informações necessárias ao PSB há os relatórios das inspeções de segurança regular e especial, cuja periodicidade de execução ou atualização, qualificação dos responsáveis técnicos, conteúdo mínimo e nível de detalhamento foram definidas pelo órgão fiscalizador federal através da Resolução Nº 236 da ANA (2017) e no caso do Ceará pela Portaria Nº 2747 da SRH (2017).

Segundo o guia de orientação para inspeção de barragens da ANA (2016), a periodicidade das inspeções regulares de barragens hídricas é definida de acordo com a categoria de risco e o dano potencial associado. Além disso, tendo em vista que a Lei de Segurança de Barragens (BRASIL, 2010; BRASIL, 2020) define como responsabilidade dos empreendedores realizar inspeções e entregar as documentações geradas em cima dos dados coletados ao órgão fiscalizador responsável de forma periódica e, levando em conta o fato de que, no Brasil, os empreendedores de barragens hídricas vão desde órgãos públicos a empresas privadas, tendo uma

grande variação nos quesitos de capacidade técnica e financeira (ANA, 2016), foi estabelecida uma tabela com definição da periodicidade de inspeções de segurança regulares de acordo com a categoria de risco e o dano potencial associado a cada barramento, apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 – Periodicidade de inspeções de segurança regulares em barragens hídricas.

Dano Potencial Associado	Risco Alto	Risco Médio	Risco Baixo
Alto	Semestral	Semestral	Semestral
Médio	Semestral	Semestral	Anual
Baixo	Anual	Anual	Bianual

Fonte: Adaptado de ANA (2016).

A Inspeção de Segurança Regular (ISR) pode ser realizada através da aplicação de um *check-list* que contemple as anomalias que podem ocorrer em qualquer estrutura da barragem. Por ser uma ficha de aplicação prática, esse *check-list* é utilizado em campo pelos inspetores devidamente treinados, e as informações colhidas por meio da ISR possibilitarão a definição e a priorização de medidas quanto a prevenção de situações de risco (MI, 2010). Segundo o Ministério da Integração Nacional (MI), essa metodologia “trata de uma inspeção criteriosa de uma barragem, onde as anomalias encontradas são constatadas, registradas, quantificadas e qualificadas” (MI, 2010). Assim, essa ficha técnica torna-se um produto da inspeção essencial, uma vez que é de obrigação dos empreendedores fiscalizados enviar ao sítio² da ANA a ficha de inspeção preenchida, um relatório de inspeção regular e um extrato de inspeção regular (ANA, 2016). A regularidade na realização de inspeções e manutenção dos barramentos reduz os custos para os empreendedores, visto que, quando as anomalias não são minimizadas ou a manutenção é postergada para anos posteriores ocorre um elevado aumento nos custos de reparo dos danos relacionados às estruturas (GOMES, 2019).

Com o passar do tempo, alguns órgãos desenvolveram sua própria sistemática de inspeção de segurança e acompanhamento de barragens, tendo a liberdade de adotar modelos de ficha de inspeção e relatórios adaptados, levando em consideração os normativos emitidos pelas entidades fiscalizadoras e a ficha de inspeção recomendada pela ANA (ANA, 2016). Um exemplo, é a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) que utiliza um *check-list* padrão na realização da ISR e possui manuais orientativos para preenchimento destas fichas. Para cada inspeção regular é usada uma ficha de avaliação técnica padrão de acordo com o tipo de barragem: terra, concreto ou mista. Esta ficha contém uma tabela de dados com informações

² ANA. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/barragem_inspecao>. Acesso em 10 de setembro de 2020.

gerais da barragem, e um conjunto de tabelas para avaliação das condições atuais da estrutura. (COGERH, 2018). Além disso, cada tabela tem colunas a serem assinaladas, referentes a situação, magnitude e nível de perigo do barramento, representadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Referente às colunas situação, magnitude e nível de perigo.

SITUAÇÃO:

NA – Este item **N**ão é **A**plicável

NE – Anomalia **N**ão **E**xiste

PV – Anomalia constatada pela **P**rimeira **V**ez

DS – Anomalia **D**esapareceu

DI – Anomalia **D**iminuiu

PC – Anomalia **P**ermaneceu **C**onstante

AU – Anomalia **A**umentou

NI – Este item **N**ão foi **I**nspecionado (**J**ustificar)

MAGNITUDE:

I – Insignificante

P – Pequena

M – Média

G – Grande

NÍVEL DE PERIGO:

0 – Nenhum

1 – Atenção

2 – Alerta

3 – Emergência

Fonte: Adaptado de MI (2010).

Após a inspeção de uma barragem e apuramento dos dados coletados, são gerados diversos relatórios. O relatório principal é chamado de extrato de inspeção, que é descrito pelo Manual de Políticas e Práticas de Segurança de Barragens (MUNDIAL, 2015) como devendo “conter uma lista das anomalias encontradas categorizando a sua magnitude e nível de perigo”.

Uma das informações fundamentais para a segurança e manutenção de barragens expresso no Relatório Anual de Segurança de Barragens da COGERH é a Classificação de Nível de Perigo da Barragem, que consiste em uma classificação das barragens quanto à prioridade para recuperação. Para isso, são somadas todas as anomalias da barragem por Nível de Perigo (NP) e cada nível possui seu peso, sendo $NP(0) = 0$, $NP(1) = 1$, $NP(2) = 4$ e $NP(3) = 9$. O somatório dos níveis corresponderá ao Nível de Perigo da Barragem (NPB) e refletirá a prioridade para recuperação da estrutura. Assim, de acordo com os resultados obtidos o barramento pode ser classificado como: prioridade de intervenção máxima, quando NPB maior ou igual a 9; prioridade média de intervenção, quando NPB entre 4 e 8; prioridade de intervenção mínima, quando NPB menor ou igual a 3; e não necessita de intervenção, quando NPB igual a 0 (COGERH, 2014).

2.2 *Blockchain*

A tecnologia *blockchain* surgiu como o alicerce tecnológico que fundamenta a criptomoeda *bitcoin* (MOUGAYAR, 2018). Proposto por Satoshi Nakamoto, o *bitcoin* foi concebido como uma forma de pagamento online através de uma rede P2P, de modo totalmente seguro, transparente e sem participação intermediadora de governos, empresas, bancos ou qualquer outra instituição financeira (NAKAMOTO, 2008). Assim, por serem descentralizadas, as transações de criptomoedas passam a ser controladas e verificadas pelos seus próprios usuários por intermédio da tecnologia *blockchain*, sendo a mesma fundamental para garantia da segurança dos registros de transações.

Basicamente, a *blockchain* é um livro-razão distribuído mantido por um conjunto de nós de uma rede P2P, que, por meio de um mecanismo de consenso, garantem a validade e integridade das transações. O livro-razão construído pela rede *blockchain* é, por padrão, público e utiliza primitivas criptográficas para garantir que as transações já registradas não podem ser alteradas ou deletadas (PIERRO, 2017). Drescher (2018) classifica esta tecnologia como uma forma inovadora e segura de trocar, não só informações, como também valores e/ou ativos, visto que possibilita o acesso à origem de uma informação pela característica de imutabilidade das transações e substituição dos intermediadores.

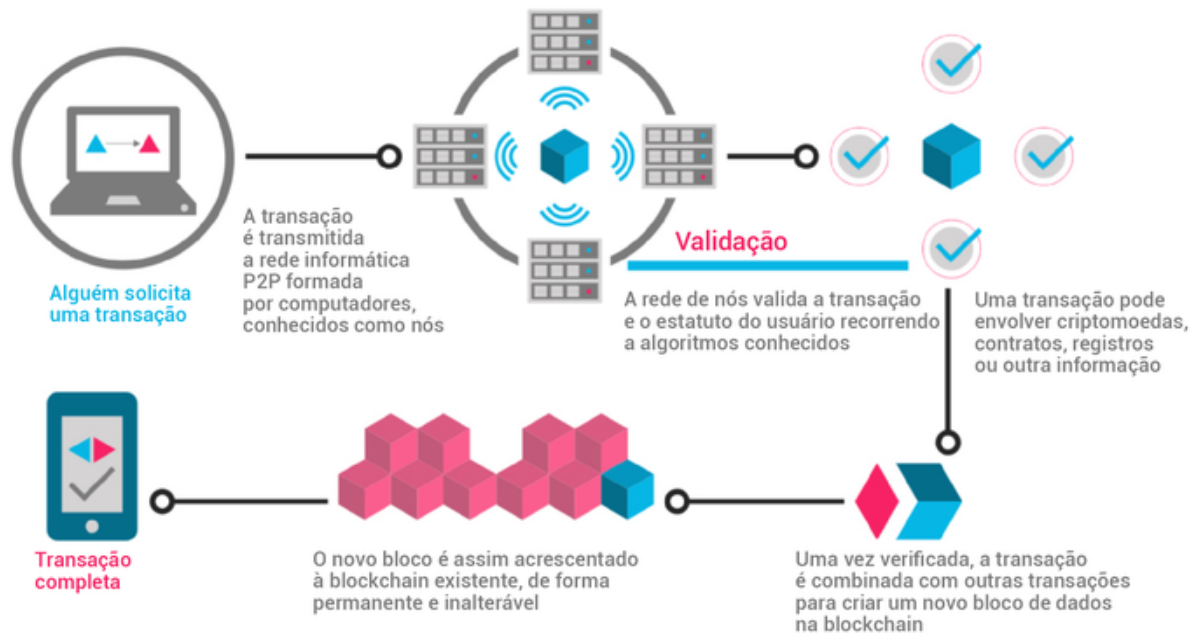
As transmissões de informações acontecem entre computadores individuais, que desempenham papel de nós, e estão conectados através da rede formando uma cadeia de nós (ROMANINI; OHLSON, 2018). Em síntese, o mecanismo de consenso que valida essas transações consiste no processo de desenvolvimento de um acordo entre os participantes na rede (LAURENCE, 2019). Dessa forma, algoritmos de consenso (por exemplo, *Proof-of-Work*, *Proof-of-Stake* e *Proof-of-Authority*) funcionam a cada momento quando a *blockchain* decide quais dados devem ser considerados genuínos e armazena-os (JUN, 2018; MINGXIAO *et al.*, 2017).

Portanto, pode-se compreender *blockchain* como uma cadeia de blocos partícipe de um sistema de registros coletivo, com todas as informações sobre as transações efetuadas distribuídas entre os vários computadores ligados a ela (ARRUDA, 2017). Além do mais, é totalmente transparente, possibilitando a visualização das transações em tempo real, sem revelar os envolvidos naquela transação (ANTONOPOULOS, 2017).

A Figura 3 ilustra como funcionam as transações utilizando a tecnologia *Blockchain*. Suponha que um usuário A deseja realizar uma transação. A transação solicitada pelo usuário A será enviada a uma rede P2P com computadores, chamados de nós, interligados de forma

descentralizada. Todos os usuários conectados devem aprovar a transação para que seja validada. Isso acontecerá através de um mecanismo de consenso e, após a aprovação, a transação enviada pelo usuário A será adicionada à *blockchain* de forma permanente e inalterável.

Figura 3 – Como funciona a tecnologia *Blockchain*.



Fonte: Adaptado de Cardoso (2018).

A tecnologia *blockchain* tem como principais características a segurança operacional, descentralização, transparência, integridade dos dados e imutabilidade das transações, sendo também princípios sob os quais foi construída e, que trazem benefícios dignos de destaque como a maior confiabilidade, minimização de riscos de fraudes e de outros crimes cibernéticos (FILHO *et al.*, 2017). A transparência é definida por Rodrigues e Silva (2019) como a possível permissão de acesso às informações armazenadas em uma base de dados. Assim, a *blockchain* garante esta característica por apresentar-se disponível aos participantes da rede para acesso concorrente, sendo possível verificar as transações registradas no livro-razão desde que tenha sido acordado na lógica de negócio acordada entre os membros (RODRIGUES; SILVA, 2019).

Apesar de, à princípio, ter apresentado uma íntima relação com o desenvolvimento de criptomoedas, a tecnologia *blockchain* tem se consolidado cada vez mais como uma solução viável na indústria, como as de prestação de serviços financeiro, governo e de assistência médica (CARSON *et al.*, 2018).

Assim, para lidar com a variedade de oportunidades que surgiram recentemente, diferentes tipos de *blockchain* têm sido propostas. A *blockchain* pública se caracteriza por

possibilitar que qualquer pessoa possa acessar e ver as transações realizadas, como também poder participar do mecanismo de consenso (ALVES *et al.*, 2018). Por outro lado, a *blockchain* privada impõe regras para acesso, necessitando que o usuário receba autorização para poder acessar, visualizar e/ou realizar alguma transação, sendo utilizado normalmente por corporações que não tem interesse de prover acesso externo a sua rede (PREUKSCHAT, 2017). Já a *blockchain* de consórcio pode ser compreendido como uma arquitetura onde o processo de consenso passa a ser controlado por um grupo pré-selecionado de integrantes na rede e o acesso aos blocos pode ser determinado como público ou privado de acordo com os interesses e necessidades das partes controladoras (MIERS *et al.*, 2019).

Conforme mencionado anteriormente, a adoção de *blockchain* denota a transparência como um de seus fundamentos, tendo em vista processo de verificação e validação das transações (ALVES *et al.*, 2018). Segundo Alves *et al.* (2018), cada nó em rede “serve como um backup da rede, armazenando cada nova transação” e que, por meio dessa característica é possibilitado a qualquer nó que esteja na rede, dentro da regra estabelecida pelo tipo de *blockchain* usada, visualizar todas as transações realizadas, o que torna esta tecnologia pertinente para uso em diversas áreas.

Carson *et al.* (2018) mencionam alguns exemplos de como a utilização da tecnologia *blockchain* pode trazer benefícios a economia dentro do governo por meio da utilização de sua infraestrutura em decorrência das principais funções de manutenção e verificação de registros. Isso porque os dados públicos como certidões de nascimento, impostos, entre outros, são guardados de forma isolada e adífana entre agências governamentais, empresas e cidadãos, podendo ser geradas soluções baseadas em *blockchain* dando origem a padrões que facilitarão essencialmente registros de dados e o acesso aos mesmos de forma segura e transparente. Mais de 25 governos já executam ativamente testes com a utilização dessa arquitetura para fomentar sua economia em geral (CARSON *et al.*, 2018).

Por exemplo, a tecnologia *blockchain* tem sido uma solução alternativa inovadora também no âmbito da saúde e um exemplo disso é a Medicalchain, que desenvolveu uma solução baseada em *blockchain* para armazenamento de registros eletrônicos de saúde, possibilitando ao paciente através de sua plataforma, conceder acesso aos seus registros eletrônicos de saúde a outros usuários de forma segura (MEDICALCHAIN, 2020). Assim, diferentes organizações, sejam hospitais, laboratórios, ou mesmo médicos podem solicitar o acesso ao registro de seus pacientes e documentar consultas e outras informações pertinentes de forma direta e a longa

distância (MEDICALCHAIN, 2020).

Pelo potencial disruptivo que a tecnologia *blockchain* adquiriu ao longo dos anos, houve o provisionamento de benefícios nas mais diversas áreas em que tem sido aplicada, de setores econômicos e políticos a soluções de sistemas jurídicos e humanitários. Diante de tal contexto, Swan (2015) apresenta esta revolução em três gerações: *Blockchain 1.0*, *Blockchain 2.0* e *Blockchain 3.0*.

A geração *Blockchain 1.0* refere-se as criptomoedas e sua aplicação em transferências e sistemas de pagamento digital, enquanto a geração *Blockchain 2.0* foi além de transações em dinheiro, com o desenvolvimento dos a contratos inteligentes e a expansão doas aplicações descentralizadas, ampliando assim, o domínio da aplicações para outras áreas além da financeira. Por fim, a geração *Blockchain 3.0* concernente à sociedade digital expande o conceito de organizações autônomas descentralizadas ao portar todas as propriedades obtidas pela descentralização sem confiança da *blockchain* (como imutabilidade, transparência e sem necessidade de intermediários) para outros sistemas que são construídos em cima da *blockchain*. Assim, conforme Silva e Zahn (2018) afirmam, a tecnologia *blockchain*, indo além de soluções para transações financeiras, torna-se uma solução completa para descentralização.

2.3 Governo Digital através de APIs

O Governo e sua Administração Pública são um dos maiores detentores de dados globalmente, tendo como pilares de seus deveres como detentores desses dados o dever de abertura, dever de transparência, dever de proteção e dever de regulação, que operacionalmente estão interligados por um ciclo único e integrado (CRISTÓVAM; HAHN, 2020). Com isso, a medida que novas tecnologias foram surgindo e evoluindo ao longo do tempo, o Estado enxergou uma perspectiva relevante junto à expansão de um movimento global de disseminação de uso das mais diversas ferramentas tecnológicas que passou a acontecer de forma alinhada ao avanço tecnológico, trazendo a tona um maior potencial de tratamento, conservação e armazenamento de dados com mais segurança, rapidez e transparência (FRAZÃO, 2019).

