



**UFOP**

Universidade Federal  
de Ouro Preto

**Universidade Federal de Ouro Preto  
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas  
Departamento de Computação e Sistemas**

**Desenvolvimento de uma Aplicação  
Móvel para Monitoramento e Alerta  
Sobre a Condição de Estabilidade de  
Barragens de Rejeito**

**Petrus Luís da Silva Gomes Ribeiro**

**TRABALHO DE  
CONCLUSÃO DE CURSO**

**ORIENTAÇÃO:  
Mônica do Amaral**

**Dezembro, 2019  
João Monlevade–MG**

**Petrus Luís da Silva Gomes Ribeiro**

**Desenvolvimento de uma Aplicação Móvel para  
Monitoramento e Alerta Sobre a Condição de  
Estabilidade de Barragens de Rejeito**

Orientador: Mônica do Amaral

Monografia apresentada ao curso de Sistemas de Informação do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para aprovação na Disciplina “Trabalho de Conclusão de Curso II”.

**Universidade Federal de Ouro Preto**

**João Monlevade**

**Dezembro de 2019**

R484d

Ribeiro, Petrus Luís da Silva Gomes.

Desenvolvimento de uma aplicação móvel para monitoramento e alerta sobre a condição de estabilidade de barragens de rejeito [manuscrito] / Petrus Luís da Silva Gomes Ribeiro. - 2019.

75f.: il.: color; tabs; mapas.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Mônica do Amaral.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Departamento de Computação e Sistemas de Informação.

1. Aplicativos móveis. 2. Barragens de rejeitos. 3. Software de aplicação - Desenvolvimento. I. Amaral, Mônica do. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 004.9

Catálogo: [ficha.sisbin@ufop.edu.br](mailto:ficha.sisbin@ufop.edu.br)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
REITORIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO - ICEA

**FOLHA DE APROVAÇÃO****Petrus Luís da Silva Gomes Ribeiro****Desenvolvimento de uma Aplicação Móvel para Monitoramento e Alerta sobre a Condição de Estabilidade de Barragens de Rejeito**

Membros da banca

Mônica do Amaral - Doutora - UFOP  
Alexandre Magno de Sousa - Mestre - UFOP  
George Henrique Godim da Fonseca - Doutor - UFOP

Versão final  
Aprovado em 12 de Dezembro de 2019

De acordo

Professor (a) Orientador (a)  
Mônica do Amaral



Documento assinado eletronicamente por **Monica do Amaral, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/12/2019, às 11:56, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0028268** e o código CRC **E23C43E8**.

Referência: Caso responda este documento, indicar expressamente o Processo nº 23109.203978/2019-37

SEI nº 0028268

R. Diogo de Vasconcelos, 122, - Bairro Pilar Ouro Preto/MG, CEP 35400-000  
Telefone: - www.ufop.br

*Este trabalho é dedicado aos meus pais, Iolanda Maria do Socorro Silva e Daniel Gomes Ribeiro, pelo apoio incondicional ao longo do meu desenvolvimento como profissional e cidadão.*

# Agradecimentos

Agradeço a professora Mônica do Amaral, em nome de todo o corpo docente do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Ouro Preto, pelos ensinamentos e conhecimentos que possibilitaram a finalização desse trabalho e o aprimoramento profissional do autor.

*“Prefiro sempre o temor do entendimento ao temor da ignorância.”*

— Douglas Adams (1952 – 2001).

# Resumo

As barragens de rejeito são a solução mais difundida para solucionar o passivo ambiental relacionado à disposição de rejeitos minerais. Devido à atrativa relação custo-benefício, são empregadas em inúmeras operações. Entretanto, as estruturas de contenção de rejeitos estão sujeitas a falhas. Tais falhas podem colocar em risco todo o meio ambiente adjacente à mineração. Como consequência, a sociedade está demandando operações seguras por parte das mineradoras.

A tecnologia da informação pode contribuir de forma positiva nesse cenário, propondo novas abordagens. Há atualmente uma escassez de ferramentas de alerta, de acesso público, relacionado às estruturas de contenção de rejeitos. Impulsionado pelos recentes incidentes relacionados ao rompimento de barragens em Mariana e Brumadinho, o presente autor se incumbiu do propósito de criar alguma tecnologia capaz de contribuir para a segurança das comunidades que residem próximas às barragens.

Partindo dessa premissa nasceu o aplicativo Dam Alert and Safe Check (DASC). Definido como uma aplicação móvel para monitoramento e alerta a respeito das condições de estabilidade de uma barragem de rejeito de minério. Composto por duas aplicações: o backend, responsável por recuperar informações de um banco de dados relacionados à barragem, e o frontend, responsável pela aplicação que é instalada no smartphone do usuário. O aplicativo possui funcionalidades únicas, tais como o monitoramento em tempo real dos indicadores de segurança de uma determinada barragem e a emissão de alerta para usuários que estejam dentro do raio de ação de uma determinada estrutura de contenção de rejeitos.

O trabalho se mostra promissor e possui potencial para ser implementado de forma comercial sob a forma de um produto. Funcionalidades adicionais podem ser inseridas no projeto, com o objetivo de aumentar o alcance e a confiabilidade da aplicação. Ressalta-se o fato de que apesar do acesso a smartphones estar em uma crescente, nem toda a população possui acesso à internet móvel. Assim, o DASC não se postula como a solução definitiva para monitoramento e alerta sobre a condição de estabilidade de barragens de rejeito, e sim como uma promissora ferramenta, que aliada a outras tecnologias, pode contribuir para tornar o ambiente da mineração mais seguro.

**Palavras-chaves:** aplicação móvel. barragens. rejeitos. alerta. monitoramento.



# Abstract

Tailings dams are the most widespread solution to address environmental liabilities related to the disposal of tailings. Due to the attractive cost-benefit ratio, they are employed in numerous operations. However, tailings containment structures are subject to failure. Those failures can endanger the entire environment adjacent to mining. As a consequence, society is demanding safe operations from mining companies.

Information technology can make a positive contribution in this scenario by proposing new approaches. There is currently a shortage of publicly available warning tools related to tailings containment structures. Driven by the recent dam-related incidents in Mariana and Brumadinho, the present author has undertaken to create some technology that can contribute to the safety of communities living near tailings dams.

From this premise was born the Dam Alert and Safe Check (DASC) application. The DASC is defined as a mobile application for monitoring and alerting about the stability conditions of an ore tailings dam. It consists of two applications: the backend, responsible for retrieving information from a dam-related database, and the frontend, responsible for the application that is installed on the user's smartphone. The application has unique features such as real-time monitoring of safety indicators of a given dam and alerting users within the action radius of a given tailings containment structure.

The work is promising and has the potential to be implemented commercially in the form of a product. Additional functionality can be added to the design to increase the range and reliability of the application. It is noteworthy that although smartphone access is growing, not all people have access to mobile internet. Thus, DASC does not postulate itself as the definitive solution for monitoring and warning of the stability condition of tailings dams, but rather as a promising tool that, combined with other technologies, can contribute to making the mining environment safer.

**Key-words:** mobile application. dams. tailings. alert. monitoring.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Representação esquemática de uma barragem tradicional de rejeitos ((CHARBONNIER, 2001) – Adaptado) . . . . .	22
Figura 2 – Diagrama de caso de uso - Aplicação DASC . . . . .	31
Figura 3 – MVC integrado ao backend e frontend ((WAHLIN, 2011) - Adaptado) . . . . .	32
Figura 4 – Diagrama entidade relacionamento para aplicação proposta . . . . .	33
Figura 5 – DASC - Tela Inicial . . . . .	37
Figura 6 – DASC - Tela de Cadastro . . . . .	38
Figura 7 – DASC - Tela de Login . . . . .	39
Figura 8 – DASC - Tela de Menu . . . . .	40
Figura 9 – DASC - Tela de Contatos para Notificações . . . . .	41
Figura 10 – DASC - Tela de Localização . . . . .	42
Figura 11 – DASC - Tela de Perfil . . . . .	43
Figura 12 – DASC - Tela de Barragem - Empresa . . . . .	45
Figura 13 – DASC - Tela de Barragem - Governo . . . . .	46
Figura 14 – DASC - Tela de Barragem - Público . . . . .	47
Figura 15 – DASC - Zona de Perigo e Zona de Alerta . . . . .	47
Figura 16 – DASC - Notificação Push . . . . .	48
Figura 17 – DASC - Tela de Alerta . . . . .	48
Figura 18 – E-mail encaminhado ao usuário . . . . .	49
Figura 19 – E-mail encaminhado aos contatos registrados para receber notificações . . . . .	49
Figura 20 – Protótipo - Tela Inicial . . . . .	58
Figura 21 – Protótipo - Tela de Cadastro . . . . .	59
Figura 22 – Protótipo - Tela de Login . . . . .	60
Figura 23 – Protótipo - Tela de Menu . . . . .	61
Figura 24 – Protótipo - Tela de Contatos para Notificações . . . . .	62
Figura 25 – Protótipo - Tela de Localização . . . . .	63
Figura 26 – Protótipo - Tela de Perfil . . . . .	64
Figura 27 – Protótipo - Tela de Barragem - Público . . . . .	65
Figura 28 – Protótipo - Tela de Barragem - Governo . . . . .	66
Figura 29 – Protótipo - Tela de Barragem - Empresa . . . . .	67
Figura 30 – Protótipo - Tela de Alerta . . . . .	68
Figura 31 – Entidade - TailingDam . . . . .	69
Figura 32 – Entidade - User . . . . .	70
Figura 33 – Centróide da barragem - Coordenada Xg . . . . .	72
Figura 34 – Centróide da Barragem - Coordenada Yg . . . . .	73
Figura 35 – Coordenada de análise - Xa . . . . .	73

Figura 36 – Coordenada de análise - $X_b$ . . . . .	73
Figura 37 – Peso da barragem . . . . .	73
Figura 38 – Empuxos de montante e jusante . . . . .	74
Figura 39 – Empuxo do acúmulo de material decantado . . . . .	74
Figura 40 – Esforço devido a pressão hidrostática . . . . .	74
Figura 41 – Força vertical devida ao cismo . . . . .	74
Figura 42 – Força horizontal devida ao cismo . . . . .	74

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Acidentes envolvendo barragens no Brasil ((ÁVILA, 2012) - Adaptado)	21
Tabela 2 – Principais instrumentos para auscultação de barragens (KANJI; FIGUEIRA, 2006) . . . . .	23
Tabela 3 – Fatores de redução da resistência da coesão (FSDc) e do atrito (FSDa), e fatores de segurança a flutuação (FSF) e ao tombamento (FST) ((ELETROBRÁS, 2003) - Adaptado) . . . . .	24

# Lista de abreviaturas e siglas

API	Application Programming Interface
BSON	Binary JavaScript Object Notation
DASC	Dam Alert and Safety Control
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
JS	JavaScript
JSON	JavaScript Object Notation
MVC	Model-View-Controller
REST	Representational State Transfer

# Lista de símbolos

$\Phi$	Ângulo de atrito interno
$\Sigma$	Somatório

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>17</b>
<b>1.1</b>	<b>O problema de pesquisa</b>	<b>19</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>19</b>
<b>1.3</b>	<b>Justificativa</b>	<b>20</b>
<b>1.4</b>	<b>Metodologia</b>	<b>21</b>
<b>1.5</b>	<b>Resultados e contribuições</b>	<b>21</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>22</b>
<b>2.1</b>	<b>Barragem de Rejeito</b>	<b>22</b>
2.1.1	Definição de uma barragem de rejeito	22
2.1.2	Instrumentação de barragens	23
2.1.3	Cálculo de estabilidade de barragens	23
2.1.3.1	Fator de segurança de flutuação	24
2.1.3.2	Fator de segurança em relação ao tombamento	24
2.1.3.3	Fator de segurança em relação ao deslizamento	25
<b>2.2</b>	<b>Android</b>	<b>26</b>
<b>2.3</b>	<b>Banco de Dados</b>	<b>26</b>
<b>2.4</b>	<b>Tecnologias auxiliares</b>	<b>27</b>
2.4.1	React Native	27
2.4.2	Google Cloud Plataform	27
2.4.2.1	Google Maps	28
2.4.2.2	Google Geocoding	28
2.4.2.3	Gmail API	28
2.4.2.4	Firebase	28
2.4.3	MongoDB	28
2.4.4	Node.js	29
2.4.5	Yarn	29
2.4.6	Postman	29
2.4.7	Heroku	29
2.4.8	OneSignal	29
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>30</b>
<b>3.1</b>	<b>Modelagem de requisitos</b>	<b>30</b>
<b>3.2</b>	<b>Arquitetura</b>	<b>32</b>
<b>3.3</b>	<b>Diagrama entidade-relacionamento</b>	<b>32</b>
<b>3.4</b>	<b>Linguagem utilizada</b>	<b>33</b>

<b>3.5</b>	<b>Padrão de troca de dados</b> . . . . .	<b>34</b>
<b>3.6</b>	<b>Aplicação das tecnologias</b> . . . . .	<b>34</b>
<b>3.7</b>	<b>Prototipação</b> . . . . .	<b>35</b>
<b>3.8</b>	<b>Testes</b> . . . . .	<b>35</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS</b> . . . . .	<b>36</b>
<b>4.1</b>	<b>Aplicativo: Dam Alert and Safe Check (DASC)</b> . . . . .	<b>36</b>
4.1.1	Telas . . . . .	36
4.1.1.1	Tela Inicial . . . . .	36
4.1.1.2	Tela de Cadastro . . . . .	36
4.1.1.3	Tela de Login . . . . .	37
4.1.1.4	Tela de Menu . . . . .	39
4.1.1.5	Tela de Contatos para Notificações . . . . .	39
4.1.1.6	Tela de Localização . . . . .	40
4.1.1.7	Tela de Perfil . . . . .	41
4.1.1.8	Tela de Barragem - Empresa . . . . .	41
4.1.1.9	Tela de Barragem - Governo . . . . .	44
4.1.1.10	Tela de Barragem - Público . . . . .	44
4.1.1.11	Tela de Alerta . . . . .	44
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> . . . . .	<b>50</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>52</b>
	<b>APÊNDICES</b> . . . . .	<b>56</b>
	<b>APÊNDICE A – MATERIAIS ELABORADOS PELO AUTOR</b> . . . . .	<b>57</b>
<b>A.1</b>	<b>Protótipo - Telas Concebidas</b> . . . . .	<b>57</b>
A.1.1	Protótipo - Tela Inicial . . . . .	57
A.1.2	Protótipo - Tela de Cadastro . . . . .	57
A.1.3	Protótipo - Tela de Login . . . . .	57
A.1.4	Protótipo - Tela de Menu . . . . .	57
A.1.5	Protótipo - Tela de Contatos para Notificações . . . . .	57
A.1.6	Protótipo - Tela de Localização . . . . .	57
A.1.7	Protótipo - Tela de Perfil . . . . .	57
A.1.8	Protótipo - Tela de Barragem - Público . . . . .	57
A.1.9	Protótipo - Tela de Barragem - Governo . . . . .	57
A.1.10	Protótipo - Tela de Barragem - Empresa . . . . .	57
A.1.11	Protótipo - Tela de Alerta . . . . .	57



<b>A.2</b>	<b>Entidades do Banco de Dados</b> . . . . .	<b>57</b>
A.2.1	TailingDam . . . . .	57
A.2.2	User . . . . .	57

## **ANEXOS** **71**

	<b>ANEXO A – OUTROS MATERIAIS</b> . . . . .	<b>72</b>
<b>A.1</b>	<b>Cálculos geotécnicos implementados na aplicação</b> . . . . .	<b>72</b>
A.1.1	Centróide da Barragem . . . . .	72
A.1.2	Coordendas de análise . . . . .	73
A.1.3	Peso da barragem . . . . .	73
A.1.4	Empuxos de montante e jusante . . . . .	73
A.1.5	Empuxo do acúmulo de material decantado . . . . .	73
A.1.6	Esforço devido a pressão hidrostática . . . . .	73
A.1.7	Esforços provenientes de terremotos . . . . .	73

# 1 Introdução

O setor de mineração é uma das bases fundamentais para o desenvolvimento da economia de um país. A atividade mineral é composta por uma série de técnicas, processos e procedimentos que são indispensáveis para a exploração de recursos minerais da crosta terrestre. Como consequência desse processo de produção, há a geração de uma significativa quantidade de resíduos, tecnicamente definidos como estéril e rejeito. Tais materiais necessitam de uma disposição e tratamento adequados para minimizar o impacto sobre o meio ambiente.

Os estéreis são oriundos da lavra da jazida mineral. Por sua vez, os rejeitos são definidos como subproduto do processo de beneficiamento mineral. Segundo (SANTOS; CURI; SILVA, 2010), os rejeitos são resíduos de mineração que resultam dos processos de beneficiamento que os minérios são submetidos, visando a redução e regularização da granulometria dos grãos, eliminação dos minerais associados e melhoria da qualidade do produto final. Em sua composição apresentam partículas de rocha, água e as substâncias químicas envolvidas no processo de beneficiamento.

Nos últimos anos, as empresas de exploração de recursos minerais vêm investindo em pesquisas e no desenvolvimento de tecnologias, com a finalidade de anexar nos seus planos de negócios estudos de métodos alternativos de disposição de rejeitos (BARRETO et al., 2001). Essas inovações visam à implementação de processos com maior eficiência, economia e segurança para o manuseio e destinação final dos rejeitos. Entretanto, na busca por redução de custos, as empresas muitas vezes optam pela prática de construção de estruturas com grandes capacidades volumétricas. Em um número considerável de casos, tal escolha não é justificada por aspectos de segurança. Como consequência, graves acidentes já foram registrados devido à má elaboração, construção e manutenção das barragens de rejeito.

