

DAVI LOURENÇO CORDEIRO

**Utilização de Sistema de Informações Geográficas para o
planejamento de rotas de fuga, pontos de encontro e sinalização
em Zona de Autossalvamento da UHE - Pedra**

Artigo Científico apresentado ao Curso de Segurança de Barragens; Programa de Pós-Graduação em Segurança de Barragens; Escola Politécnica; Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista.

Orientador: Prof. Rafael Pereira Machado

Salvador
2024

Utilização de Sistema de Informações Geográficas para o planejamento de rotas de fuga, pontos de encontro e sinalização em Zona de Autossalvamento da UHE - Pedra

Davi Lourenço Cordeiro

Resumo

As barragens são essenciais para o desenvolvimento regional, mas também podem representar um potencial risco de situações emergenciais, vindo a ocasionar perdas humanas e materiais. A Lei 12.334/2010 estabeleceu a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB), que tem como um de seus principais instrumentos o Plano de Segurança de Barragens (PSB), no qual o Plano de Ação de Emergência (PAE) é essencial e obrigatório para barragens classificadas conforme resoluções nº 143 e 144 de 2012 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH). A legislação exige que os empreendedores de barragens identifiquem áreas seguras e rotas de evacuação, nas áreas prioritárias denominadas como Zonas de Autossalvamento (ZAS). Este estudo avaliou o lançamento dessas rotas e de pontos de encontro em conformidade com os requisitos estabelecidos. Utilizando o Sistema de Informações Geográficas, foram analisados aspectos como facilidade de deslocamento, tempo necessário à fuga, sinalização, inclinação excessiva em trechos de subida, distâncias a percorrer e iluminação. Foram propostas ações e sugestões de melhorias para otimização das Rotas de Fuga identificadas.

Palavras-chave: SIG, Rotas de Fuga, PAE, Segurança de Barragens.

Abstract

Dams are essential for regional development, but they can also pose a potential risk in emergency situations, resulting in human and material losses. Law 12,334/2010 established the National Dam Safety Policy (PNSB), which includes the Dam Safety Plan (PSB) as one of its key instruments. Within the PSB, the Emergency Action Plan (PAE) is essential and mandatory for dams classified according to Resolutions No. 143 and 144 of 2012 by the National Water Resources Council (CNRH). The legislation requires dam operators to identify safe areas and evacuation routes in priority zones known as Self-Rescue Zones (ZAS). This study evaluated the layout of these routes and meeting points in compliance with established requirements. Using Geographic Information Systems, aspects such as ease of movement, required escape time, signage, excessive incline in uphill sections, distances to be covered, and illumination were analyzed. Actions and improvement suggestions were proposed to optimize the identified Escape Routes.

Keywords: SIG, Evacuation Routes, Emergency Action Plan (PAE), Dam Safety.

1 INTRODUÇÃO

A definição de Barragens, pela lei 14.066 de 30 de setembro de 2020, é qualquer estrutura construída dentro ou fora de um curso permanente ou temporário de água, em talvegue ou em cava exaurida com dique, para fins de contenção ou acumulação de substâncias líquidas ou de misturas de líquidos e sólidos, compreendendo o barramento e as estruturas associadas.

Elas desempenham papel importante na infraestrutura de muitos países pelo fornecimento de água, energia, controle de cheias e fomento em atividades produtivas diversas. No entanto, eventos trágicos, como o rompimento das barragens de Brumadinho em 2019 e de Mariana em 2015, promoveram a necessidade de novos desafios com relação à Segurança de Barragens, que fomentaram alterações da Lei Federal 12.334 de 2010, aumentando as exigências do Plano de Ação de Emergência (PAE), estabelecendo a necessidade da colaboração entre empreendedores e os órgãos de proteção e defesa civil, bem como a obrigatoriedade de realização de exercícios simulados com o intuito de garantir a segurança dessas estruturas.

No Brasil, existe uma legislação específica relacionada à Segurança de Barragens. A Lei 12.334, de 20 de setembro de 2010, estabelece a Política de Segurança de Barragens (PNSB) e implanta o Sistema de Informações sobre Segurança de Barragens SNISB – (BRASIL, 2003).

Entre os principais objetivos da Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB – figura a garantia dos padrões mínimos de Segurança de Barragens de forma a reduzir a possibilidade de acidentes, suas consequências, protegendo a população e o meio-ambiente. Um Plano de Segurança de Barragem é um dos importantes requisitos da PNSB que prevê, entre outras informações e medidas, o Plano de Ação de Emergência (PAE) para barragens classificadas nos termos das resoluções 143 e 144 de 2012 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) como risco ou dano potencial associado alto”.

No PAE, os mapas de inundação auxiliam na avaliação dos possíveis danos provenientes de um desastre e na determinação dos procedimentos de comunicação com os órgãos de proteção e defesa civil. Para as comunidades à jusante, o mapeamento do risco é fundamental para que

as autoridades de segurança promovam o planejamento de uso e ocupação do solo, as ações de resposta emergenciais e o planejamento das ações e procedimentos de comunicação. Além disso, é essencial para a determinação das áreas prioritárias de evacuação com as suas rotas de fuga e pontos de encontro.

Uma das principais características da PNSB, que a torna singular, é a responsabilização do proprietário da barragem pela sua segurança, devendo desenvolver ações que possam garanti-la. Três importantes pilares sustentam as bases da segurança: o projeto e a construção correta, a manutenção, e controle do comportamento na fase de operação. Adicionalmente, cabe ao empreendedor da barragem a preparação para atuar eficientemente, e a tempo hábil, no âmbito da preparação e da resposta em situações de emergência.

A defesa civil nacional utiliza o ciclo gerenciamento de riscos e desastres com fases de gestão de riscos (Prevenção, Mitigação e Preparação) e fases de gestão de desastres (Resposta e Recuperação) (Figura 1 – Ciclo de gerenciamento de riscos).

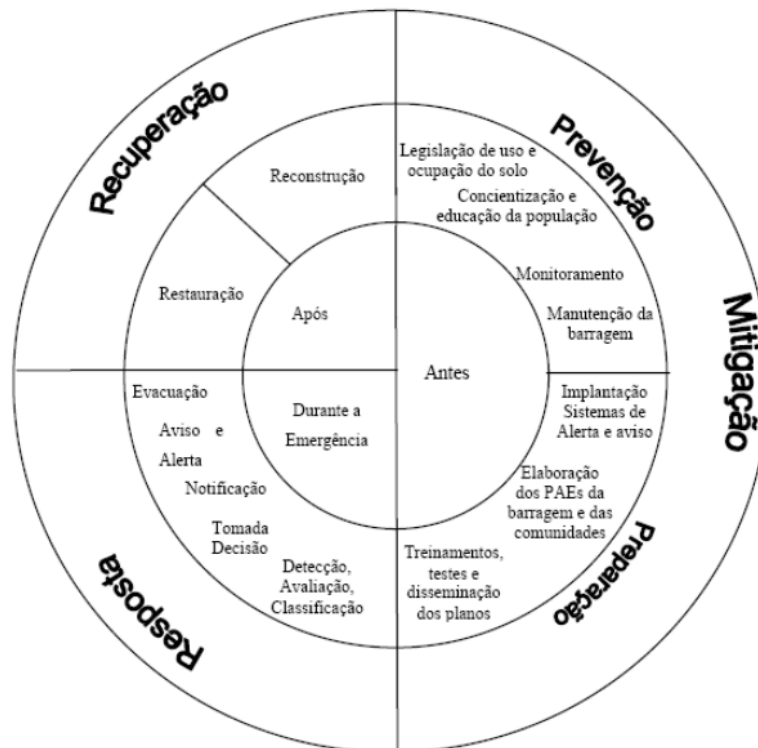


Figura 1 – Ciclo de Gerenciamento de Riscos.