Para adequar-se a nova era digital, os governos tiveram de se adaptar afim de atender a nova realidade social e passar a produzir e gerenciar serviços de forma mais inclusiva e transparente garantindo eficiência sem ultrapassar o limite de privacidade de seus usuários, conquistando a confiança do cidadão e dos seus próprios agentes por dar atenção aos seus direitos alinhados ao conjunto de normas jurídicas internacionais (CRISTÓVAM; HAHN, 2020). A

forma como a administração dos governos pelo mundo têm adotado a Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) é explicada através de teorias que unem questões sociotécnicas e contextuais, e ficou conhecida como governo digital (RODRIGUES, 2021).

Nos anos 2000, o Brasil também começou a evoluir cada vez mais o uso de métodos de inserção de tecnologia de informação, trilhando caminho rumo ao governo digital (THORSTENSEN; ZUCHIERI, 2020). No ano 2000, foi aprovada a Proposta de Política de Governo Eletrônico para o Poder Executivo Federal, prevendo como um de seus principais pilares a implementação de medidas para promoção de inclusão digital e acesso online a serviços, e no decorrer dos anos foram surgindo novas estratégias de promover o desenvolvimento de tecnologia da informação em prol da organização do setor público, tornando o Brasil cada vez mais progressista na consolidação de políticas que visam digitalização do setor público (THORSTENSEN; ZUCHIERI, 2020).

A adoção de tecnologia traz benefícios diversos ao governo, como a redução de custos administrativos, o melhor tratamento de dados, a maior segurança da informação e a redução de corrupção (PANAYIOTOU; STAVROU, 2021; PINHO; GOUVEIA, 2019). No entanto, junto aos benefícios, é encontrada a dificuldade de adaptar os artefatos de sistemas de informação criados na área governamental aos valores públicos que permeiam sua fundamentação: transparência, eficiência, segurança e confiança (RODRIGUES, 2021).

Assim, o uso de novas mídias de TICs tem potencial para otimizar a aplicação dos valores públicos exigidos intrinsecamente pela implementação do Governo digital (RUEDIGER, 2002), e mesmo que a implementação dessas tecnologias não seja simples, a nova forma de gestão pública gera resultados perceptíveis, como as mudanças sociais que ocorreram, por exemplo, ao se tentar contornar a materialização de dados no cenário da Covid-19 (CRISTÓVAM *et al.*, 2020).

As TICs contribuem para o fomento da digitalização de serviços públicos e apoio a tomada de decisão através de e-Serviços Públicos que se utilizam da Interface de Programa de Aplicativos (API, do inglês *Application Programming Interface*) (CRISTÓVAM *et al.*, 2020). Segundo Almeida *et al.* (2021), as APIs são criadas com intuito de promover comunicação e troca de informações entre duas ou mais aplicações diferentes afim de promover a interoperabilidade entre os serviços.

Um número considerável de aplicações web têm acesso disponibilizado através de APIs REST (BARBAGLIA *et al.*, 2017). A sigla REST significa Transferência Representacional

de Estado (em inglês, *Representational State Transfer*) (SURWASE, 2016) e se refere a um estilo arquitetural que descreve seis restrições que delineiam a base do estilo RESTful, ou seja, a capacidade de aplicar todos os princípios e características REST (ALMEIDA *et al.*, 2021).

Fielding (2000) lista as seis restrições que fazem de uma API aderente ao estilo arquitetural REST:

- **Cliente Servidor:** Divisão de responsabilidades nos ambientes de cliente e de servidor, gerando independência entre as funções através de três passos, onde o cliente envia a requisição ao servidor, que fará a validação e processamento da solicitação e gerar uma resposta que será retornada ao cliente com um código HTTP, informando sucesso ou erro;
- **Stateless:** Tratamento de requisições de forma independente e definição de informações necessárias para que o servidor processe-as de forma correta;
- **Cache:** Armazenamento de requisições em memória cache temporária para aumentar a performance de resposta a requisições repetidas, evitando reprocessamento;
- **Interface Uniforme:** Contrato de comunicação entre cliente e servidor com objetivo de tornar a aplicação ou componente mais simples de sofrer refatoração ou melhorias;
- **Sistema em camadas:** Permite a elaboração da arquitetura em camadas hierárquicas, possibilitando flexibilidade à mudanças por utilização de um intermediador, como uma máquina, para gerenciar requisições;
- **Código sob demanda:** Restrição opcional que possibilita ao cliente realizar a execução de códigos sob demanda, por exemplo, através de scripts.

Assim, a API faz uso de protocolos para integração entre aplicações, recebendo requisições e produzindo respostas por padrão, garantindo a interação de sistemas internos com aplicações externas (ALMEIDA *et al.*, 2021). Para manipular os dados, as APIs fazem uso do protocolo HTTP que faz uso, principalmente, das seguintes requisições: GET (leitura de dados), POST (escrita de dados), PUT (atualização de registros) e DELETE (exclusão de registros) (SALVADORI *et al.*, 2015).

Portanto, como explanado por Rodrigues (2021), é crucial compreender as tecnologias que são implementadas e a forma com estão sendo implantadas nos governos em seus mais diferentes contextos, para fomento de adaptações e migração de serviços públicos para um contexto de Governo Digital no Brasil.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Este Capítulo apresenta os trabalhos relacionados à presente pesquisa, abordando na Seção 3.1 uma discussão sobre pesquisas referentes à transformação digital na gestão de barragens. Em seguida, na Seção 3.2, são apresentadas soluções para inspeção e transparência de dados baseadas em *blockchain*. Por fim, o presente capítulo sintetiza a relevância dos trabalhos apresentados para a presente pesquisa e compara-os em relação ao desenvolvimento do conhecimento da área de estudo.

3.1 Transformação Digital na Gestão de Barragens

Balbi *et al.* (2003) abordam um estudo acerca da aplicação de um sistema web para facilitar a interação entre as diversas atividades e equipes inseridas na área de segurança de barragens. Buscando uma melhor gestão da informação obtida através das inspeções periódicas, coleta de dados, análises de instrumentação e relatórios de anomalias, os autores exploram as diversas equipes envolvidas no gerenciamento e coleta de informações para estudo de segurança dos barramentos. Os autores também analisaram como os diversos setores podem ser beneficiados com a informatização de processos. Uma abordagem prática sugerida para que a transformação digital do processo de inspeção torne-se eficiente para os inspetores em campo é a utilização de versões para instalação em dispositivos móveis que permitam acesso aos dados em locais sem acesso à internet, e incorporação de registros às bases de dados no servidor posteriormente. Com isso, é exposto na pesquisa a importância do tratamento das informações coletadas, simplificação dos meios de interação e acesso à dados pelas equipes responsáveis pela segurança de barragens. Além disso, fica evidente como a transformação digital acarreta agilização de processos, minimização de erros e, por conseguinte, redução de custos.

Coelho (2017) realiza uma pesquisa aprofundada dos aspectos legais de segurança de barragens, incluindo o estudo da ficha de inspeção aplicada à avaliação dos profissionais de segurança nas inspeções de barragens hídricas. Buscando a melhoria do processo de inspeção através de um sistema visual, o autor traz definições e fundamentos da área técnica de segurança que mostram a importância do monitoramento e inspeção periódica da estrutura de cada barramento para garantir a redução dos riscos de rompimento. Dentre os pontos principais abordados pelo trabalho, são destacados a otimização dos processos realizadas dentro das inspeções regulares e a garantia de que as inspeções sejam concluídas e datadas. Assim, a pesquisa enfatiza a

necessidade de padronização e controle das informações coletadas nas fichas de inspeção, tendo foco no armazenamento de dados visuais, que por sua vez facilitam e agilizam o processo de análise e geração de relatórios concernentes à segurança de barragens.

Por fim, Martini (2018) apresenta um estudo sobre a aplicação de uma plataforma baseada em arquitetura web para acompanhamento da documentação técnica dos barramentos tanto pelas equipes responsáveis pela segurança de barragens, quanto pelos empreendedores. O autor busca contribuir para a redução das atividades repetitivas que ocorrem dentro dos processos que compõem a fiscalização de um barramento e sua pesquisa aborda a inspeção regular de uma barragem como um requisito essencial para a extensão do ciclo de vida útil dela. Alguns aspectos são pontuados em seu trabalho com relação a apresentação da síntese de todas as informações de cada barragem, como, por exemplo, a preocupação em catalogar as informações de forma simples e tornar possível acessá-las remotamente a qualquer momento por meio do armazenamento em nuvem. Deste modo, o autor não só aborda uma forma de manter os dados técnicos transparentes aos seus empreendedores e diversos setores de fiscalização, como também um meio de proteger os dados coletados.

3.2 Inspeção e Transparência de Dados Baseada em *Blockchain*

Toyoda *et al.* (2017) examinam a problemática da falsificação de produtos e como tem sido difícil para o mercado tanto nacional, quanto internacional lidar com esse tipo de fraudes. Tendo em vista a expansão de *e-commerce*, muitas falsificações que ocorriam dentro do processo de transporte de produtos conseguiram ser encontradas por meio de uma tecnologia de identificação de rádio frequência baseada em Internet das Coisas. Ainda assim, os autores enfatizam que isso não garante a clonagem e inconsistência de produtos ao chegar no fim da cadeia de suprimentos. Portanto, a pesquisa apresenta a implementação de um sistema de gestão de propriedade de produtos que utiliza a tecnologia *blockchain* sobre a plataforma *Ethereum* para registrar as informações dos produtos enviados no início da cadeia de suprimentos. Assim, uma vez que o produto é registrado pelo fornecedor (o único que possui autorização para esta atividade), poderão ser confirmadas facilmente cópias ilegítimas, tendo em vista que não estarão registradas no sistema. Deste modo, os pesquisadores apresentam uma forma de evitar fraudes e gerar registros de produtos transparentes a todas as partes dentro de uma cadeia de suprimentos.

Já Saraiva *et al.* (2019) exploram a tecnologia *blockchain* para o armazenamento de registros profissionais de médicos. Levando em conta as diretrizes e leis que regem os

processos de registro de informações relevantes dos médicos no Conselho Regional de Medicina, o trabalho considera a interação entre as entidades envolvidas e propõe o uso de uma *blockchain* da tecnologia *Hyperledger*. Os autores apresentam como motivação a necessidade de se evitar fraudes e inconsistências de informações para garantir que os médicos só possam exercer sua profissão se estiverem devidamente legalizados. Assim, trabalham com uma *blockchain* permissionada que dá o controle devido dos registros profissionais médicos a cada participante da rede de acordo com o papel que lhe foi atribuído. A esses papéis são atribuídos níveis de autoridade que concedem ou restringem o acesso à realização de atividades específicas dos processos envolvidos. Com isso, a pesquisa desenvolvida reforça a importância do uso da tecnologia *blockchain* para evitar possíveis fraudes no processo de cadastro de registros médicos.

Finalmente, Junqueira (2020) objetiva apresentar em seu trabalho uma solução baseada na arquitetura *blockchain*, a qual busca oferecer aos pacientes acesso e controle sobre seus dados pessoais de saúde. A autora trata dos perigos do acesso não autorizado aos dados de saúde de um paciente e as consequências disso. Com isso, apresenta a implementação de contratos inteligentes para substituir um terceiro de confiança, que seria uma entidade responsável por armazenar e controlar os dados dos pacientes, dando autonomia a cada paciente de conceder permissão de acesso ou não a seus dados. A pesquisa utiliza uma plataforma *blockchain* chamada *Hyperledger Fabric* para desenvolver os contratos inteligentes e torná-los mecanismos responsáveis pelo processo de identificação, rastreamento de dados e permissão de acesso às informações dos pacientes. Sendo assim, a utilização das tecnologias dentro dessa pesquisa torna possível traçar os relacionamentos estabelecidos entre entidades dentro do processo de concessão de permissão a dados de saúde, fomentando a segurança e tornando o paciente detentor do poder de acesso sobre seus dados.

3.3 Síntese Comparativa

As pesquisas sobre transformação digital com desenvolvimento de soluções para auxílio na área de segurança de barragens tiveram papel importante para o presente trabalho, tendo em vista a colaboração para a compreensão dos aspectos e práticas envolvidos dentro das partes que compõe a gestão de segurança de um barramento, e, assim, iluminando as lacunas que continuam dificultando um processo mais ágil e prático de cadastro e inspeção de barragens. Por sua vez, os trabalhos sobre inspeção/transparência baseada em *blockchain*, serviram para identificar como tal tecnologia demonstra-se uma solução eficaz para problemas de auditoria

e segurança de dados, mesmo em outros domínios. Dessa forma, vislumbra-se o potencial enquanto uma arquitetura valiosa para promover a interoperabilidade e transparência de dados no setor de gestão de barragens hídricas.

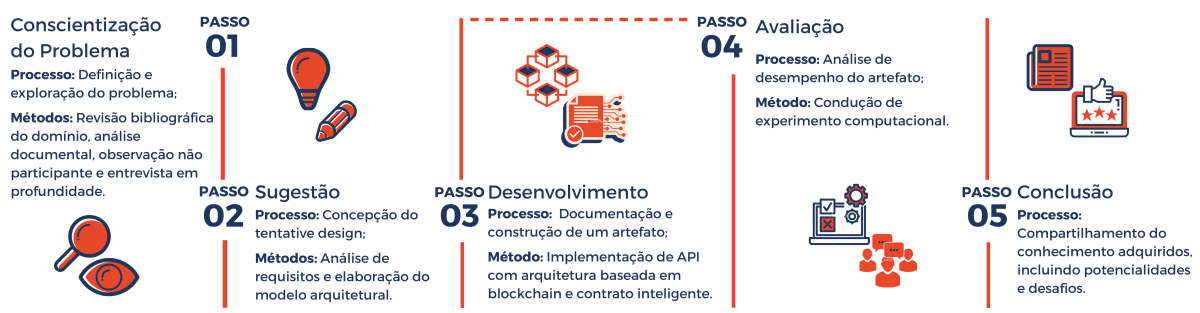
4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Com objetivo de compreender os benefícios e desafios oriundos da adoção da tecnologia *blockchain* dentro do processo de cadastro e inspeção de barragens hídricas, a presente pesquisa trilha um caminho metodológico quali-quantitativo de caráter exploratório-descritivo, uma vez que a problemática dentro dos processos estudados será identificada de forma mais precisa, em busca do esclarecimento sobre os fenômenos e os fatos que a compõe (GERHARDT; SILVEIRA, 2009). Inspirado em Hevner *et al.* (2004), a opção por uma abordagem quali-quantitativa pautada pela *Design Theory* se justifica devido a oportunidade de explorar o problema e o artefato proposto de forma profunda e multiarticulada.

Quanto ao escopo metodológico adotado nesta pesquisa, optou-se por uma estratégia multimétodo orientada pelo protocolo da *Design Science Research* (DSR). Sendo um método de pesquisa que reduz a distância entre a teoria e a prática, a DSR orienta o processo de pesquisa com base no desenvolvimento de soluções para problemas específicos por meio da produção de um novo produto, chamado de artefato, que busca levar as condições dos processos estudados a um estado melhorado e desejável (DRESCH *et al.*, 2015).

Em consonância ao protocolo sugerido por Kuechler e Vaishnavi (2004) para DSR, apresenta-se na Figura 4 uma visão geral do procedimentos metodológicos adotado neste trabalho.

Figura 4 – Visão geral da proposta do Procedimentos Metodológicos.



Fonte: Autoria própria (2020).

Inicialmente, durante a **Conscientização do Problema**, realizou-se uma análise de dados secundários através de uma revisão *ad-hoc* da literatura relacionada a transformação de digital na gestão de barragens e transparência de dados baseado em *blockchain*, bem como uma profunda análise documental do arcabouço regimental brasileiro e das plataformas online

oficiais que orientam o processo de cadastro e inspeção de barragens. Para o processo de análise documental, seguiu-se as 8 etapas sugeridas por Bowen *et al.* (2009) para avaliação de documentos: (1) reunir textos relevantes, (2) desenvolver um esquema de organização e gestão, (3) fazer resumos e anotações dos documentos originais, (4) avaliar a autenticidade dos documentos, (5) explorar a organização e vieses do documento, (6) explorar as informações básicas e propósito documental, (7) fazer perguntas sobre o documento e, finalmente, (8) explorar o conteúdo.

Em seguida, com foco na perspectiva sociotécnica, realizou-se um período de observação não-participante (COOPER *et al.*, 2004) com dois técnicos e um gerente regional da Gerência das Bacias da Serra da Ibiapaba e dos Sertões de Crateús da COGERH. Tal observação objetivou complementar a análise documental com uma visão sobre as práticas exercidas pelos profissionais e os desafios enfrentados por eles. Foram realizadas duas visitas, uma no escritório em Crateús/CE no dia 06 de outubro 2019, e outra no dia 07 de novembro de 2019 quando também foi realizada uma visita de campo ao Açude Carnaubal em Crateús/CE com foco no processo de inspeção de um barramento. Ambas visitas totalizaram quatro horas de observação as quais foram registradas em um diário de campo em prol da sistematização do conhecimento social e técnico obtido (EMERSON *et al.*, 2011).

