

DOI: 10.47094/COBRAMSEG2024/24

Anomalias, incidentes e acidentes em barragens de terra: Estudo de caso da barragem do Bezerro em José de Freitas-PI

Ana Carolina Vasconcelos Silva

Universidade Federal do Ceará - UFC, Fortaleza, Brasil, eng.anacarolinavasconcelos@gmail.com

Francisco Chagas da Silva Filho

Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza, Brasil, fchagas@ufc.br

RESUMO: A construção de barragens no nordeste brasileiro foi a principal política pública de combate às secas implementada até o final do século XX, tanto por órgãos federais, quanto estaduais. Em decorrência disso, várias barragens encontram-se hoje com elevado tempo de construção, pouca manutenção e muitas vezes com inúmeras anomalias. Em abril de 2018, prestes a completar 25 anos de operação, a barragem do Bezerro, localizada no município de José de Freitas, no estado do Piauí, teve que ser submetida a ações corretivas devido a anomalias no maciço terroso identificadas em inspeções corriqueiras realizadas pelos próprios moradores locais. A intervenção teve que ser realizada em caráter emergencial, tanto pelo elevado dano potencial associado e alta categoria de risco, quanto por se tratar de uma compilação de situações desfavoráveis potencializando a rápida progressão de um tubo erosivo (“piping”). Nesse artigo são relatadas as principais anomalias encontradas em barragens de terra, um histórico de acidentes e incidentes ocorridos em barragens no Piauí e a análise crítica das técnicas corretivas utilizadas no caso da barragem do Bezerro.

Palavras-chave: Barragens de terra; Anomalias; Acidentes; Manutenção; Piauí.

ABSTRACT: The construction of dams in northeastern Brazil was the main public policy to combat droughts implemented at the end of the 20th century, both by federal and state agencies. As a result, several dams today have a long construction time, little maintenance and numerous anomalies. In April 2018, about to complete 25 years of operation, the Bezerro dam, located in the municipality of José de Freitas, in the state of Piauí, had to undergo corrective actions due to anomalies in the earth mass identified in routine inspections carried out by local residents themselves. The intervention had to be carried out on an emergency basis, both due to the high potential damage associated and high risk category, and because it was a compilation of unfavorable situations enhancing the rapid progression of “piping”. This article reports the main anomalies found in earthen dams, a history of accidents and incidents occurring in dams in Piauí and a critical analysis of the corrective techniques used in the case of the Bezerro dam.

Keywords: Earth dams; Anomalies; Accidents; Maintenance; Piauí.

1 INTRODUÇÃO

Barragens de terra, assim como outras obras civis, são estruturas sujeitas aos efeitos adversos do tempo. No Brasil, grande parte das barragens é classificada como de alto dano potencial associado, principalmente, em função de terem municípios localizados à sua jusante. Os efeitos do tempo nessas estruturas se manifestam como anomalias e o alto dano potencial associado remete às possíveis consequências de um acidente e que, portanto, não deve prescindir de Plano de Ações Emergencial.

Nesse sentido, casos históricos de acidentes marcaram a engenharia de barragens no Brasil, inclusive no estado do Piauí. Reconhecer as semelhanças desses eventos, bem como as particularidades das medidas adotadas em cada caso, é o ponto de partida para o desenvolvimento de soluções eficientes na gestão de segurança de barragens.

Por essa razão, além da descrição das principais anomalias geralmente identificadas em inspeções de campo, o presente artigo também apresentou uma análise crítica do incidente ocorrido em 2018, na barragem do Bezerro, em operação desde 1993, no município piauiense de José de Freitas. O estudo de caso compreende a caracterização das singularidades da barragem, a identificação da condição em que se encontrava à época do evento e, nesse contexto, as ações de emergência e reabilitação que lhe foram implementadas.

2 PRINCIPAIS ANOMALIAS EM BARRAGENS DE TERRA

A Resolução nº 742/2011 da ANA define como anomalia em uma barragem qualquer deficiência, irregularidade, anormalidade ou deformação que possa afetar a segurança, tanto em curto quanto em longo prazo. Importa esclarecer que, em uma inspeção regular de segurança de barragem, além de identificar as anomalias, é necessário classificá-las quanto à magnitude e ao nível de perigo, para que se possa tomar as ações necessárias a recuperação do barramento, sendo essas ações priorizadas em função dos resultados obtidos nas inspeções.

As anomalias verificadas com mais frequência em barragens de terra são apresentadas na TABELA 1 (ANA, 2016). Parte dessas anomalias, como a presença de vegetação nos taludes e de buracos abertos por animais, podem ser evitadas com procedimentos simples de manutenção. Outras apresentam-se mesmo com todos os cuidados na execução, como é o caso das fissuras, que podem ser motivadas tanto por contrações devido ao ressecamento, quanto por recalques e redistribuição de tensões (ver por exemplo, Sandroni, 2021). As anomalias críticas, no entanto, são as surgências, pois manifestam a percolação da água pelo maciço ou pela fundação em local não previsto e ocorrem, em geral, na condição de reservatório cheio.