Fonte: Balbi, 2008.

De acordo com IBRAM (2019), a operacionalização do PAE deve prever atividades de cunho preventivo e preparatório para garantir prontidão de todos os envolvidos em caso de emergência e inclui:

- Conhecimento das zonas de risco existentes à jusante da barragem, notadamente da denominada zona de autossalvamento (ZAS);
- Implementação do Plano de Contingência na ZAS.

A Zona de Autossalvamento (ZAS) é uma região delimitada no mapa de inundação próxima da barragem onde os avisos de alerta à população são de responsabilidade do empreendedor por não haver tempo suficiente para uma intervenção das autoridades competentes em situações de emergência.

Ao considerar o ciclo de gerenciamento de risco em sua fase de preparação, a confecção de mapas é fundamental, pois sintetizam informações relevantes em um único plano, o que agiliza a tomada de decisões. O uso de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) permite trabalhar com grande número de informações sobre a mesma base cartográfica, sendo também útil na orientação das equipes para implantação da sinalização das rotas de fuga e pontos de encontro na Zona de Autossalvamento (ANA, 2011).

Neste trabalho, é proposta a avaliação das rotas de fuga com uso de um sistema SIG como ferramenta auxiliar para análise da instalação de placas de sinalização e pontos de encontro, de forma a contribuir para o planejamento da implantação correta de dispositivos de autossalvamento na ZAS.

2 REVISÃO DE LITERATURA

O Caderno para Elaboração de Planos de Contingência Municipais para Barragens da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil – Centro Nacional de Gerenciamento de Riscos e Desastres, em seu item 5.4 recomenda requisitos básicos para as rotas de fuga permitindo um caminho rápido e seguro até os pontos de encontro:

- 1) Devem buscar trajetos que minimizem as dificuldades de deslocamento, evitando barreiras físicas, inclinações excessivas, transposições de obstáculos, e levando-se em conta eventuais necessidades especiais de pessoas da comunidade;

No planejamento de rotas de fuga deve-se evitar obstáculos que possam criar dificuldade no fluxo de pessoas, promovendo a evacuação segura e rápida nas situações de emergência. Além disso, devem ser analisadas as condições de acesso para garantir que pessoas com mobilidade reduzida também possam utilizar as rotas de fuga. Cancelas, portões, muros ou qualquer outro obstáculo que impeçam a passagem devem ser evitados.

É necessário evitar inclinações excessivas para não dificultar a evacuação, especialmente para pessoas com dificuldades de locomoção.

As rotas de fuga devem ser projetadas para evitar obstáculos que exijam transposição, como degraus altos, valas ou outros elementos que possam dificultar o deslocamento.

É fundamental considerar as necessidades especiais das pessoas da comunidade ao projetar rotas de fuga. Isso inclui idosos, crianças, gestantes, pessoas com deficiência ou outras condições específicas.

A iluminação artificial pode facilitar e orientar as pessoas durante a evacuação de emergência, principalmente durante à noite e em horários com pouca luminosidade.

- 2) Devem permitir a saída da população da Área de Impacto no menor tempo possível;

As rotas de fuga bem planejadas garantem que o indivíduo possa sair rapidamente de áreas perigosas, minimizando o risco de ferimentos ou fatalidades. O tempo de evacuação é um elemento importante na definição das rotas e influencia diretamente no sucesso da retirada de pessoas das áreas perigosas.

Em SOUZA; KUWER (2019), utilizou-se velocidades de 1,52m/s para situação normal e de 3,33 m/s para situação emergencial em simulações de evacuação. Concluiu-se que, em situações de pânico, as velocidades aumentam porque os pedestres tendem a seguir o mesmo percurso. Bloqueios e estrangulamento de circulações geram diminuição da velocidade, aumento da densidade nas rotas e atrasos que podem ocasionar acidentes em uma situação real.

- 3) Devem ser sinalizadas por meio da instalação de placas indicativas a direção a seguir e a distância a percorrer até o ponto de encontro;

A sinalização das rotas possibilita que a população atingida possa evacuar de forma rápida e eficiente até o ponto de encontro utilizando-se das placas indicativas de direção. Além disso, podem indicar entrada e saída das zonas de risco, distância até o ponto de encontro e telefones úteis.

- 4) As placas devem ser instaladas a cada mudança de direção ou, em linha reta, no máximo, a cada 50m, e dentro do limite do alcance visual. Ou seja, estando posicionado no local de uma placa, deve-se enxergar a próxima;

A distância entre as placas de sinalização varia em função da velocidade de cada via e a sua densidade de tráfego. Em áreas urbanas, essa distância é menor em comparação com as rurais. As placas de regulamentação, como limites de velocidade, proibições e obrigações, geralmente estão posicionadas a cada 50 a 100 metros em áreas urbanas (CONTRAN, 2007).

As placas de advertência alertam sobre condições especiais da estrada, como curvas, cruzamentos, lombadas e outros perigos. Elas podem estar ainda mais próximas de pontos

críticos, como cruzamentos, para garantir que os motoristas estejam cientes e possam tomar as devidas precauções (CONTRAN, 2016).

- 5) As placas devem ser confeccionadas em material durável e pintadas em cores vivas, com uso de tintas ou adesivos refletivos, que facilita sua visualização quando há utilização de lanternas durante períodos de pouca luz solar;

As placas de sinalização estão expostas a condições adversas como chuva, vento, sol e variações de temperatura. A escolha de materiais duráveis como alumínio, aço galvanizado ou plástico resistente, pode garantir que elas permaneçam legíveis e funcionais por um período mais longo.

A utilização de cores vivas nas placas de sinalização serve para uma rápida identificação das mensagens de segurança, sua visibilidade é garantida durante o dia. E, para as condições de pouca luz, o uso de tintas ou adesivos reflexivos ajudam na visualização quando faróis ou lanternas são direcionadas a elas (NR-26, 2024).