Por fim, conduziu-se por videoconferência uma entrevista em profundidade (BOYCE; NEALE, 2006) de aproximadamente 50 minutos com a Gerente de Segurança e Infraestrutura da COGERH. A partir dessa triangulação de dados e análise múltipla tornou-se possível compreender de forma ampla diferentes *insights* e desafios sociotécnicos associados aos processos de cadastro e inspeção de barragens, incluindo o mapeamento das entidades envolvidas e a pertinência quanto ao desenvolvimento de uma proposta baseada em *blockchain*.

Durante a fase de **Sugestão**, concebeu-se como *tentative design* (BECK *et al.*, 2013) um modelo arquitetural (incluindo papéis envolvidos e ativos de armazenamento) o qual representa uma visão abstrata, inicial e crítica do artefato a ser instanciado neste trabalho, que, neste caso, assume a forma de um produto de software (PRIES-HEJE *et al.*, 2008).

Na etapa de **Desenvolvimento**, efetuou-se a implementação do artefato orientada pela ideia de uma prova de conceito sob a forma de um Produto Mínimo Viável (em inglês, *Minimum Viable Product* ou MVP) visando descobrir se a solução, de fato soluciona o problema, com base em um conjunto mínimo, porém prioritário, de requisitos (RIES, 2009). Nesse sentido, projetou-se o MVP como uma Interface de Programação de Aplicação (em inglês, *Application*

Programming Interface ou API) para comunicação com o contrato inteligente e, por conseguinte, com os dados armazenados na *blockchain* desenvolvida utilizando o *framework Hyperledger*. Durante esta etapa, os papéis definidos na etapa anterior foram definidos de acordo com os participantes da rede, assim como o acesso concedido a cada um deles. Além disso, o ativo de armazenamento e a arquitetura de software deixam de ter uma visão abstrata, passando a ser descritos de maneira técnica alinhada a sua implementação.

Concluída a implementação do artefato, realizou-se a etapa de **Avaliação** pautada por uma análise quantitativa alicerçada em um diagnóstico empírico e técnico quanto ao desempenho computacional, visando, assim, prover uma análise de viabilidade inicial acerca da solução. Para tal análise usufruiu-se da ferramenta *JMeter* a qual realiza testes de carga e de estresse em recursos estáticos ou dinâmicos oferecidos por sistemas computacionais (HALILI, 2008). Inspirando-se em Moraes *et al.* (2020), Soares *et al.* (2021) e Lins e Moraes (2021), o experimento foi desenhado com o objetivo de investigar (via estatística inferencial) três métricas específicas: tempo da amostra, vazão (ou *throughput*) e tempo de latência.

Em suma, a análise do tempo da amostra consiste no tempo decorrido entre o início da requisição até a recebimento completo da resposta (JMETER, 2022). Já para análise de vazão foi verificado o número de transações processadas por unidade de tempo. Pode-se entender com esse tipo de métrica o desempenho do sistema, assim como a eficiência dos processos postos em teste (BALIGA *et al.*, 2018). Por conseguinte, o tempo de latência corresponde ao tempo ocorrido entre estímulo e início da resposta e indica o tempo de acesso à informação na memória de longo prazo (STERNBERG, 1992).

Por fim, na **Conclusão**, realiza-se a discussão dos resultados e análises obtidas por meio da apresentação do conhecimento decorrente das fases anteriores em formato de artigos científicos e do presente trabalho de conclusão de curso.

5 CONSCIENTIZAÇÃO DO PROBLEMA

Para que ocorra a Conscientização do Problema é necessário que haja a compreensão das entidades que formam o cenário de cadastro e inspeção de barragens, assim como deve-se discernir os atuais processos necessários para que um empreendedor possa registrar sua barragem e legalizá-la em consonância a Lei Federal de Segurança de Barragens (BRASIL, 2010; BRASIL, 2020). Assim, a Seção 5.1 apresenta os os resultados oriundos da validação do problema atrelado ao domínio da pesquisa e, por fim, a Seção 5.2 sintetiza a apresentação dos *workflows* de cada processo.

5.1 Validação do Problema

Através de um processo de observação não participante, verificou-se junto ao gerente regional e dois inspetores da Gerência das Bacias da Serra da Ibiapaba e dos Sertões de Crateús da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) como são desenvolvidas as atividades de coleta e registro de dados de inspeção de uma barragem. Para isso, foram realizadas duas visitas na sede da COGERH em Crateús/CE, uma no dia 06 de outubro 2019, e outra no dia 07 de novembro de 2019 quando foi realizada uma visita de campo ao Açude Carnaubal, localizado também em Crateús. Durante o período de observação indagou-se ao inspetor quais os sistemas usados para criação de relatórios, armazenamento de fotografias e de dados das barragens inspecionadas. Verificou-se, através da fala do gerente e da observação, que os instrumentos comumente usados para documentação de dados de inspeção são fichas impressas de *checklist* de inspeção, documentos de relatório criados para cada barragem inspecionada e registros fotográficos das anomalias identificadas.

Com relação às fichas contendo o *checklist* de inspeção, observou-se que são, inicialmente, impressas e levadas à campo em pranchetas. Também constatou-se a necessidade de possuir os dados da última inspeção da barragem, uma vez que as anomalias serão comparadas e classificadas quanto à situação. Após a coleta e registro manual em campo, os inspetores registram os dados no Sistema de Operação e Manutenção (SIPOM) implementado pela própria empresa, já as fichas físicas são armazenadas em pastas no ambiente de trabalho. Quanto aos relatórios de cada barragem, foi compreendido que, para sua elaboração, é necessário uma frequente busca por dados das inspeções pelos inspetores. Esta é uma atividade demorada devido ao processo de registro, documentação e armazenamento atual. No que diz respeito aos registros

fotográficos das anomalias, verificou-se que as fotos são captadas em campo e, ao chegar em seu escritório, o inspetor as transfere para o seu computador de trabalho e só então são escolhidas as melhores imagens para serem inseridas nos relatórios emitidos acerca da inspeção de cada barramento.

Após o cadastro dos dados de inspeção no SIPOM, as informações são validadas por técnicos da Gerência de Segurança e Infraestrutura. Finalmente, após tal processo de validação, os documentos são enviados para a SRH, órgão estadual responsável pela fiscalização de barragens para a ANA. Por fim, os elementos coletados na fase de cadastro e inspeção de barragens tornam-se públicos, podendo ser visualizados, entre outros ambientes de acesso, através de um recurso que traça os principais dados que foram disponibilizados pelo SNISB em forma de *Power BI*¹.

Adicionalmente, através de entrevista semiestruturada junto à gerente de Segurança e Infraestrutura da COGERH e de acordo com às resoluções dispostas na Seção 2.1, buscou-se uma validação referente ao processo de registros de dados concernentes ao cadastro de barragens hídricas. A entrevista foi constituída de 9 questões abertas acerca do processo de cadastro de barragens, envolvendo as entidades e atividades envolvidas nesse processo. As questões elaboradas encontram-se no Apêndice A deste trabalho.

As questões iniciais tiveram por finalidade validar como ocorre a coleta dos dados das barragens e quem são as entidades envolvidas nesse processo. Segundo a gerente, “o cadastro de barragens é autodeclaratório”, ou seja, o empreendedor ou empresa responsável pela barragem deve entrar em um site específico do órgão fiscalizador de seu estado, realizar o download do formulário de cadastro de barragem, preenchê-lo e enviar para o mesmo órgão, através do meio eletrônico fornecido pelo órgão estadual responsável, e será responsável legal pelas informações prestadas no formulário preenchido.

De acordo com a entrevistada, devido ao cadastro dos barramentos pelos seus respectivo empreendedores responsáveis ainda não estar sendo completamente funcional, ou seja, como nem todos os empreendedores realizam o cadastro e estão regularizados, alguns órgãos públicos que trabalham em parceria com os órgãos de fiscalização estadual, ao exercer o serviço em campo e identificar um barramento não cadastrado, podem realizar o cadastro de barragens particulares e/ou municipais, fornecendo os dados mínimos para identificação da barragens

¹ ANA. Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens. Disponível em: <<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiYjk1NjE3ZjQtNmIzNi00YzIxLWE5Y2UtMTZhZDM4ZDc0MTJlIiwidCI6ImUwYmI0MDEyLTgxMGItNDY5YS04YjRkLTY2N2ZjZDFiYWY4OCJ9>>. Acesso em 10 de março de 2022.

e do empreendedor. Isso possibilita que seja analisado se o barramento está enquadrado nas características descritas pela Lei Federal de Segurança de Barragens (BRASIL, 2010; BRASIL, 2020) (explanada na Seção 2.1). Como exemplo de órgão público que realiza este tipo de cadastro, a COGERH trabalha em parceria com a SRH no contexto do estado do Ceará. Em consonância com a lei federal, a gerente declarou que “a obrigação é do empreendedor, porém como não há iniciativa por parte do empreendedor de fazer o cadastro de sua barragem, a COGERH apoia a SRH, fazendo esse cadastro”.

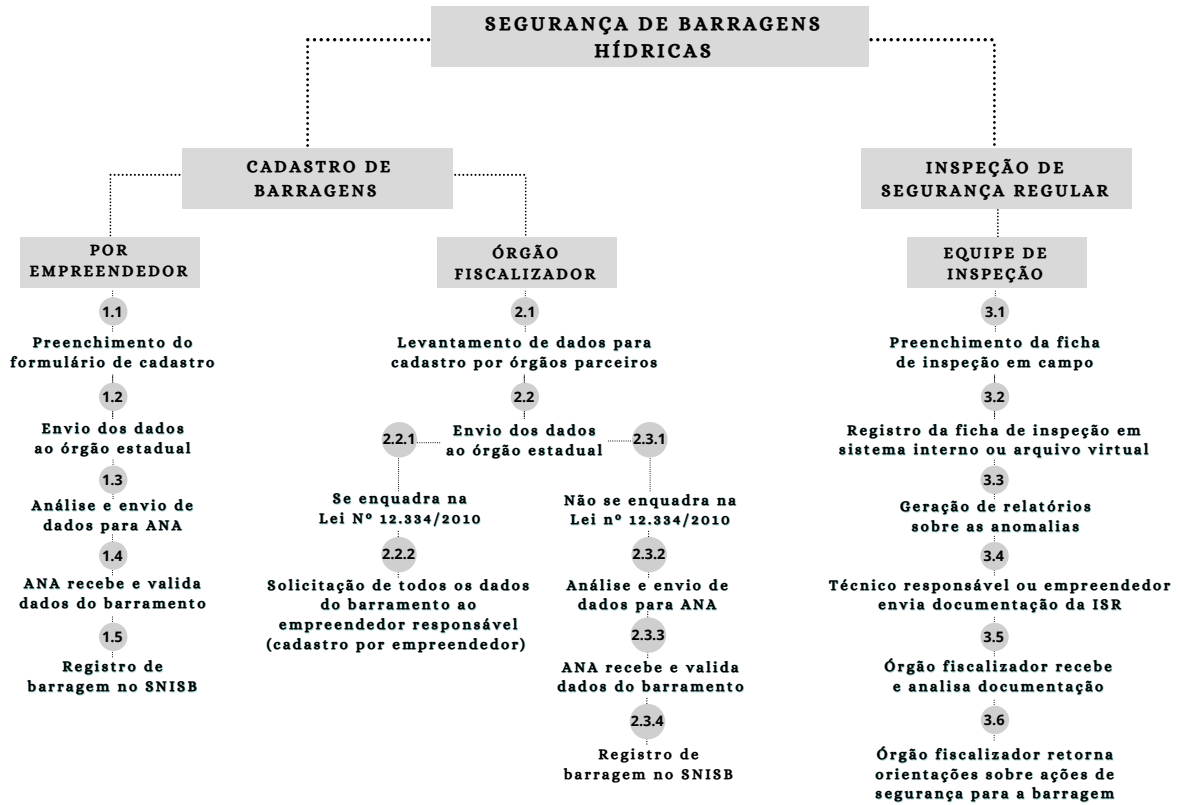
Nas questões seguintes explorou-se quais as ações são tomadas quando a barragem identificada e cadastrada por um órgão público se enquadra na lei federal ou os dados fornecidos no cadastro de um empreendedor de barragem não são consistentes. Conforme relatado pela gerente, ao receber os dados de cadastro das barragens, o órgão fiscalizador tem por dever verificar o dano potencial associado ao barramento, estudando os possíveis danos que um rompimento daquela barragem pode trazer. Segundo ela, após a classificação da barragem de acordo com seu dano potencial, se for obtido um dano potencial alto, será exigido ao empreendedor um maior detalhamento do barramento e os dados requeridos serão especificados pelo órgão fiscalizador estadual, “mas se o dano potencial for médio ou baixo, a barragem não está enquadrada nos outros critérios da Lei nº 12.334/2010, então não precisa mais enviar dados”. Se os dados fornecidos pelo empreendedor não forem consistentes, o órgão fiscalizador estadual terá como obrigação ir a campo verificar e constatar se há anomalia significativa, o que é chamada de vistoria.

5.2 Workflows de Cadastro e Inspeção de Barragens

Baseando-se na validação dos processos de cadastro e inspeção de barragens previamente contextualizada, a Figura 5 estrutura o fluxograma dos passos relacionados ao registro de informações cadastrais do empreendedor e do barramento no SNISB (lado esquerdo), bem como os passos relacionados ao registro de informações da inspeção de uma barragem (lado direito).

Pelo exposto na Figura 5, constatou-se que há mais de um ciclo para realização do cadastro de uma barragem hídrica, podendo ser iniciado não só pelo empreendedor, mas também por órgãos fiscalizadores parceiros do agente fiscalizador de barragens responsável pelo domínio, caso o empreendedor se omita. Nota-se, nos dois fluxos, que os dados precisam ser analisados e validados pelo órgão de fiscalização responsável, para que sejam registrados no SNISB e o empreendedor receba um Registro de Identificação do Empreendedor (RIE).

Figura 5 – Passos para cadastro e inspeção de segurança regular de barragens hídricas.



Fonte: Autoria própria (2020).

Ademais, a partir dos dados previamente coletados, tornou-se possível evidenciar um fluxo comum para o registro e documentação de uma inspeção, onde realiza-se as seguintes atividades: 1) preenchimento de uma ficha de inspeção e registro fotográfico de anomalias, 2) organização de informações coletadas em um arquivo virtual ou sistema interno e 3) elaboração de relatórios acerca da inspeção, descrevendo as anomalias. Além disso, após documentadas e revisadas, as informações são enviadas pelo empreendedor ou técnico responsável designado por ele ao órgão fiscalizador que forneceu a outorga de uso da estrutura. Por fim, a entidade analisa a documentação e envia ao empreendedor orientações acerca das ações a serem tomadas para fomentar a segurança da barragem.

Portanto, com a validação dos processos descrita anteriormente, tornou-se possível explorar e entender as problemáticas que estão integradas no domínio desta pesquisa. Verifica-se, ainda, que os empreendedores nem sempre fazem a contratação de engenheiros para realizar a coleta de dados técnicos das barragens, a qual se mostra essencial para que os procedimentos acerca da segurança de barragens sejam realizados de acordo com as normas estabelecidas nacionalmente (JESUS, 2021), evitando possíveis erros de avaliação que impactem diretamente

na segurança do barramento, e por consequência, ocorra a não-aprovação do cadastro solicitado da barragem. Finalmente, constata-se a necessidade de maior segurança e melhora no armazenamento e transparência dos dados de inspeção registrados, visto que ficam guardados em um sistema interno, computadores pessoais no ambiente de trabalho e/ou em pastas físicas.

6 ARTEFATO PROPOSTO

O artefato proposto neste trabalho, sob a forma de uma API baseada em *blockchain*, permite a inserção e consulta de dados de documentos de cadastro e inspeção de barragens. Tal solução fortalece a transparência das entidades fiscalizadoras quanto aos dados fornecidos pelos empreendedores responsáveis pelos barramentos, assim como possibilita aos responsáveis legais pelas barragens acompanharem o processo de avaliação do empreendimento ou acessar ao histórico de inspeções realizado. Adicionalmente, a arquitetura proposta neste trabalho busca promover os benefícios intrínsecos ao uso *blockchain* em consonância aos requisitos da PNSB, atendendo as normativas e resoluções em vigor e à melhoria da interoperabilidade concernente aos dados fornecidos nos documentos de cadastro e inspeção de barragens. Nesse contexto, estrutura-se este Capítulo em três seções cobrindo diferentes visões do artefato, isto é: Seção 6.1) Identificação de Papéis, Seção 6.2) Ativo de Armazenamento, e, finalmente, Seção 6.3) Arquitetura de Software e Implementação.

6.1 Identificação de Papéis

A presente proposta utiliza o *Hyperledger Fabric*¹, uma plataforma *open source* que consiste em uma *blockchain* permissionada onde cada nó define papéis que são atribuídos aos participantes e o acesso é concedido ou restrito por meio desses papéis (JUNIOR; AZEVEDO, 2019). Portanto, diante dessa particularidade, faz-se necessário a identificação dos papéis envolvidos nos processos de cadastro e inspeção de segurança de barragens.

