



AVALIAÇÃO DE DISPOSITIVO DE NOTIFICAÇÃO INDIVIDUAL (DIN): UM ESTUDO DE CASO NO SISTEMA DE SEGURANÇA DE BARRAGENS HIDRELÉTRICAS EM MINAS GERAIS

Álvaro Paz GRAZIANI^{1,2}, Andréa Loureiro ANDRADE¹, Mariana PEIXOTO³, Elson MARTINS³, Leiliani Petri MARQUES³, Paulo Dirceu Gonçalves BILLES³, Brayam Luiz Batista PERINI¹, Dhyonatan Santos de FREITAS¹, Kleber Aluizio Isidorio VAIZ¹, Paulo de OLIVEIRA JUNIOR¹, Sebastiam Johann Batista PERINI⁴

¹ UniSENAI Joinville. Rua Arno Waldemar Döhler, 957 – 89219-510 – Santo Antônio, Joinville-SC.

² UniSociesc. R. Gothard Kaesemodel, 833 – 89203-400 – Anita Garibaldi, Joinville-SC.

³ FTA – Faculdade de Tecnologia Assessoritec. R. Marquês de Pombal, 287 – 89227-110 – Iriirú, Joinville-SC.

⁴ IFSC – Instituto Federal de Santa Catarina. R. Pavão, 1377 – 89220-618 – Costa e Silva, Joinville-SC.

RESUMO

O rompimento de barragens é um crescente foco para estudos pois apresenta riscos iminentes no que diz respeito ao bem-estar da população. O monitoramento nas regiões que contêm barragens é necessário e ocorre com o intuito de se evitar possíveis tragédias. O objetivo deste estudo consiste em testar dispositivos de notificação individual baseado em ondas de rádio para o sistema de segurança de barragens de Minas Gerais e avaliar a eficácia e aceitação dos usuários. Por meio de uma pesquisa abordando as impressões e experiências dos usuários, foi possível notar que além das funcionalidades, o *design* pode afetar diretamente na percepção que o indivíduo tem em relação à eficiência do produto. Dentre todos os *designs* propostos, o mais discreto teve maior aceitação. Durante o período de teste, foram avaliados diversos aspectos: resistência, conectividade, intuitividade ao uso e adesão da comunidade ao dispositivo. Em todos os testes, o DIN obteve bons resultados de aceitação, provocando um alerta às autoridades locais para este novo método de monitoramento de áreas de risco.

Palavras-chave: Segurança de barragens; Risco; Notificação; Comunidades.

1 INTRODUÇÃO

Barragens funcionam de barreiras criadas pelo homem para impedir o fluxo de água ou de

rejeitos. Apesar da baixa probabilidade de falhas, são registradas catástrofes que podem causar danos severos, principalmente para a população em seu entorno.

Com o objetivo de se evitar falhas, são instalados alarmes de emergência nas barragens. Os sistemas mais antigos consistem em sirenes de alta potência que além do investimento em infraestrutura, também resultam em alto custo de manutenção. Os alarmes de emergência também necessitam que sejam disponibilizados recursos de maneira imediata para seu funcionamento, como por exemplo, acionamento e supervisão.

Em setembro de 2020 a Lei nº 14.066 altera a Lei nº 12.334, conhecida como a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Nesta revisão torna-se obrigatória a “previsão de instalação de sistema sonoro ou de outra solução tecnológica de maior eficácia em situação de alerta ou emergência”. Além da nova revisão da lei indicar o uso de soluções tecnológicas para maior eficácia de alertas e emergências, o artigo 11 também destacou a obrigatoriedade de criação de Plano de Ação de Emergência (PAE) para barragens de médio a alto risco.

A Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) iniciou o estudo de áreas de potencial alagamento por fortes chuvas que resultaram em cheias nos rios no ano de 2019. Foram elaborados os Planos de Ação de Emergência (PAE), incluindo placas para rotas de fuga nas cidades próximas às barragens. No ano de 2020 foi iniciada a última etapa do estudo o projeto, P&D “GT0656 - Dispositivo Individual para Notificação (DIN) em caso de Emergência com Barragens, com o intuito de criar um instrumento funcional e independente que, por meio de comunicação em tempo real, possa garantir o aumento da segurança da população através da informação.