Embora tenha ocorrido uma evolução das técnicas existentes para a disposição e contenção de rejeitos, a área da mineração necessita de investimentos em pesquisas, descobertas e projetos para a obtenção de um ambiente mais harmonioso, produtivo e seguro entre mineradoras, comunidade e meio ambiente.

Eventos trágicos relacionados ao rompimento de barragens de rejeito impactaram o Brasil, com destaque para o estado de Minas Gerais (XAVIER, 2018). Os eventos de rompimento de estruturas de contenção de rejeitos ocorridos nos municípios de Mariana (2015) e Brumadinho (2019) evidenciam a escassez de avanços tecnológicos na área da mineração. Catástrofes dessa magnitude impactam o desenvolvimento humano, social e econômico brasileiro.

A Indústria 4.0 está em ascensão e possui potencial para contribuir para o aprimoramento da área mineral. Tal processo de transformação possui como características a digitalização, a comunicação dos produtos entre si, as cadeias de valor e de modelos de negócios (MOREIRA, 2017). Nesse novo modelo, há uma comunicação constante entre pessoas, máquinas e recursos.

Atualmente ocorre uma significativa ampliação da utilização de dispositivos móveis, que fazem uso da tecnologia de comunicação sem fio, pela sociedade. A evolução e a redução de custos proporcionou um acesso popular, e praticamente, sem restrição social no Brasil. Existem no país cerca de 229,2 milhões de celulares e densidade de 109,24 celulares por 100 habitantes (ANATEL, 2018). A quantidade de smartphones no país é superior à quantidade de brasileiros, com 220 milhões de celulares inteligentes ativos (FGV, 2018).

O avanço tecnológico dos dispositivos celulares, a partir da demanda por melhoria e aprimoramento nos componentes de hardware, permite um melhor desempenho e o surgimento de aparelhos com capacidades similares à de um microcomputador (NONNENMACHER, 2012). A evolução dos sistemas de telefonia móvel tem alterado o comportamento da sociedade e possibilita a plena liberdade de comunicação. Adicionalmente, é possível o compartilhamento de informações em aplicações e usufruir de diversos serviços através da utilização de aplicativos para dispositivos móveis. Os telefones atuais englobam a maioria das utilidades e serviços encontrados em um computador, tal como e-mail, a sincronização de dados e a capacidade de armazenamento (NONNENMACHER, 2012).

Devido a esse crescente mercado, aumenta também a motivação no sentido de criação de novas aplicações para dispositivos móveis, inclusive ferramentas para a indústria. Portanto, parece plausível o desenvolvimento de aplicações mobile que visam beneficiar e aprimorar as atividades no setor industrial, incluindo a mineração. Tecnologias de informação podem auxiliar no monitoramento das estruturas de contenção de rejeitos e, principalmente, no alerta rápido e eficiente para pessoas próximas a sítios minerários em possíveis rompimentos das estruturas. Em acidentes dessa magnitude a antecipação de um alerta em alguns segundos pode significar o salvamento de inúmeras vidas.

O desenvolvimento de um sistema de monitoramento e alerta sobre as condições de barragens de rejeito, baseado em uma aplicação móvel, aparenta ser uma solução possível para o aprimoramento do setor de mineração. Como possíveis benefícios de uma implementação bem-sucedida do projeto, poderia ocorrer o aumento de segurança nas operações, redução de riscos, possibilidade de salvamento e preservação de vidas humanas no futuro.

## 1.1 O problema de pesquisa

O problema de pesquisa é relacionado ao desenvolvimento de uma aplicação mobile capaz de atuar em tempo real para auxiliar operações de monitoramento em barragens de rejeito na indústria da mineração.

No sistema de alerta de barragens de rejeitos, o método utilizado para aviso de uma possível ruptura se dá através da emissão de um sinal sonoro por uma sirene. O mecanismo é acionado após os sensores instalados na estrutura captarem um evento anômalo, seja este uma movimentação de material ou alteração no nível de pressão interna da estrutura. Essa prática tem se mostrado ser ineficaz devido aos seguintes fatores:

1. Geralmente é o único método aplicado, não existindo um sistema auxiliar ou paralelo que possa garantir uma redundância do aviso para as pessoas;
2. Pelo fato de estarem localizadas muito próximas ao epicentro do incidente, as sirenes podem ser destruídas antes que possam ser ativadas;
3. O alcance do sinal sonoro é influenciado pela distância em relação à origem;
4. Atividades rotineiras dentro de um complexo minerário também utilizam sinais sonoros, o que pode causar a não compreensão do aviso de ruptura;
5. O sinal sonoro não alerta sobre o risco para todas as pessoas simultaneamente. Devido à distância em relação a origem do evento, autoridades competentes como Defesa Civil, Bombeiros, Polícias e Prefeituras podem ser avisados sobre o incidente tardiamente.

Baseadas nas evidências listadas e no fato de que os smartphones são dispositivos populares e de custo acessível na sociedade atual, observa-se uma janela de oportunidade para o desenvolvimento de uma aplicação móvel para monitoramento e alerta. Aliado com outras tecnologias, a aplicação poderia criar um robusto sistema de monitoramento de estruturas de rejeitos. A possibilidade de preservação de vidas humanas e, em menor escala, a redução de possíveis danos materiais justifica a elaboração desse projeto.

## 1.2 Objetivos

O objetivo geral desse trabalho é propor o desenvolvimento de uma aplicação móvel que receba informações de um banco de dados relacionado a uma determinada estrutura de contenção de rejeitos e seja capaz de executar, em tempo real, algoritmos que atestem a atual situação da barragem para o monitoramento e alerta dos usuários em uma eventual situação anômala.

Como objetivos específicos podem-se citar:

- Implementar uma aplicação para smartphones através da plataforma Android, aplicando conceitos de desenvolvimento mobile;
- Fornecer um acesso à aplicação para diferentes perfis de clientes tais como sociedade civil, funcionários internos das empresas, autoridades e agentes de governos, exibindo uma interface com informações relevantes e necessárias para cada demanda de perfil.
- Desenvolver um sistema de comunicação e envio de dados entre o banco de dados relacionado à estrutura de contenção de rejeitos e a aplicação móvel;
- Analisar qualitativamente o desempenho da aplicação, relacionando o intervalo de tempo entre a ocorrência do evento e o recebimento das mensagens pelos usuários da aplicação.

### 1.3 Justificativa

O emprego do uso de barragens como estrutura de contenção de rejeitos é datado desde o início do século XX e continuam sendo amplamente difundidas dentro do setor mineral (ÁVILA, 2012). Embora avanços tecnológicos possam ser constatados no uso dessa prática ao longo do tempo, tal progresso não conseguiu acompanhar as demandas por cada vez maiores volumes de materiais necessários para alocação. Entre as principais questões ambientais relacionadas às barragens destacam-se: as questões relacionadas a estabilidade das estruturas e a poluição das águas.

As barragens de rejeitos são construídas na fase inicial dos empreendimentos minerários e precisam ser projetadas para suportar a produção de toda a vida da mina. Isto reduz a necessidade de remodelar as barragens numa fase posterior, evitando assim trabalhos de terraplanagem e custos adicionais. Na prática, a construção da barragem de rejeitos é difícil de ser planejada devido ao fato que, na maioria dos casos, a reserva de minério, a vida útil da mina e, conseqüentemente, a quantidade total de rejeitos é variável ao longo do tempo.

Observa-se um histórico de acidentes relacionados com o rompimento de barragens em território brasileiro, o que ocasionou em poluições massivas do meio-ambiente com vítimas fatais, conforme apresentado na Tabela 1. Segundo (ALVES, 2016), um estudo recente denominado “The Risk, Public Liability and Economics of Tailings Storage Facility Failure”, demonstra que as catastróficas rupturas de barragens de mineração estão aumentando em frequência e gravidade. De acordo com o autor, os desastres devem continuar enquanto os órgãos de regulação não adotarem sérias medidas para prevenção dos acidentes.

Tabela 1 – Acidentes envolvendo barragens no Brasil ((ÁVILA, 2012) - Adaptado)

Ano	Barragem	Principais danos
1986	Fernandinho, Rio Acima	7 Mortes
2001	Rio Verde, Brasil	5 Mortes
2003	Indústria de papel, Cataguases	Lixívia negra liberada.
2006	Mineração Rio Pomba, Mirai	Vazamento de rejeitos de bauxita.
2014	Herculano, Itabirito	3 Mortes
2015	Vale, Mariana	18 a 22 Mortes
2019	Vale, Brumadinho	257 Mortes

A partir dos dados apresentados é possível argumentar sobre a necessidade de maiores investimentos e recursos no desenvolvimento e pesquisa de tecnologias que possam ser incorporadas ao setor da mineração para que acidentes relacionados à disposição de rejeitos possam ser minimizados e possivelmente extintos da indústria mineral.

## 1.4 Metodologia

Com o intuito de se atingir os objetivos elucidados, as atividades apresentadas no proposto estudo são divididas nos seguintes capítulos:

- Revisão bibliográfica para apresentação e interação dos conceitos no Capítulo 2;
- Desenvolvimento do projeto executado no Capítulo 3;
- Apresentação da versão final do aplicativo de monitoramento e alerta sobre a condição de estabilidade de barragens de rejeito: Dam Alert and Safety Check (DASC) no Capítulo 4;
- Conclusão e considerações finais no Capítulo 5.

## 1.5 Resultados e contribuições

Os resultados e contribuições do projeto são:

- Criação da aplicação Dam Alert and Safe Check (DASC) para smartphones com sistema operacional Android. Responsável por realizar as funções de monitoramento e alerta, considerando a geolocalização, para perfis de usuários distintos, sobre a condição de estabilidade de barragens de rejeito cadastradas em sua base de dados.
- Contribuir de forma efetiva para a manutenção de vidas humanas e tornar o ambiente de mineração mais seguro e sustentável.

## 2 Revisão bibliográfica

O Capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura. Apresenta os conceitos relacionados à barragens de rejeitos, Android, banco de dados e demais tecnologias utilizadas. Tais conceitos foram caracterizados como conhecimentos base para a elaboração de funções e métodos necessários para a aplicação proposta no presente trabalho.

### 2.1 Barragem de Rejeito

As barragens são estruturas extremamente complexas e o total entendimento da dinâmica dos esforços e forças atuantes em tal estrutura demanda uma série de conhecimentos multidisciplinares englobando áreas como geologia, mecânica de rochas, mecânica de sólidos e fluidos, entre vários outros conteúdos. Esse capítulo tem o objetivo de realizar uma pequena contextualização do assunto. Abordará os tópicos de maior interesse e aplicação direta na execução do trabalho proposto. Os conteúdos abordados envolvem uma breve definição de barragens, o conceito de instrumentação de barragens e os cálculos de estabilidades das estruturas de contenção de rejeitos.

#### 2.1.1 Definição de uma barragem de rejeito

Barragem de rejeito é uma estrutura de engenharia comumente construída com terra devidamente compactada com objetivo de armazenar os resíduos provenientes da atividade de mineração, os quais são definidos como a fração não útil produzida pelo beneficiamento de minérios, em um processo mecânico e/ou químico que segrega o mineral-minério bruto em concentrado e rejeito (RAFAEL, 2012). Uma representação esquemática de uma barragem tradicional de rejeitos é possível de ser verificada na Figura 1.

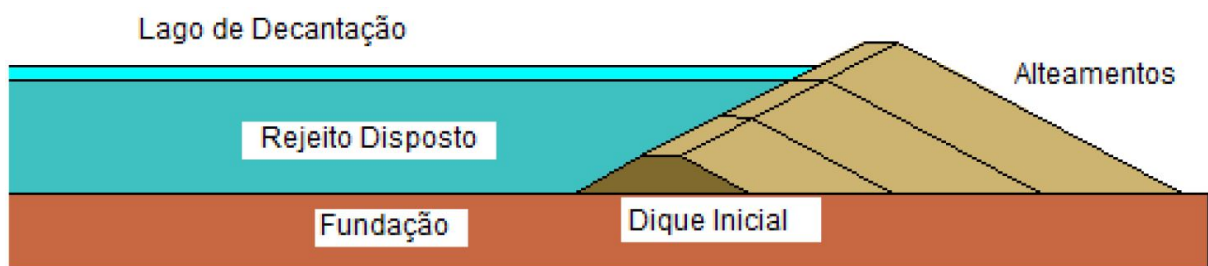


Figura 1 – Representação esquemática de uma barragem tradicional de rejeitos ((CHARBONNIER, 2001) – Adaptado)

Segundo citado por (FILHO et al., 2004), as barragens de rejeito estão incluídas no grupo de barragens de terra ou enrocamento. Essas estruturas são definidas como

aquelas construídas com materiais naturais tais como argilas, siltes e areias ou com materiais produzidos artificialmente tais como britas e enrocamentos. No caso de barragens de contenção de rejeitos, os próprios rejeitos podem ser utilizados como materiais de construção (CARDOZO; PIMENTA; ZINGANO, 2016).

### 2.1.2 Instrumentação de barragens

A instrumentação de barragens refere-se ao conjunto de dispositivos instalados nas estruturas e em suas fundações objetivando monitorar seu desempenho através de medições de parâmetros, cujos resultados, devidamente analisados e interpretados, servirão para avaliar suas condições de segurança (SILVEIRA, 2006).

Os instrumentos geotécnicos são compostos geralmente por um transdutor, um sistema de aquisição de dados e de um sistema de comunicação entre as partes. O transdutor, de maneira ampla, é o dispositivo que realiza a conversão da variação física de uma dada grandeza em um sinal de saída correspondente (FONSECA, 2003).

Em barragens de terra e de enrocamento, os instrumentos podem ser instalados nos aterros e espaldares da estrutura de contenção, nas fundações, nas ombreiras, em interfaces solos, em obras auxiliares (ensecadeiras, vertedores, etc.) ou ao longo do próprio reservatório (FONSECA, 2003). Os instrumentos são instalados com o intuito de possibilitar o monitoramento das vazões, dos deslocamentos, das tensões e das propressões.

Conforme (KANJI; FIGUEIRA, 2006), nas barragens brasileiras é comumente observado a instalação de 1 instrumento para cada metro de altura. Os instrumentos comumente instalados em barragens são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Principais instrumentos para auscultação de barragens (KANJI; FIGUEIRA, 2006)

Instrumento	Média
Piezômetros	50%
Marcos Topográficos	30%
Medidores de Deslocamento	20%
Inclinômetros	5%

### 2.1.3 Cálculo de estabilidade de barragens

As verificações básicas da estabilidade de uma barragem são as seguintes: Verificação a flutuação, ao tombamento, e ao deslizamento (KETZER; SCHÄFFER, 2010). Segundo (ELETROBRÁS, 2003), os critérios de projeto civil exigem as seguintes condições de carregamentos nos estudos de estabilidade global: Condição de Carregamento Normal (CCN), Condição de Carregamento Excepcional (CCE), Condição de Carregamento Limite



(CCL) e a Condição de Carregamento de Construção (CCC). Na Tabela 3 são apresentados os fatores de segurança e os fatores de redução sugeridos. Para o cálculo dos fatores de segurança foram consideradas expressões relacionadas aos esforços atuantes na barragem, comumente utilizadas em avaliações geotécnicas. Tais relações são descritas no Anexo A.

Tabela 3 – Fatores de redução da resistência da coesão (FSDc) e do atrito (FSDa), e fatores de segurança a flutuação (FSF) e ao tombamento (FST) ((ELETROBRÁS, 2003) - Adaptado)

Coefficientes de segurança	CC Normal	CC Excepcional	CC Limite	CC Construção
FSDc	3,0 (4,0)	1,5 (2,0)	1,3 (2,0)	2,0 (2,5)
FSDa	1,5 (2,0)	1,1 (1,3)	1,1 (1,3)	1,3 (1,5)
FSF	1,3	1,1	1,1	1,2
FST	1,5	1,1	1,1	1,3

### 2.1.3.1 Fator de segurança de flutuação

A flutuação é verificada através da relação entre o somatório das forças verticais atuando na barragem, normalmente essas forças são gravitacionais, contra a soma das forças de sub-pressão existente ao longo da largura da base (KETZER; SCHÄFFER, 2010). A relação matemática pode ser visualizada na expressão (1).

$$FSF = \sum FV / \sum FSP \quad (1)$$

Onde:

FSF: Fator de Segurança a flutuação;

$\sum FV$ : Somatório das forças verticais;

$\sum FSP$ : Somatório das forças de sub-pressão.

Nas forças verticais considera-se o peso mínimo da barragem, desconsiderando qualquer sobrecarga, salvo aos de aparelhos permanentemente instalados, atuando como forças do sistema de ancoragem (KETZER; SCHÄFFER, 2010). As cargas acidentais podem ser desconsideradas nas verificações de estabilidade.

### 2.1.3.2 Fator de segurança em relação ao tombamento

A verificação ao tombamento é a relação entre a soma dos momentos estabilizantes e o somatório dos momentos tombadores. Os momentos para essa verificações devem ser feitos tomando como um ponto base o ponto extremo a jusante. A expressão de tal comportamento pode ser vista na relação (2).

$$\text{FST} = \sum \text{ME} / \sum \text{MT} \quad (2)$$

Onde:

FST: Fator de Segurança ao tombamento;

$\sum$  ME: Somatório dos momentos estabilizantes;

$\sum$  MT: Somatório dos momentos tombadores.

Os momentos estabilizantes incluem os momentos devidos ao peso da barragem, e de equipamentos permanentes eventualmente instalados (KETZER; SCHÄFFER, 2010). Adicionalmente, devem-se desconsiderar os momentos provocados pelos esforços acidentais. O somatório dos momentos tombadores são aqueles devido à carga hidrostática, do empuxo de terra, sub-pressão entre outras (KETZER; SCHÄFFER, 2010). Deve-se ainda desprezar os efeitos de coesão e de atrito que atuam na base.