Segundo a Lei 12.334/2010 (BRASIL, 2010), compete ao empreendedor fornecer os dados concernentes ao cadastro de um empreendimento, assim como é de responsabilidade do responsável técnico pela barragem certificar-se do preenchimento e envio das documentações de uma Inspeção de Segurança Regular. Adicionalmente, a fiscalização da segurança da barragem cabe à entidade fiscalizadora que outorga o direito de uso dos recursos hídricos.

Conforme apresentado no Capítulo 5, o processo de cadastro de uma barragem ocorre através de dois fluxos principais: (1) quando o empreendedor preenche os dados solicitados no formulário de cadastro, envia para o órgão fiscalizador responsável e aguarda a análise da documentação, que pode ser a) aprovada, e com isso o empreendedor receberá um RIE, ou b) reprovada, e com isso será solicitado o envio de uma nova documentação pelo órgão fiscalizador;

¹ Hyperledger Foundation. Hyperledger Fabric. Disponível em: <<https://www.hyperledger.org/use/fabric>>. Acesso em 10 de outubro de 2022.

ou (2) quando o inspetor encontra uma barragem não cadastrada, preenche os dados mínimos de cadastro da estrutura, envia para o órgão fiscalizador responsável, a documentação é analisada e, se a barragem se enquadrar na Lei de Segurança de Barragens, o empreendedor envia uma nova documentação de cadastro seguindo o primeiro fluxo apresentado.

Quanto ao processo referente às inspeções de segurança regulares delineado no Capítulo 5, inicia-se com o preenchimento dos documentos assinados por um responsável técnico que possua registro no respectivo conselho profissional de sua região e, para atestar ciência, um termo assinado pelo empreendedor. Após isso, são enviados à entidade ou órgão fiscalizador responsável que irá analisar as documentações e, posteriormente, seguirá para ser inserido no SNISB. Há de se ressaltar que esse ciclo se repetirá constantemente no processo de inspeção de barragens, uma vez que devem ocorrer inspeções periódicas.

Dado o mapeamento dos integrantes em cada processo, as seguintes categorias de papéis podem ser identificadas:

- **Empreendedor:** pessoa física ou jurídica definida como responsável legal ao qual foi fornecido o direito de operação de uma barragem;
- **Órgão Fiscalizador Estadual:** autoridade do poder público responsável pelas ações de fiscalização de segurança de uma barragem em domínio estadual;
- **Órgão Fiscalizador Federal:** autoridade do poder público responsável pelas ações de fiscalização de segurança de uma barragem em domínio federal;
- **Cidadão:** indivíduo da sociedade cujo interesse consiste em consultar informações públicas das barragens.

É importante ressaltar que cada categoria acima é composta por um conjunto de nós na rede da *blockchain*, uma vez que existem nós representantes de cada órgão fiscalizador, assim como existem nós representando os empreendedores. Por exemplo, pode-se apresentar a Secretaria dos Recursos Hídricos (SRH) no estado do Ceará como um nó da categoria Órgão Fiscalizador Estadual, assim como também o Instituto do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (INEMA) no estado da Bahia. Assim, um órgão responsável pela fiscalização de segurança de barragens, como a SRH, recebe o certificado da rede *Hyperledger* e, através dele, certificados são gerados para todos os integrantes da rede de acordo com o nível de acesso, sendo este definido a partir dos seus papéis. Já no caso do responsável técnico que desempenha o papel de inspetor não se apresenta como um dos papéis principais da rede porque o mesmo é contratado pelos órgãos fiscalizadores ou pelo empreendedor para desempenhar seu papel com relação à inspeção

de um barramento. Assim, o inspetor poderá ter acesso a rede através do nó do órgão fiscalizador ou empreendedor contratante do mesmo.

Portanto, o artefato proposto torna possível que seus usuários gerenciem as transações em rede. Para gerenciar as identidades dos integrantes da rede, o *Hyperledger Fabric* usa o *Activate Directory* e o *Fabric-CA Server* que são integrados através de um sistema denominado Infraestrutura de Chaves Públicas (em inglês, *Public Key Infrastructure* ou PKI). Deste modo, para que uma identidade seja validada, o proprietário dela solicita validação à autoridade certificadora, que irá avançar para o processo de certificação se a identidade for válida.

Para tal finalidade, o Provedor de Serviço de Associação (do inglês, *Membership Service Provider* ou MSP) é usado visando gerar um certificado com as credenciais da rede para cada entidade, com base em seu nível de autoridade. Isso acontece para todos os usuários que solicitam uma identidade compor a rede. Por fim, o *Hyperledger Fabric* também possibilita um canal de comunicação entre membros da rede, responsável por transmitir e restringir o acesso e a lógica de negócio acordados pelos integrantes da rede.

6.2 Ativo de Armazenamento

Para que o empreendedor possa cadastrar sua barragem e receber um RIE, faz-se necessário o preenchimento de um conjunto mínimo de informações, sendo elas: identificação completa do empreendedor, identificação completa do responsável legal (pessoa física representante do empreendedor) e dados principais da barragem (barragem principal, capacidade do reservatório, tipo da barragem principal, tomada d'água, descarregador de fundo, estrutura extravasora principal) (SRH, 2018).

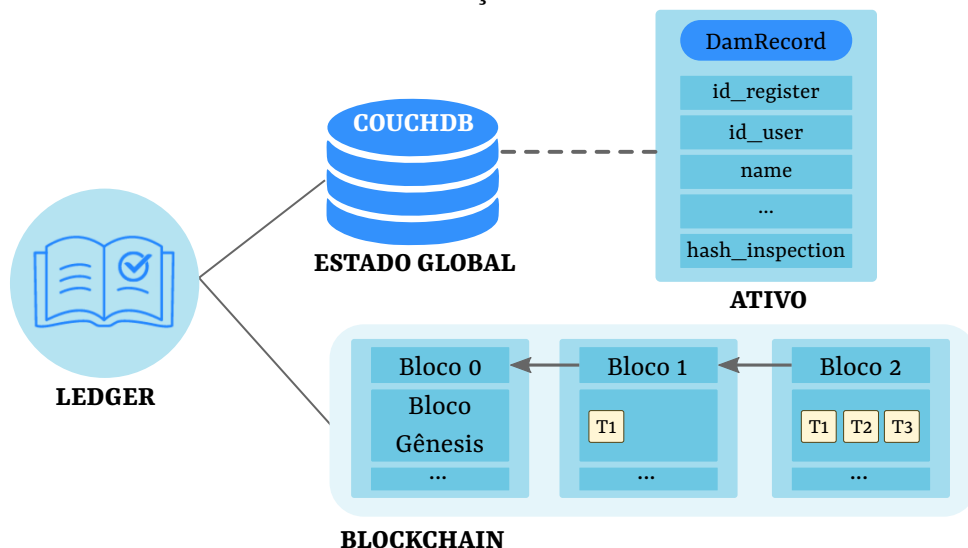
O formulário de cadastro ainda conta com informações a serem preenchidas como identificação da barragem (nome, denominação popular, município, curso d'água barrado, bacia hidrográfica, ano de início da obra, ano de conclusão da obra, construtor, projetista), usos do barramento, gestão de segurança do empreendimento (informações completas do responsável técnico, inspeções de segurança regulares, inspeções de segurança especiais, revisão periódica de segurança, plano de ação de emergência) e/ou informações complementares. Além disso, deve constar a assinatura do responsável técnico e o termo de ciência do empreendedor.

Uma vez cadastrada e enquadrada na Lei Nacional de Segurança de Barragens (BRASIL, 2010; BRASIL, 2020), a barragem deve passar por Inspeções de Segurança Regulares e o responsável legal deve manter a situação de segurança da barragem sempre atualizada. Com

isso, o empreendedor precisa ter a ficha de inspeção de segurança da barragem preenchida por uma equipe técnica e, por fim, deve enviá-la ao órgão fiscalizador responsável. Essa ficha de inspeção possui um conjunto de informações que necessitam ser preenchidas e variam com relação ao tipo de barramento.

Alinhado às diretrizes apresentadas e validadas durante a Conscientização do Problema, propõe-se para este trabalho um ativo genérico denominado como DamRecord. Conforme ilustrado na Figura 6, o DamRecord representa os dados gerais requeridos para cadastro e inspeção de barragem hídricas e, adicionalmente, contém um `id_register`, `id_user` e `hash_inspection`. O `id_user` é referente ao usuário que inseriu o DamRecord, por conseguinte, o `hash_inspection` diz respeito ao endereço codificado em base64 das documentações de inspeção da referida barragem. Assim, enquanto o registro possuir apenas documentações de cadastro de barragem, o `hash_inspection` permanecerá com valor nulo. Porém, ao ser adicionada uma possível documentação de inspeção de barragem (incluindo possíveis registros fotográficos e a ficha de inspeção), seu armazenamento será realizado em uma base de dados fora da *blockchain* e o atributo `hash_inspection` guardará um valor *hash* relativo ao ponteiro e/ou referência do documento de inspeção, fazendo uso, neste caso, de uma estratégia *off-chain* (SHUKLA; SAMET, 2020).

Figura 6 – Visão do ativo DamRecord em relação ao *blockchain*.



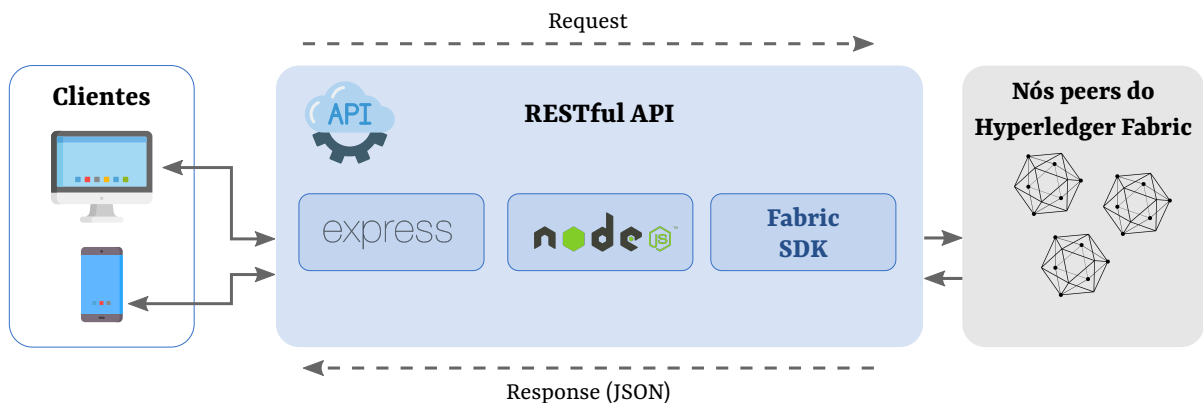
Fonte: Autoria própria (2022).

6.3 Arquitetura de Software e Implementação

O modelo arquitetural desenvolvido neste trabalho adota um padrão baseado em camadas inspirado em (IFTEKHAR *et al.*, 2020), conforme apresentado na Figura 7. O servidor de aplicação apresentado baseia-se no `Node.js`², o qual funciona como o ambiente de execução Javascript *server-side* que hospeda os *frameworks* `Fabric SDK`³ e o `Express.js`⁴.

O `Fabric SDK` provê a abstração da programação de alto nível e fomenta o desenvolvimento da aplicação e comunicação dela com *chaincode* (forma comumente usada para tratar de contrato inteligente no contexto do *Hyperledger Fabric*). Por sua vez, o `Express.js` fornece uma API RESTful e uma série de funções para envio, recebimento e acesso à dados de diferentes infraestruturas de softwares. Este servidor de aplicação ainda provê uma interface genérica que facilita a criação ou integração de novas interfaces de usuário. Assim, se um integrante desejar aderir a solução desenvolvida, poderá integrá-la de maneira mais rápida e fácil em seu sistema existente de acordo com suas necessidades.

Figura 7 – Visão Geral da Arquitetura.



Fonte: Autoria própria (2022).

Assim, tem-se como artefato proposto, uma API RESTful que provê integração do usuário com a plataforma de armazenamento *blockchain* facilitando a interação e consumo programático dos dados do DamRecord registrados em *blockchain*. Conforme exposto no Quadro 3, os participantes definidos na Seção 6.1 podem interagir através das seguintes requisições sob forma de transações com a *blockchain*:

² Node.js. Disponível em: <<https://nodejs.org/en/>>. Acesso em 20 de novembro de 2022.

³ Hyperledger. Hyperledger Fabric SDK for Node.js. Disponível em: <<https://hyperledger.github.io/fabric-sdk-node/>>. Acesso em 20 de novembro de 2022.

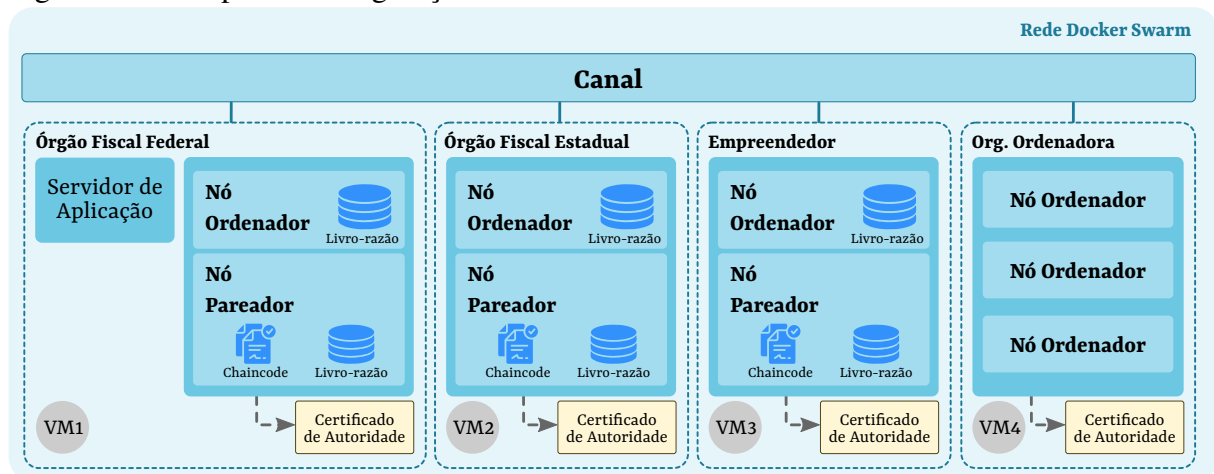
⁴ Express. Framework web rápido, flexível e minimalista para Node.js. Disponível em: <<https://expressjs.com/pt-br/>>. Acesso em 21 de novembro de 2022.

Quadro 3 – Requisições da API.

Requisições	
/InsertDamRecord	Permite ao usuário realizar o envio de um DamRecord para a rede. Entretanto, somente os nós de categoria Empreendedor Órgão Fiscalizador Estadual e Órgão Fiscalizador Federal tem essa permissão.
/ReadDamRecord	Permite ao usuário realizar a leitura de um DamRecord da rede. Todos os integrante na rede podem realizar a consulta de dados.

Fonte: Autoria própria (2022).

Para fins de ilustração, a Figura 8 apresenta uma visão sobre uma possível configuração de rede *Fabric* composta por quatro Máquinas Virtuais (MV) representando diferentes papéis exercidos por possíveis integrantes da rede. Além disso, tem-se um canal de comunicação o qual viabiliza uma sub-rede na qual cada membro tem visibilidade a um conjunto específico de transações. O canal de comunicação é encarregado de implantar o *chaincode*, responsável pela lógica de negócio acordada entre os integrantes da rede, e provê privacidade de informação quanto às transações efetuadas pelos usuários.

Figura 8 – Exemplo de configuração de rede *Fabric*.

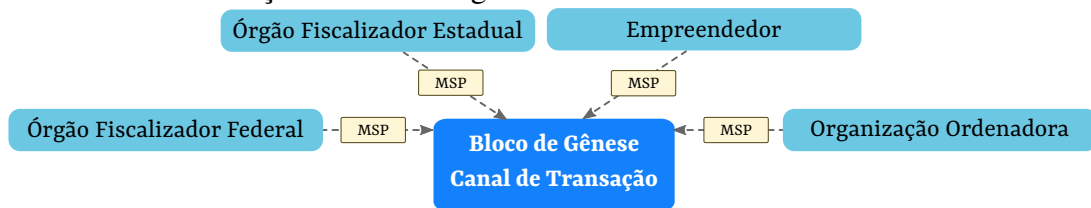
Fonte: Autoria própria (2022).

Seguindo o padrão da plataforma *Hyperledger Fabric* (HYPERLEDGER, 2022), cada integrante da rede possui dois componentes básicos chamados de nós pareador (em inglês, *peer node*) e nó ordenador (em inglês, *orderer node*) como observa-se na Figura 8. Cada um dos nós pareadores representam um integrante da rede e são esses nós que realizam as transações através do envio de requisições pela API. Conforme ilustrado na Figura 6, as transações são registradas em um módulo chamado de *ledger*, composto pelo estado global do ativo salvo, neste caso, no banco de dados *CouchDB* e a *blockchain*. Ademais, o nó ordenador é mantido por todos os componentes da rede, e é um membro neutro, responsável por receber as transações,

organizá-las em blocos e enviá-las aos demais nós pareadores da rede para validação. Por fim, para fazer a comunicação entre as diferentes organizações, tem-se o uso modo *Swarm* do *Docker* o qual que fornece funcionalidades de orquestração de contêiner, incluindo *clustering* nativo de *hosts* do *Docker* e agendamento de cargas de trabalho de contêineres.