- 6) Quando as condições permitirem, é desejável que haja iluminação artificial ao longo da rota de fuga;

A iluminação artificial permite que as pessoas enxerguem claramente, mesmo em condições de pouca luz ou à noite. As placas de sinalização evitam confusão e permitem que todos sigam o caminho correto em direção ao ponto de encontro.

Segundo BRASIL, 2016, com relação aos pontos de encontro, é necessário que estejam fora da Zona de Autossalvamento, sejam identificados por placas com informações tais como números de telefone de órgãos de emergência, recomendações para população, dentre outras orientações de autopreservação.

De acordo com BRASIL, 2016, os pontos de encontro, além de estarem fora da Zona de Autossalvamento, devem possuir acesso a insumos e serviços básicos para manter a segurança dos evacuados até que a situação seja estabilizada.

3 METODOLOGIA

O aproveitamento Hidrelétrico de Pedra está localizado no Rio de Contas, no município de Jequié, estado da Bahia, situando-se a cerca de 20 Km à montante da cidade de Jequié-BA. O aproveitamento visa, além da regularização do rio para o controle de enchentes, o abastecimento d'água, a irrigação agrícola e a geração de energia elétrica. Na Figura 2, pode-se verificar o aproveitamento de Pedra é composto por uma barragem de contrafortes, vertedouro, tomada d'água, casa de força com uma única unidade geradora de 20 MW e reservatório (ELETROBRAS, 2022).



Figura 2 – Visão geral das estruturas da Usina da Pedra.

Fonte: Eletrobras, 2022.

A Zona de Autossalvamento (ZAS) da Usina da Pedra se estende por 10 Km da barragem em direção à jusante do curso do Rio de Contas (Figura 3).

Por ser considerada como a primeira zona de risco, é recomendado que sejam levantadas informações detalhadas da ZAS, como: o mapeamento do uso e ocupação do solo e levantamento de infraestrutura (acessos, estradas, pontes) e de edificações, habitações e

população existente. Estas informações podem ser obtidas por meio de imagens aéreas ou de satélite, associadas a informações do Censo (IBGE) e do Programa de Agentes Comunitários de Saúde (PACS) / Programa de Saúde da Família (Ministério da Saúde), por exemplo, ou por meio de cadastro específico para esta finalidade.

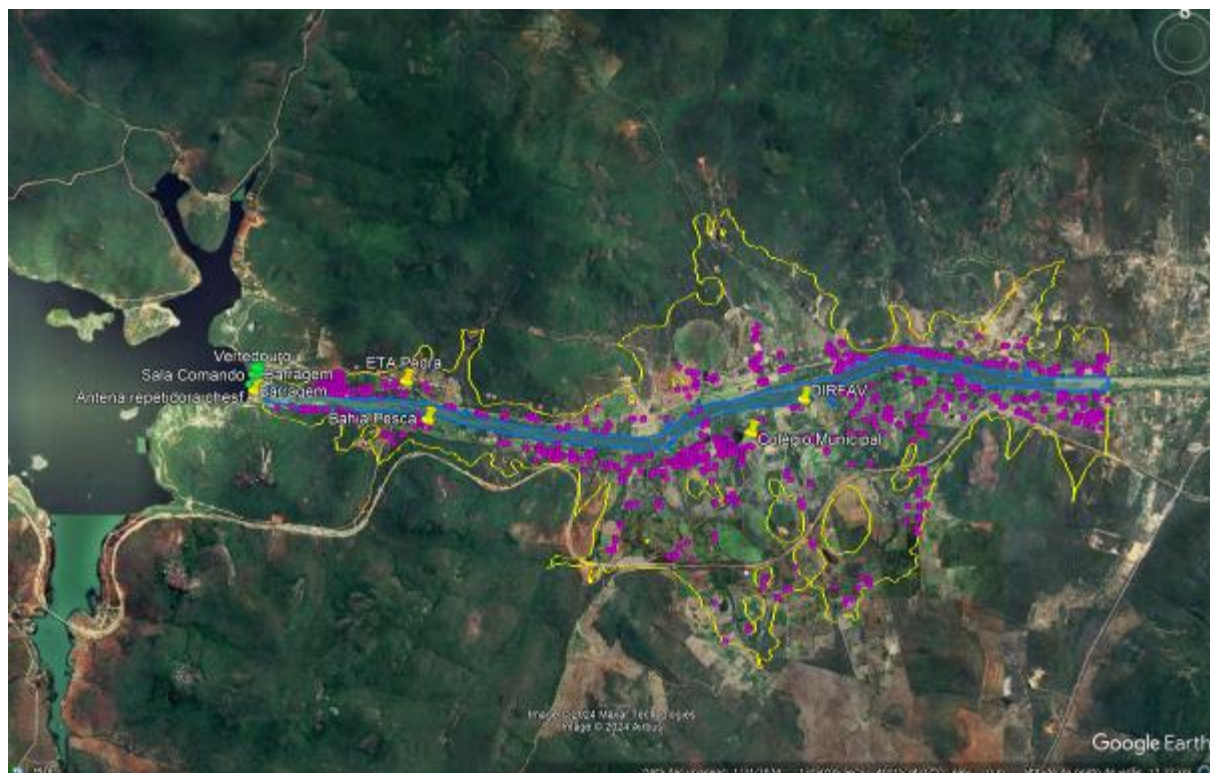


Figura 03 - Zona de Autossalvamento Usina da Pedra.

Fonte: Eletrobras, 2022.

Na área da ZAS da Usina da Pedra foram estabelecidas rotas de fuga e pontos de encontro para auxiliar as comunidades próximas ao empreendimento na evacuação no caso do acionamento do PAE. Esses pontos de encontro são locais seguros, para que as pessoas permaneçam até a chegada de equipes de resgate em caso de emergência e foram definidos em cota mais elevada e/ou fora do limite da mancha de inundação. Estão estabelecidos nas duas margens do rio e atendem as comunidades que habitam a ZAS.

Na tabela abaixo, retirada do PSB da Usina da Pedra, verifica-se a quantidade da população atingida na Zona de Autossalvamento, todas elas municipais da cidade de Jequié-BA.

TABELA 6.3 – POPULAÇÃO ENVOLVIDA NA ZAS			
ESTATÍSTICAS DEMOGRÁFICAS DA ZAS PEDRA			
MUNICÍPIO	CLASSE	POPULAÇÃO	DOMICÍLIOS
Jequié (BA)	Rural	474	183
TOTAL:		474	183

Tabela 1 – População Envolvida na ZAS.

Fonte: Eletrobras, 2022.

Na Figura 4, pode-se verificar a distribuição dos pontos de refúgio, rotas de fuga e a identificação das unidades habitacionais dentro na Zona de Autossalvamento da Usina da Pedra.