A CEMIG contou com o incentivo da Defesa Civil para desenvolver o projeto do dispositivo e com o apoio de três empresas parceiras: Fitec, Pixel e Instituto Ânima de Pesquisa.

Este trabalho aborda o desenvolvimento do DIN com o propósito de prover um meio de comunicação mais rápido e eficaz para os moradores de regiões próximas às barragens. Se a utilização de tecnologia e telecomunicação de baixa potência em um pequeno aparelho individual é viável, então é possível tornar mais rápida e eficaz a transmissão de informação em momentos de risco.

Neste contexto, o objetivo do presente estudo consiste em desenvolver um dispositivo de notificação individual para o sistema de segurança de barragens de Minas Gerais.

2 BARRAGENS HIDRELÉTRICAS

As barragens são estruturas criadas para bloquear a passagem de líquidos ou sólidos, entretanto, além do tipo de material depositado nas barragens, existem diversos tipos de estruturas para fabricação, variando o custo, eficiência e segurança. Além disso, segundo Soares (2014), uma barragem pode ser aproveitada para mais do que apenas uma finalidade, como por exemplo para armazenagem de água potável, controle de cheias, irrigação, entre outros.

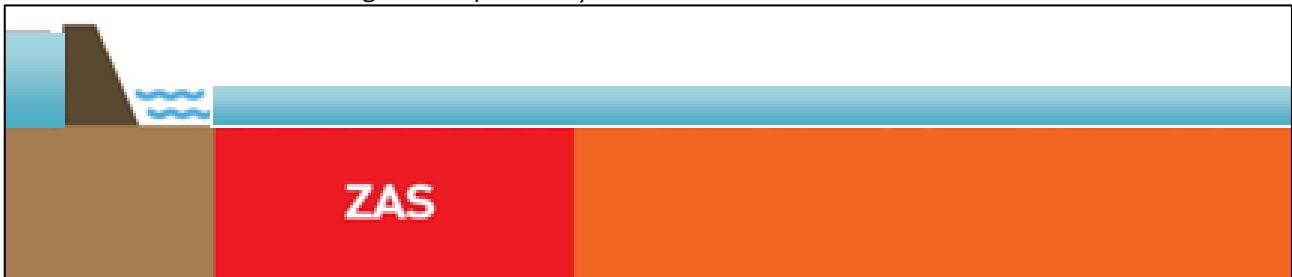
Figura 1. Modelo de Barragens Hidrelétricas.



Fonte: Macrovector; Depositphotos (2021).

Nas barragens hidrelétricas temos a Zona de Autossalvamento ou ZAS, região localizada abaixo da estrutura de uma barragem, onde há maior dificuldade para intervenção das autoridades em caso de acidentes devido à necessidade de um rápido resgate.

Figura 2. Representação da Zona de Autossalvamento.



Fonte: Os autores (2022).

2.1 Acidentes ambientais em barragens hidrelétricas

Segundo o próprio Relatório de Segurança de Barragens de 2018, define-se acidente como “qualquer evento associado a um colapso total ou parcial do barramento ou de suas demais estruturas componentes, que leve a um comprometimento da estabilidade deste e da liberação incontrolável de seu conteúdo”.

Problemas ambientais conquistam cada vez mais espaço e importância diante dos impactos causados pela globalização em todo o mundo. Uma vez que os problemas ambientais afetam cada vez mais pessoas, há mobilização de diferentes atores na sociedade, segundo Martini (2018) para aumento da segurança em barragens, sensibilizando diferentes grupos sociais em busca de uma cultura de segurança.

2.2 Sistema de segurança de barragens hidrelétricas

A segurança de barragens é um processo que abrange desde a sua concepção até seu descomissionamento. Deve ser planejada desde o projeto, da construção à operação, considerando sua área de impacto direto e indireto em caso de colapso.

Diferentes modelos de aviso e notificação são conhecidos na experiência brasileira, como o monitoramento do curso hídrico e o uso de alarmes e sirenes (ZUFFO, 2005).

Figura 3. Modelo de sirene utilizada para avisar os moradores.