Cada integrante da rede possui um certificado de autoridade, criado a partir do fluxo representado na Figura 9. Para criar o bloco de gênese e o arquivo de tradução geral é necessário que haja uma forma intermediária de conexão entre o bloco e os participantes da rede. Primeiro é criado um certificado para as organizações e o empreendedor ou inspetor, depois tem-se a imagem necessária que o provedor de serviços gerenciados (MSP) utilizado precisa para criar o bloco de gênese, ou bloco inicial, e o canal de transação de arquivos, inicializando, assim, a rede. O bloco de gênese é usado para executar o ordenador.

Figura 9 – Fluxo de criação do bloco de gênese.



Fonte: Autoria Própria (2022).

Após a execução do ordenador, um canal de comunicação é criado e ocorre a junção das organizações neste canal. Em seguida, tem-se a implementação da API e a implantação do *chaincode*, permitindo que cada integrante da rede aprove as regras do contrato e invoque-o para utilizar as requisições e atribuições dispostas nele, bem como executar transações específicas.

Quanto à implementação da API, optou-se por fazê-la em uma das máquinas virtuais para tornar mais propícia sua interação com o lado do cliente. Inicialmente, foi implementada uma função de registro do usuário na API para que o mesmo seja registrado e, conseqüentemente, possa realizar transações na rede. Como se observa na Figura 10, a função *post* verificará se está sendo recebido o nome do usuário e da entidade a qual pertence. Então, nas linhas 16 a 20 ocorre a geração de um *token* utilizando JSON Web Token (JWT) para identificação do usuário. Durante o desenvolvimento foi decidido utilizar um *token* com um ponto de validade e que expirará em um determinado período de tempo para evitar utilização indevida do mesmo. Por fim, o restante da função gera o devido retorno ao usuário quanto ao sucesso ou falha da requisição, sendo a falha ocasionada caso o usuário não esteja vinculado a uma organização dentro da rede.

Figura 10 – Implementação da função de registro de usuários.

```

1 app.post('/users', async function (req, res) {
2   var username = req.body.username;
3   var orgName = req.body.orgName;
4   logger.debug('End point : /users');
5   logger.debug('User name : ' + username);
6   logger.debug('Org name : ' + orgName);
7   if (!username) {
8     res.json(getErrorMessage('\username\'));
9     return;
10  }
11  if (!orgName) {
12    res.json(getErrorMessage('\orgName\'));
13    return;
14  }
15
16  var token = jwt.sign({
17    exp: Math.floor(Date.now() / 1000) + parseInt(constants.jwt_expiretime),
18    username: username,
19    orgName: orgName
20  }, app.get('secret'));
21
22  let response = await helper.getRegisteredUser(username, orgName, true);
23
24  logger.debug('-- returned from registering the username %s for organization %s', username, orgName);
25  if (response && typeof response !== 'string') {
26    logger.debug('Successfully registered the username %s for organization %s', username, orgName);
27    response.token = token;
28    res.json(response);
29  } else {
30    logger.debug('Failed to register the username %s for organization %s with:%s', username, orgName, response);
31    res.json({ success: false, message: response });
32  }
33
34 });

```

Fonte: Autoria própria (2022).

No contexto da API desenvolvida, é utilizada uma função com implementação do método POST para registrar os dados de uma barragem chamada de `InvokeTransaction`. Essa função torna possível que o endosso entre os nós seja verificado e que haja aprovação pelos usuários para que o registro seja inserido na rede *Hyperledger*, conforme apresentado na Figura 11. A função fará a verificação em rede para certifica-se de que o usuário possui aprovação, e se assim for constatado, o usuário poderá inserir dados de cadastro e inspeção de barragens referentes a organização a qual está associado na rede. A partir da linha 14, tem-se a verificação de cada argumento passado na requisição. A aplicação avaliará a validade das informações quanto a quantidade de argumentos e o tipo informado. Se não for apresentada nenhuma exceção, a API invocará o *ledger* gravando os dados. Assim, o registro será inserido em rede e àqueles nós que estão conectados poderão ter acesso ao dado registrado.

Quanto à consulta destes dados inseridos, foi criada uma nova função intitulada `QueryDam` (ver Figura 12). Nesse caso, a API realiza a consulta de um registro por meio do método GET. Para isso, é lido o argumento identificador do barramento enviado pela requisição. Assim, caso nenhuma das exceções implementadas sejam ativadas, o registro é então retornado na chamada.

Ademais, usufruindo de uma estratégia de armazenamento *on-chain* (ou seja, os dados são armazenados na *blockchain*) referente às informações e operações em *blockchain*, o artefato possui em seu escopo o *chaincode* `DamContract`, implementado com a linguagem GO⁵.

⁵ GO. The Go programming language. Disponível em: <<https://go.dev/doc/>>. Acesso em 22 de novembro de 2022.

Figura 11 – Implementação da função InvokeTransaction.

```

1 const invokeTransaction = async (channelName, chaincodeName, fcn, args, username, org_name,
2   transientData) => {
3   try {
4     // Create a new gateway for connecting to our peer node.
5     const gateway = new Gateway();
6     await gateway.connect(ccp, connectOptions);
7
8     // Get the network (channel) our contract is deployed to.
9     const network = await gateway.getNetwork(channelName);
10
11     const contract = network.getContract(chaincodeName);
12
13     let result;
14     let message;
15     if (fcn === "createDam") {
16       result = await contract.submitTransaction(fcn, args[0], args[1], args[2], args[3],
17         args[4], args[5], args[6], args[7], args[8], args[9], args[10], args[11], args[12],
18         args[13], args[14], args[15], args[16], args[17], args[18], args[19], args[20], args[21],
19         args[22], args[23], args[24], args[25], args[26], args[27], args[28], args[29], args[30],
20         args[31], args[32], args[33], args[34], args[35], args[36], args[37], args[38], args[39]);
21       message = `Successfully added the dam asset with key ${args[0]}`;
22     }
23     else {
24       return `Invocation require either insertDamRecord as function but got ${fcn}`;
25     }
26     await gateway.disconnect();
27
28     let response = {
29       message: message
30       // result
31     };
32
33     return response;
34
35   } catch (error) {
36     console.log(`Getting error: ${error}`);
37     return error.message;
38   }
39 }
40
41 exports.invokeTransaction = invokeTransaction

```

Fonte: Autoria própria (2022).

Figura 12 – Implementação da função QueryDam.

```

1
2 const queryDam = async (channelName, chaincodeName, args, fcn, username, org_name) => {
3
4   try {
5
6     const gateway = new Gateway();
7     await gateway.connect(ccp, {
8       wallet, identity: username, discovery: { enabled: true, asLocalhost: false }
9     });
10
11     const network = await gateway.getNetwork(channelName);
12     const contract = network.getContract(chaincodeName);
13     let result;
14
15     if (fcn === "queryDam") {
16       console.log(`arguments type is----- ${typeof args}`);
17       console.log(`length of args is----- ${args.length}`);
18       result = await contract.evaluateTransaction(fcn, args[0]);
19     }
20
21   }
22
23   console.log(result)
24   console.log(`Transaction has been evaluated, result is: ${result.toString()}`);
25
26   result = JSON.parse(result.toString());
27   return result
28 } catch (error) {
29   console.error(`Failed to evaluate transaction: ${error}`);
30   return error.message
31 }
32 }
33
34 exports.query = query

```

Fonte: Autoria própria (2022).

Ao discutir a implementação do *chaincode*, tem-se, inicialmente, a estrutura do ativo DamRecord (ver Figura 13) que poderá ser usada pelas requisições de inserção e busca de dados. A estrutura foi organizada de forma a contemplar tanto os dados de cadastro de barragem, como os dados de inspeção (quando estes últimos existirem). Assim, enquanto não são registrados os dados de inspeção de barragens, o atributo Hash_Inspection será inicializado com valor nulo. Entretanto, ao ser inserido um documento de Inspeção, o *hash* do arquivo correspondente a sua referência em uma base de dados fora da *blockchain* será salvo como tal atributo a fim de criar uma relação encadeada entre a barragem registrada e seu respectivo documento de inspeção (inclusive ao longo da existência da barragem e de futuras inspeções).

Figura 13 – Implementação do ativo DamRecord.

```

1 type DamRecord struct {
2     Name    string `json:"name"`
3     Owner   string `json:"owner"`
4     Secondary_Name string `json:"secondary_name"`
5     Autorization string `json:"autorization"`
6     Date_Emission string `json:"date_emission"`
7     Height_Foundation string `json:"height_foundation"`
8     Height_Ground string `json:"height_ground"`
9     Capacity string `json:"capacity"`
10    Material_Type string `json:"material_type"`
11    Main_Use string `json:"main_use"`
12    Complementary_Use string `json:"complementary_use"`
13    Risk_Category string `json:"risk_category"`
14    Dpa string `json:"dpa"`
15    City string `json:"city"`
16    Uf string `json:"uf"`
17    Hydrographic_Region string `json:"hydrographic_region"`
18    Cod_Supervisor string `json:"cod_supervisor"`
19    Class_Dam string `json:"class_dam"`
20    Life_Plase string `json:"life_plase"`
21    River_Name string `json:"river_name"`
22    Basin string `json:"basin"`
23    State_Committee string `json:"state_committee"`
24    Last_Inspection_Date string `json:"last_inspection_date"`
25    Inspection_Type string `json:"inspection_type"`
26    Danger_Level string `json:"danger_level"`
27    Latitude string `json:"latitude"`
28    Longitude string `json:"longitude"`
29    Completeness string `json:"completeness"`
30    Date_Registration string `json:"date_registration"`
31    Supervisory_Body string `json:"supervisory_body"`
32    Regulated string `json:"regulated"`
33    Pae string `json:"pae"`
34    Security_Plan string `json:"security_plan"`
35    Assessed string `json:"assessed"`
36    Sluice string `json:"sluice"`
37    Periodic_Review string `json:"periodic_review"`
38    Hash_Inspection string `json:"hash_inspection"`
39    Status string `json:"status"`
40    Id_User string `json:"id_user"`
41 }

```

Fonte: Autoria própria (2022).

Ainda sobre o contrato inteligente implementado, a Figura 14 apresenta o trecho de código responsável pela função `insertDamRecord` a qual possibilita o registro dos dados de cadastro e inspeção de barragens. Tal função é responsável por receber os argumentos passados pela requisição POST para a API e gravar os dados do ativo `DamRecord` no *ledger*, como se observa nas linha 10 a 21. Além disso, é gerada uma chave composta e atribuída ao registro que identificará o usuário responsável pela inserção das informações na rede. Essa chave é composta pelo identificador do usuário e o identificador do registro e é cifrada pelo método `CreateCompositeKey` (ver linha 28). Por fim, a função retorna uma resposta para a API informando caso a inserção do registro seja bem-sucedida ou não.

Figura 14 – Implementação da função de registro.

```

1 func (s *SmartContract) insertDamRecord(APIstub shim.ChaincodeStubInterface, args []string)
2 sc.Response {
3
4     if len(args) != 40 {
5         errStr := fmt.Sprintf("Failed to insertDamRecord chaincode. Got error: %d", len(args))
6         fmt.Printf(errStr)
7         return shim.Error(errStr)
8     }
9
10    var dam = DamRecord{Name: args[1], Owner: args[2], Secondary_Name: args[3], Autorization: args[4],
11                        Date_Emission: args[5], Height_Foundation: args[6], Height_Ground: args[7],
12                        Capacity: args[8], Material_Type: args[9], Main_Use: args[10], Complementary_Use:
13                        args[11], Risk_Category: args[12], Dpa: args[13], City: args[14], Uf: args[15],
14                        Hydrographic_Region: args[16], Cod_Supervisor: args[17], Class_Dam: args[18],
15                        Life_Plase: args[19], River_Name: args[20], Basin: args[21], State_Committee:
16                        args[22], Last_Inspection_Date: args[23], Inspection_Type: args[24], Danger_Level:
17                        args[25], Latitude: args[26], Longitude: args[27], Completeness: args[28],
18                        Date_Registration: args[29], Supervisory_Body: args[30], Regulated: args[31], Pae:
19                        args[32], Security_Plan: args[33], Assessed: args[34], Sluice: args[35],
20                        Periodic_Review: args[36], Status: args[37], Hash_Inspection args[38], Id_User:
21                        args[39]}
22
23
24    damAsBytes, _ := json.Marshal(dam)
25    APIstub.PutState(args[0], damAsBytes)
26
27    indexName := "owner~key"
28    colorNameIndexKey, err := APIstub.CreateCompositeKey(indexName, []string{dam.Owner, args[0]})
29    if err != nil {
30        return shim.Error(err.Error())
31    }
32    value := []byte{0x00}
33    APIstub.PutState(colorNameIndexKey, value)
34
35    return shim.Success(damAsBytes)
36 }

```

Fonte: Autoria própria (2022).

Além da função `insertDamRecord` com foco no registro dos dados de cadastro e inspeção de barragens, o *chaincode* também dispõe de uma outra função, chamada `readDamRecord` (ver Figura 15), responsável por possibilitar aos nós da rede a leitura de dados de uma barragem registrada em *blockchain*. Na linha 1, tem-se o vetor `args` como parâmetro para a função `readDamRecord` a qual trará um atributo único do cadastro da barragem, que nesse caso é o identificador. Ademais, na linha 3 será verificado se foi passado mais de um argumento para a função. Caso não tenha sido, a função procurará pela barragem com o identificador igual ao valor informado pelo usuário. Finalmente, será retornada uma resposta para a API informando caso a consulta do registro tenha sido bem-sucedida ou não.

Figura 15 – Implementação da função de leitura.

```
1 func (s *SmartContract) readDamRecord(APIStub shim.ChaincodeStubInterface, args []string) sc.Response {
2
3     if len(args) != 1 {
4         return shim.Error("Incorrect number of arguments. Expecting 1")
5     }
6
7     damAsBytes, _ := APIStub.GetState(args[0])
8     return shim.Success(damAsBytes)
9 }
```

Fonte: Autoria própria (2022).

Sendo assim, este capítulo apresentou a solução proposta neste trabalho contemplando uma arquitetura de uma *API* baseada em *blockchain* para apoio ao cadastro e inspeção de barragens. Nesse caso, modelou-se um ativo genérico *DamRecord* contemplando os dados a serem registrados no que se refere aos *workflows* de cadastro e inspeção de barragens. Além disso, identificou-se uma rede de participantes (Empreendedor, Órgão Fiscalizador Estadual, Órgão Fiscalizador Federal e Cidadão) e transações (inserção e leitura de registros) aderente ao arcabouço regimental brasileiro. Portanto, cada vez que uma transação é realizada, registra-se o referido evento na *blockchain*.

7 ESTUDO EMPÍRICO

Visando compreender a viabilidade inicial no quesito de desempenho, buscou-se discutir um diagnóstico empírico da solução sob um ponto de vista técnico. Portanto, o capítulo estrutura-se em duas seções principais, são elas: 7.1) Configuração do Experimento Computacional e 7.2) Resultados e Análises.

7.1 Configuração do Experimento Computacional

Para a realização do experimento computacional conduzido nesta pesquisa, fez-se necessário a utilização de uma aplicação *desktop* projetada para testes de desempenho, carga e *stress*, chamada *JMeter* (HALILI, 2008). Tal plataforma se mostra adequada aos testes do artefato investigado devido a capacidade de prover cenários diversos de avaliação consonantes com a utilização da API implementada. Nesse caso, portanto, tem-se a oportunidade de simular as ações de diferentes quantidades de usuários e recolher os dados a serem utilizados para análise de resultados.

Os testes foram realizados com base nas duas principais funções da proposta, `insertDamRecord` e `readDamRecord`, já que manipulam diretamente o ativo `DamRecord`. Ao testar a função de inserção, objetivou-se avaliar dois cenários principais: o registro de dados necessários para o cadastro de uma barragem e a inserção de dados de inspeção de uma barragem. Para testar a função de leitura de dados, também foram investigados dois cenários: a busca de um registro de barragem específico contendo apenas informações de cadastro e a busca por um registro de uma barragem específica com dados de inspeção previamente inseridos, ou seja, com o campo `hash_inspection` preenchido.

Como provedor de nuvem de hospedagem foi usada a plataforma *Google Cloud* a qual possibilitou instanciar quatro máquinas virtuais (MVs) diferentes utilizando um sistema operacional *Ubuntu* versão 18.04 LTS, 30GB de disco rígido. Uma MV contou com 8GB de memória RAM e as outras três com 4GB.

Para simular cenários com cargas de trabalho diferentes, foram estabelecidos de forma empírica testes com n usuários, sendo $n = 5, 10, 30, 50, 100$. Além da quantidade de usuários, os testes no *JMeter* pré-estabelecem o tempo de inicialização entre os usuários virtuais como ilustrado na Figura 16. Para simular usuários com requisições próximas, quase simultâneas, foi escolhido 1 segundo como intervalo de tempo para inicialização de envio das requisições.