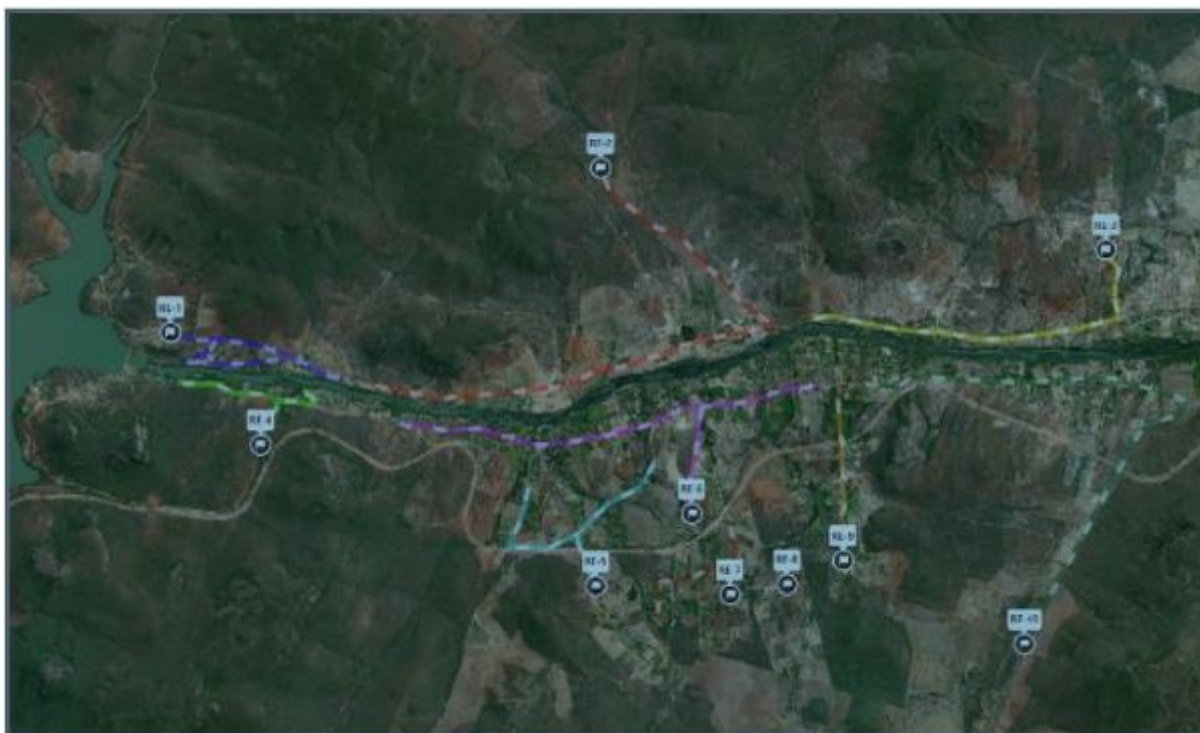


Figura 4 – Rotas de fuga e pontos de encontro na ZAS da UHE Pedra.

Fonte: Eletrobras, 2022.

A Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, órgão do Ministério da Integração Nacional, publicou o Guia de orientação para elaboração de exercícios simulados de preparação para os desastres orientando que os mapas e croquis devem indicar os setores que precisam ser removidos, rotas de fuga e os pontos de encontro. Assim como, relacionar as instituições envolvidas na elaboração e disseminação dos planos e orientação sobre os aspectos do local. Há também a necessidade de sinalizar as áreas seguras, abrigos, indicando para onde as pessoas devem se dirigir.

Nesse documento, fica demonstrada a importância da sinalização adequada quando um dos problemas encontrados no simulado relatado foi a falta de sinalização dos pontos de concentração das equipes de evacuação.

A Instrução Técnica 01/2021 do Estado de Minas Gerais, que trata da Elaboração do Plano de Ação de Emergência, em seu Anexo A, discorre acerca das exigências que recaem sobre os empreendedores quanto às sinalizações de emergência, trazendo modelos e especificações.

No modelo de placas de sinalização apresentado nesta Instrução, podem ser incluídas logomarcas das Coordenadorias Municipais de Proteção e Defesa Civil ao lado da Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil. As placas devem ser feitas de material que possibilite a visualização noturna e podem ser incluídos telefones de contato de outros órgãos sob aprovação do Coordenador Municipal de Proteção e Defesa Civil.

No Plano de Ação de Emergência da Usina da Pedra são apresentados modelos das placas do sistema de sinalização das rotas de fuga. Os tamanhos das placas dos pontos de encontro têm dimensões de 1000mm x 750mm, enquanto as placas de mudança de direção devem ter a dimensões de 750mm x 500mm.



Figura 5 – Modelos de Placas de Sinalização na ZAS da UHE Pedra

Fonte: Eletrobras, 2022.

Os dados obtidos do Plano de Segurança de Barragem da Usina da Pedra (rotas de fuga, pontos de encontro, estruturas da barragem, população atingida) são informações imprescindíveis para a execução do trabalho de mapear a implantação das placas de sinalização em toda ZAS. Além disso, a definição dos modelos de placas é fundamental pois

facilita o trâmite junto a Coordenadoria de Proteção e Defesa Civil Municipal que é o órgão habilitado para confirmação e homologação da sinalização.

Com as informações apresentadas, é necessário utilizar um aplicativo Sistema de Informações Geográficas para a confecção dos Mapas. O software escolhido foi o Quantum GIS (QGIS), o qual possui licença gratuita e ampla utilização neste tipo de atividade.

Para avaliação das rotas de fuga, leva-se em consideração os requisitos recomendados pelo Caderno de Orientações para Elaboração de Planos de Contingência Municipais para Barragens, Brasil, 2016, e para isso sugere-se os seguintes parâmetros de avaliação:

- 1) Deslocamento – analisar dificuldade no deslocamento quanto às condições de inclinação excessiva, barreiras físicas e obstáculos;
- 2) Tempo – analisar o tempo de saída da população da Zona de Autossalvamento;
- 3) Sinalização – verificar a existência e características das rotas de fuga até o ponto de encontro;
- 4) Distância – distância percorrida até o ponto de encontro;
- 5) Placas – avaliar distâncias e material das placas de sinalização, característica reflexiva e informações disponíveis;
- 6) Iluminação – disponibilidade de iluminação artificial ao longo da rota de fuga.

Para isso utiliza-se a Tabela 2 para análise qualitativa das rotas de fuga do empreendimento:

Característica	Nota qualitativa		
	Regular	Bom	Ótimo
Deslocamento	Existe inclinação excessiva no terreno ou obstáculos importantes	Existe inclinação no terreno, porém não existem obstáculos	Não existe inclinação no terreno, nem barreiras ou obstáculos
Tempo	> 30 min	< 30 min	< 15 min
Sinalização	Existem sinalização de rotas de fuga e pontos	Existem sinalização de rotas de fuga, os pontos de encontro com capacidade adequada à população	Existem sinalização de rotas de fuga, distância a percorrer e os pontos de encontro com capacidade adequada à população
Distância	> 2000m	< 2000m	< 1000m
Placas	Placas de material durável, com informações de direção e contato	Placas de material durável, pintura ou adesivo reflexivo, com informações de direção	Placas de material durável, pintura ou adesivo reflexivo, com informações de direção e contato
Iluminação	Não existe iluminação artificial ao longo de toda rota de fuga	Existe iluminação artificial ao longo de parte da rota de fuga	Existe iluminação artificial ao longo de toda rota de fuga

Tabela 2 - Características para avaliação de rotas de fuga (Autor).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A primeira análise efetuada utilizando o QGIS foi a determinação das distâncias percorridas em cada rota de fuga, do seu início até o ponto de encontro. Os dados encontrados encontram-se na Tabela 3.