### 2.1.3.3 Fator de segurança em relação ao deslizamento

Neste fator de segurança é apurada a resistência ao cisalhamento dos materiais da estrutura da barragem, dos materiais rochosos, ou do contato direto com a matriz rochosa (KETZER; SCHÄFFER, 2010). De acordo com (KRUGER, 2008), devem ser selecionadas superfícies de ruptura de maneira a incluir todos os planos de menor resistência estimada, ou os submetidos a tensões críticas na estrutura, na fundação e no contato da estrutura com a base, sobre as quais a barragem possa sofrer movimento de deslizamento como corpo sólido. A relação que expressa o fator de segurança em relação ao deslizamento considerando a coesão é a apresentada em (3).

$$\text{FSD} = ((\sum N \cdot \text{tg} (\Phi) / \text{FSDa}) + (\sum C \cdot A / \text{FSDc})) / \sum T \quad (3)$$

Onde:

FSD: Fator de Segurança ao deslizamento;

FSDa: Fator de redução da resistência ao atrito;

FSDc: Fator de redução da resistência à coesão;

$\sum$  N: Somatório das forças normais;

$\sum$  T: Somatório das forças paralelas ao deslizamento;

$\Phi$ : Ângulo de atrito característico da superfície de deslizamento;

C: Coesão característica ao longo da superfície de deslizamento;

A: Área efetiva comprimida da estrutura no plano em análise.

## 2.2 Android

O Android foi uma criação da Android Inc. A plataforma foi apresentada como um sistema operacional baseado no núcleo Linux e que herdaria os padrões dessa plataforma oferecendo estabilidade e segurança aos usuários e desenvolvedores. Baseado em uma filosofia aberta, conceituada como software livre, a ferramenta possibilitaria a utilização simultânea em diversos aparelhos de vários fabricantes (FILHO, 2017).

Atualmente desenvolvido pela empresa de tecnologia Google, a plataforma foi lançada em 2008 e atualmente é líder mundial nesse segmento (LECHETA, 2013). Aplicativos para Android são criados como uma combinação de componentes distintos que podem ser invocados individualmente (GOOGLE, 2014).

A geração inicial de telefones Android foi lançada em outubro de 2013. Segundo (DEITEL; DEITEL; DEITEL, 2015), baseado em um relatório da Strategy Analytics, é evidenciado que o Android possuía 81.3% da fatia de mercado global de smartphones em relação aos 13,4% da Apple 4,1% da Microsoft e 1% do BlackBerry.

Em um tempo relativamente curto o Android se firmou como liderança no mercado de sistemas operacionais para dispositivos móveis. Dentre os fatores do sucesso é possível elencar a qualidade do sistema e a sua arquitetura aberta. Adicionalmente, outro fator que garantiu a ascensão da plataforma foi a definição da linguagem Java para o desenvolvimento das aplicações presentes no Android (FILHO, 2017).

O Android fornece uma estrutura de aplicativo adaptativa que permite fornecer recursos exclusivos para diferentes configurações de dispositivos. É possível verificar a disponibilidade dos recursos do dispositivo em tempo de execução caso qualquer recurso do aplicativo exija hardware específico, como um sensor (GOOGLE, 2014).

Segundo (MONTEIRO, 2014) a plataforma Android exerce um papel de notoriedade no mercado em função da qualidade dos dispositivos produzidos e por oferecer uma API com variados recursos, fornecendo acesso facilitado a uma ampla gama de recursos de hardware tais como Wi-Fi e GPS, além de ferramentas de qualidade para o desenvolvimento de aplicações.

## 2.3 Banco de Dados

Um banco de dados é um conjunto capaz de descrever as atividades de uma ou mais entidades relacionadas (RAMAKRISHNAN; GEHRKE, 2008). Um sistema de banco de dados é definido como um sistema computacional de arquivamento de registros (DATE, 2004). Tais registros são denominados dados. O dado pode ser definido como dado uma seqüência de caracteres e símbolos quantificados ou quantificáveis (SETZER, 1999). Os dados são observações sobre um cenário, o fato bruto (DAVENPORT; PRUSAK, 1998).

O sistema de gerenciamento de bancos de dados (SGBD) é um conjunto de softwares e algoritmos que gerenciam a estrutura do banco de dados e controlam o acesso aos dados armazenados (ROB; CORONEL, 2011). Os usuários de um sistema de banco de dados podem requisitar ao sistema uma série de operações entre os dados presentes na estrutura tais como: inserir, buscar, excluir e alterar. O SGBD atua como um intermediador entre o usuário e o banco de dados. Sua estrutura é armazenada como um conjunto de arquivos e o único modo de acessar os dados nesses arquivos são por meio do SGBD (ROB; CORONEL, 2011).

O gerenciamento de banco de dados está em ascensão em virtude da ampliação das bases de dados geradas pela sociedade, sendo em sua maioria acessadas de forma online e acessível (RAMAKRISHNAN; GEHRKE, 2008). A presença de um SGBD entre as aplicações do usuário final e o banco de dados oferece algumas vantagens significativas. A primeira é que o SGBD permite que os dados no banco sejam compartilhados por diversas aplicações e usuários. Em segundo lugar, integra visualizações muito diferentes dos usuários sobre os dados em um único repositório de dados que os engloba totalmente (ROB; CORONEL, 2011).

## 2.4 Tecnologias auxiliares

Nas subseções a seguir são apresentadas as tecnologias utilizadas no projeto.

### 2.4.1 React Native

O React Native consiste em um conjunto de ferramentas que propiciam a criação de aplicativos móveis nativos para as plataformas iOS e Android, utilizando o conceitos de frontend (ROMERO; SAAD; BASTOS, 2018). Uma vantagem da ferramenta é o fato de que os aplicativos são nativos, o que reduz gargalos de desempenho e discrepâncias entre componentes.

O diferencial no desenvolvimento com o framework React Native é a não necessidade de uma camada de renderização baseado em Web, utilizando componentes internos para a tarefa (LEITE et al., 2018).

### 2.4.2 Google Cloud Plataform

Google Cloud Platform é uma suíte de computação em nuvem oferecida pelo Google. Fornece uma série de serviços incluindo computação, armazenamento de dados, análise de dados e aprendizagem de máquina (GOOGLE, 2019c). Especificamente para esse projeto foram utilizados três APIs do Google Cloud Plataform: o Google Geocoding, o Google Maps e o Gmail API.

#### 2.4.2.1 Google Maps

O Google Maps pode ser descrito como um software de pesquisa e visualização que fornece imagens de satélites e mapas de todas as partes da superfície da terra (RÊGO, 2015). É possível a utilização da aplicação combinada com diversas APIs existentes (HU; DAI, 2013). Diversas outras aplicações usufruem deste serviço, utilizando o código base e adaptando-o da maneira mais conveniente (CRUZ; BERGAMASCHI, 2017).

#### 2.4.2.2 Google Geocoding

A API Google Geocoding permite a utilização de um geocodificador através de um serviço HTTP (GOOGLE, 2019a). A operação de geocodificação é caracterizada pela transformação de endereços em coordenadas, e pode ocorrer no sentido inverso, ou seja, de coordenadas para endereços. Tal serviço é utilizado para geocodificar endereços previamente conhecidos para que se torne possível localizá-los em um mapa.

#### 2.4.2.3 Gmail API

A API Gmail é uma ferramenta RESTful utilizada para acesso ao Gmail e envio de mensagens (GOOGLE, 2019b). A aplicação fornece acesso para o usuário para diferentes ações tais como: Threads, Mensagens, Labels, Rascunhos, Histórico e Configurações. O serviço gratuito de e-mail do Google possibilita o envio de até 100 mensagens por dia. Tal funcionalidade será utilizada no projeto.

#### 2.4.2.4 Firebase

O Android Firebase é um provedor de serviços em nuvem e um backend que possibilita a obtenção de dados organizados para aplicativos móveis (STONEHEM, 2016). A API fornecida pelo Google é capaz de gerar um banco de dados e buscá-lo em tempo real com pouca codificação (KHEDKAR et al., 2017).

### 2.4.3 MongoDB

O MongoDB foi definido como o banco de dados utilizados no projeto. A aplicação MongoDB é um banco de dados schema-less, orientado a documentos, escrito em C++ e de código aberto (POLITOWSKI; MARAN, 2014). O MongoDB é um tipo de banco de dados que não é baseado em conceitos tradicionais como tabelas, linhas, esquemas e SQL (HOWS; MEMBREY; PLUGGE, 2015).

O MongoDB aplica a persistência de documentos no formato BSON (Binary JSON). Tais documentos são objetos JSON binários. O banco possibilita que usuários realizem modificações de apenas um atributo em um documento sem requisitar interação com o restante da estrutura (POLITOWSKI; MARAN, 2014).

#### 2.4.4 Node.js

Node.js é um interpretador assíncrono runtime de JavaScript, com código aberto orientado a eventos e multiplataforma, que executa sobre uma engine conhecida como Google V8 (SOUSA; CARVALHO, 2017). Possui o intuito de migrar a programação do JavaScript do cliente (frontend) para os servidores. O Node.js é um servidor para a internet criado para ser escalável (SCHROEDER; SANTOS, 2014). Adicionalmente, o Node.js possui um gerenciador de pacotes, o NPM, que dispõe de um repositório com mais de 400 mil pacotes de código aberto escritos em JavaScript (SILVA; SOBRAL, 2017).

#### 2.4.5 Yarn

O Yarn é um gerenciador de dependências concorrente do NPM. Com ele é possível instalar pacotes do NPM e outros gerenciadores.

#### 2.4.6 Postman

O Postman é uma ferramenta que tem como objetivo testar serviços RESTful (Web APIs) por meio do envio de requisições HTTP e da análise do seu retorno (PANATI, 2016). A ferramenta possibilita o envio de dados e efetuar testes sobre as respostas das requisições. O Postman auxilia nos testes de projetos associados à Web APIs. Adicionalmente, permite a desenvolvedores analisarem o funcionamento de serviços externos, com o intuito de gerenciar a sua utilização (TOMLINSON, 2017).

#### 2.4.7 Heroku

O Heroku é um serviço que disponibiliza um ambiente computacional em nuvem e suporte para diversas linguagens de programação (DEGGES, 2012). Permite ao usuário criar e submeter aplicações desenvolvidas.

Cada projeto é associado a um repositório remoto, sendo a principal forma de acesso através do Git. O código fonte, uma descrição das dependências utilizadas e um arquivo (Procfile) contendo as instruções que o Heroku deve executar para o software são passados como parâmetros (SOLÓRZANO; CHARÃO, 2017).

#### 2.4.8 OneSignal

O OneSignal é um serviço de notificação do tipo push de alto volume para sites e aplicativos móveis (ONE SIGNAL, 2019). O serviço suporta todas as principais plataformas nativas e móveis, fornecendo SDK's dedicados para cada plataforma, uma API de servidor RESTful e um painel online.

## 3 Desenvolvimento

O capítulo descreve o desenvolvimento do trabalho. A descrição dos assuntos é feita em subseções que englobam: a modelagem de requisitos, o modelo de arquitetura de software definido, o diagrama entidade-relacionamento pensado para o banco de dados, a linguagem de programação utilizada no projeto, a definição do padrão para troca de dados entre a aplicação e a base de dados, as ferramentas utilizadas no processo de desenvolvimento, a etapa de prototipação e a fase de testes.

### 3.1 Modelagem de requisitos

Para a etapa de modelagem de requisitos da aplicação utilizou-se da experiência prévia do autor em relação à área de barragens de rejeito. Para o monitoramento de estruturas de contenção de rejeitos, dois parâmetros são cruciais em uma análise: o deslocamento na estrutura e os coeficientes de segurança da barragem. Adicionalmente, para o alerta dos usuários de uma forma mais eficaz é necessário obter a sua localização em tempo real. Os requisitos são subdivididos em duas categorias: requisitos funcionais e requisitos não funcionais.

Os requisitos funcionais são apresentados a seguir:

1. Registrar usuário no sistema;
2. Calcular o deslocamento em sensores da barragem;
3. Calcular os coeficientes de segurança da estrutura;
4. Obter a localização das barragens e salvá-las em banco de dados;
5. Obter a localização dos usuários e salvá-las em banco de dados;
6. Calcular as distâncias entre os usuários e barragens;
7. Exibir as informações de monitoramento para diferentes perfis de usuário;
8. Alertar os usuários em um evento de movimentação ou redução dos coeficientes de segurança em menos de 5 segundos;
9. Alertar os contatos adicionados pelo usuário;
10. Alertar as autoridades em um evento de ruptura;
11. Salvar informações dos usuários em banco de dados.

Os requisitos não funcionais são detalhados na sequência:

1. A aplicação exigir pouco processamento computacional;
2. A aplicação ser visualmente agradável;
3. A aplicação ser de fácil utilização;
4. A aplicação ocupar pouco espaço para instalação.

Com base nos requisitos levantados foi elaborado um diagrama de caso de uso para a aplicação, conforme a Figura 2. Apesar de a aplicação possuir diferentes tipos de usuário, a única diferenciação entre as funções disponíveis se dá na tela relativa as informações das barragens. Assim, na elaboração do diagrama de caso de uso tomou-se a liberdade de não diferenciar os perfis de usuários distintos.

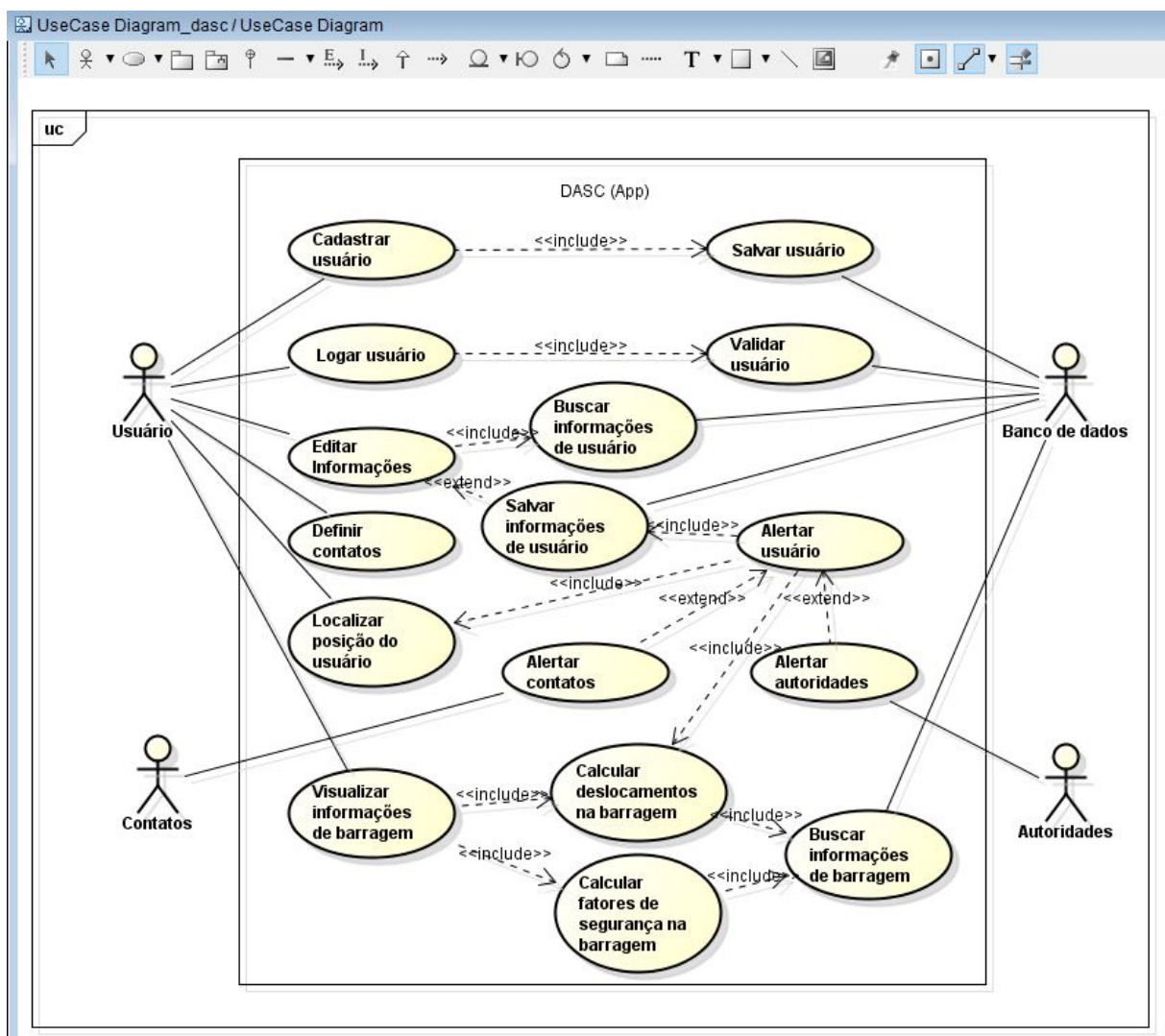


Figura 2 – Diagrama de caso de uso - Aplicação DASC



## 3.2 Arquitetura

A arquitetura de software definida para o desenvolvimento da aplicação consistiu em uma variação do modelo MVC (Model-View-Controller). O padrão de arquitetura MVC é amplamente utilizado na criação de aplicativos para dispositivos móveis, pois determina a separação de uma aplicação em três elementos (KRANSNER, 1988).

O Model é caracterizado por entidades que representam os dados da aplicação. A View tem como função realizar a apresentação destes dados e capturar os eventos do usuário, sendo representada pelas telas. O Controller faz a ligação entre o Model e a View, realizando o tratamento dos eventos, atuando sobre o Model e alterando os elementos da View para apresentar a nova concepção dos dados (BARROS; SILVA; ESPÍNOLA, 2007).