Figura 16 – Definição de tempo de inicialização no JMeter.

The image shows the 'Grupo de Usuários' configuration window in JMeter. The 'Propriedades do Usuário Virtual' section is highlighted with a red box. It contains the following fields:

- Número de Usuários Virtuais (threads): 100
- Tempo de inicialização (em segundos): 1
- Contador de Iteração: Infinito 1

Other options visible include 'Ação a ser tomada depois de erro do testador' (Continuar, Start Next Thread Loop, Interromper Usuário Virtual, Interromper Teste, Interrompe Teste Agora) and checkboxes for 'Delay Thread creation until needed' and 'Agendador'.

Fonte: Autoria própria (2022).

Adicionalmente, visando prover uma contextualização breve sobre a perspectiva financeira, apresenta-se na Tabela 1 uma estimativa de orçamento usando a plataforma *Google Cloud* (considerando a cotação no dia 10/10/2022). Conforme pode-se observar, tem-se uma variação no número de nós numa perspectiva semanal, mensal e anual. Tais valores foram obtidos através da própria plataforma. Depois de serem configuradas as quatro máquinas virtuais, a plataforma passa a informar os gastos diários decorrentes do uso das mesmas, por exemplo, no que diz respeito à implantação do artefato desenvolvido e realização de transações.

Tabela 1 – Tabela com estimativa de custos de acordo com o número de nós.

Número de nós	Custo		
	Semanal	Mensal	Anual
4 nós	R\$ 87,90	R\$ 351,60	R\$ 4.219,20
5 nós	R\$ 109,87	R\$ 439,88	R\$ 5.278,56
10 nós	R\$ 219,74	R\$ 878,96	R\$ 10.547,52
30 nós	R\$ 659,22	R\$ 2.636,88	R\$ 31.642,56
50 nós	R\$ 1.098,70	R\$ 4.394,80	R\$ 52.737,60
100 nós	R\$ 2.197,40	R\$ 8.789,60	R\$ 105.475,20

Fonte: Autoria própria (2022).

Ao fim de cada semana em que foram utilizadas as VMs percebeu-se que os custos obtidos semanalmente eram semelhantes, portanto foi pego o valor semanal, neste caso de R\$ 87,90 como mostra a Tabela 1, e aplicada a regra matemática da proporcionalidade (SANTOS *et al.*, 2019) para traçar os custos de valor mensal e anual. Por fim, torna-se possível vislumbrar os custos com maiores quantidades de nós associados à rede, sendo neste caso, cada nó associado a uma VM.

Por conseguinte, com intuito de verificar o comportamento da API com diferentes tamanhos de arquivos sendo armazenados em *blockchain*, foi estabelecida a utilização de arquivos

de tamanhos $s = 1500 \text{ bytes}$ para registros de cadastro de barragem e $s = 1800 \text{ bytes}$ para registros de inspeção de barragem. Os tamanhos de arquivo escolhidos foram definidos levando em consideração uma possível documentação cujo todos os campos foram preenchidos, permitindo, assim, analisar o comportamento da API com o maior número de dados a serem enviados.

Objetivando mitigar o efeito de *outliers* nas métricas coletadas (tempo da amostra, vazão e latência), os testes foram executados 10 vezes para cada tamanho de arquivo s e quantidade de usuários simultâneos n nos cenários de cadastro e de inspeção de barragem. Adicionalmente, em busca de identificar a ocorrência de diferença estatística e tamanho do efeito entre as amostras obtidas, foram aplicados respectivamente os testes estatísticos de Wilcoxon (WC) (WILKS, 2011) para medir a diferença estatística com nível de confiança definido de 95% para este estudo, e, em complemento, o teste \hat{A}_{12} de Vargha-DeLaney (VARGHA; DELANEY, 2000) para medir o número relativo de vezes em que um caso de teste produziu valor superior ao outro. Dados granulares e dos testes estatísticos encontram-se no repositório da pesquisa (MACEDO *et al.*, 2022).

Por fim, os testes foram executados em uma máquina de 8GB de memória RAM e um HD de um 1TB, com processador *Intel Core i5* com uma conexão de banda larga de 40 Mbps. Além do mais, conforme salientado nos Procedimentos Metodológicos (ver Capítulo 4), há de se ressaltar que o experimento aqui conduzido se pauta numa ótica de avaliação inicial acerca da viabilidade técnica do artefato desenvolvido o qual se orientou a partir de um escopo baseado numa prova de conceito.

7.2 Resultados e Análises

Nesta seção, os resultados dos testes de desempenho são discutidos e são apresentadas análises a partir de métricas coletadas em cenários de escrita e leitura de informações de cadastro de uma nova barragem e dados de inspeção de uma barragem já cadastrada utilizando o artefato proposto neste trabalho.

7.2.1 Tempo da amostra

Considerando que o tempo da amostra compreende o intervalo de tempo em que um sistema envia a requisição até o momento em que recebe completamente a resposta (JMETER, 2022), verificou-se o intervalo de tempo compreendido desde o envio das requisições aos

métodos principais implementados (POST e GET) até o momento em que é retornado o resultado às requisições. Na Figura 17, encontram-se os gráficos referentes às transações com arquivos de tamanho $s = 1.500$ KB (Figura 17a) e $s = 1.800$ KB (Figura 17b) no contexto da solicitação de escrita de dados para cadastro e para inspeção, ou seja, com requisições usando o método POST. Logo, os resultados apresentados expressam a média de tempo, em milissegundos, calculada a partir das requisições simultâneas dos n usuários para cada tamanho de arquivo s .

Pode-se notar na Figura 17 um crescente aumento na média de tempo diretamente proporcional a quantidade de usuários simultâneos que enviam requisições nos dois cenários, apesar de ser perceptível que no envio de requisições por 5 e 10 usuários tem-se tempos semelhantes nos dois cenários. Além disso, verifica-se que o tempo da amostra nos dois cenários permanecem dentro da mesma faixa de tempo mesmo com o aumento na quantidade de requisições enviadas por vez. Nesse sentido, tem-se a média dos tempos da amostra para a maior quantidade de usuários enviando requisições de 22.743,47 ms para arquivos de $s = 1.500$ KB e, por sua vez, 22.827,53 ms para arquivos de $s = 1.800$ KB.

Figura 17 – Médias de tempo das amostras (ms) utilizando POST.



(a) Cadastro de Barragens

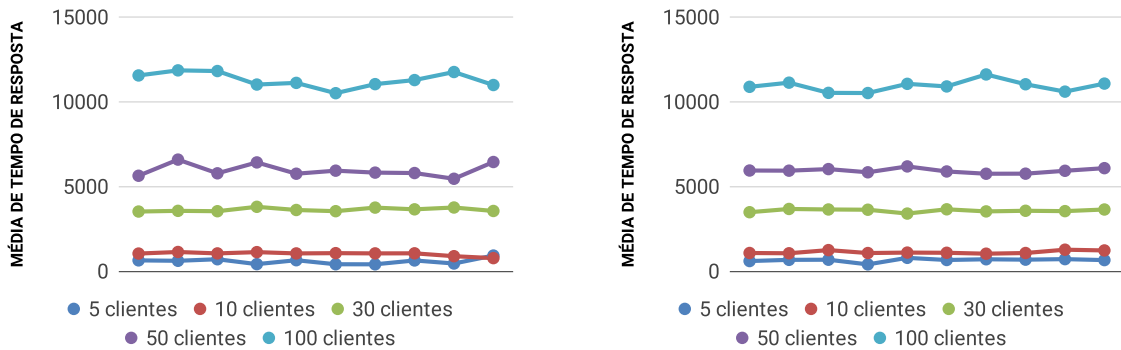
(b) Inspeção de Barragens

Fonte: Autoria própria (2022).

A Figura 18 apresenta o tempo das amostras, usando o método GET, referente aos arquivos de 1.500 KB para cadastro de barragem (Figura 18a) e aos arquivos de 1.800 KB para inspeção de barragem (Figura 18b). No caso de leitura de informações de cadastro, a maior média dos tempos de amostra foi de 11.295,12 ms quando 100 usuários fizeram requisições simultaneamente. Enquanto isso, no caso de leitura de informações de inspeção, a maior média dos tempos foi de 10.935,99 ms com 100 usuários simultâneos. Assim, percebe-se que tanto o tempo da amostra de requisições POST quanto o tempo da amostra de requisições GET apresentam médias aproximadas no que diz respeito ao envio de requisições simultâneas por 5 clientes e por

10 clientes. Além disso, a média de tempo da amostra quando 30 clientes enviam requisições permanece abaixo de 8000 ms para o método POST e abaixo de 4000 ms para o método GET. Nota-se também uma média semelhante do tempo da amostra para diferentes tamanhos de arquivo, mesmo com o aumento no número de requisições enviadas.

Figura 18 – Médias de tempo das amostras (ms) utilizando GET.



(a) Cadastro de Barragens

(b) Inspeção de Barragens

Fonte: Autoria própria (2022).

Diante dos resultados obtidos, nota-se que a maior média de tempo da amostra nos cenários do método POST foi de 26 segundos, e de 11 segundos nos cenários referentes ao método GET. Nesse contexto, quando se observa a quantidade de tempo atingida em cada cenário proposto, compreende-se que mesmo com o tempo da amostra apresentando um valor médio de aproximadamente 25 segundos para a quantidade de 100 usuários enviando requisição referentes ao método POST, nos outros cenários há uma média próxima e abaixo de 15 segundos.

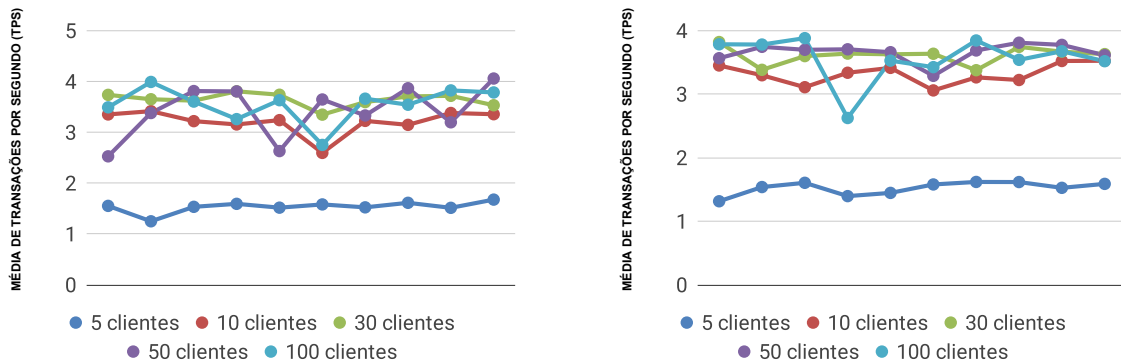
Por fim, tendo em vista a necessidade de processos realizados com eficácia e eficiência quanto ao desempenho da API desenvolvida, constata-se que a estratégia utilizada com uso de *blockchain* requisitou um tempo de amostra razoável a partir de cenários com múltiplos usuários e arquivos com tamanhos distintos (mas condizentes com a realidade). Vale ressaltar que os resultados estatísticos mostram-se dispensáveis nos casos abordados anteriormente, tendo em vista a notória diferença atingida.

7.2.2 Vazão

Reconhecendo que a vazão (ou *throughput*) compreende a quantidade de transações por segundo processadas pela *blockchain* (BALIGA *et al.*, 2018; JMETER, 2022), validou-se o comportamento do artefato proposto ao serem enviadas as requisições de POST e GET referentes

às informações de cadastro de barragem e de inspeção de barragem. Na Figura 19, encontram-se os gráficos referentes ao método POST nos dois cenários sob avaliação, ou seja, $s = 1.500$ KB (Cadastro de Barragens) e $s = 1.800$ KB (Inspeção de Barragens). Os resultados obtidos expressam a média de vazão quando diferentes quantidades de usuários enviam requisição de forma simultânea.

Figura 19 – Média de vazão (tps) utilizando POST.



(a) Cadastro de Barragens

(b) Inspeção de Barragens

Fonte: Autoria própria (2022).

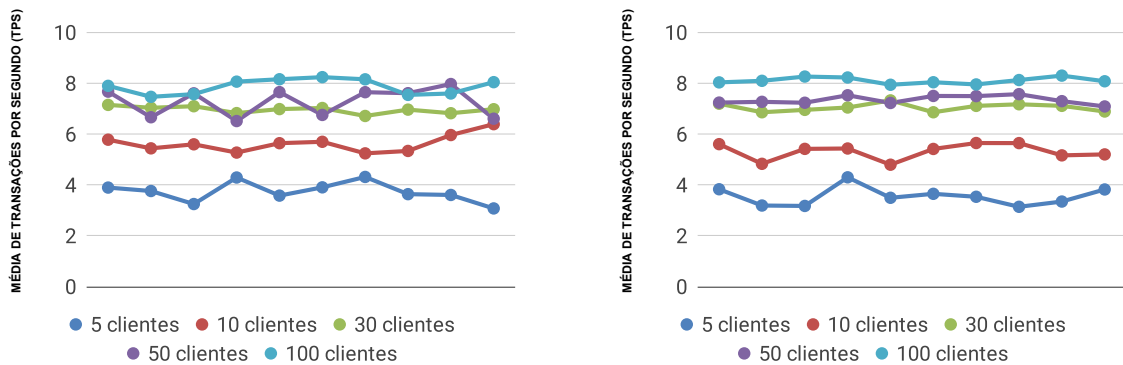
Percebe-se que a média de vazão permanece abaixo de 4 tps (*transactions per second*) na escrita de dados de cadastro e de inspeção de barragens, com exceção de uma das sessões de envio de requisição com 50 clientes referente à dados de cadastro de barragens, onde foi obtida uma média de 4,06 tps. Ademais, no cenário de cadastro de barragens (Figura 19a) existem evidências estatísticas que mostram a semelhança na média de vazão entre os casos de 30, 50 e 100 clientes, pois na comparação entre os casos foi apresentado o valor do $p\text{-value} = 1$, não havendo diferença estatística. Além disso, o \hat{A}_{12} apresentou tamanho do efeito insignificante, equivalendo a 0,56 (comparação entre cenários com 30x50 e 30x100 requisições simultâneas) e 0,46 (comparação entre cenários com 50x100 requisições simultâneas). O resultado foi semelhante ao se comparar o envio de 10 e 50 requisições simultâneas, apresentando $p\text{-value} = 1$, porém, o tamanho do efeito foi médio ($\hat{A}_{12} = 0,32$). Com isso, compreende-se que o cenário com 10 requisições simultâneas apresenta diferença estatística significativa em relação aos casos de 5, 30 e 100 requisições simultâneas e tamanho do efeito grande.

Já no cenário de inspeção de barragens (Figura 19b), os casos em que a análise estatística mostrou que os valores são semelhantes foi na comparação entre 30 e 50 usuários, 30 e 100 usuários e 50 e 100 usuários, com $p\text{-value} = 1$ para todos. Nesses casos mencionados, a primeira comparação obteve tamanho do efeito pequeno enquanto as outras duas apresentaram

tamanho do efeito insignificante, sendo \hat{A}_{12} igual a 0,37, 0,46 e 0,54 respectivamente. Portanto, percebe-se que, exceto quando 5 clientes estão enviando requisições simultaneamente, ou seja, quando há um número menor de requisições a ser processadas simultaneamente, a média de vazão segue semelhante variando entre 2 e 4, mesmo com o aumento da quantidade de requisições enviadas e tamanho do arquivo. Nos dois cenários não foi identificada diferença estatística quando comparados os testes com 50 e 100 usuários enviando requisições simultaneamente.

Ao analisar a Figura 20, nota-se um aumento na vazão, dobrando a média de vazão obtida na maior parte dos casos, tanto no cenário de cadastro como no cenário de inspeção de barragem.

Figura 20 – Médias de vazão (tps) utilizando requisição GET.



(a) Cadastro de Barragens

(b) Inspeção de Barragens

Fonte: Autoria própria (2022).

Ao se observar o cenário de cadastro de barragens (Figura 20a), nota-se que a média de vazão está entre 6 e 8 tps nos casos de envio de requisição simultaneamente por 30 e 50 clientes, mas não são semelhantes. Uma comprovação estatística dessa assertiva é o fato de que o p-value equivale a 1, todavia o \hat{A}_{12} equivale a 0,39 apresentando tamanho de efeito pequeno. Já no cenário de inspeção (Figura 20b), de forma visual e via análise estatística, verifica-se que os valores de vazão são diferentes em todos os casos, uma vez que o p-value = 0,0018 e o $\hat{A}_{12} = 0$ em todas as comparações, com exceção da comparação entre 30 e 50 clientes onde o p-value = 0,0282 e o $\hat{A}_{12} = 0,1$. Ainda assim, para todos os casos foi obtido um tamanho de efeito grande. Ademais, nos cenários de cadastro e de inspeção de barragem, os casos de 30, 50 e 100 clientes enviando requisição simultaneamente encontram-se com média de vazão entre 6,5 e 8,2 segundos, sendo essas as maiores médias de vazão.