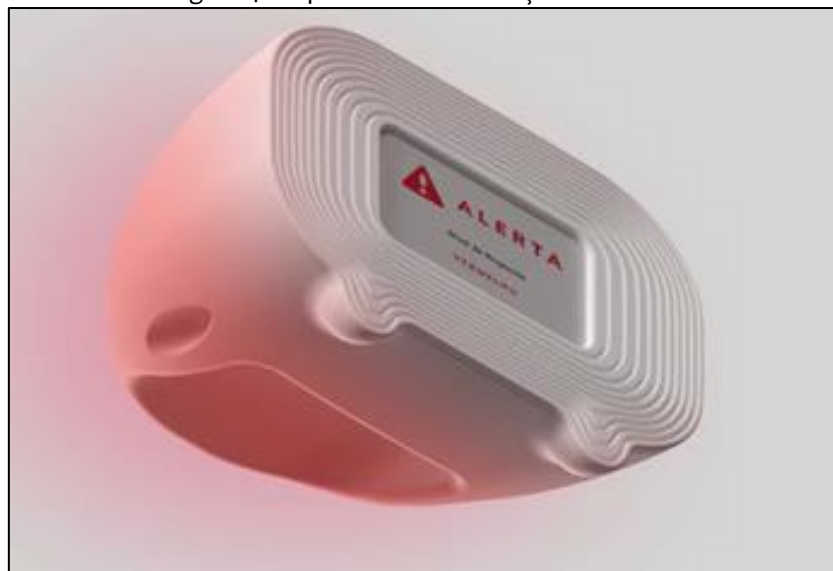
Fonte: Tecal (2020).

A cultura de segurança em relação aos riscos contempla uma série de ações, treinamentos e simulações, orientação específica para a Defesa Civil, presença de alarmes e outras formas de aviso, controle e monitoramento da dinâmica estrutural das barragens (BRASIL, 2020).

2.4 Dispositivo de notificação individual (DIN)

Além de discutir uma nova cultura de segurança, por meio do uso de dispositivo individual de notificação, busca-se avaliar os processos de uso e as práticas no processo de teste deste aparelho (CATECATI *et al.*, 2018), com o objetivo de compreender os sentidos da experiência social de aceitação, uso, e reflexão dos moradores das duas cidades previamente escolhidas, numa perspectiva de adentrar no campo semântico e simbólico de sujeitos que vivem próximo a áreas sujeitas ao risco (GEERTZ, 2012).

Figura 4. Dispositivo de notificação individual.



Fonte: Site DIN (2020).

3 METODOLOGIA

Esta pesquisa classifica-se como uma pesquisa experimental e de campo, tendo em vista o bem-estar físico e psicológico dos moradores que receberam o dispositivo em suas residências. Buscando trazer conforto e segurança para quem utiliza o aparelho, foram desenvolvidos cinco *designs*, tendo em vista que o usuário possa escolher aquele no qual ele sente mais segurança e

afinidade.

Outro aspecto considerado foi a conexão e distribuição dos alertas entre os dispositivos, tendo em vista que se trata de um local remoto e com pouco ou quase nenhum acesso às redes em determinados locais. Assim, foi desenvolvido um sistema de comunicação baseado em ondas de rádio, o que torna mais fácil a conexão e maior a precisão em termos de geolocalização.

Para a coleta de dados foram distribuídos dispositivos que coletam informações em tempo real de qualquer aviso ou atualização emitidos pela Defesa Civil, e dados como temperatura, umidade e dados meteorológicos, que também são exibidos aos usuários (além da função como dispositivo de segurança, também propagam informações climáticas aos usuários).

Além dos recursos tecnológicos levantados, parcerias foram firmadas para que a pesquisa pudesse evoluir com maior fluidez, as quais possibilitaram ao DIN maior visibilidade e interesse dos moradores de área de risco em testar a nova tecnologia. O foco é alertar e evacuar moradores de área de risco, reduzindo os custos relacionados à implantação e manutenção dos atuais sistemas de sinalização que são utilizados em locais que ficam próximos a barragens e áreas de alto risco de alagamento.

O desenvolvimento e implantação do projeto foram demonstrados em campo, e as viabilidades técnica e econômica de instalação do sistema DIN foram testadas nos municípios de Carmo do Cajuru e Piau em Minas Gerais. Na Figura 5 é ilustrada a Usina Hidrelétrica de Cajuru, localizada no Rio Pará, entre os municípios de Carmo do Cajuru, Cláudio e Divinópolis.

Figura 5. Usina Hidrelétrica de Cajuru.



Fonte: Os autores (2022).