Foi criada uma Application Programming Interface (API) RESTful, que utiliza os métodos Hypertext Transfer Protocol (HTTP). Tais métodos seguem o padrão Representational State Transfer (REST), associado ao backend. Uma requisição HTTP RESTful necessariamente deve estar associada a um dos quatro métodos HTTP padrão: GET, PUT, POST e DELETE (WANG; KEIVANLOO; ZOU, 2014). A API caracteriza as camadas Model e Controller. As telas da aplicação acessam os dados da API elaborada, atuando como a camada View. Uma concepção visual do modelo de arquitetura implementado se apresenta na Figura 3.

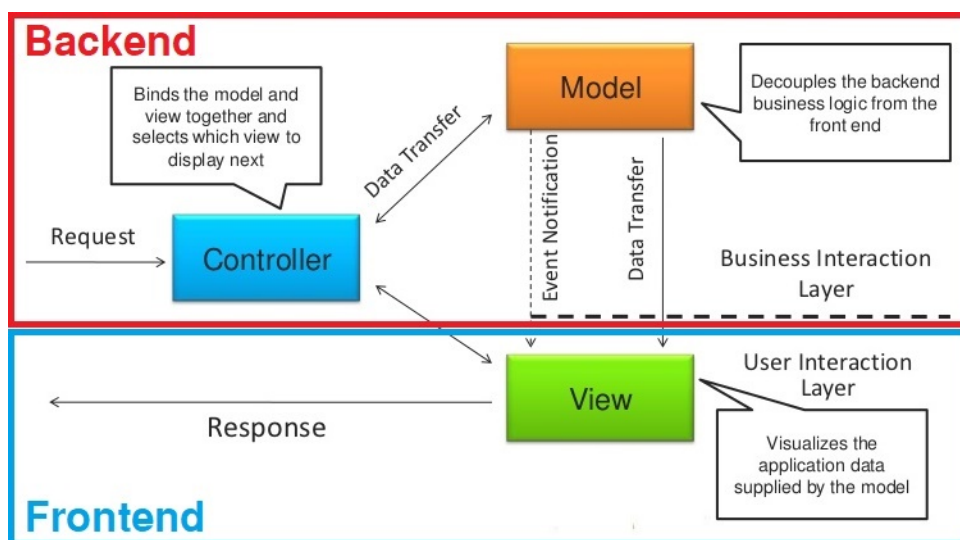


Figura 3 – MVC integrado ao backend e frontend ((WAHLIN, 2011) - Adaptado)

## 3.3 Diagrama entidade-relacionamento

O modelo de banco de dados projetado para aplicação é relativamente simples. Apenas duas entidades coexistem: TailingDam e User, relacionadas as barragens e aos usuários da aplicação respectivamente. As entidades são apresentadas no diagrama entidade-

relacionamento da Figura 4. Um maior detalhamento das entidades, com os seus respectivos atributos, é mostrada no Apêndice A.

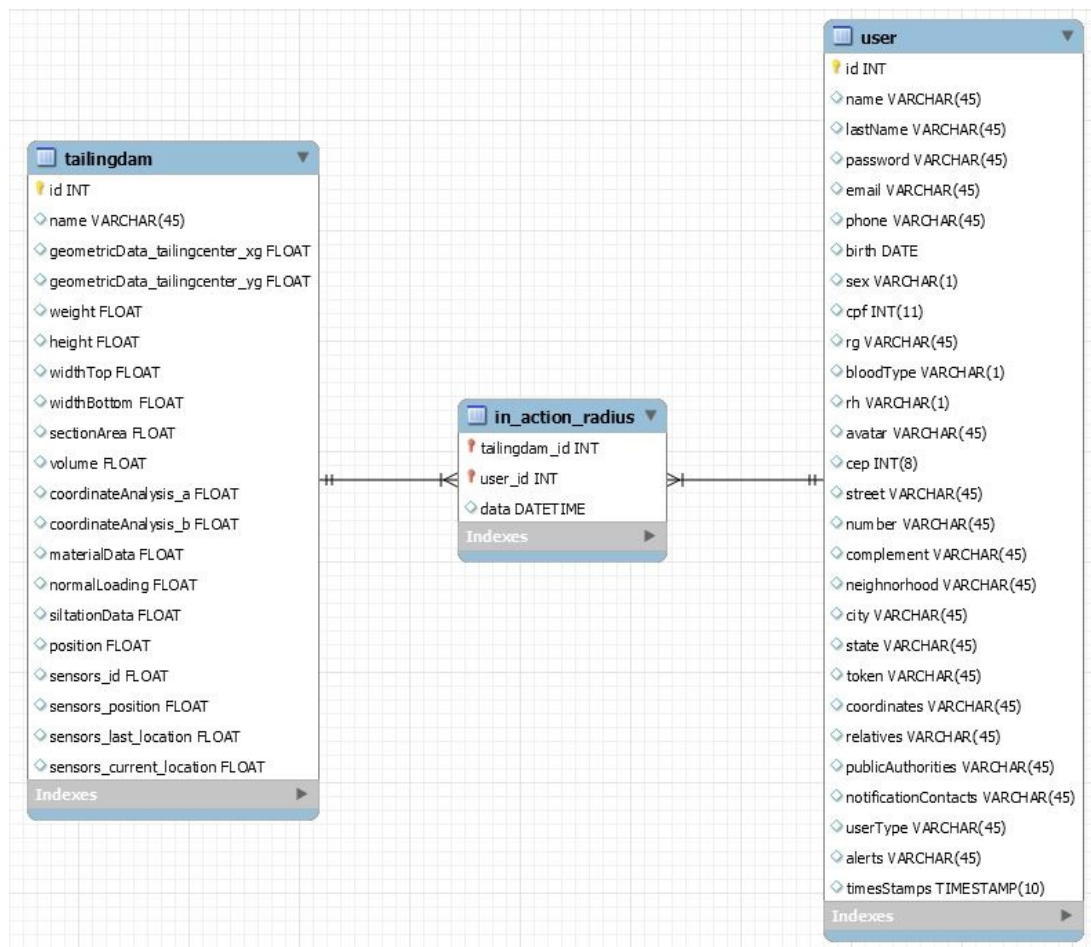


Figura 4 – Diagrama entidade relacionamento para aplicação proposta

### 3.4 Linguagem utilizada

A linguagem definida para a codificação do projeto foi o JavaScript (JS). O JS é uma linguagem de programação interpretada estruturada, de script em alto nível com tipagem dinâmica fraca e multi-paradigma (funcional, protótipos, imperativo e orientado a objeto) (FLANAGAN, 2006).

O JavaScript foi concebido para executar no lado do cliente de um sistema, ou seja, está associado a funcionalidades hospedadas no navegador do usuário (SILVA, 2010). Por ser uma linguagem não tipificada, o desenvolvimento em JavaScript é flexível. Propicia aos desenvolvedores a implementação em outros cenários, como em servidores no backend de aplicações (SILVA; SOBRAL, 2017).

A justificativa para a escolha da linguagem é em função dos seguintes aspectos:

1. Familiaridade do autor com a linguagem, em virtude de o JavaScript ser menos burocrático.
2. A linguagem JS possui uma comunidade ativa que disponibiliza uma gama significativa de APIs de terceiros, facilitando a implementação do projeto.
3. Um único código fonte é capaz de definir a aplicação para diferentes sistemas operacionais, tais como Android ou IOS, possibilitando alcançar uma maior base de usuários.

### 3.5 Padrão de troca de dados

O padrão escolhido para troca de dados entre o banco de dados e a aplicação foi o JavaScript Object Notation (JSON). O JSON permite uma formatação leve de troca de dados, de fácil manipulação, leitura e escrita. Tal padrão foi escolhido em virtude da linguagem a ser utilizada na implementação ser o JavaScript e o JSON estar integrado a linguagem. Adicionalmente, muitas APIs disponíveis utilizam o padrão JSON.

### 3.6 Aplicação das tecnologias

Nas subseções a seguir são apresentadas as ferramentas utilizadas no projeto.

1. React Native: a tecnologia foi utilizada para realizar a conversão do código em JavaScript para um padrão capaz de ser interpretado para o sistema operacional Android.
2. Google Cloud Platform: a ferramenta foi utilizada através de outras tecnologias presentes na plataforma, tais como o Google Maps, o Google Geocoding e o Gmail API.
3. Google Maps: tecnologia utilizada para obter a geolocalização de usuários e barragens registradas no sistema. Implementada de forma a atuar em tempo real.
4. Google Geocoding: utilizada na aplicação e responsável por transformar a localização das barragens em coordenadas.
5. Google Gmail: a solução foi aplicada para o envio de e-mails aos usuários e contatos registrados quando um alerta é enviado ao sistema.
6. Firebase: utilizado no projeto para a ativação das notificações push do aplicativo. Tais notificações estão associadas a notificação de alerta captada pelo sistema e endereçada aos usuários do sistema.

7. OneSignal: utilizado no projeto para as notificações push do aplicativo de forma conjunta ao Firebase. O OneSignal atua de forma ao filtrar o envio das notificações push para os usuários que se encontram dentro do raio de ação da barragem.
8. Mongo DB: banco de dados utilizados no projeto para guardar as informações das entidades que fazem parte da aplicação: User e TailingDam. Obtém os dados através de um formato JSON e os salva na estrutura. Foi simulado o carregamento do banco de dados como se estivesse recebendo as informações de campo em tempo real a partir dos instrumentos de monitoramento de barragens citados na seção 2.1.2.
9. Node.js: a ferramenta é um interpretador utilizado na codificação em JavaScript. É a aplicação do JavaScript no backend da aplicação. Possui pacotes integrados tais como o Yarn.
10. Yarn: gerenciador de pacotes que possuem bibliotecas já implementadas, facilitando no processo de reuso de código e contribuindo para evitar o gasto de tempo no desenvolvimento de funções que não são o foco do projeto.
11. Postman: foi utilizado para simular o envio de dados em tempo real ao banco de dados. Cria as rotas de acesso ao banco para as entidades User e TailingDam. Utiliza os métodos GET e POST para simular ações de leitura e escrita no banco de dados.
12. Heroku: serviço responsável por realizar o deploy e hospedar o backend da aplicação de forma a estar online de forma contínua.

### 3.7 Prototipação

Nas etapas iniciais de desenvolvimento do aplicativo foi realizado um processo de prototipação para a elaboração das telas. A prototipação possibilita que os requisitos do software sejam validados logo no início do desenvolvimento, evitando a propagação de erros (RANGEL, 2003). Protótipos de baixa fidelidade são uma representação visual simples, mas significativa, do que seria o sistema (ROSEMBERG et al., 2008). As telas geradas no processo de prototipação se encontram no Apêndice A.

### 3.8 Testes

Testes da aplicação foram feitos por um período de 15 dias por um grupo de 10 usuários. Questões relacionadas aos requisitos foram analisadas. A usabilidade e o tempo de resposta dos alertas, que deveriam ser instantâneos, também foram avaliados. O feedback dos usuários foi importante para implementação de melhorias no sistema. Como exemplo pode-se citar a simplificação das informações que são apresentadas aos usuários do tipo público em relação a uma determinada barragem.

## 4 Resultados

Neste capítulo é apresentada a versão final do aplicativo. O capítulo inicia descrevendo o aplicativo de maneira geral. Na sequência, de forma individual, exhibe a função de cada tela presente no aplicativo.

### 4.1 Aplicativo: Dam Alert and Safe Check (DASC)

Nomeado como Dam Alert and Safe Check (DASC), o aplicativo se propõe a atuar como uma ferramenta para o monitoramento e o alerta a respeito da condição de estabilidade de estruturas de contenção de rejeitos. Adicionalmente, a aplicação foi concebida de forma a ser uma ferramenta que possibilite o aviso instantâneo aos seus usuários em um possível evento anômalo em uma barragem. Tal evento poderia ser uma movimentação da estrutura ou uma redução dos fatores de segurança associados à análise de estabilidade da estrutura. Assim, cálculos geotécnicos serviram como funções responsáveis por fornecer as informações necessárias para que aplicação atue de forma plena.

#### 4.1.1 Telas

A seguir são apresentadas as definições de cada tela presente no aplicativo DASC.

##### 4.1.1.1 Tela Inicial

A Tela Inicial é a primeira interface de contato entre o usuário e aplicação. Nela se encontram dois botões associados a funções que ao serem requisitas são encaminhadas para as respectivas telas: "Entrar", associado à Tela de Login e "Cadastrar", associado à Tela de Cadastro, conforme a Figura 5.

##### 4.1.1.2 Tela de Cadastro

A Tela de Cadastro possui a função de requerer as informações relevantes do usuário. Ao preencher os campos requeridos, o método de requisição POST solicita que o servidor da aplicação aceite os dados anexados no corpo da mensagem para armazenamento. Assim, o usuário passa a disponibilizar as suas informações para a base de dados do sistema.

Para a aplicação DASC foi tomado o cuidado em preservar a privacidade e segurança do usuário com o não salvamento da senha direto no banco de dados. É utilizada uma forma de criptografia hash associada a uma chave, sendo esta armazenada no banco. O layout da tela é apresentado na Figura 6.

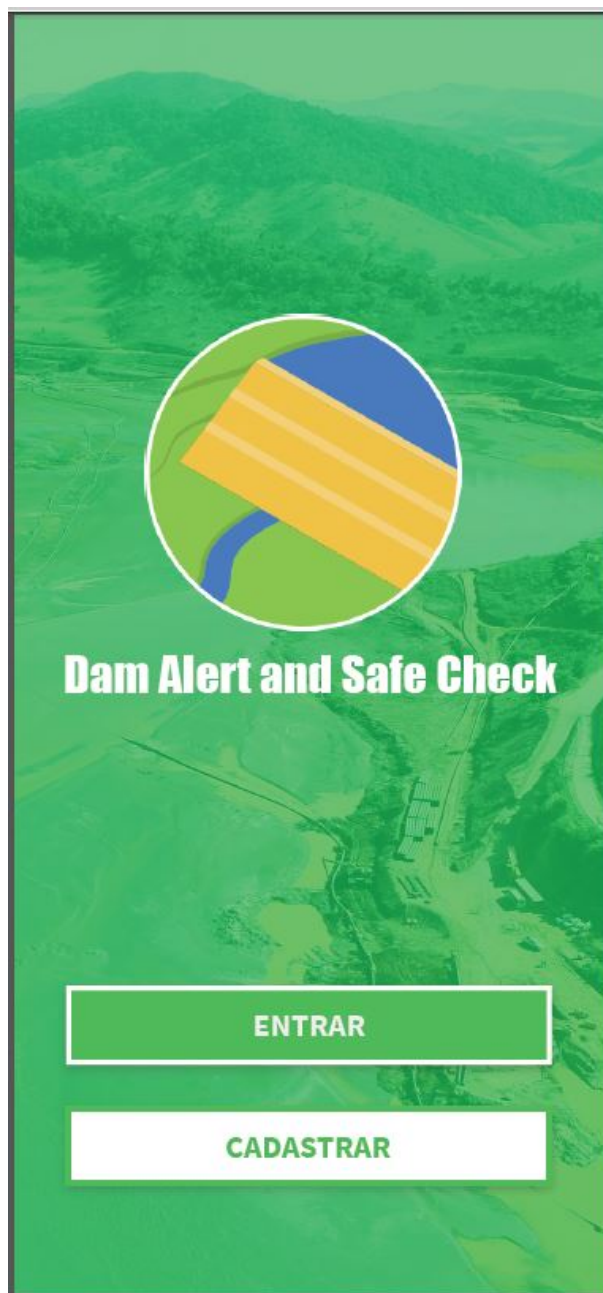
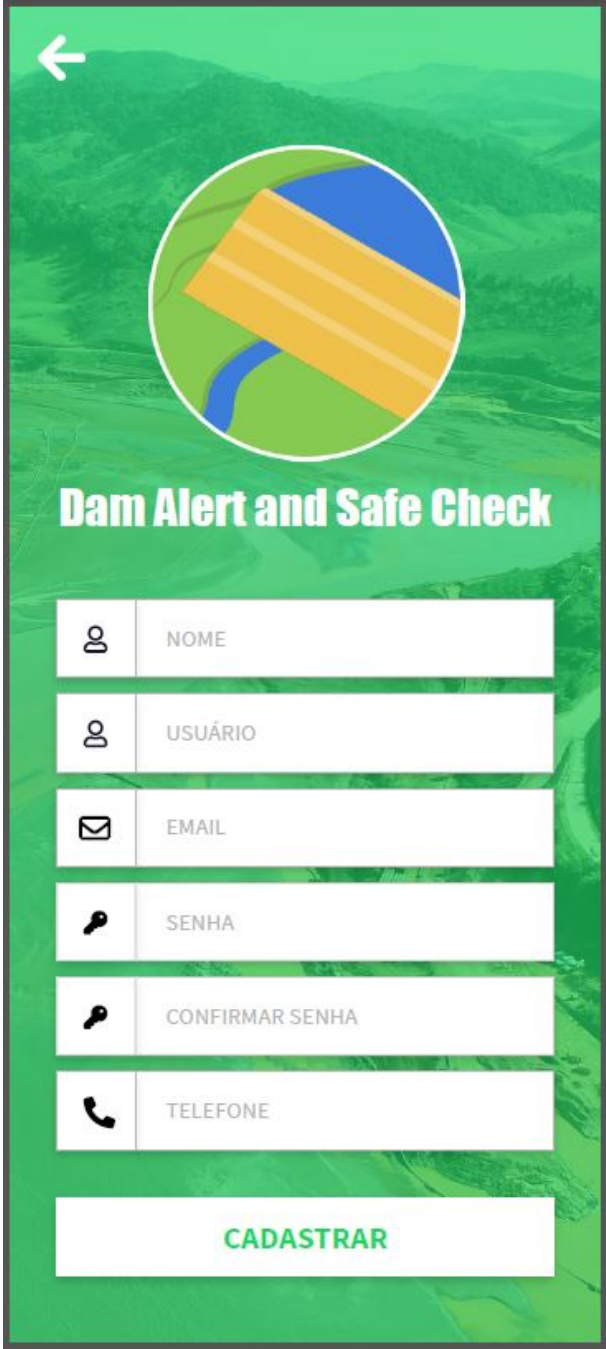


Figura 5 – DASC - Tela Inicial

A aplicação por padrão define todo o usuário como Público. Esse tipo de perfil tem um acesso limitado às informações da aplicação. Existem outros dois perfis definidos: Governo e Empresa. O perfil Governo tem um nível intermediário de acesso às informações e funcionalidades do aplicativo. Por sua vez, o perfil Empresa possui um acesso completo ao sistema.