Assim, compreende-se que, tanto com relação ao método GET quanto com relação ao POST, a partir do caso de 30 requisições sendo enviadas simultaneamente, a média de vazão passa

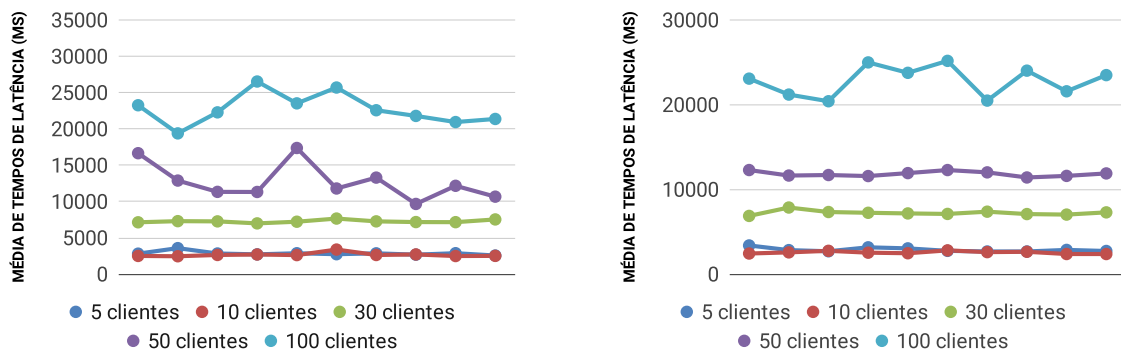
a aumentar cada vez menos, tornando-se semelhante a cada aumento no número de requisições. Portanto, a API desenvolvida apresenta resultados satisfatórios em termos de vazão, mostrando, assim, que a estratégia utilizada foi capaz de realizar as requisições em condição exequível.

7.2.3 Tempo de latência

O tempo de latência consiste na medição do atraso na comunicação, incluindo o processamento necessário para montagem da solicitação e a montagem da primeira resposta (STERNBERG, 1992; JMETER, 2022). Nesse sentido, realizou-se o estudo da média da variação de tempo entre a saída dos pacotes de dados enviados nas requisições POST e GET em teste até o início da resposta no servidor de destino a fim de verificar a qualidade dos serviços prestados pela API. Vale ressaltar que ao se medir o tempo de latência, fatores como tipo de conexão, protocolos e informação transmitida podem influenciar no resultado.

Na Figura 21, podem ser observados os gráficos concernentes ao método POST nos cenários de cadastro de barragem e inspeção de barragem, respectivamente nas Figuras 21a e 21b. Os resultados apresentados são referentes à média do tempo de latência quando diferentes quantidades de clientes enviam uma requisição de escrita simultaneamente.

Figura 21 – Médias de tempo de latência (ms) utilizando POST.



(a) Cadastro de Barragens

(b) Inspeção de Barragens

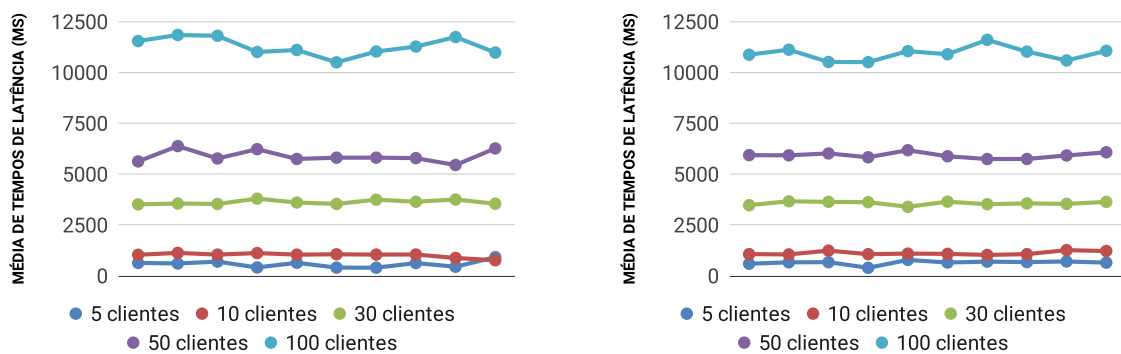
Fonte: Autoria própria (2022).

A maior média dos tempos de latência de obtidos na escrita de dados de cadastro (Figura 21a) é de 22.743,46 ms referente ao envio de requisições por 100 clientes, enquanto a maior média do tempo de latência de inspeção (Figura 21b) é de 22.827,52 ms referente também a mesma quantidade de clientes enviando requisições simultaneamente. Além disso, o comportamento dos casos com diferentes quantidades de usuários é semelhante para os cenário

de cadastro e inspeção, pois a medida que a quantidade de requisições aumenta, o tempo de latência também aumenta e nos dois cenários ele permanece dentro da mesma média de tempo para as repetições realizadas em todos os casos. No entanto, no cenário de cadastro, nota-se que houve uma oscilação considerável no quinto envio de requisição com 50 clientes, mesmo a média tendo permanecido dentro da faixa de 10.000 ms e 20.000 ms. Uma explicação para esta oscilação significativa pode ser atribuída aos fatores externos, por isso a importância das 10 execuções dos testes em cada cenário específico.

Observando a Figura 22, a maior média no tempo de latência está no caso com 100 clientes enviando requisições simultaneamente nos dois cenários, sendo a média no cenário de cadastro de 11.293,95 ms, e no cenário de inspeção de 10.935,58 ms. Assim como observado anteriormente para os casos referentes ao método POST, no método GET o tempo de latência para cada caso nos dois cenários permanece dentro da mesma faixa, mas é perceptível como o tempo de latência é menor quando compara-se o envio de requisições de leitura e de escrita.

Figura 22 – Médias de tempo de latência (ms) utilizando GET.



(a) Cadastro de Barragens

(b) Inspeção de Barragens

Fonte: Autoria própria (2022).

A partir dos resultados previamente apresentados, constata-se que, a princípio nos casos de 5 a 10 clientes não há uma diferença considerável de latência, mas a diferença passa a ser considerável a partir de 30 clientes tanto no envio de requisições de POST quanto de GET. Ademais, os tempos de latência aumentaram de acordo com o aumento na quantidade de requisições, sugerindo assim, um comportamento em conformidade com o esperado. Quando se analisa para o tamanho do arquivo, o tempo de latência também se assemelha uma vez que permanece dentro da mesma faixa de tempo para ambos cenários. Assim sendo, pode-se verificar que a presente API baseada em *blockchain* mostra-se minimamente viável quanto ao desempenho computacional para os cenários investigados.

8 AMEAÇAS À VALIDADE

Este capítulo discute as ameaças potenciais que podem afetar a validade deste trabalho. Reconhecendo tal questão, discute-se à seguir ameaças classificadas à luz de Wohlin *et al.* (2012), bem como as estratégias adotadas para mitigá-las.

Em relação às **ameaças internas**, sobre a avaliação empírica conduzida, as entradas dos registros de barragem utilizadas foram inspiradas em dados reais, com exceção dos arquivos de mídias utilizados em inspeções, geralmente capturados por interfaces com funcionalidades para *upload* de arquivos. Entretanto, para contornar essa ameaça, simulou-se mídias em *base64* a fim de transferir arquivos codificados em *strings*. Apesar do formato das mídias, foi possível avaliar a viabilidade inicial do artefato.

Acerca das **ameaças externas**, o experimento computacional do artefato foi realizado com tamanhos pré-definidos e variados de arquivos. No entanto, o tamanho das mídias não impacta diretamente na solução proposta já que apenas seus *hashes* serão armazenados em *blockchain*. Assim, o tamanho de arquivos para cada cenário (cadastro e inspeção de barragens) será semelhante, sendo o tamanho dos arquivos de inspeção acrescido por guardar o valor do *hash* relativo à referência das mídias armazenadas em uma base de dados fora da *blockchain*.

No que se refere às **ameaças de construção**, em busca de tornar a validação do problema mais robusta, buscou-se explorar uma estratégia multimétodo composto por revisão *ad-hoc* da literatura, análise documental, observação não participante e entrevista semi-estruturada. Sobre a revisão reconhece-se a limitação em não ter sido conduzida numa perspectiva de revisão sistemática da literatura. No entanto, apesar de ser um tópico bastante recente de pesquisa, foi possível ter um alcance razoável da literatura através da busca de palavras-chave no *Google Scholar*. A análise documental, por sua vez, seguiu o protocolo sugerido por Bowen *et al.* (2009) o que denota certo rigor ao processo. Quanto à observação não participante, buscou-se mitigar a influência da observação na forma de agir dos envolvidos na coleta e tratamento de dados de inspeção de barragens. Para isso, foi explicado aos envolvidos os objetivos do trabalho mas não os pressupostos a serem investigados. Além do mais, para compreender melhor o conhecimento a ser extraído de campo, decidiu-se realizar a observação não participante durante dois dias, sendo um para acompanhamento em campo e outro para observação no escritório. Isso proporcionou amenizar o cansaço e fadiga por parte dos envolvidos.

Além disso, reconhece-se a limitação quanto à ausência de uma avaliação social da presente proposta a partir da visão de potenciais usuários ou especialistas. Poderia ter sido

realizada uma avaliação com especialistas e análise temática do conteúdo, assim como outras métricas referentes às características da *blockchain* utilizada. Porém, em conformidade com o objetivo da pesquisa, para mitigar esta ameaça, capturou-se métricas de desempenho relevantes ao contexto do artefato (empregadas em outros trabalhos semelhantes) e pertinentes para um diagnóstico sobre a viabilidade inicial em termos de desempenho.

Por fim, quanto às **ameaças de conclusão**, na avaliação do experimento computacional notou-se que o comportamento da rede pode impactar nos tempos de resposta e latência em diferentes instantes em relação às métricas analisadas. Por isso, diversas sessões de execução de testes (respaldados por análises estatísticas) foram realizadas com diferentes cenários.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gestão de barragens hídricas revela-se um domínio proeminente para desenvolvimento de soluções inovadoras, tendo em vista os impactos econômicos, sociais e ambientais envolvidos. Entretanto, apesar da relevância da referida área, constata-se ainda um campo vagamente explorado quanto ao desenvolvimento de projetos de cunho tecnológico e inovador para lidar com os desafios, incluindo a avaliação da governança e transparência deste tipo de obras. Diante de tal escopo, a tecnologia *blockchain* demonstra-se promissora, devido sua capacidade única de registro imutável de eventos digitais de forma transparente, segura e resiliente. Nesse sentido, torna-se possível fomentar uma cultura de transparência e interoperabilidade de dados técnicos de cadastro e inspeção de segurança de barramentos e, conseqüentemente, fortalecer as ações de fiscalização ao longo da vida útil de um barramento.

Alinhado com a motivação ora apresentada, este trabalho teve como objetivo propor, desenvolver e avaliar a viabilidade inicial de uma API baseada em *blockchain* para suporte à processos específicos de gestão de recursos hídricos, sendo eles o cadastro e inspeção de barragens. Sob o escopo de um enquadramento multimétodo caracterizado como um estudo quali-quantitativo orientado por *Design Science Research*, buscou-se compreender o problema de maneira aprofundada e multiarticulada a fim de traçar uma proposta de solução minimamente viável como uma prova de conceito aderente ao contexto do regimento brasileiro Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB).

De forma geral, os procedimentos metodológicos foram divididos em quatro etapas principais. Durante a primeira etapa, houve a conscientização do problema através de uma revisão bibliográfica do domínio e análise documental tendo como base a PNSB. Ainda nesta etapa, foram realizadas observação não participada e entrevista em profundidade para compreender de maneira mais aprofundada o problema. Na segunda etapa, foi criada a proposta de um *tentative design* do artefato com base na análise dos requisitos previamente colhidos, sendo este uma API com arquitetura baseada em *blockchain*. Já na terceira etapa foi implementada efetivamente a API utilizando a plataforma *Hyperledger Fabric* de acordo com a proposta sugerida na etapa anterior. Na quarta etapa foi conduzido um experimento computacional para avaliação da API e sua arquitetura utilizando três métricas específicas para investigar a viabilidade da proposta, sendo elas: tempo da amostra, vazão e tempo de latência. Por fim, na quinta e última etapa, tem-se a apresentação das descobertas realizadas durante a pesquisa. Durante a sessão de estudo empírico foram documentados todos os testes realizados para comprovar a viabilidade inicial

técnica da API baseada em *blockchain*, sendo possível assim, obter um diagnóstico acerca do comportamento do artefato proposto. Com análise das métricas utilizadas, verificou-se que a API desenvolvida apresenta resultados iniciais promissores, sendo, assim, uma estratégia proeminente para apoio ao cadastro e inspeção de barragens hídricas a fim de tornar os processos envolvidos no registro e inspeção de dados mais transparentes e interoperáveis.

Em suma, o presente trabalho contribui para literatura ao discutir uma proposta de escopo inédito de transformação digital no domínio de soluções baseadas em *blockchain* para segurança de barragens no Brasil. No que se refere às contribuições práticas, tem-se que, além de apresentar uma proposta alicerçada no regimento brasileiro, este trabalho compartilha de forma multiarticulada (e respaldada numa abordagem sociotécnica) um produto de software para mitigar os desafios da interoperabilidade e transparência de dados no contexto de cadastro e inspeção de barragens hídricas no Brasil. Os resultados empíricos obtidos evidenciam uma oportunidade rica para sinergia entre as áreas de sistemas de informação e gestão de barragens dados os problemas socioeconômico e ambiental flagrantemente no Brasil.

Finalmente, como trabalhos futuros, pretende-se concretizar a integração da API com aplicações *web* e/ou *mobile* permitindo, assim, uma análise de usabilidade com gerentes e inspetores. Adicionalmente, pretende-se aprimorar a arquitetura da API proposta, bem como explorar cenários mais complexos de avaliação de desempenho (incluindo a adoção de outras métricas, por exemplo). Finalmente, almeja-se conduzir uma avaliação mais robusta com profissionais especialistas na área de gestão de barragens hídricas a fim de entender a aceitação de tecnologia e implicações relacionadas à governança digital.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. N. A. de M. **Um Projecto Para a Segurança Das Barragens Portuguesas**. 1998. 4º Congresso da Água, Lisboa, 23-27 de março de 1998.
- ALMEIDA, K. V. P. d. *et al.* Uma proposta de barramento de dados para integração de serviços públicos digitais. Universidade Federal da Paraíba, 2021.
- ALVES, P.; LAIGNER, R.; NASSER, R.; ROBICHEZ, G.; LOPES, H.; KALINOWSKI, M. Desmistificando blockchain: Conceitos e aplicações. (es). **Computação e Sociedade. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Computação**, p. 1–24, 2018.
- ANA. Agência nacional de águas. **Os efeitos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos: desafios para a gestão**, 2010.
- ANA. Agência nacional de águas. **Curso Segurança de Barragens**, Brasília - DF, 2011.
- ANA. Agência nacional de águas. **Resolução nº 742**, 2011. Disponível em: <<https://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2011/742-2011.pdf>>.
- ANA. Agência nacional de Águas. In: CADERNO DE CAPACITAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS. **Outorga de Direito de Uso de Recursos Hídricos**. Brasília - DF, 2011. v. 6.
- ANA. Agência nacional de Águas. In: MANUAL DO EMPREENDEDOR SOBRE SEGURANÇA DE BARRAGENS. **Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragens**. [S.l.], 2016. v. 2.
- ANA. Agência nacional de Águas. resolução nº 236, de 30 de janeiro de 2017. **Resolução Nº 236**, 2017. Disponível em: <<https://arquivos.ana.gov.br/resolucoes/2017/236-2017.pdf>>.
- ANA. Agência nacional de Águas. **Relatório de Segurança de Barragens 2018**, Brasília - DF, 2019.
- ANA. Agência nacional de Águas. **Relatório de Segurança de Barragens 2019**, Brasília - DF, 2020.
- ANTONOPOULOS, A. M. **Mastering Bitcoin: Programming the open blockchain**. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2017.
- ARAÚJO, R.; SUZANA, R. Grand research challenges in information systems in brazil 2016–2026. **Brazilian Computer Society. Clodis Boscarioli Renata Araujo and Rita Suzana**, p. 2016–2026, 2017.
- ARRUDA, G. O. de. A tecnologia a serviço da democracia: O processo eleitoral na era da informação. **Revista da Advocacia Pública Federal**, v. 1, n. 1, 2017.
- AZEEZ, D. G.; DIAS, G. A. D. N.; MACHADO, L. V. T. Incidentes e acidentes em barragens. **INCIDENTES E ACIDENTES EM BARRAGENS**, Atena Editora, p. 1–388, 2018.
- BALBI, D. A. F.; CARIM, A. L. C.; MAGALHÃES, R. A. Inspetor — sistema inteligente de controle e segurança de barragens. **Anais do II CITENEL: II Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica**, Brasília, v. 1, p. 1200, 2003.