Rota de Fuga	Descrição	Distância (m)	Tempo (min)
RF-01	Rota de Fuga 01	3462,3	17
RF-02	Rota de Fuga 02	7124,24	36
RF-03	Rota de Fuga 03	4186,16	21
RF-04	Rota de Fuga 04	2207,06	11
RF-05	Rota de Fuga 05	3259,76	16
RF-06	Rota de Fuga 06	5882,34	30
RF-07	Rota de Fuga 07	1994,52	10
RF-08	Rota de Fuga 08	520,22	3
RF-09	Rota de Fuga 09	1784,98	9
RF-10	Rota de Fuga 10	6813,5	34

Tabela 3 – Distâncias totais percorridas e tempo total no percurso (Autor).

Apresenta-se na Tabela 3 os tempos em minutos do percurso das rotas de fuga. Esse tempo foi calculado através no próprio SIG utilizando como parâmetro uma velocidade de deslocamento das pessoas de 3,3 m/s. O menor tempo percorrido foi na Rota de Fuga 08, que também possui a menor distância. O tempo de percurso da Rota de Fuga 02 é o maior, sendo necessário 36 minutos para completá-lo.

Para análise quanto a inclinação excessiva, foi efetuado modelagem de curvas de nível em toda ZAS com o auxílio de dados de elevação baixados do site TOPODATA – Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil. Do qual se interpolam as curvas de nível apresentadas na Figura 6.

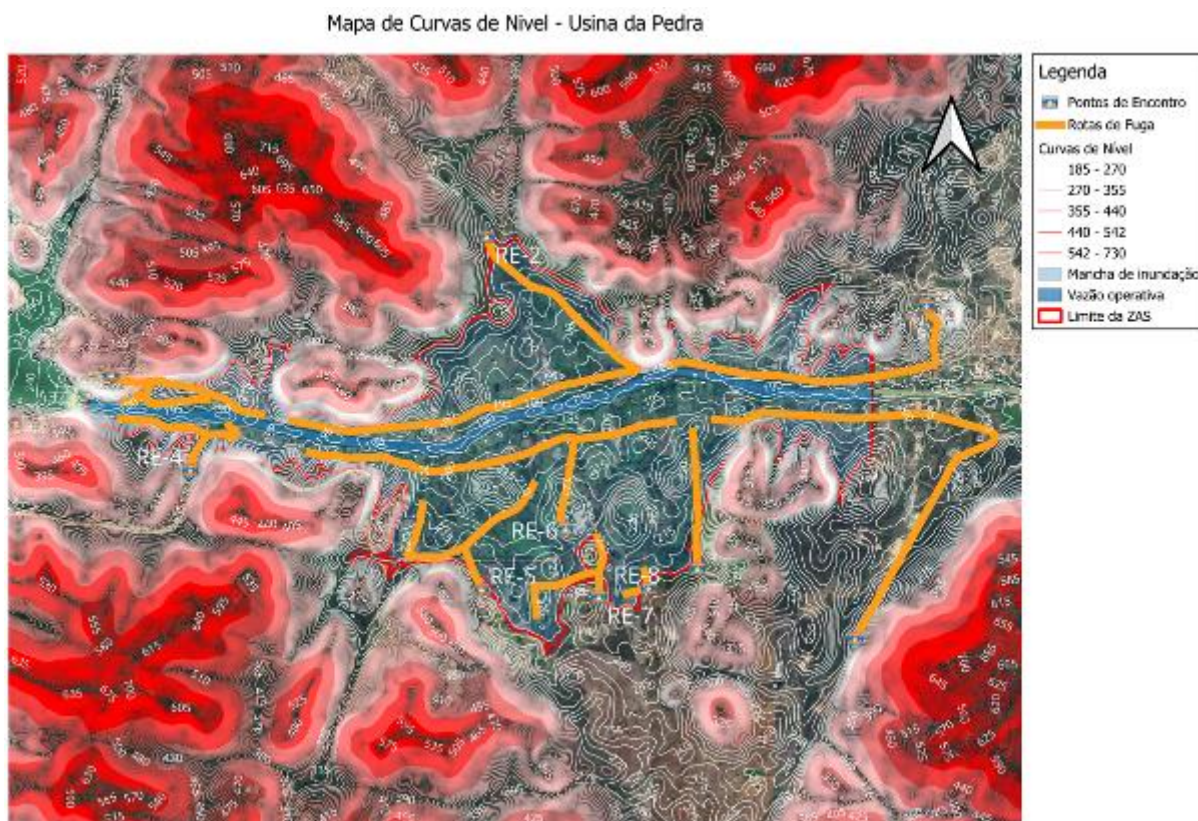


Figura 6 – Curvas de nível ZAS da UHE Pedra (Autor).

Da análise das curvas de nível e sua interação com as rotas de fuga da Zona de Autossalvamento da UHE de Pedra, foi verificado que Rotas 01 e 04 têm pontos que devem ser discutidos. Nas outras rotas foram constatadas inclinações adequadas e não será necessário um aprofundamento na análise dos dados.

Numa análise mais minuciosa da Rota 01, na figura 07, pode-se identificar um trecho de subida bem acentuada no acesso ao ponto de encontro. Deve-se considerar também que essa rota é a mais próxima da Usina e é comum que desníveis apareçam devido a própria natureza da construção. Existem poucas opções para alteração do trajeto da rota, pois as suas inclinações são tão acentuadas quanto a atual. A execução de exercícios simulados e a interação com a comunidade para uma solução conjunta são necessárias para que ações mitigadoras possam ser executadas, principalmente na subida de acesso ao ponto de encontro.

Ainda na Figura 7, pode-se avaliar a Rota 04 e perceber que suas linhas acompanham paralelamente as curvas de nível, o que é muito bom em termos de inclinação. Porém, na chegada ao ponto de encontro, uma subida se acentua. Não existe uma opção natural para

substituição desse trecho sem a necessidade de obras. Uma avaliação do acesso ao ponto deve ser verificada nos exercícios simulados.



Figura 7 – Curvas de nível Rotas de Fuga 01 e 04 da ZAS da UHE Pedra – (Autor).

Quanto à sinalização das rotas de fuga, verifica-se que o modelo foi definido e aprovado junto à Coordenadoria de Proteção e Defesa Civil Municipal. Isto possibilitou a definição das peças gráficas e sua inserção nos mapas produzidos no SIG.