#### 4.1.1.3 Tela de Login

A Tela de Login é a interface que o usuário passa utilizar após ter efetivado o seu cadastro no sistema. Ao digitar o login e senha o método GET é acionado. O método é



←

**Dam Alert and Safe Check**

NOME

USUÁRIO

EMAIL

SENHA

CONFIRMAR SENHA

TELEFONE

**CADASTRAR**

Figura 6 – DASC - Tela de Cadastro

responsável por recuperar um recurso existente no servidor. No caso em questão é feito um acesso ao banco, aplicado a criptografia sobre a suposta senha e a mesma é comparada com a chave gerada na etapa de Cadastro. Em caso positivo, o acesso ao sistema é liberado, do contrário a utilização é negada. Outra funcionalidade interessante adicionada é relacionada ao fato que um token, com validade de 7 dias, é gerado ao validar o acesso ao sistema. Dessa forma, a requisição de login e senha não são realizadas de forma tão constante, contribuindo para uma melhor usabilidade por parte do usuário. O desenho da tela é exibido na Figura 7.

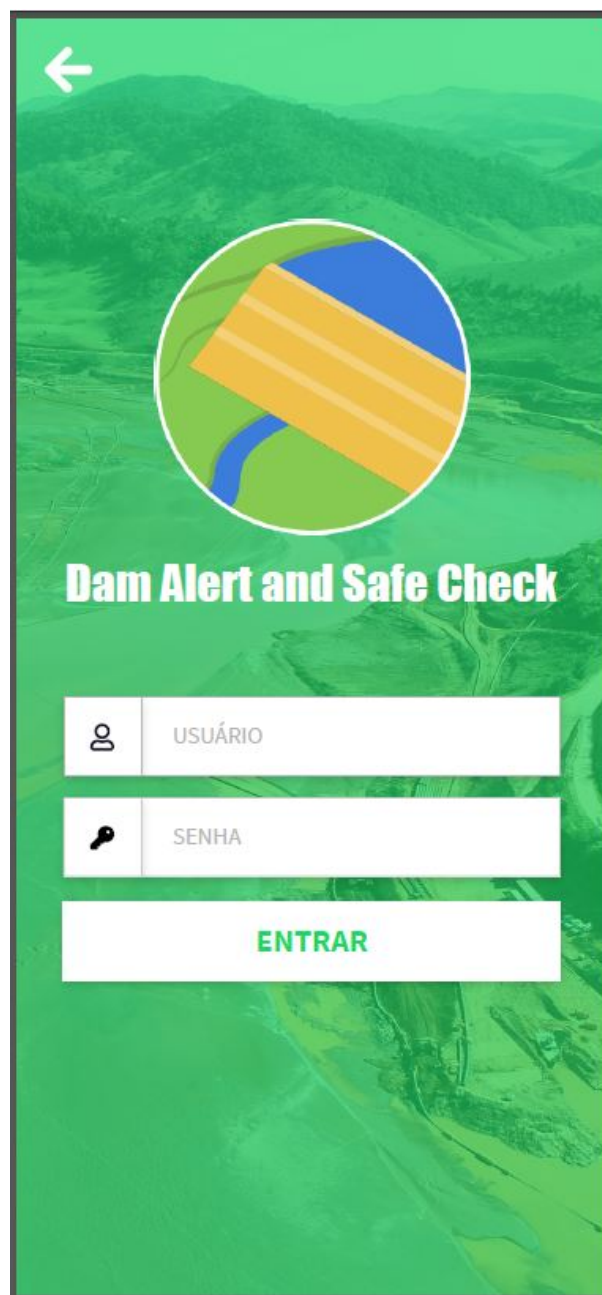


Figura 7 – DASC - Tela de Login

#### 4.1.1.4 Tela de Menu

A Tela de Menu é responsável por apresentar as principais funções da aplicação, dividida nos seguintes módulos: Barragem, Perfil, Localização e Contatos para Notificação, como mostrado na Figura 8. Adicionalmente, está presente um botão para sair da aplicação e também é possível atualizar a foto do usuário clicando sobre a imagem.

#### 4.1.1.5 Tela de Contatos para Notificações

Uma funcionalidade proposta pela aplicação e associada à Tela de Contatos para Notificações é a possibilidade de cadastrar e-mails de contatos definidos pelo usuário





Figura 8 – DASC - Tela de Menu

para o recebimento de mensagens, conforme Figura 9. Tais notificações consistem em informações contendo a posição geográfica do aparelho do usuário no momento em que um incidente ocorra em uma barragem presente no sistema da qual o usuário esteja próximo. Adicionalmente, foi concebida uma opção para o envio de notificações pra órgãos do governo tais como: Bombeiros, Polícia Militar e Defesa Civil. O intuito dessa funcionalidade é auxiliar em possíveis operações de resgate.

#### 4.1.1.6 Tela de Localização

A Tela de Localização, 10, é responsável por situar a posição geográfica do usuário. Adicionalmente, exibe a distância linear em relação à barragem mais próxima catalogada no sistema. Exibe um status que indica se o utilizador está em um raio de alcance em um possível evento de ruptura. Utiliza diretamente as APIs Google Geocoding e Google Maps para implementar as suas funcionalidades.

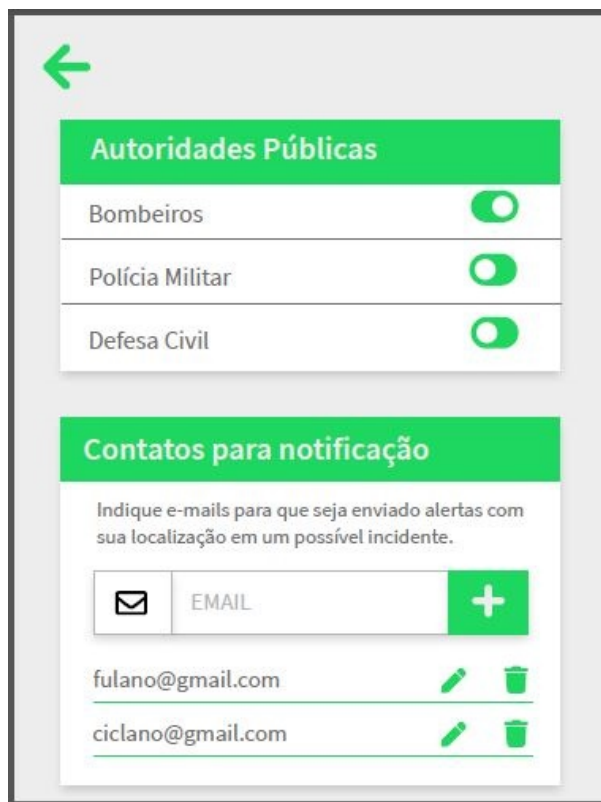


Figura 9 – DASC - Tela de Contatos para Notificações

#### 4.1.1.7 Tela de Perfil

A Tela de Perfil compreende um conjunto de informações não obrigatórias que o usuário pode fornecer ao sistema. Possuem o intuito de facilitar um resgate em um possível evento de ruptura de uma estrutura de contenção de rejeitos. Tais informações são divididas de acordo com os seguintes tipos: Informações Pessoais, Endereço e Familiares. A interface possui uma diagramação simples, como verificado na Figura 11.

#### 4.1.1.8 Tela de Barragem - Empresa

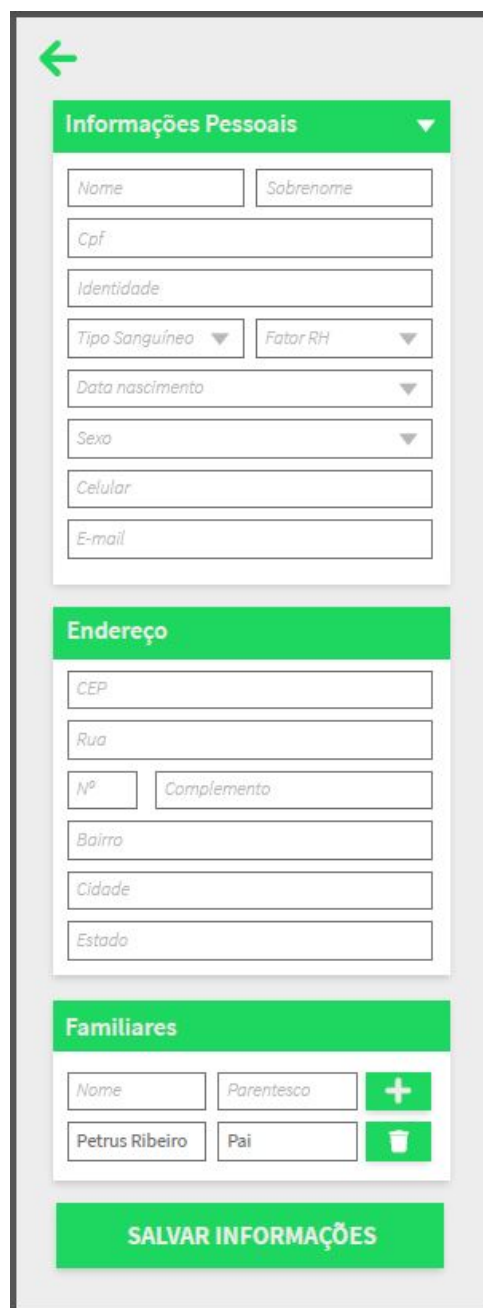
A tela central da aplicação. Responsável por conter as principais e mais completas informações da barragem. Acesso fornecido apenas a usuários de perfil tipo Empresa. O design é conforme a Figura 12. As informações são divididas de acordo com as seguintes seções:

- Barragem: apresenta um menu para seleção da barragem escolhida. Irá exibir o nível de água que se encontra na barragem em uma escala visual ilustrativa.
- Dados Geométricos: exibe as informações geométricas da barragem. Inclui os campos: centroide, peso, altura, largura do topo e fundação, área de seção e capacidade volumétrica.



Figura 10 – DASC - Tela de Localização

- Dados do Material: mostra os dados relacionados aos materiais presente na barragem. Divididas nas informações: peso específico, coesão e ângulo de atrito. Engloba o material que caracteriza a estrutura da barragem, assim como os materiais que são contidos pela a estrutura.
- Carregamento Normal: apresenta as condições de carregamento de água a montante e a jusante da barragem.
- Dados de Assoreamento: exhibe informações relacionadas exclusivamente ao material retido e decantado no interior da estrutura de contenção de rejeito.



The image shows a mobile application interface for a user profile. It is divided into three main sections, each with a green header:

- Informações Pessoais:** Contains input fields for 'Nome' and 'Sobrenome', a 'Cpf' field, an 'Identidade' field, dropdown menus for 'Tipo Sanguíneo' and 'Fator RH', a 'Data nascimento' dropdown, a 'Sexo' dropdown, and text input fields for 'Celular' and 'E-mail'.
- Endereço:** Contains input fields for 'CEP', 'Rua', 'Nº' and 'Complemento', 'Bairro', 'Cidade', and 'Estado'.
- Familiares:** Shows a list of family members. The first row has 'Nome' and 'Parentesco' fields with a '+' icon. The second row shows 'Petrus Ribeiro' and 'Pai' with a trash icon.

At the bottom of the screen is a large green button labeled 'SALVAR INFORMAÇÕES'.

Figura 11 – DASC - Tela de Perfil

- Coordenadas de Análise: composta pelas coordenadas de análise utilizadas como referencial no cálculo dos esforços solicitantes e os fatores de segurança.
- Esforços: relaciona a distribuição dos esforços atuantes ao longo da barragem. Subdivididos em três categorias: A primeira, esforços estabilizantes, composta pelo Peso Próprio da estrutura e Empuxo de Jusante. A segunda, esforços instabilizantes, composta pelo Empuxo a Montante, Assoreamento, Pressão Hidrostática, Sub-pressão e Efeitos Sísmicos. E a última, esforços resultantes, composta pelo somatório dos esforços estabilizantes e esforços instabilizantes.
- Fatores de Segurança: categoria que leva em consideração os esforços atuantes na

estrutura e avalia a sua segurança efetiva em relação aos eventos de Deslizamento, Tombamento e Flutuação.

- Sensores: essa última aba simula a apresentação dos dados enviados pelos instrumentos descritos na Seção 2.1.2. Apresenta a movimentação absoluta e nas últimas 24 horas em todos os sensores presentes na barragem.

#### 4.1.1.9 Tela de Barragem - Governo

A tela referente às barragens acessada pelo tipo de usuário Governo, composto por membros de órgãos governamentais interessados em utilizar a base de dados, seja por razões de monitoramento, fiscalização ou possível ação de resgate. Recupera informações da Tela de Barragem - Empresa. Exibe informações relevantes sobre a barragem, mas tenta amenizar alguns aspectos técnicos e de engenharia, como demonstrado na Figura 13.

#### 4.1.1.10 Tela de Barragem - Público

A Tela de Barragem - Público, Figura 14, será a interface acessada pelos usuários gerais do sistema. Recupera as informações mais relevantes e de cunho geral da Tela de Barragem - Empresa e as exibe de uma forma clara, simples e concisa. As informações apresentadas são relativas ao percentual de água na estrutura, a movimentação e a estabilidade da barragem.

#### 4.1.1.11 Tela de Alerta


A Tela de Alerta é responsável por gerar as notificações do tipo push e disparar os gatilhos para o encaminhamento de e-mails de alerta. A notificação é ativada caso o usuário se encontre na Zona de Alerta ou Zona de Perigo de uma determinada barragem e o evento de alerta aconteça, conforme a Figura 15. A notificação push é exemplificada na Figura 16. Ao clicar sobre a notificação, o usuário é direcionado para a Tela de Alerta, Figura 17. Os e-mails enviados para o usuário e para os contatos registrados apresentam-se de acordo com a Figura 18 e a Figura 19.

Essa interface não é acessada diretamente pela Tela de Menu, a mesma é ativada pelo clique em uma notificação do tipo push, enviada em alguma ocorrência registrada em uma barragem. É dividida em duas seções: Ocorrência Atual e Histórico de Ocorrências.

A aba Ocorrência Atual apresenta a ocorrência mais recente de alerta. A Tela de Alerta persiste na aplicação até que o usuário clique no botão "Estou a salvo". Quando a notificação mais recente é arquivada, a mensagem é movida para a seção Histórico de Ocorrência e a Tela de Alerta é fechada. Os alertas são filtrados pela distância do usuário a uma determinada estrutura. Assim, o aplicativo tenta resguardar a condição segura para cada evento em que o usuário esteja no raio de ação de uma determinada barragem.

←

## Barragem



Barragem de Portal

**Dados Geométricos** ▲

Centróide:  
 Peso:  
 Altura:  
 Largura do topo:  
 Largura da fundação:  
 Área de seção:  
 Capacidade volumétrica:

**Dados do Material** ▲

Tipo	Peso específico	Coesão	Ângulo de atrito
Terra			
Rejeito			
Água			

**Carregamento Normal** ▲

Nível de água a montante:  
 Nível de água a jusante:

**Dados de Assoreamento** ▲

Peso do material depositado:  
 Nível do material depositado:

**Coordenadas de Análise** ▲

Ponto	X	Y
A		
B		

**Esforços** ▲

Estabilizantes	Fx	Fy	Mx	My
Peso Próprio				
Empuxo de Assento				

Instabilizantes	Fx	Fy	Mx	My
Empuxo Montante				
Assoreamento				

Resultado	Fx	Fy	Mx	My

**Fatores de Segurança** ▲

Deslizamento:  
 Tombaramento:  
 Flutuação:

**Sensores** ▲

	Ótimas 24hrs	Total
SS1		
SS2		
SS3		

Figura 12 – DASC - Tela de Barragem - Empresa

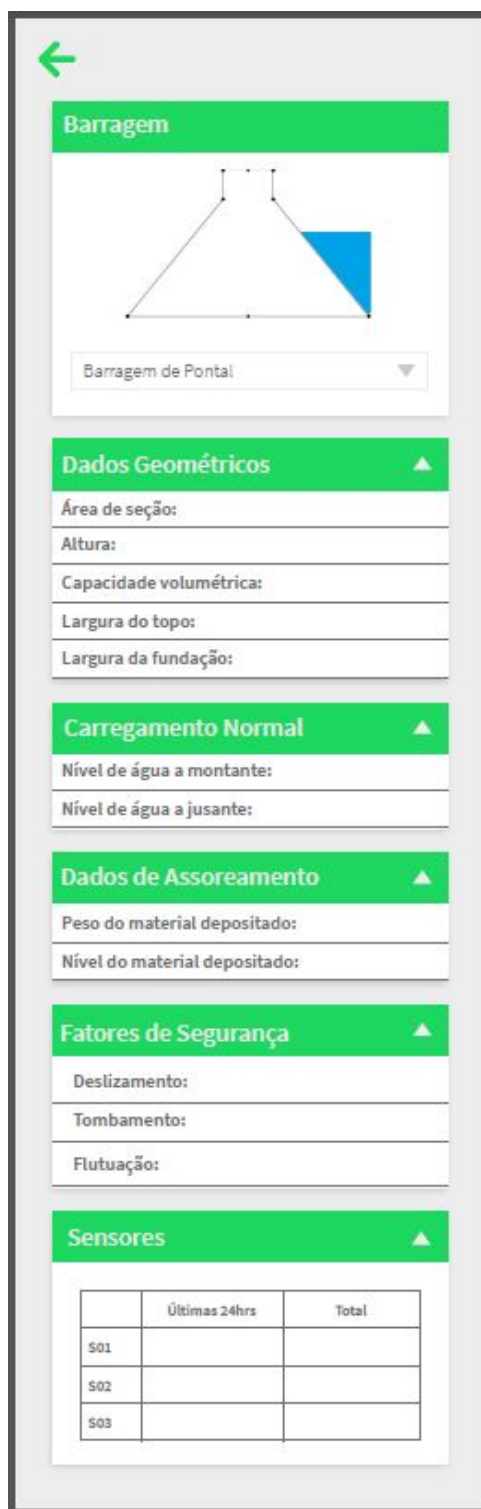


Figura 13 – DASC - Tela de Barragem - Governo

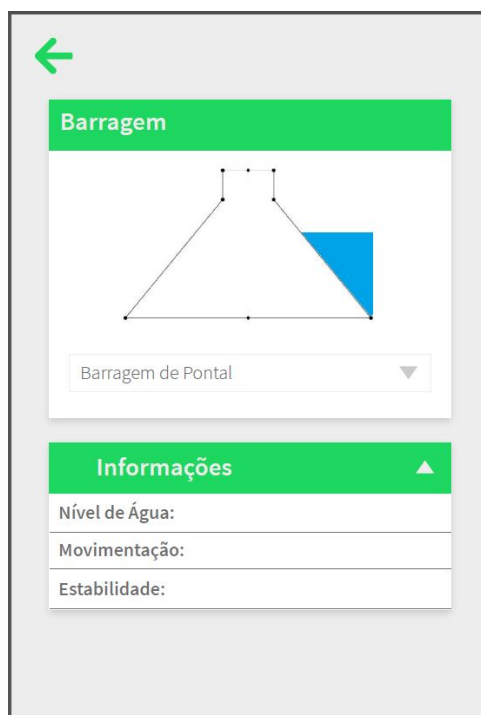


Figura 14 – DASC - Tela de Barragem - Público

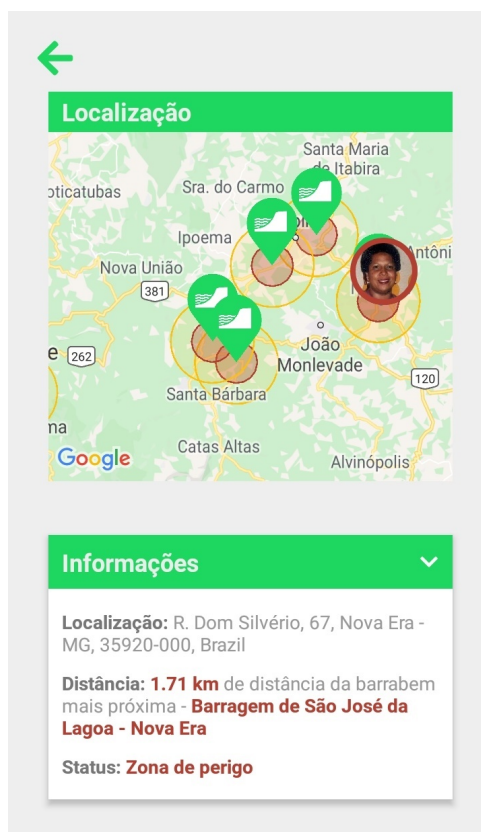


Figura 15 – DASC - Zona de Perigo e Zona de Alerta



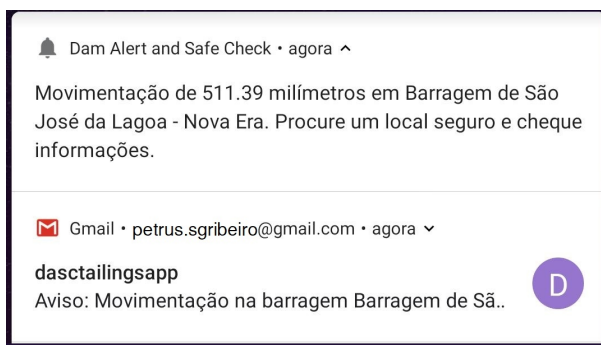


Figura 16 – DASC - Notificação Push

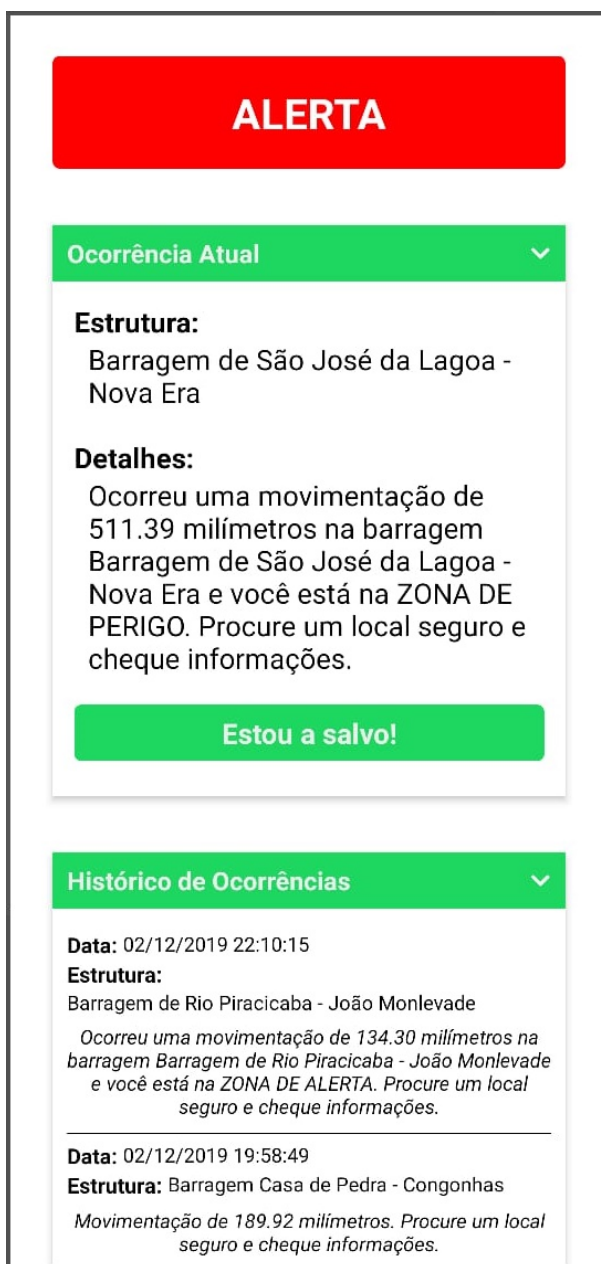


Figura 17 – DASC - Tela de Alerta

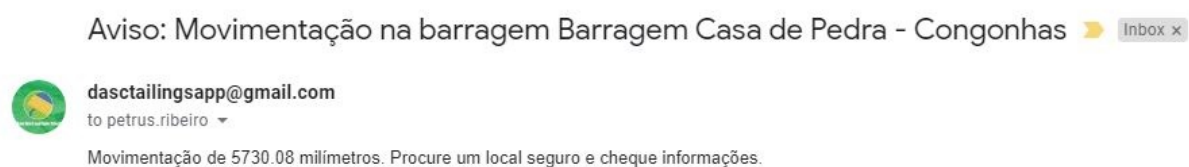


Figura 18 – E-mail encaminhado ao usuário

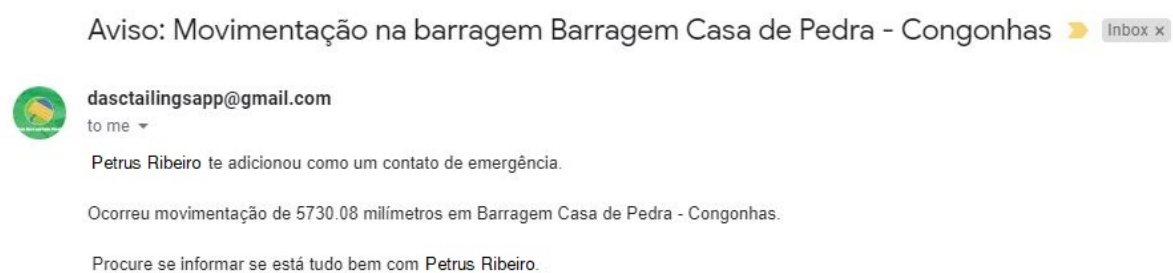


Figura 19 – E-mail encaminhado aos contatos registrados para receber notificações

## 5 Conclusão

O trabalho apresentou uma aplicação para dispositivos móveis como resultado de um projeto para monitoramento e alerta sobre a condição de estabilidade de uma barragem de rejeito. Destaca-se a complexidade do tema abordado e seu escopo amplo, uma vez que o assunto necessita de uma extensa base de conhecimento multidisciplinar. O projeto relaciona diversos campos de conhecimento tais como: engenharia, geologia, geotecnia, sistemas de informação, desenvolvimento de dispositivos móveis, banco de dados, entre outros. As etapas para desenvolvimento da aplicação consistiram em: levantamento de requisitos, prototipação das telas, desenvolvimento e testes.

Como resultado, a aplicação obteve um desempenho satisfatório em dispositivos que utilizam o sistema operacional Android. O aplicativo Dam Alert and Safe Check (DASC) foi idealizado através da integração de um código fonte base estruturado na linguagem JavaScript, juntamente com a utilização de diversas APIs, bibliotecas e serviços disponíveis de forma gratuita no mercado. Arquitetado como duas aplicações, um backend responsável pelo Model e Controller da aplicação, e o frontend, associado ao aplicativo disponibilizado aos usuários. A aplicação foi capaz de executar em tempo real uma série de algoritmos e gerar informações relevantes aos usuários a respeito da condição de estabilidade de estruturas de contenção de rejeitos inseridas no sistema. Adicionalmente, a função chave do programa foi codificada e executada de forma adequada: a ação de alertar, de forma instantânea, os usuários a respeito de eventos anômalos e incidentes relacionados às barragens.

As limitações encontradas no desenvolvimento do projeto foram relacionadas a aspectos de hardware e software. Relativo à questão de hardware, o equipamento computacional disponível para o desenvolvimento foi um limitador, uma vez que já se encontrava desatualizado perante as opções disponíveis atualmente no mercado. Associado ao aspecto de software, o desafio foi utilizar diversas APIs de terceiros e configurá-las de forma a ser funcional perante aos requisitos levantados para o desenvolvimento da aplicação.

O trabalho se mostra promissor e possui potencial para ser implementado de forma comercial sob a forma de um produto. Os resultados do projeto agregam valor para a resolução de uma demanda real da sociedade. O próximo passo seria a integração efetiva da aplicação com os sistemas de sensores e bancos de dados de uma barragem real. Tal configuração seria essencial para avaliar como o sistema irá se comportar em um cenário não simulado. Relacionado ao aplicativo em si, estuda-se a possibilidade de tornar a aplicação mais robusta. Uma funcionalidade ligada ao clima, sugerida no início do desenvolvimento, mas não implementada por questões de escopo e tempo poderia ser adicionada.

Outras funcionalidades podem ser incorporadas ao projeto, como uma possível integração com redes sociais, por exemplo Twitter e Facebook, com o objetivo de aumentar o alcance da aplicação. Adicionalmente ferramentas estatísticas podem ser integradas ao projeto de forma a aumentar a confiabilidade do software e possibilitar a criação de um histórico detalhado das ocorrências e indicadores analisados. Ao fim a aplicação poderia ser disponibilizada em alguma loja de aplicativos, tal como o Google Play.

Embora o acesso a smartphones e planos de internet esteja em crescimento, uma parcela significativa da população brasileira que não utiliza a tecnologia. Segundo (CE-TIC.BR, 2019), 83% da população possui aparelho celular e, dentro desse espectro, 26% dos portadores de aparelhos celulares não utilizam a internet em seus dispositivos. Assim, a aplicação é uma ferramenta que deverá atuar em conjunto com outras tecnologias de monitoramento e alerta de barragens já existentes. A aplicação Dam Alert and Safe Check (DASC) possui o potencial para contribuir de forma efetiva para a manutenção de vidas humanas e tornar o ambiente de mineração mais seguro e sustentável.

# Referências

- ALVES, F. Frequência dos acidentes está aumentando. *Revista Brasil Mineração*. Nº 358, 2016. Citado na página 20.
- ANATEL, A. N. D. T. Telefonia móvel - acessos. In: . [S.l.: s.n.], 2018. Citado na página 18.
- ÁVILA, J. d. Barragens de rejeito no brasil. *Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Barragens (CBDB)*, 2012. Citado 3 vezes nas páginas 11, 20 e 21.
- BARRETO, M. L. et al. Mineração e desenvolvimento sustentável: desafios para o brasil. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM), 2001. Citado na página 17.
- BARROS, T.; SILVA, M.; ESPÍNOLA, E. State mvc: Estendendo o padrão mvc para uso no desenvolvimento de aplicações para dispositivos móveis. In: *Sexta Conferência Latino-Americana em Linguagens de Padrões para Programação*. [S.l.: s.n.], 2007. Citado na página 32.
- CARDOZO, F. A. C.; PIMENTA, M. M.; ZINGANO, A. C. Métodos construtivos de barragens de rejeitos de mineração—uma revisão. *HOLOS*, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, v. 8, p. 77–85, 2016. Citado na página 23.
- CETIC.BR, N. Pesquisa sobre o uso das tecnologias de informação e comunicação nos domicílios brasileiros - tic domicílios 2018. 2019. Citado na página 51.
- CHARBONNIER, P. *Management of Mining, Quarrying and Ore-processing Waste in the European Union: Study Made for DG Environment, European Commission*. [S.l.]: BRGM, 2001. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 22.
- CRUZ, A. S. da; BERGAMASCHI, M. P. Generous: Application programming interface (api) for object mapping in mongodb. *Unisantia Science and Technology*, v. 5, n. 2, p. 89–95, 2017. Citado na página 28.
- DATE, C. J. *Introdução a sistemas de bancos de dados*. [S.l.]: Elsevier Brasil, 2004. Citado na página 26.
- DAVENPORT, T. H.; PRUSAK, L. Conhecimento empresarial. rio de janeiro. *Campus. Francisco, USA, Morgan Kaufmann*, 1998. Citado na página 26.
- DEGGES, R. *The Heroku Hacker's Guide*. [S.l.]: Release, 2012. Citado na página 29.
- DEITEL, H.; DEITEL, P.; DEITEL, A. *Android: Como programar*. [S.l.]: Bookman Editora, 2015. Citado na página 26.
- ELETROBRÁS, C. E. B. Critérios de projeto civil de usinas hidrelétricas. *Rio de Janeiro*, 2003. Citado 3 vezes nas páginas 11, 23 e 24.
- FGV, F. G. V. Pesquisa anual do uso de ti nas empresas. In: *GVCia - FGV-EAESP, 29ª edição*. [S.l.: s.n.], 2018. Citado na página 18.

- FILHO, L. C. Q. *Desenvolvendo seu primeiro aplicativo Android: Entre de cabeça no mundo dos aplicativos móveis, criando e publicando seu próprio programa para o sistema líder do mercado!* [S.l.]: Novatec Editora, 2017. Citado na página 26.
- FILHO, L. H. A. et al. Avaliação da densidade in situ de uma barragem de rejeitos de mineração de ferro com o penetrológer. In: *Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável*. [S.l.: s.n.], 2004. Citado na página 22.
- FLANAGAN, D. *JavaScript: the definitive guide*. [S.l.]: "O'Reilly Media, Inc.", 2006. Citado na página 33.
- FONSECA, A. d. R. Auscultação por instrumentação de barragens de terra e enrocamento para geração de energia elétrica-estudo de caso das barragens da uhe são simão. 2003. Citado na página 23.
- GOOGLE. *Geocoding API*. 2019. Disponível em: <<https://console.cloud.google.com/marketplace/details/google/geocoding-backend.googleapis.com>>. Acesso em: 01 nov. 2019. Citado na página 28.
- GOOGLE. *Gmail API*. 2019. Disponível em: <<https://developers.google.com/gmail/api/guides>>. Acesso em: 01 nov. 2019. Citado na página 28.
- GOOGLE. *Google Cloud Platform*. 2019. Disponível em: <<http://cloud.google.com/index.html>>. Acesso em: 01 nov. 2019. Citado na página 27.
- GOOGLE, O. H. A. N. D. Android api guide. 2014. Citado na página 26.
- HOWS, D.; MEMBREY, P.; PLUGGE, E. *Introdução ao MongoDB*. [S.l.]: Novatec Editora, 2015. Citado na página 28.
- HU, S.; DAI, T. Online map application development using google maps api, sql database, and asp .net. *International Journal of Information and Communication Technology Research*, v. 3, n. 3, 2013. Citado na página 28.
- KANJI, M. A.; FIGUEIRA, P. C. Quantificação e tentativa do uso de instrumentação em barragens. In: *SINGEO90-Simpósio sobre Instrumentação Geotécnica de Campo. ABMS, Rio de Janeiro, BRASIL*. [S.l.: s.n.], 2006. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 23.
- KETZER, B.; SCHÄFFER, A. Roteiro de cálculo com auxílio de planilha eletrônica para análise de estabilidade em barragens de concreto por gravidade. *Revista da Graduação*, v. 3, n. 1, 2010. Citado 4 vezes nas páginas 23, 24, 25 e 72.
- KHEDKAR, S. et al. Real time databases for applications. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, v. 4, n. 06, p. 2078–2082, 2017. Citado na página 28.
- KRANSNER, G. A coolbook for using the model-view-controller user interface paradigm in smalltalk-80. *Journal of Object-Oriented Programming*, v. 1, n. 3, p. 26–49, 1988. Citado na página 32.
- KRUGER, C. M. Análise de confiabilidade estrutural aplicada às barragens de concreto. 2008. Citado na página 25.