Na Tabela 1 são apresentadas as especificações da barragem de Carmo do Cajuru, como localização, características e reservatório.

Tabela 1. Dados da Usina Elétrica de Cajuru.

USINA HIDRELÉTRICA DE CAJURU		
Localização	Localização	Divinópolis – Minas Gerais, Brasil
	Bacia Hidrográfica	Bacia do Rio São Francisco
Características	Rio	Pará
	Tipo	Barragem
	Altura	24,0 m
Reservatório	Área alagada	24 km ²
	Capacidade de Geração	7,2 MW
	Unid. Geradoras	1

Fonte: os autores (2022).

Na Figura 6 é apresentada a imagem da Usina Hidrelétrica de Piau localizada no Rio Novo, no município de Piau em Minas Gerais.

Figura 6. Barragem de Piau.



Fonte: Os autores (2022)

Na Tabela 2 são apresentadas as especificações da barragem de Piau, como localização, características e reservatório.

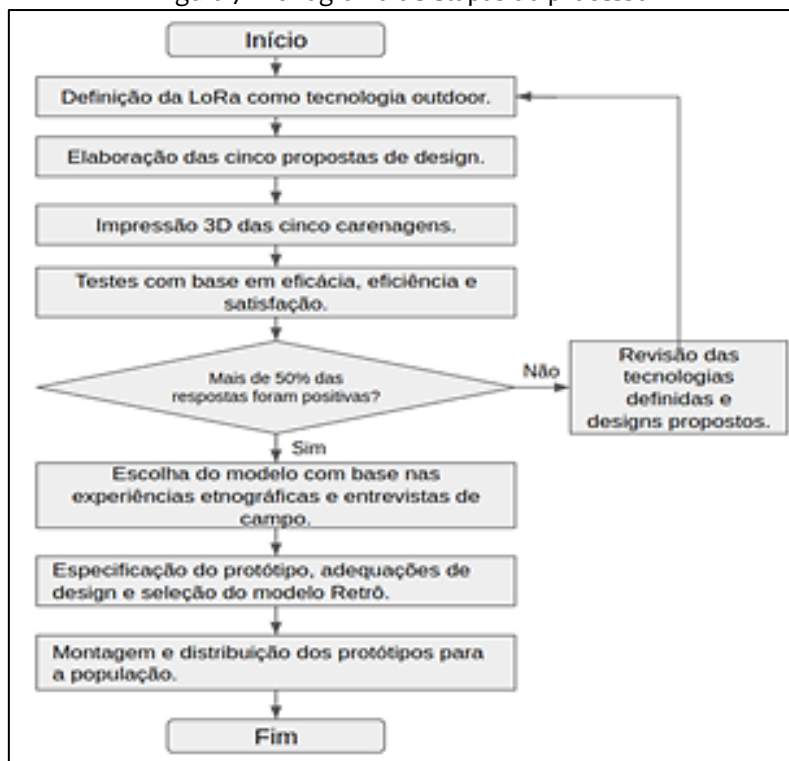
Tabela 2. Dados da usina hidrelétrica do Piau.

USINA HIDRELÉTRICA DE PIAU		
Localização	Localização	Minas Gerais, Brasil
	Bacia Hidrográfica	Bacia do Rio São Francisco
Características	Rio	Novo
	Tipo	Barragem
	Altura	24,0 m
Reservatório	Área alagada	0,37 km ²
	Capacidade de Geração	18 MW
	Unid. Geradoras	2

Fonte: os autores (2022).

O projeto demandou um período de 33 meses para sua realização, incluindo a execução de seis etapas pré-definidas até a conclusão, que corresponde à entrega dos dispositivos DIN nas residências. O detalhamento das atividades de cada etapa é apresentado na Tabela 2. As etapas da pesquisa são ilustradas através de um fluxograma na Figura 7.

Figura 7. Fluxograma de etapas do processo.



Fonte: Os autores (2022).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o avanço da tecnologia “Internet das Coisas - IoT”, houve a viabilização do desenvolvimento de novos produtos e aplicações para rastreamento, monitoramento e controle

de dispositivos remotos, dentre outros, utilizando sistemas de comunicação sem fio.