Os modelos aprovados seguem as orientações da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil quanto ao tamanho, material e com características que possibilitam sua visualização durante à noite. Na Figura 8, verifica-se os modelos adotados.



Figura 8 – Modelos de Placas de Sinalização na ZAS da UHE Pedra

Fonte: Eletrobras, 2022.

Estão estabelecidas no PSB, 10 rotas de fuga na Zona de Autossalvamento em UPE. Para cada rota de fuga foi estabelecido um mapa para implantação das placas de sinalização através do uso de Sistema de Informações Geográficas na ferramenta do QGIS.

Um dado importante obtido deste mapeamento é a definição correta das coordenadas geográficas de cada placa, possibilitando uma informação precisa para as equipes de campo que podem efetuar a instalação de forma adequada. Outra informação pertinente é um levantamento de quantitativo de peças gráficas necessárias para implantação do projeto que pode orientar a quantidade de materiais diversos necessários e equipes de trabalho.

As equipes, no momento da instalação das placas, poderão efetuar um registro da localização geográfica para que seja feita uma comparação com o local anteriormente projetado. A confecção de um “as built” possibilitará que futuras manutenções utilizem o mapeamento considerando as características de cada placa e seu local de implantação.

Na Figura 9, pode-se verificar um trecho do mapeamento de placas efetuado para a Rota de Fuga 01 do PAE da Usina da Pedra. Em azul, verifica-se a mancha de inundação e as placas posicionadas em direção ao ponto de encontro.

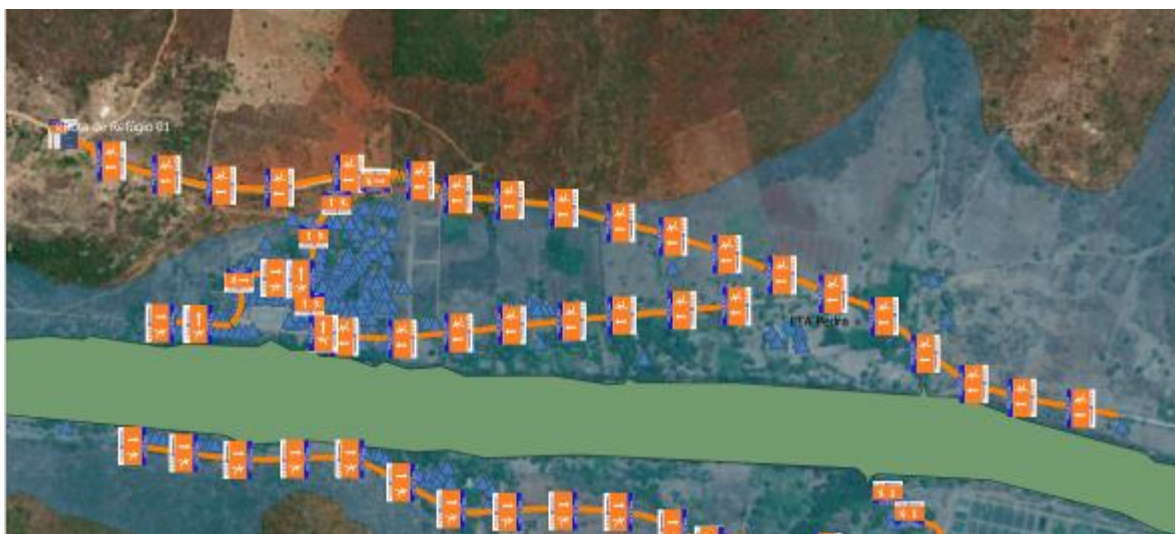


Figura 9 – Mapa de Placas de Sinalização Rota de Fuga 01 da ZAS da UHE Pedra.

A Tabela 4 apresenta um levantamento quantitativo de placas necessárias para sinalização de toda Zona de Autossalvamento. Esses dados, provenientes do modelo executado dentro do SIG, foram utilizados pelo empreendedor como parâmetro para aquisição das placas e

dimensionamento das equipes de implantação e aquisição de materiais para sua instalação (postes, barrotes, parafusos, entre outros).

As placas utilizadas na implantação das rotas de fuga podem ser vistas na Figura 10. Verifica-se a indicação de direção, telefone de emergência e o seu uso em ambiente com pouca luminosidade.



Figura 10 – Placas reflexivas utilizadas na Sinalização na ZAS da UHE Pedra.






		PLACAS PARA ROTA DE FUGA		
MUNICÍPIO DE JEQUIÉ -BA				
DESCRIÇÃO	DIREITA	ESQUERDA	EM FRENTE	PONTO DE ENCONTRO
TAMANHO	750 x 500 mm			1500 x 1000 mm
DETALHE DO MATERIAL DA PLACA	Deverão ser confeccionados em chapa de aço galvanizado retangular, medidas especificadas acima, com cantos arredondados num raio de 25mm, espessura nominal igual a 1,25mm (um milímetro e vinte e cinco centésimos), bitola n.º 18, perfeitamente plana, lisa, isenta de rebarbas ou bordas cortantes, com os cantos ligeiramente arredondados a fim de afastar o risco de acidentes causados pelas arestas pontiagudas; As mesmas deverão ser pintadas com tinta refletiva ou através do uso de adesivos refletivos, facilitando sua visualização.			
MODELO DE PLACAS				
ROTA DE FUGA RF -1	2	3	34	1
ROTA DE FUGA RF -2	2	0	74	1
ROTA DE FUGA RF -3	0	2	46	1
ROTA DE FUGA RF -4	3	1	22	1
ROTA DE FUGA RF -5	1	2	31	1
ROTA DE FUGA RF -6	1	2	58	1
ROTA DE FUGA RF -7	2	1	19	1
ROTA DE FUGA RF -8	0	0	7	1
ROTA DE FUGA RF -9	0	0	18	1
ROTA DE FUGA RF -10	1	0	68	1
TOTAL	12	11	377	10

Tabela 4 – Levantamento de placas necessárias para sinalização da ZAS.

Na Figura 11, pode-se acompanhar a instalação de uma sinalização da zona de fuga pela equipe de campo.



Figura 11 – Implantação das placas de sinalização na ZAS de UPE.

Uma análise pode ser feita comparando os dados de distância total das rotas de fuga com a quantidade de placas incluídas no projeto, com o auxílio do SIG. Na Tabela 5, verifica-se que a distância média entre a sinalização implantada varia de 65 a 97 metros. As rotas de fuga que possuem menor distância a percorrer são as que tem uma densidade de placas maior. As rotas de fuga com longas distâncias tendem a ter uma quantidade maior de trechos em linha reta, o que faz ser possível a utilização de maior distância entre elas.

É possível verificar que para rotas de fuga curtas, a densidade de placas se aproxima de uma distância entre elas de 50 metros e para rotas mais longas e com trechos lineares e pouco acidentados essa distância se aproxima de 100m. Possíveis perdas na visualização do caminho a ser seguido pelas pessoas podem ser verificadas na execução dos exercícios simulados.