- LECHETA, R. R. *Google Android-3ª Edição: Aprenda a criar aplicações para dispositivos móveis com o Android SDK*. [S.l.]: Novatec Editora, 2013. Citado na página 26.
- LEITE, F. H. et al. *Petvitae: Ferramenta de auxílio ao acompanhamento e gestão de grupos pet*. 2018. Citado na página 27.
- MONTEIRO, J. B. *Google Android: Crie aplicações para celulares e tablets*. [S.l.]: Editora Casa do Código, 2014. Citado na página 26.
- MOREIRA, J. G. Indústria 4.0: a “quarta revolução industrial”. In: . [S.l.: s.n.], 2017. Citado na página 18.
- NONNENMACHER, R. F. Estudo do comportamento do consumidor de aplicativos móveis. 2012. Citado na página 18.
- ONE SIGNAL. *One Signal - Product Overview*. 2019. Disponível em: <<https://documentation.onesignal.com/docs>>. Acesso em: 01 dec. 2019. Citado na página 29.
- PANATI, M. Restful api for mobile and spa applications. In: *Beginning KeystoneJS*. [S.l.]: Springer, 2016. p. 107–122. Citado na página 29.
- POLITOWSKI, C.; MARAN, V. Comparação de performance entre postgresql e mongodb. *X Escola Regional de Banco de Dados. SBC*, p. 1–10, 2014. Citado na página 28.
- RAFAEL, H. *Análise do potencial de liquefação de uma barragem de rejeito*. 2012. 103 f. Tese (Doutorado) — Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia Civil . . . , 2012. Citado na página 22.
- RAMAKRISHNAN, R.; GEHRKE, J. *Sistemas de gerenciamento de banco de dados-3*. [S.l.]: AMGH Editora, 2008. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 27.
- RANGEL, G. S. *Protool: uma ferramenta de prototipação de software para o ambiente prosoft*. 2003. Citado na página 35.
- RÊGO, E. E. d. As tic no ensino de geografia: a utilização dos aplicativos google maps e google earth na elaboração de sugestões de aulas de campo no ensino médio. 2015. Citado na página 28.
- ROB, P.; CORONEL, C. *Sistemas de banco de dados. Projeto, implementação e gerenciamento*, 2011. Citado na página 27.
- ROMERO, B. A.; SAAD, E. F.; BASTOS, G. B. React-native, avaliação de performance comparando com código java nativo com listview. *JORNAL DE ENGENHARIA, TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE-JETMA*, v. 2, n. 2, p. 23, 2018. Citado na página 27.
- ROSEMBERG, C. et al. Prototipação de software e design participativo: uma experiência do atlântico. In: SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO. *Proceedings of the VIII Brazilian Symposium on Human Factors in Computing Systems*. [S.l.], 2008. p. 312–315. Citado na página 35.
- SANTOS, D. d.; CURI, A.; SILVA, J. d. Técnicas para a disposição de rejeitos de minério de ferro. In: *VI Congresso Brasileiro de Mina a Céu Aberto (CBMina)*, Belo Horizonte. [S.l.: s.n.], 2010. Citado na página 17.

- SCHROEDER, R.; SANTOS, F. d. Arquitetura e testes de serviços web de alto desempenho com node. *JS e MONGODB. Universidade do Estado de Santa Catarina*, 2014. Citado na página 29.
- SETZER, V. W. Dado, informação, conhecimento e competência. *DataGramZero Revista de Ciência da Informação*, n. 0, p. 28, 1999. Citado na página 26.
- SILVA, D.; SOBRAL, L. Um estudo em larga escala sobre a estrutura do código-fonte de pacotes javascript. *Graduate final Report, 2017, Applied Computer School of Center of Exact Sciences and Technology, Unirio. Rio de Janeiro*, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 29 e 33.
- SILVA, M. S. *JavaScript-Guia do Programador: Guia completo das funcionalidades de linguagem JavaScript*. [S.l.]: Novatec Editora, 2010. Citado na página 33.
- SILVEIRA, J. F. A. *Instrumentação e segurança de barragens de terra e enrocamento*. [S.l.]: Oficina de Textos, 2006. Citado na página 23.
- SOLÓRZANO, A. L. V.; CHARÃO, A. S. Explorando a plataforma de computação em nuvem heroku para execução de programas paralelos com openmp. In: SBC. *Anais da XVII Escola Regional de Alto Desempenho do Estado do Rio Grande do Sul*. [S.l.], 2017. Citado na página 29.
- SOUSA, A. R. R. de; CARVALHO, W. H. Desenvolvendo aplicações restful utilizando node.js. 2017. Citado na página 29.
- STONEHEM, B. *Google Android Firebase: Learning the Basics*. [S.l.]: First Rank Publishing, 2016. v. 1. Citado na página 28.
- TOMLINSON, T. Integrating drupal 8. In: *Enterprise Drupal 8 Development*. [S.l.]: Springer, 2017. p. 213–232. Citado na página 29.
- WAHLIN, D. *Getting Started with ASP.NET MVC 3 and Razor*. 2011. Citado 2 vezes nas páginas 9 e 32.
- WANG, S.; KEIVANLOO, I.; ZOU, Y. How do developers react to restful api evolution? In: SPRINGER. *International Conference on Service-Oriented Computing*. [S.l.], 2014. p. 245–259. Citado na página 32.
- XAVIER, E. M. A família do desastre da samarco: Representações e lutas no contexto das ações da fundação renova entre os povos indígenas tupinikim em aracruz-es. *Anais do Seminário de Ciências Sociais*, v. 3, 2018. Citado na página 17.



# Apêndices

# APÊNDICE A – Materiais elaborados pelo autor

## A.1 Protótipo - Telas Concebidas

A.1.1 Protótipo - Tela Inicial

A.1.2 Protótipo - Tela de Cadastro

A.1.3 Protótipo - Tela de Login

A.1.4 Protótipo - Tela de Menu

A.1.5 Protótipo - Tela de Contatos para Notificações

A.1.6 Protótipo - Tela de Localização

A.1.7 Protótipo - Tela de Perfil

A.1.8 Protótipo - Tela de Barragem - Público

A.1.9 Protótipo - Tela de Barragem - Governo

A.1.10 Protótipo - Tela de Barragem - Empresa

A.1.11 Protótipo - Tela de Alerta

## A.2 Entidades do Banco de Dados

A.2.1 TailingDam

A.2.2 User

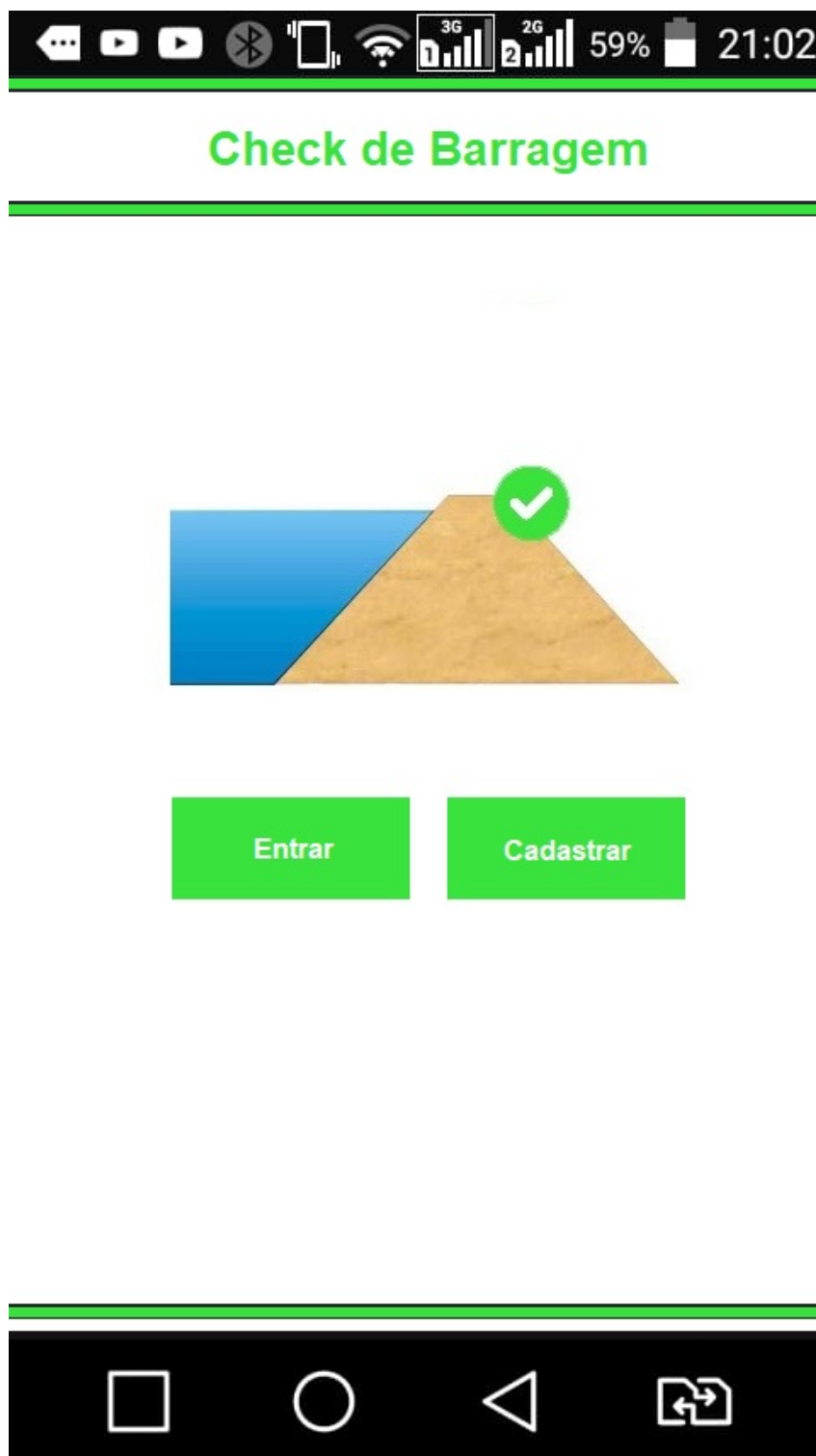


Figura 20 – Protótipo - Tela Inicial

**Cadastro**

**Nome**

Nome Sobrenome

**Escolha seu nome de usuário**

**Criar uma senha**

**Confirme sua senha**

**Data de nascimento**

Dia Mês Ano

**Sexo**

Sou do sexo...