O estudo de desenvolvimento do DIN utilizou dentre as várias tecnologias disponíveis, a tecnologia LoRa (*Long Range* ou longo alcance). A tecnologia utiliza os sistemas de comunicação sem fio através da modulação por chaveamento de frequências (*FSK – Frequency Shifting Keying*), uma vez que este tipo de modulação permite trabalhar em potências mais baixas. Porém LoRa é uma tecnologia de propriedade da Semtech e utiliza uma modulação de espalhamento de espectros (*CSS – Chirp Spread Spectrum Modulation*), mantendo o foco em potências mais baixas, mas conseguindo um aumento no alcance do sinal. Essa tecnologia, por ser de baixo consumo, tem um custo inferior a uma estação de sirene, e consiste em um custo cerca de 5 a 10 vezes inferior.

O estudo conduzido pela CEMIG identificou e mapeou a área de risco em Carmo do Cajuru, conforme mostrado na Figura 8. Os dados apresentados na Tabela 3 indicam a quantidade de residências na Zona Carmo do Cajuru, dentro e fora das Zonas de Autossalvamento (ZAS), que estão sujeitas a serem afetadas em caso de um eventual rompimento da barragem. Na região interna, há um total de 30 residências, enquanto na região externa são encontradas 1146 residências, totalizando 1176 residências que demandam monitoramento.

Figura 8. Zona Carmo do Cajuru.



Fonte: os autores (2022).

Tabela 3. Zona Carmo do Cajuru.

Cenário de Ruptura	Número Aprox. de atingidos		
	Dentro da ZAS	Fora da ZAS	Total
RDC 1	30	1146	1176

Fonte: os autores (2022).

O estudo também realizou a identificação e mapeamento da área de risco em Piau. Os dados obtidos indicam a quantidade de residências na Zona Piau, tanto dentro quanto fora das Zonas de Autossalvamento (ZAS), que estão em risco de serem afetadas em caso de ruptura da barragem. Na região interna, há um total de 24 residências, enquanto na região externa são encontradas 46 residências, totalizando 70 residências que necessitam de monitoramento.

No desenvolvimento das cinco propostas, as escolhas foram embasadas no *briefing* inicial do projeto, levando em conta todos os fatores técnicos e tecnológicos limitantes, todavia, centrando atenção nas pessoas envolvidas e seu uso para o equipamento em desenvolvimento, tais como: *design* como proposta; utilização de intérpretes para obtenção de dados para tomada de decisões projetuais, fatores emocionais envolvidos no uso de equipamentos eletrônicos, bem como as relações entre interface e as respostas dos indivíduos e comunicação de confiabilidade, resistência, eficiência e amigabilidade.

Sendo assim, foram impressos em 3D quatro peças de cada modelo tridimensional das cinco carenagens para testes ergonômicos, além de serem utilizados como referência inicial para análise de custos e volumetria dos ferramentais. O modelo modular foi descartado pela equipe técnica pois não atendeu as especificações para injeção do molde definitivo.

Os dados gerais do teste foram coletados com base nos resultados das perguntas de eficácia e eficiência, as quais foram administradas por meio de um formulário. As perguntas de satisfação foram incluídas para iniciar a entrevista. Com base nos resultados obtidos a eficácia concentrou-se em 60% dos usuários que avaliaram as respostas como positivas, 40% como médias e 0% como negativas, resultando em um balanço final de eficácia positiva. Já na eficiência, 86,6% dos usuários consideraram as respostas como positivas, 0% como médias e 13,3% como negativas, resultando em um balanço final de eficiência positiva. Em satisfação, com 60% dos usuários avaliaram as respostas como positivas, 40% como médias e 0% como negativas, resultando em um balanço final de satisfação positiva. Logo, a soma de todas as respostas coletadas mostra que 71,42% foram positivas, 22,85% foram médias e 5,71% foram negativas.

A etapa de prototipação do DIN consistiu em propostas de *design* que levaram em

consideração os fatores contextuais, práticos e de significado. Por se tratar de um projeto que busca trazer a sensação de segurança para as pessoas, o desenvolvimento da carenagem do DIN se estruturou nas teorias do *design* que fomentam a discussão do significado dos objetos em relação ao seu entorno, propiciando, também, discussões que refletem sobre os impactos desses objetos, a depender do lugar onde estão inseridos.