Rota de Fuga	Distância (m)	Placas (unid)	Densidade (m)
01	3462,3	40	87
02	7124,24	77	93
03	4186,16	49	85
04	2207,06	27	82
05	3259,76	35	93
06	5882,34	62	95
07	1994,52	23	87
08	520,22	8	65
09	1784,98	19	94
10	6813,5	70	97

Tabela 5 – Densidade de placas por rota de fuga da ZAS da UHE da Pedra (Autor).

Para uma melhor percepção do resultado, utilizou-se um sistema de pontuação para cada rota de fuga com a função meramente ilustrativa para auxiliar na visualização de onde ações de melhorias devem ser implementadas. Para isso, atribuiu-se o valor 1 para os itens considerados qualitativamente como “Regular”, o valor 2 para “Bom” e o valor 3 para os requisitos avaliados como “Ótimo”. O valor total máximo que pode ser alcançado no sistema proposto é de 18 pontos. Na Tabela 6, verifica-se o resultado da avaliação das rotas de fuga da UHE da Pedra.

Rota	Deslocamento	Tempo	Sinalização	Distância	Placas	Iluminação	Pontos
01	Regular	Bom	Ótimo	Regular	Ótimo	Bom	12
02	Ótimo	Regular	Ótimo	Regular	Ótimo	Bom	12
03	Ótimo	Bom	Ótimo	Regular	Ótimo	Bom	15
04	Bom	Ótimo	Ótimo	Regular	Ótimo	Bom	15
05	Ótimo	Bom	Ótimo	Regular	Ótimo	Bom	15
06	Ótimo	Bom	Ótimo	Regular	Ótimo	Bom	15
07	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Bom	Ótimo	Bom	16
08	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Bom	17
09	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Bom	Ótimo	Bom	16
10	Ótimo	Regular	Ótimo	Regular	Ótimo	Bom	12

Tabela 6 – Avaliação dos requisitos das rotas de fuga da ZAS da UHE da Pedra. (Autor)

5 CONCLUSÃO

Quanto aos requisitos avaliados, todas as rotas de fuga conseguiram um desempenho bom na avaliação executada e levam a crer que cumprirão sua função de proteger as vidas das pessoas e direcioná-las para um local seguro. Todavia, a efetiva validação da funcionalidade dessas rotas poderá ser obtida após a avaliação dos resultados de exercícios simulados a serem realizados, oportunidade em que poderão ser colhidos dados mais precisos em relação à sua utilização pela população local.

Considerando o deslocamento nas rotas de fuga e os mapas de curvas de nível, verifica-se que as Rotas 01 e 04 possuem alguns trechos com inclinação acentuada e a possibilidade de alteração desses trechos torna-se difícil pela falta de alternativas viáveis. Durante os exercícios simulados, esses trechos devem ser acompanhados com especial atenção para que, juntamente com a comunidade e os órgãos de proteção e defesa civil envolvidos, possa-se estabelecer alternativas mitigadoras.

Quanto ao tempo de evacuação, verificou-se que as Rotas 02 e 10 possuem um tempo consideravelmente maior que as outras. Deve-se estudar alternativas para tentar diminuí-lo e sugerir que, na Rota 10, seja feita uma adequação no ponto de encontro para um local mais próximo do final da ZAS. Para a Rota 02, recomenda-se estudar a possibilidade de criação de um novo ponto de encontro intermediário. Especialmente nesse quesito, também é recomendável ouvir os órgãos de proteção e defesa civil envolvidos, bem como representantes da comunidade, para a busca conjunta de soluções mais adequadas, conhecedores que são das condições locais.

As rotas de fuga têm uma distância média entre as placas de 50 a 100 metros em sua implantação, tornando sua visualização eficaz. Deve-se utilizar os exercícios simulados para verificar a necessidade de instalação de novas placas. Adicionalmente pode-se analisar a implantação de placas de entrada e saída em zona de risco para inundação, que não foram previstas inicialmente.

Considerando a sinalização adotada nas rotas de fuga, verifica-se que a solução encontrada atende perfeitamente aos requisitos tamanho, informações e característica reflexiva.

O uso do SIG para avaliação de rotas de fuga se mostrou útil para análise da implantação de placas de sinalização, verificação de sua declividade, produção de mapas e na formação de dados quantitativos de materiais e serviços.

Pode-se sugerir que para trabalhos futuros, após os exercícios simulados, sejam feitas avaliações comparativas dos dados coletados com as análises e sugestões deste artigo. As recomendações propostas podem ser referendadas em novos estudos e servirem de base para análise da implantação das rotas de fuga e direcionamento de melhorias no projeto.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas -ANA e Fundação Parque Tecnológico de Itaipu – FPTI. Curso Segurança de Barragens. Produzido no âmbito do Convênio nº 001/ANA/2011 – SICONV nº 756001/2011.

BALBI, D. A. F. Visita Técnica a Portugal e Espanha. Belo Horizonte: Companhia Energética de Minas Gerais, 2007. (Relatório).

BALBI, D. A. F. Metodologias para a Elaboração de Planos de Ações Emergenciais para inundações induzidas por Barragens [manuscrito]: estudo de caso: Barragem de Peti - MG / Diego Antônio Fonseca Balbi. 2008. XV, 336

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Texto consolidado até a Emenda Constitucional n. 52 de 08 de março de 2006. Brasília: Senado Federal, 2006.

BRASIL. Decreto n. 5.376, de 17 fev. 2005. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Defesa Civil - SINPDEC e o Conselho Nacional de Defesa Civil, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 18 fev. 2005.

BRASIL. Lei n. 9.605, de 12 fev. 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília DF, 13 fev. 1998. **BRASIL.** Política Nacional de Defesa Civil. Ministério da Integração Nacional, Brasília, 2007. 82p.

BRASIL. Lei 12.334 de 20 de setembro de 2010. Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens – PNSB e cria o Conselho Nacional de Segurança de Barragens – CNSB e o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens – SNISB. Disponível em: <<http://www.camara.gov.br>> Acesso em: 30 abr. 2024.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Guia de Orientações para Elaboração de Exercícios Simulados de Preparação para os Desastres, Florianópolis: CEPED, 2011. Disponível em: <<https://antigo.mdr.gov.br/images/stories/ArquivosDefesaCivil/ArquivosPDF/publicacoes/Guia-de-Orientao-para-Elaborao-de-Exercicios-Simulados-de-Preparao-para-os-Desastres.pdf>>. Acesso em: 30 mai. 2024.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional, Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil. Orientações para Elaboração de Planos de Contingência Municipais para Barragens. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/protecao-e-defesa-civil-sedec/orientacoes_planos_contingencia.pdf. Acesso em: 15 mai. 2024.