**Celular**

+55

**Seu endereço de e-mail atual**

**Local**

Brasil

**Cadastrar**

Figura 21 – Protótipo - Tela de Cadastro



Figura 22 – Protótipo - Tela de Login

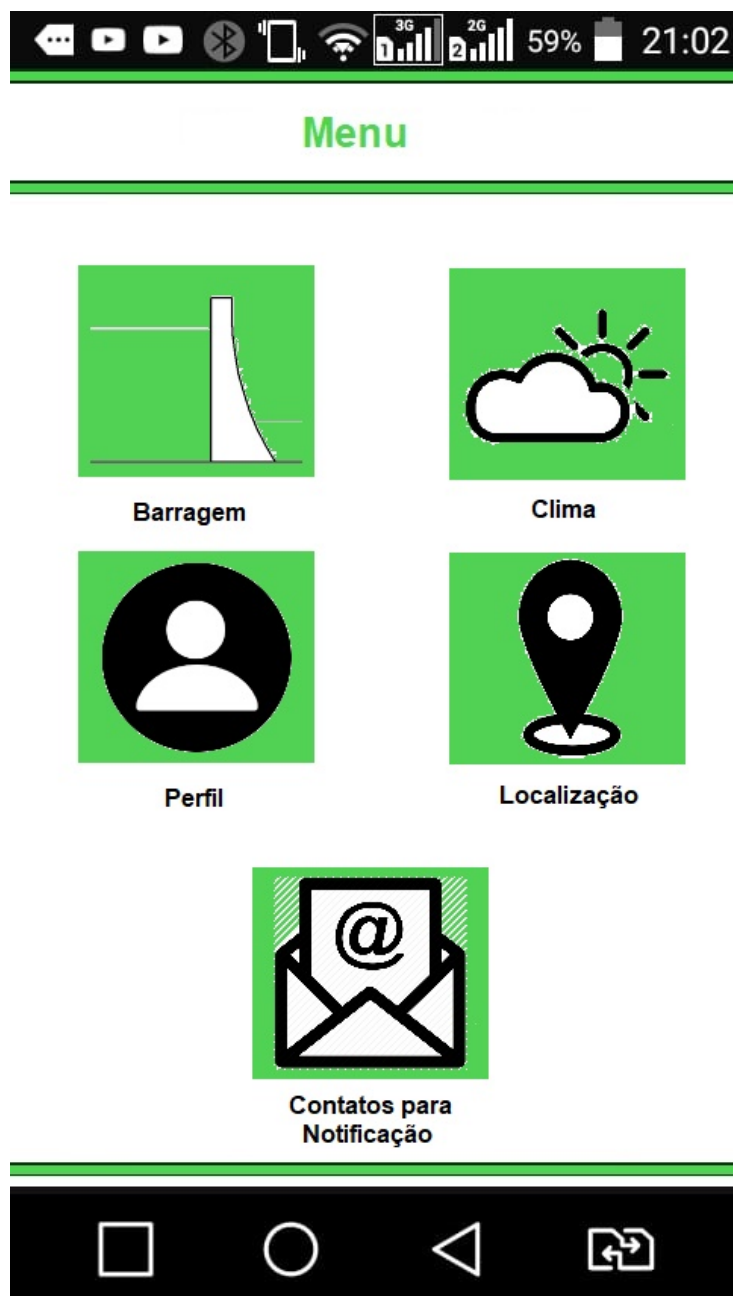


Figura 23 – Protótipo - Tela de Menu

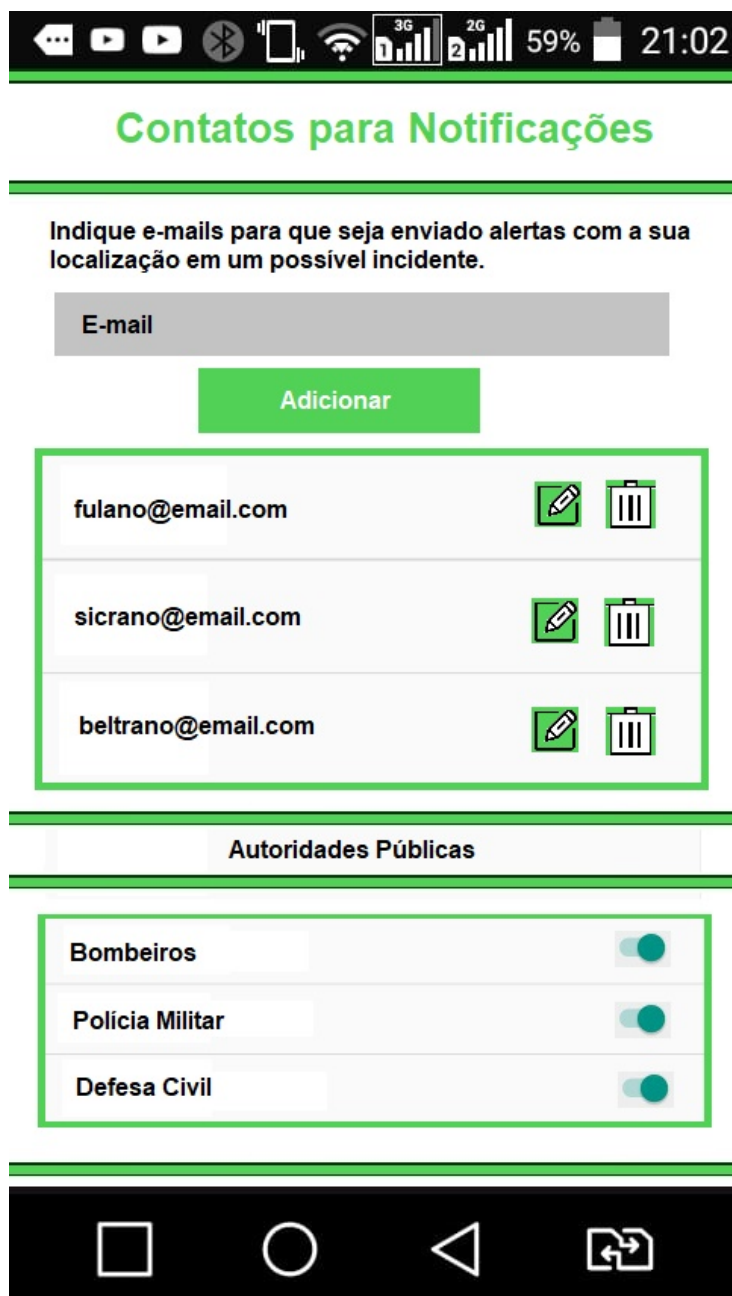


Figura 24 – Protótipo - Tela de Contatos para Notificações

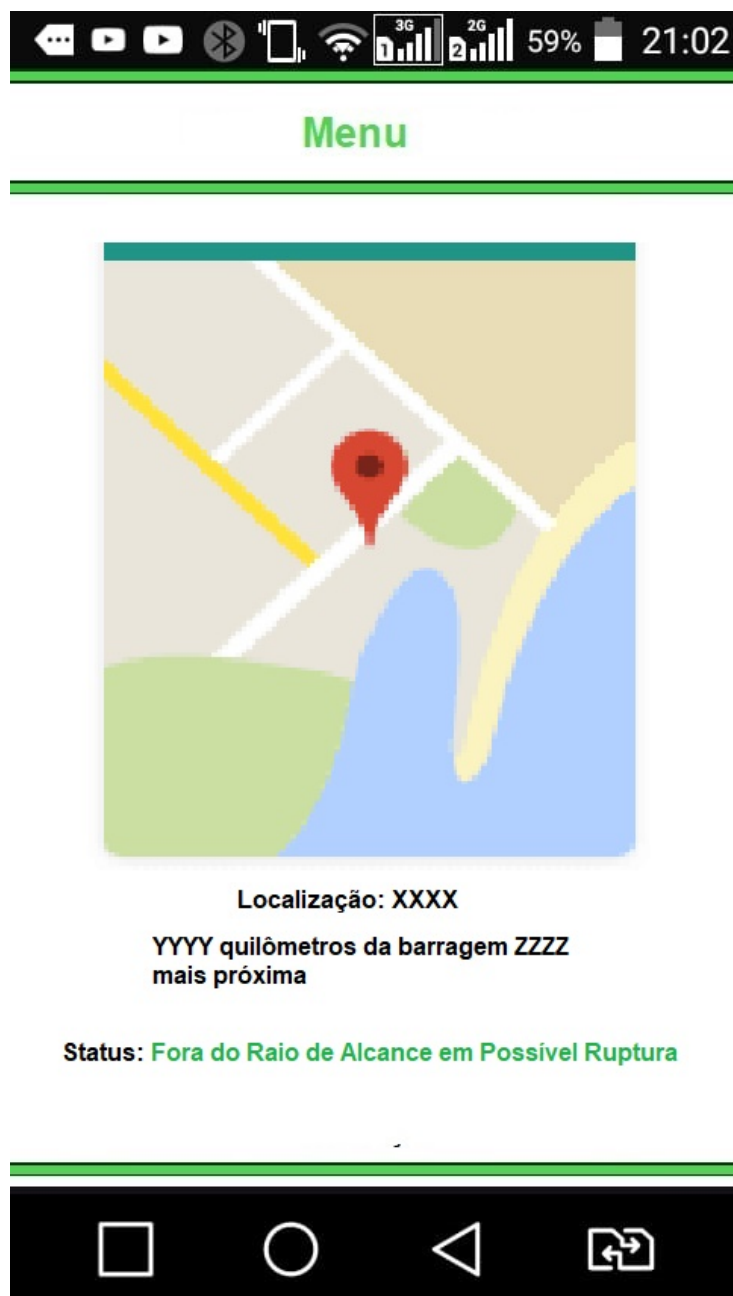


Figura 25 – Protótipo - Tela de Localização





Figura 26 – Protótipo - Tela de Perfil

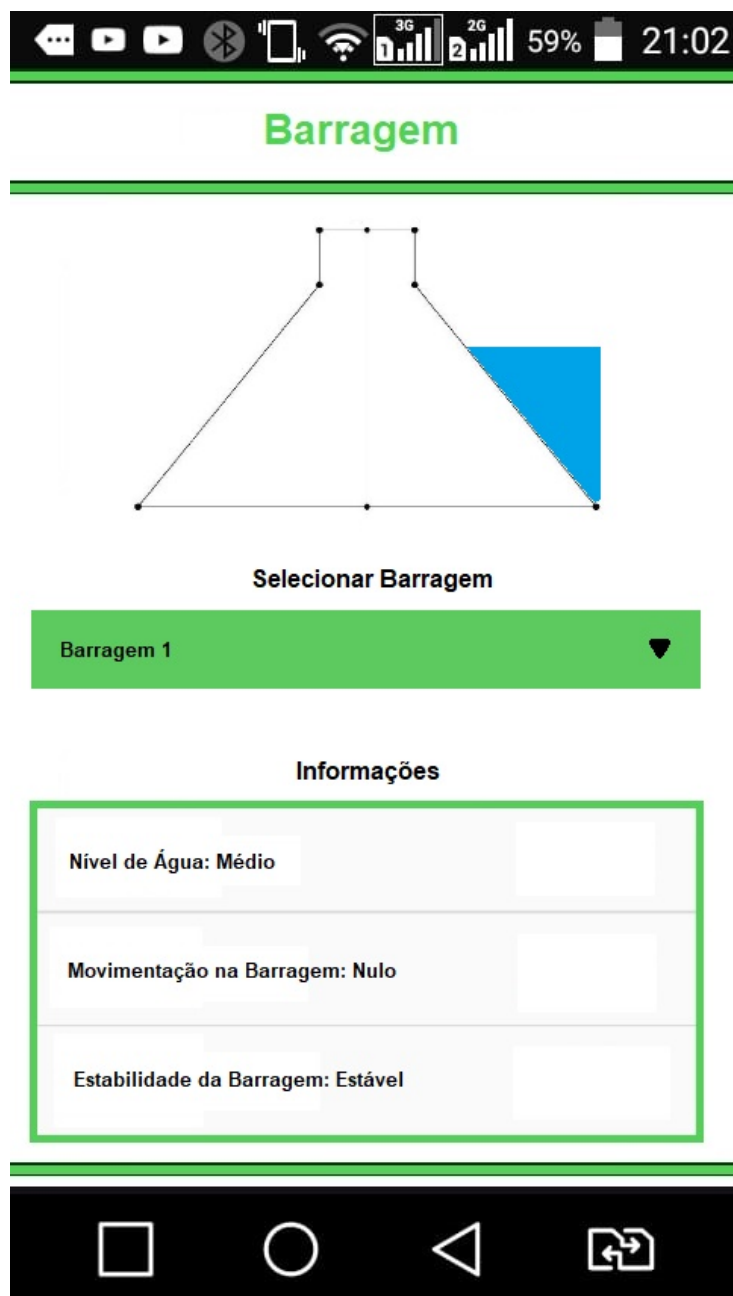


Figura 27 – Protótipo - Tela de Barragem - Público

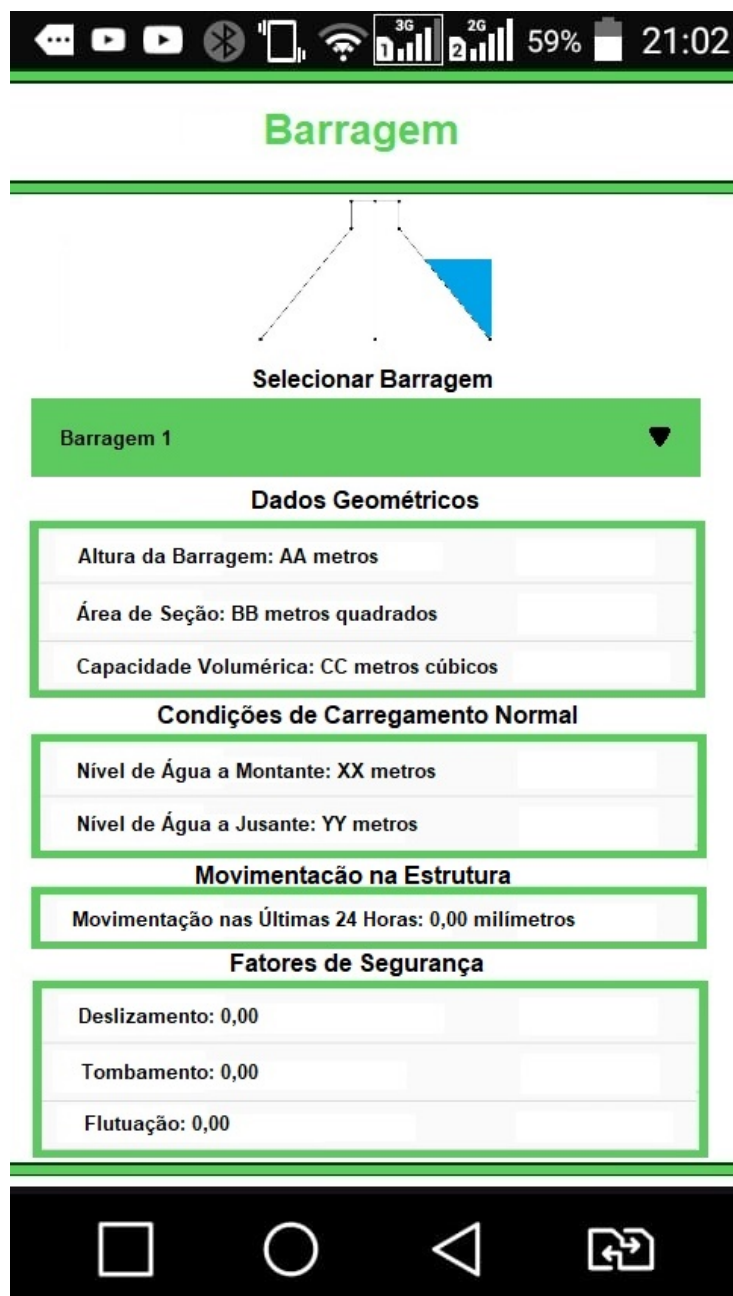


Figura 28 – Protótipo - Tela de Barragem - Governo

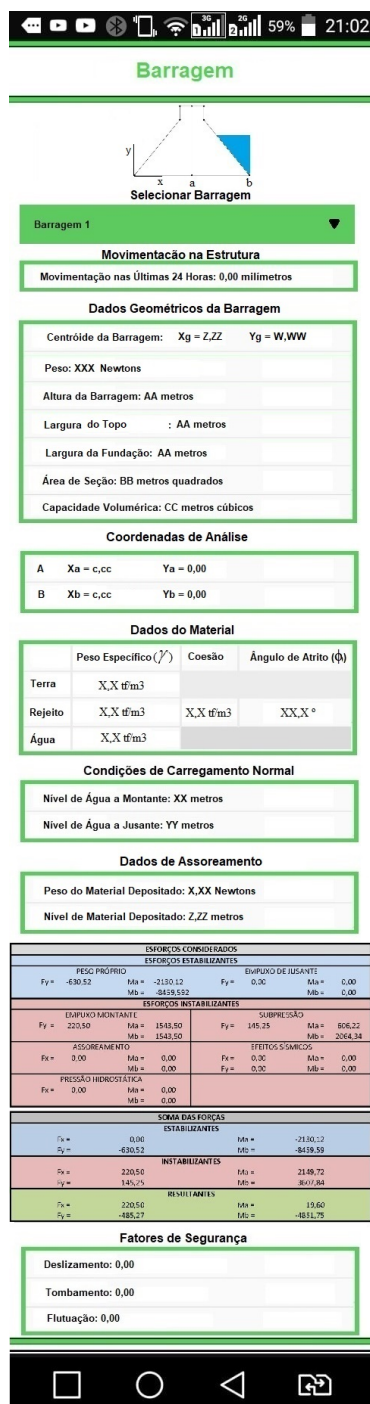


Figura 29 – Protótipo - Tela de Barragem - Empresa



Figura 30 – Protótipo - Tela de Alerta

```
4  const TailingDamSchema = new Schema(  
5    {  
6      name: { type: String, required: true },  
7      geometricData: {  
8        tailingCenter: {  
9          xg: { type: mongoose.Types.Decimal128, required: true },  
10         yg: { type: mongoose.Types.Decimal128, required: true }  
11       },  
12       weight: { type: mongoose.Types.Decimal128, required: true },  
13       height: { type: mongoose.Types.Decimal128, required: true },  
14       widthTop: { type: mongoose.Types.Decimal128, required: true },  
15       widthBottom: { type: mongoose.Types.Decimal128, required: true },  
16       sectionArea: { type: mongoose.Types.Decimal128, required: true },  
17       volume: { type: mongoose.Types.Decimal128, required: true }  
18     },  
19     coordinateAnalysis: [  
20       {  
21         id: { type: String, required: true },  
22         x: { type: mongoose.Types.Decimal128, required: true },  
23         y: { type: mongoose.Types.Decimal128, required: true }  
24       }  
25     ],  
26     materialData: [  
27       {  
28         id: { type: String, required: true },  
29         name: { type: String, required: true },  
30         specificWeight: { type: mongoose.Types.Decimal128, required: true },  
31         cohesion: { type: mongoose.Types.Decimal128, required: true },  
32         frictionAngle: { type: mongoose.Types.Decimal128, required: true }  
33       }  
34     ],  
35     normalLoading: {  
36       upstreamWater: { type: mongoose.Types.Decimal128, required: true },  
37       downstreamWater: { type: mongoose.Types.Decimal128, required: true }  
38     },  
39     siltationData: {  
40       depositedMaterialLevel: { type: mongoose.Types.Decimal128, required: true }  
41     },  
42     position: {  
43       x: { type: mongoose.Types.Decimal128, required: true },  
44       y: { type: mongoose.Types.Decimal128, required: true }  
45     },  
46     sensors: [  
47       {  
48         id: { type: String, required: true },  
49         position: {  
50           x: { type: mongoose.Types.Decimal128, required: true },  
51           y: { type: mongoose.Types.Decimal128, required: true }  
52         },  
53         lastLocation: {  
54           x: { type: mongoose.Types.Decimal128, required: true },  
55           y: { type: mongoose.Types.Decimal128, required: true }  
56         },  
57         currentLocation: {  
58           x: { type: mongoose.Types.Decimal128, required: true },  
59           y: { type: mongoose.Types.Decimal128, required: true }  
60         }  
61       }  
62     ]  
63   },
```

Figura 31 – Entidade - TailingDam

```
1  const UserSchema = new Schema(  
2  {  
3    name: {  
4      type: String,  
5      required: true  
6    },  
7    lastName: { type: String, trim: true },  
8    password: {  
9      type: String,  
10     trim: true,  
11     required: true  
12   },  
13   email: {  
14     type: String,  
15     trim: true,  
16     required: true,  
17     unique: true  
18   },  
19   phone: {  
20     type: String,  
21     trim: true,  
22     required: true  
23   },  
24   birth: Date,  
25   sex: { type: String, enum: ["M", "F"] },  
26   cpf: { type: String, trim: true },  
27   rg: { type: String, trim: true },  
28   bloodType: { type: String, enum: ["A", "B", "AB", "O"] },  
29   rh: { type: String, enum: ["+", "-"] },  
30   avatar: { type: String, trim: true },  
31   cep: { type: String, trim: true },  
32   street: String,  
33   number: String,  
34   complement: String,  
35   neighborhood: String,  
36   city: String,  
37   state: String,  
38   token: String,  
39   coordinates: {  
40     latitude: {  
41       type: Number  
42     },  
43     longitude: {  
44       type: Number  
45     }  
46   },  
47 },  
48 relatives: [  
49   {  
50     name: { type: String, required: true },  
51     kinship: { type: String, required: true }  
52   }  
53 ],  
54 publicAuthorities: [  
55   {  
56     name: String,  
57     status: Boolean  
58   }  
59 ],  
60 notificationContacts: [String],  
61 userType: {  
62   type: String,  
63   enum: ["user", "government", "company"],  
64   default: "user",  
65   required: true  
66 },  
67 alerts: [  
68   {  
69     structName: { type: String, required: true },  
70     structId: { type: Schema.Types.ObjectId, ref: "TalkingDan", required: true },  
71     data: { type: Date, required: true },  
72     message: { type: String, required: true },  
73     isSafe: { type: Boolean, required: true, default: false }  
74   }  
75 ]  
76 }  
77 );
```

Figura 32 – Entidade - User

# Anexos



# ANEXO A – Outros materiais

## A.1 Cálculos geotécnicos implementados na aplicação

As expressões matemáticas a seguir estão presentes em (KETZER; SCHÄFFER, 2010) e são relacionadas a aspectos geotécnicos que foram utilizados no projeto. Tais expressões auxiliam no cálculo dos fatores de segurança apresentados na Seção 2.1.3

Legenda:

Xg: Coordenada Xg do centróide da barragem

Yg: Coordenada yg do centróide da barragem

Xa: Coordenada de análise Xa

Xb: Coordenada de análise Xb

P: Peso da barragem

ha: Altura de água do carregamento normal

hs: Profundidade da camada de material decantado

ham: Altura de água a montante

Fx: Forças de empuxo

Fp: Esforço devido a pressão hidrostática

Ft: Força vertical devido ao cismo

Fh: Força horizontal devido ao cismo

ES: Empuxo do acúmulo de material decantado

fs = peso específico do material submerso, pode ser admitido 1300kg/m

$\Phi$  = ângulo de atrito interno, o qual se sugere adotar 30°

### A.1.1 Centróide da Barragem

$$Xg = \frac{\text{Largura da Fundação}}{2}$$

Figura 33 – Centróide da barragem - Coordenada Xg

$$Yg = \frac{\textit{Altura da Barragem}}{3}$$

Figura 34 – Centróide da Barragem - Coordenada Yg

$$Xa = \frac{\textit{Largura da Fundação}}{2} - Xg$$

Figura 35 – Coordenada de análise - Xa

$$Xb = \textit{Largura da Fundação} - Xg$$

Figura 36 – Coordenada de análise - Xb

A.1.2 Coordenadas de análise

A.1.3 Peso da barragem

$$P = \textit{Peso específico do material da barragem} \times \textit{Área}$$

Figura 37 – Peso da barragem

A.1.4 Empuxos de montante e jusante

A.1.5 Empuxo do acúmulo de material decantado

A.1.6 Esforço devido a pressão hidrostática

A.1.7 Esforços provenientes de terremotos

$$Fx = \frac{ha^2}{2} - \text{Peso específico da água}$$

Figura 38 – Empuxos de montante e jusante

$$Es = \frac{fs \times hs^2}{2} \times (1 - \text{sen } \Phi)$$

Figura 39 – Empuxo do acúmulo de material decantado

$$Fp = \frac{2}{3} \times \frac{0,05 \times 0,817 \times ham}{\sqrt{((1 - 7,74) \times \left(\frac{ham}{1000}\right)^2)}} \times \text{Área da Seção}$$

Figura 40 – Esforço devido a pressão hidrostática

$$Ft = 0,03 \times P$$

Figura 41 – Força vertical devida ao cismo

$$Fh = 0,05 \times (P - 0,03P)$$

Figura 42 – Força horizontal devida ao cismo