Os projetos de *design* foram ajustados com base em informações técnicas e dados coletados junto à população das cidades onde seriam implementados, além de estudos de ferramentaria e montagem. Posteriormente, os projetos foram apresentados à equipe técnica e à população para avaliar a aceitação e as preferências do público-alvo. No total, 72 moradores foram entrevistados e, de acordo com a preferência popular nas cidades de Carmo do Cajurú e Piau, o modelo escolhido foi o Retrô.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo das enchentes nos rios de Minas Gerais em 2019 incentivou a Companhia Energética do Estado (CEMIG) a investigar áreas suscetíveis a alagamentos. Isso resultou na elaboração dos Planos de Ação de Emergência (PAE), que incluíam a instalação de placas indicativas de rotas de fuga próximas às barragens. Em 2020, foi lançada a última fase do estudo, o projeto de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) "GTo656 - Dispositivo Individual para Notificação (DIN) em caso de Emergência com Barragens", com o propósito de criar um instrumento independente para aumentar a segurança da população por meio de informações em tempo real.

O objetivo principal do projeto era desenvolver um Dispositivo de Notificação Individual (DIN) para reforçar o sistema de segurança das barragens em Minas Gerais. Esse processo envolveu diversas etapas. A pesquisa evidenciou que o DIN, além de fornecer benefícios em termos de monitoramento, também promove uma sensação de segurança psicológica. Os sistemas de GPS e geolocalização transformam o DIN em uma ferramenta eficaz para alertas e evacuações em áreas de risco.

A participação ativa da comunidade durante o período experimental foi crucial, e a redução de custos tanto do DIN quanto dos sistemas correlatos foi notável. O dispositivo possui baterias recarregáveis e está conectado a uma rede autossustentável, com recargas solares e conexões via rádio para operações tanto normais quanto emergenciais.

O monitoramento das áreas de risco próximas às barragens pode ser realizado de maneira

segura e contínua sem incorrer em gastos excessivos, graças ao DIN e aos sistemas associados. Recomenda-se acompanhar o desempenho dos dispositivos distribuídos nos próximos cinco anos, a fim de identificar possíveis melhorias e avaliar sua eficácia a longo prazo. Além disso, sugere-se considerar a implementação do DIN em outras barragens para beneficiar outras comunidades.

REFERÊNCIAS

BRASIL. LEI Nº 14.066, DE 30 DE SETEMBRO DE 2020 - **LEI Nº 14.066, DE 30 DE SETEMBRO DE 2020**, Publicada no Diário Oficial da União. Imprensa Nacional, 2020.

CATECATI, T., FAUST, F. G., ROEPKE, G. A. L., ARAUJO, F. S., ALBERTAZZI, D., GARCIA RAMIREZ, A. R., & FERREIRA, M. G. G. **Métodos para a avaliação da usabilidade no design de produtos**. DAPesquisa, 6(8), 564-581, 2018.

CASTILHO, W. C. **Nas trilhas do trabalho comunitário e social: teoria, método é prática**. Belo Horizonte: Vozes, 2008.

FREITAS, M. de F. Q. de. Inserção na comunidade e análise de necessidades: reflexões sobre a prática do psicólogo. **Psicol. Reflex. Crit.**, Porto Alegre, v. 11, n. 1, p. 175-189, 1998.

FREITAS, M. de F. Q. de. Desafios éticos na prática em comunidade: (des)encontros entre a pesquisa e a intervenção. **Pesqui. prá. psicossociais [online]**. 2015, vol.10, n.2

GEERTZ, C. **O saber local: novos ensaios em antropologia interpretativa**. 12. ed. Petrópolis, RJ: Vozes. 2012.

JORDAN, P. W. **An introduction to usability**. London: Taylor & Francis, 1998.

MARTINI, B. D. **Sistema web para gestão de segurança de barragens**. 2018. 95 f. Dissertação (Mestrado em Geotecnia) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

MEIRELLES, M. O Uso do SPSS (StatisticalPackage for the Social Sciences) na Ciência Política: Uma Breve Introdução. In: **Revista Pensamento Plural**, Pelotas, n. 14, 2014.

PEIRANO, M. A favor da etnografia. **Anuário Antropológico/92**. 1994.

SOARES, E. C. **Projeto estrutural de uma barragem de concreto com contraforte**. 2014. 98 f. **Trabalho de conclusão de curso** (Graduação em Engenharia Civil) – CTC Centro tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

ZUFFO, M. S. R. **Metodologia para avaliação da segurança de barragens**. 2005. 192 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.