Conselho Nacional de Trânsito - CONTRAN. Sinalização horizontal / Contran-Denatran. 1ª edição – Brasília: Contran, 2007. 128 p. : il. (Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito ; 4)

Conselho Nacional de Trânsito – CONTRAN. Resolução nº 600 de 24 de maio de 2016, Brasília, 2016.

ELETROBRAS CHESF. PSB - Plano de Segurança de Barragens da UHE de Pedra. Recife, 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. Gestão de Barragens e Estruturas de Disposição de Rejeitos. Brasília, 2019.

MINAS GERAIS. Instrução Técnica 01/2021 – Critérios para elaboração e aprovação o plano de ação de emergência – PAE. 2021.

NR 26: Guia Completo Sobre Sinalização de Segurança. Disponível em: <<https://www.institutosc.com.br/web/blog/nr-26-sinalizacao-de-seguranca>>. Acesso em: 28 abr. 2024.

RODRIGUES, B. A. M. Proposição de metodologia para o traçado de rotas de fuga em caso de falha em barragem. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Fortaleza, 2021.

SOUZA, J. C.; KUWER, P. Avaliação das condições para esvaziamento Emergencial de espaços que reúnem grande público: estudo de caso no parque vila germânica, Blumenau, SC. v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2019. ISSN 1098-6596.

APÊNDICE

Placas de rotas de fuga e pontos de encontro

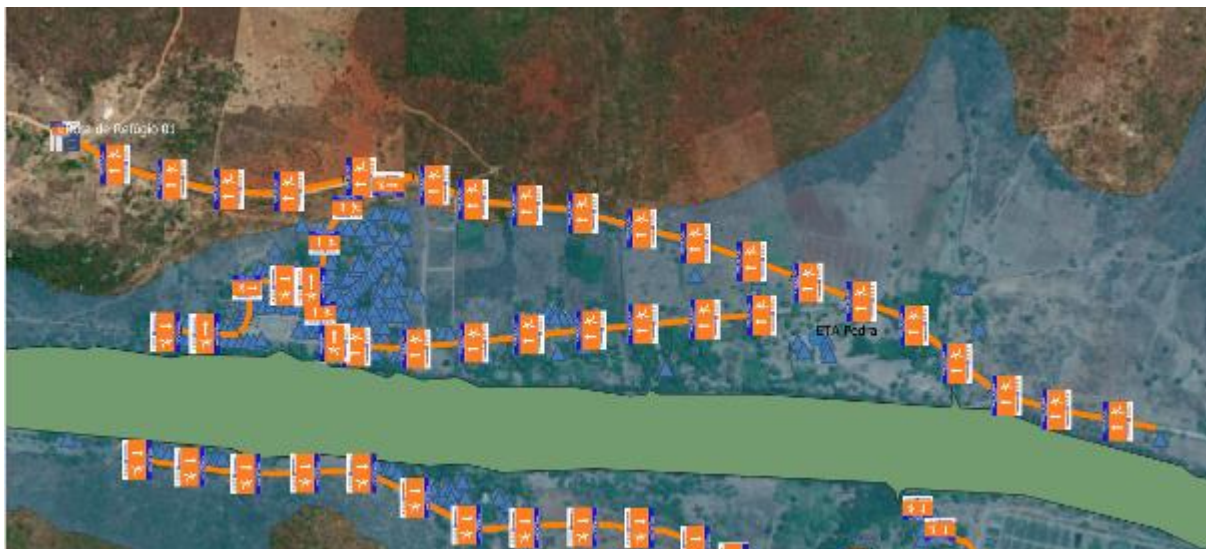


Figura 10 - Rota de fuga: RF-1 e Ponto de Encontro: RE-1



Figura 11 - Rota de fuga: RF-2 e Ponto de Encontro: RE-2



Figura 12 - Rota de fuga: RF-3 e Ponto de Encontro: RE-3

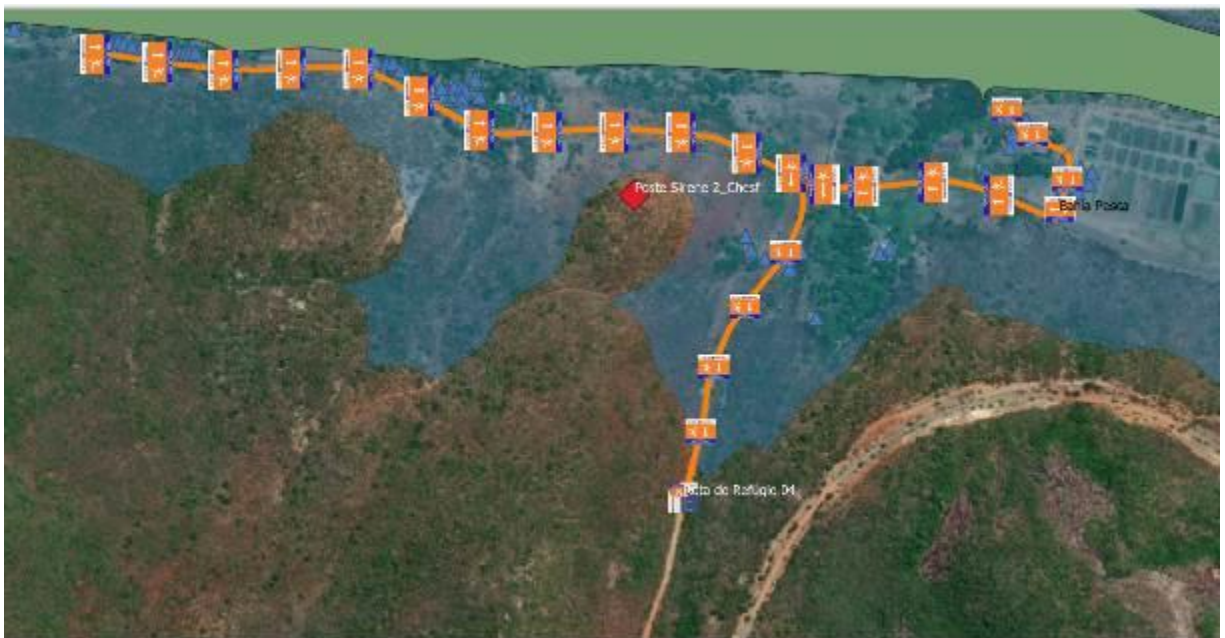


Figura 13 - Rota de fuga: RF-4 e Ponto de Encontro: RE-4



Figura 14 - Rota de fuga: RF-5 e Ponto de Encontro: RE-5



Figura 15 - Rota de fuga: RF-6 e Ponto de Encontro: RE-6



Figura 16 - Rota de fuga: RF-7 e Ponto de Encontro: RE-7



Figura 17 - Rota de fuga: RF-8 e Ponto de Encontro: RE-8



Figura 18 - Rota de fuga: RF-9 e Ponto de Encontro: RE-9



Figura 19 - Rota de fuga: RF-10 e Ponto de Encontro: RE-10