- BALIGA, A.; SOLANKI, N.; VEREKAR, S.; PEDNEKAR, A.; KAMAT, P.; CHATTERJEE, S. Performance characterization of hyperledger fabric. In: IEEE. **2018 Crypto Valley conference on blockchain technology (CVCBT)**. [S.l.], 2018. p. 65–74.
- BARBAGLIA, G.; MURZILLI, S.; CUDINI, S. Definition of rest web services with json schema. **Software: Practice and Experience**, Wiley Online Library, v. 47, n. 6, p. 907–920, 2017.
- BECK, R.; AVITAL, M.; ROSSI, M.; THATCHER, J. B. **Blockchain technology in business and information systems research**. [S.l.]: Springer, 2017. 381–384 p.
- BECK, R.; WEBER, S.; GREGORY, R. W. Theory-generating design science research. **Information Systems Frontiers**, Springer, v. 15, n. 4, p. 637–651, 2013.
- BOWEN, G. A. *et al.* Document analysis as a qualitative research method. **Qualitative research journal**, RMIT Publishing, v. 9, n. 2, p. 27, 2009.
- BOYCE, C.; NEALE, P. Conducting in-depth interviews: A guide for designing and conducting in-depth interviews for evaluation input. Pathfinder International Watertown, MA, 2006.
- BRASIL. Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. **Lei Nº 12.334**, 2010. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm>.
- BRASIL. Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. **Lei Nº 14.066**, 2020. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/L14066.htm>.
- CABRAL, S. L.; CAMPOS, J. N. B.; SILVEIRA, C. d. S.; PEREIRA, J. M. R. O intervalo de tempo para uma máxima previsibilidade da precipitação sobre o semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, SciELO Brasil, v. 31, n. 2, p. 105–113, 2016.
- CARDOSO, B. **Blockchain – Como Funciona**. 2018. Disponível em: <<https://brunocardosoadv.com/contratos-inteligentes/blockchain-como-funciona/>>. Acesso em 12 de setembro de 2020.
- CARSON, B.; ROMANELLI, G.; WALSH, P.; ZHUMAIEV, A. Blockchain beyond the hype: What is the strategic business value. **McKinsey & Company**, p. 1–13, 2018.
- CEARÁ. **Secretaria de Recursos Hídricos. Portaria Nº 2747**. 2017. Publicada no Diário Oficial do Estado, Série 3 Ano IX nº 236 pág. 61, no dia 19 de dezembro de 2017.
- COELHO, D. P. **Desenvolvimento de um Sistema Especializado em Inspeções Visuais Aplicado à Segurança de Barragens**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia) — Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, Institutos Lactec, Curitiba, 2017.
- COGERH. Companhia de gestão dos recursos hídricos. **Relatório Anual de Segurança de Barragens Riscos e Inspeções - 2013**, Ceará, 2014.
- COGERH. Companhia de gestão dos recursos hídricos. **Manual Para Preenchimento do Nível de Perigo em Barragens de Terra**, Ceará, 2018.
- COOPER, J.; LEWIS, R.; URQUHART, C. *et al.* Using participant or non-participant observation to explain information behaviour. **Information Research**, v. 9, n. 4, p. 9–4, 2004.
- CPI. **Relatório Final da CPI**. 2019. Disponível em: <<https://www.camara.leg.br/internet/comissoes/cpi/cpiibuma/RelatorioFinal.pdf>>. Acesso em 17 de outubro de 2020.

CRISTÓVAM, J. S. d. S.; SAIKALI, L. B.; SOUSA, T. P. d. Governo digital na implementação de serviços públicos para a concretização de direitos sociais no Brasil. **Sequência (Florianópolis)**, SciELO Brasil, p. 209–242, 2020.

CRISTÓVAM, J. S. da S.; HAHN, T. M. Administração pública orientada por dados: Governo aberto e infraestrutura nacional de dados abertos. **Revista de Direito Administrativo e Gestão Pública**, v. 6, n. 1, p. 1–24, 2020.

DIB, G. R. Blockchain na proteção do direito autoral: consequências na indústria fonográfica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2019.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; JÚNIOR, J. A. V. A. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. [S.l.]: Bookman Editora, 2015.

DRESCHER, D. **Blockchain básico: Uma introdução não técnica em 25 passos**. [S.l.]: Novatec Editora, 2018.

EMERSON, R. M.; FRETZ, R. I.; SHAW, L. L. **Writing ethnographic fieldnotes**. [S.l.]: University of Chicago Press, 2011.

FIELDING, R. T. **Architectural styles and the design of network-based software architectures**. [S.l.]: University of California, Irvine, 2000.

FILHO, J. R. F.; BRAGA, A. M.; LEAL, R. L. **Tecnologia blockchain: Uma visão geral**. [S.l.]: CPqD, 2017.

FRAZÃO, A. Fundamentos da proteção dos dados pessoais: noções introdutórias para a compreensão da importância da lei geral de proteção de dados. **Lei Geral de Proteção de Dados Pessoais e suas repercussões no direito brasileiro**, v. 1, p. 23–52, 2019.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. [S.l.]: Plageder, 2009.

GOMES, M. P. D. C.; TOMEIX, B. R. Oportunidades e desafios no uso do blockchain para proteção de direito autoral nas plataformas de streaming. **ANAIS XIII CODAIP**, p. 203, 2019.

GOMES, W. N. B. d. V. Custos de manutenção em barragens no estado do Ceará. 2019.

HALILI, E. H. **Apache JMeter**. [S.l.]: Packt Publishing Birmingham, 2008.

HEVNER, A. R.; MARCH, S. T.; PARK, J.; RAM, S. Design science in information systems research. **MIS quarterly**, JSTOR, p. 75–105, 2004.

HYPERLEDGER. Module: fabric-network. In: . [S.l.: s.n.], 2022. Disponível em: <<https://hyperledger.github.io/fabric-sdk-node/release-2.2/module-fabric-network.html>>. Acesso em 19 de outubro de 2022.

IFTEKHAR, A.; CUI, X.; HASSAN, M.; AFZAL, W. Application of blockchain and internet of things to ensure tamper-proof data availability for food safety. **Journal of Food Quality**, Hindawi, v. 2020, 2020.

JESUS, M. B. d. **Aspectos de gestão de segurança de barragens frente à política nacional de segurança de barragens**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2021.

JMETER, A. **Apache JMeter Glossary**. 2022. Disponível em: <<https://jmeter.apache.org/usermanual/glossary.html>>. Acesso em 25 de novembro de 2022.

- JUN, M. Blockchain government-a next form of infrastructure for the twenty-first century. **Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity**, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, v. 4, n. 1, p. 7, 2018.
- JUNIOR, C. R. A.; AZEVEDO, I. C. d. A. Hyperledger: descentralizando informacoes de maneira segura com blockchain. **Sistemas de Informação-Florianópolis**, 2019.
- JUNQUEIRA, N. R. **Concessão de Permissão a Dados de Saúde Baseada em Contratos Inteligentes em Plataforma de Blockchain**. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação) — Programa de Pós-Graduação do Instituto de Informática da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2020.
- KUECHLER, B.; VAISHNAVI, V. Design science research in information systems. **Disponível em: <http://desrist.org/design-research-in-information-systems/>**. Acesso em 28 de outubro de 2020, 2004.
- LAURENCE, T. **Blockchain para leigos**. [S.l.]: Alta Books, 2019.
- LINS, V. C.; MORAIS, A. M. de. Simulação e avaliação de desempenho de uma blockchain para aplicações iot. **Revista Gest@ o. org**, v. 19, n. 2, p. 169–183, 2021.
- MACEDO, J.; ARAÚJO, A.; BARROS, E.; SOARES, P.; SARAIVA, R.; TAVEIRA, I. **Repository - Towards a blockchain-based API to ensure data interoperability and transparency in the registration and inspection processes of Brazilian water dams**. Zenodo, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.5281/zenodo.7425381>>.
- MARTINI, B. D. **Sistema Web Para Gestão de Segurança de Barragens**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) — Programa de Pós-Graduação em Geotecnia, Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2018.
- MEDICALCHAIN. **A Smart Medical Ecosystem**. 2020. Disponível em: <<https://medicalchain.com/en/>>. Acesso em 14 de setembro de 2020.
- MI. Ministério da integração nacional. In: **Manual de Preenchimento da Ficha de Inspeção de Barragem**. Brasília: [s.n.], 2010. Disponível em: <<https://arquivos.ana.gov.br/cadastros/barragens/inspecao/ManualdePreenchimentodaFichadeCadastrodeBarragem.pdf>>. Acesso em 03 de setembro de 2020.
- MIERS, C.; KOSLOVSKI, G.; PILLON, M.; JR, M. A. S.; UZH, B. B. R.; BATTISTI, J. H. Análise de mecanismos para consenso distribuído aplicados a blockchain. SBC, 2019.
- MINGXIAO, D.; XIAOFENG, M.; ZHE, Z.; XIANGWEI, W.; QIJUN, C. A review on consensus algorithm of blockchain. In: IEEE. **2017 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)**. [S.l.], 2017. p. 2567–2572.
- MORAIS, A. M. de; CALLOU, G. R. de A.; LINS, F. A. A. Simulação e avaliação de desempenho de uma rede blockchain utilizando containers docker. **Cadernos do IME-Série Informática**, v. 44, p. 73–87, 2020.
- MOUGAYAR, W. **Blockchain para negócios: promessa, prática e aplicação da nova tecnologia da internet**. [S.l.]: Alta Books Editora, 2018.
- MUNDIAL, B. Banco internacional para a reconstrução e desenvolvimento. **Manual de Políticas e Práticas de Segurança de Barragens**, Brasília - DF, 2015.

NAKAMOTO, S. **Bitcoin: A peer-to-peer electronic cash system**. 2008.

OFOEDA, J.; BOATENG, R.; EFFAH, J. Application programming interface (api) research: A review of the past to inform the future. **International Journal of Enterprise Information Systems (IJEIS)**, IGI Global, v. 15, n. 3, p. 76–95, 2019.

PANAYIOTOU, N. A.; STAVROU, V. P. Government to business e-services—a systematic literature review. **Government Information Quarterly**, Elsevier, v. 38, n. 2, p. 101576, 2021.

PIERRO, M. D. What is the blockchain? **Computing in Science & Engineering**, IEEE, v. 19, n. 5, p. 92–95, 2017.

PINHO, M. N. G.; GOUVEIA, L. B. O uso do governo digital pelo controle social no combate à corrupção pública brasileira. **Revista Controle: Doutrinas e artigos**, Tribunal de Contas do Ceará, v. 17, n. 2, p. 206–237, 2019.

PREUKSCHAT, A. **Blockchain: la revolución industrial de internet**. [S.l.]: Gestión 2000, 2017.

PRIES-HEJE, J.; BASKERVILLE, R.; VENABLE, J. R. Strategies for design science research evaluation. 2008.

RIES, E. Minimum viable product: a guide. **Startup lessons learned**, v. 3, 2009.

RODRIGUES, C. K. da S.; SILVA, P. Caetano da. Uma análise de algoritmos de consenso para blockchain visando à implementação de sistemas de informação distribuídos transparentes. **Revista de Sistemas e Computação-RSC**, v. 9, n. 1, 2019.

RODRIGUES, D. A. **Blockchain em governo: avaliação sociotécnica de artefatos de sistema de informação**. Tese (Doutorado), 2021.

ROMANINI, A. V.; OHLSON, M. P. De elos bem fechados: o pragmatismo e a semiótica peirceana como fundamentos para a tecnologia blockchain utilizada no combate às fake news. **São Paulo: Communicare**, 2018.

RUEDIGER, M. A. Governo eletrônico e democracia: uma análise preliminar dos impactos e potencialidades na gestão pública. **Organizações & Sociedade**, SciELO Brasil, v. 9, p. 29–43, 2002.

SALVADORI, I. L. *et al.* Desenvolvimento de web apis restful semânticas baseadas em json. 2015.

SANTOS, F. d. S. *et al.* Proporcionalidade e regra de três através de uma abordagem significativa. Universidade Federal do Amazonas, 2019.

SARAIVA, R. L.; ARAÚJO, A. A.; SOUSA, P. S.; SOUZA, J. T. Uma solução baseada em *Blockchain* para controle de registros profissionais de médicos. **IEEE Latin America Transactions**, X, 2019.

SHUKLA, P. A.; SAMET, S. Systematization of knowledge on scalability aspect of blockchain systems. In: SPRINGER. **Future of Information and Communication Conference**. [S.l.], 2020. p. 130–138.

SILVA, C. C. da; ZAHN, J. de O. Blockchain: um estudo da descentralização da tecnologia da computação na quarta revolução industrial e seu impacto sócio-ambiental. Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Niterói, 2018.

SILVA, M. B. F. A.; FILHO, F. C. da S. Avaliação de segurança em barragem por inspeção visual: estudo de múltiplos casos no estado do ceará. **Revista Tecnologia**, v. 34, n. 1/2, p. 33–45, 2013.

SOARES, P.; ARAÚJO, A. A.; SARAIVA, R.; SOUZA, J. Escalabilidade no contexto de prontuário eletrônico do paciente baseado em blockchain: Um estudo experimental sobre armazenamento off-chain. In: SBC. **Anais do III Workshop em Modelagem e Simulação de Sistemas Intensivos em Software**. [S.l.], 2021. p. 55–59.

SRH. Secretaria de recursos hídricos do estado do ceará. portaria nº 2747, de 19 de dezembro de 2017. **Portaria Nº 2747**, 2017. Disponível em: <<https://www.srh.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/90/2018/07/Portaria-N2747-SRH-CE.pdf>>.

SRH. Secretaria de recursos hídricos do estado do ceará. In: MANUAL DE PREENCHIMENTO. **Cadastro Para Barragem de Acumulação de Água**. Ceará, 2018. Disponível em: <https://www.srh.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/90/2018/07/MANUAL_DE_PREENCHIMENTO.pdf>. Acesso em 03 de setembro de 2020.

STERNBERG, R. J. As capacidades intelectuais humanas: uma abordagem em processamento de informações. **Tradução de Dayse Batista. Porto Alegre: Artes Médicas**, 1992.

SURWASE, V. Rest api modeling languages-a developer's perspective. **Int. J. Sci. Technol. Eng**, v. 2, n. 10, p. 634–637, 2016.

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

THORSTENSEN, V. H.; ZUCHIERI, A. M. Governo digital no brasil: o quadro institucional e regulatório do país sob a perspectiva da ocde. 2020.

TOYODA, K.; MATHIOPOULOS, P. T.; SASASE, I.; OHTSUKI, T. A novel blockchain-based product ownership management system (poms) for anti-counterfeits in the post supply chain. **IEEE Access**, v. 5, p. 17465–17477, 2017.

VARGHA, A.; DELANEY, H. D. A critique and improvement of the cl common language effect size statistics of mcgraw and wong. **Journal of Educational and Behavioral Statistics**, Sage Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 25, n. 2, p. 101–132, 2000.

VIANA, A. C. A. Transformação digital na administração pública: do governo eletrônico ao governo digital. **Revista Eurolatinoamericana de Derecho Administrativo**, Universidad Nacional del Litoral, v. 8, n. 1, p. 115–136, 2021.

WILKS, D. S. **Statistical methods in the atmospheric sciences**. [S.l.]: Academic press, 2011. v. 100.

WOHLIN, C.; RUNESON, P.; HÖST, M.; OHLSSON, M. C.; REGNELL, B.; WESSLÉN, A. **Experimentation in software engineering**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2012.

ZUFFO, M. S. R.; GENOVEZ, A. I. B. Dam safety legislation: a focus on the different approaches. In: **Advances in Water Resources and Hydraulic Engineering**. [S.l.]: Springer, 2009. p. 1854–1859.

ZUFFO, M. S. R. *et al.* Metodologia para avaliação da segurança de barragens. [sn], 2005.

APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO SOBRE PROCESSO DE CADASTRO DE BARRAGENS

Questões

Questão 1. O cadastro de uma barragem deve partir do empreendedor. Mas a COGERH também faz cadastros de barramentos?

Questão 2. Em quais casos, a COGERH entra em ação para solicitar o cadastro ao empreendedor?

Questão 3. O cadastro é obrigatório a todos os barramentos, inclusive de pequeno porte?

Questão 4. Quanto ao preenchimento do formulário, há algumas questões técnicas. O empreendedor tem por dever contratar um engenheiro no ato de preenchimento do cadastro?

Questão 5. Em relação aos barramentos que não se enquadram na Lei Nº 12.334/2010, ainda assim, o cadastro deve ser realizado?

Questão 6. Em um possível sistema para coleta de dados de cadastro, quem seria responsável pelo preenchimento dos dados cadastrais? Um engenheiro contratado pelo empreendedor ou o próprio empreendedor?

Questão 7. As anotações de responsabilidade técnica que constam como exigência no documento “Manual de preenchimento” são cobradas na prática?

Questão 8. A inspeção para coleta de dados do cadastro conta como uma primeira inspeção?

Questão 9. A ANA organiza os dados no SNISB, mas os órgãos de fiscalização estaduais são responsáveis pela coleta dos dados?

Questão 10. Então, para cadastrar uma barragem o empreendedor envia o formulário preenchido para a COGERH, que envia para SRH/CE, encaminhando por sua vez para ANA, que registra na SNISB?