Tabela 1. Principais anomalias em barragens de terra

Anomalias
Fissuras
Surgências
Instabilidade dos taludes
Depressões (recalques e afundamentos)
Proteção deficiente dos taludes
Erosão superficial
Crescimento excessivo de vegetação
Buracos abertos por animais

ANA (2016) apresenta o conceito de anomalia grave como sendo aquela capaz de comprometer a segurança de uma barragem e levá-la ao rompimento, no caso de não terem sido empreendidas em tempo as ações reparadoras. As surgências de água, em geral, podem evoluir para a condição de anomalia grave, principalmente quando associadas a outras anomalias. Esse é o caso do entubamento causado por uma erosão interna no maciço ou na fundação, que, consiste no arraste de partículas sólidas, ou de material em solução, promovido pelo fluxo de água (ver por exemplo Sandroni, 2021).

Sandroni (2021) aponta que o termo acidente é utilizado tanto para designar desastres ou rupturas quanto para anormalidades ou incidentes. Dada a confusão conceitual, é importante destacar que o termo incidente se limita a condição de anormalidade, ou seja, um comportamento inadequado ou imprevisto, que implique em medidas de reparo, mas que não comprometa o funcionamento da barragem.

Independente da magnitude e do nível de perigo, o aparecimento de anomalias exige atenção e cuidados por parte do empreendedor da barragem. Menescal (2004) alerta para o fato que barragens malcuidadas elevam o risco de prejuízos sociais, econômicos, ambientais e ao patrimônio nacional. Persechini (2015) ressalta que barragens malcuidadas e com a presença de anomalias podem resultar em acidente com rompimento do barramento.

3 HISTÓRICO DE ACIDENTES E INCIDENTES EM BARRAGENS NO PIAUÍ

Embora o registro de acidentes no Brasil seja escasso (Mello et al, 2021), não significa que a imensa quantidade de reservatórios dispostos em todo o território nacional esteve sempre em condição de segurança. No Piauí, apesar de apresentar apenas 64 barragens registradas, de acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB), possui um relevante histórico de acidentes, como apresentado na Tabela 2.

A caracterização dos mecanismos envolvidos no evento ajuda a classificá-lo e a identificar suas causas (Mello et al, 2021). Para esses autores, existem três mecanismos que predominam: a percolação, que envolve a trajetória da água por dentro do aterro, nas interfaces ou através das fundações; a instabilidade, manifestado na forma de deslizamentos em aterros; e a erosão externa, observado na superfície da crista, dos taludes ou das

estruturas anexas, e interna, intimamente relacionada à percolação e caracterizada pelo entubamento ou erosão regressiva.

Tabela 2. Acidentes e Incidentes em barragens no Piauí

Barragem	Data do Evento	Mecanismo
Algodões I	27/05/2009	Percolação
Barreiras	Diversas datas	Instabilidade e Erosão
Bezerro	08/04/2018	Percolação e Erosão
Caldeirão	Diversas datas	Percolação
Joana	Junho/2004	Percolação e Erosão
Piaus	2009	Erosão e Instabilidade

A caracterização dos mecanismos envolvidos no evento ajuda a classificá-lo e a identificar suas causas (Mello et al, 2021). Para esses autores, existem três mecanismos que predominam: a percolação, que envolve a trajetória da água por dentro do aterro, nas interfaces ou através das fundações; a instabilidade, manifestado na forma de deslizamentos em aterros; e a erosão externa, observado na superfície da crista, dos taludes ou das estruturas anexas, e interna, intimamente relacionada à percolação e caracterizada pelo entubamento ou erosão regressiva.

Sampaio (2014) destaca que a maior parte das rupturas em barragens de aterro ocorre em período de cheias tendo como principais causas o galgamento e a erosão regressiva. Todavia, o que antecede essas causas e, conseqüentemente, as rupturas são as falhas de gerenciamento e manutenção das barragens.

Em sua relação com a segurança de barragens, o estado do Piauí tem como principal registro a tragédia ocorrida na barragem de Algodões I, município de Cocal, em 2009. Esse evento representou um somatório de erros e omissões na gestão de barragens (Mello et al, 2021), uma vez que a progressão para o acidente transcorreu por 15 dias até culminar na ruptura em 27 de maio de 2019. Para Sampaio (2014), a falta de manutenção e a deficiência nos estudos geológicos-geotécnicos do projeto foram as principais causas do rompimento da barragem. As ações emergenciais e corretivas durante o incidente não se mostraram eficientes e, em função disso, o resultado deixou vítimas fatais e um estado de devastação no leito a jusante.

Em junho de 2004, a barragem de Joana, localizada no município piauiense de Pedro II, também lidou com situação imprevista. A presença de uma surgência no talude de jusante alertou a população, com fluxo de água “barrenta”, formando uma cava de 3 m por 4 m de seção e com vazão estimada em 50 L/s (Miranda et al, 2005). Dentre as hipóteses levantadas para explicar a anomalia, o “piping” foi descartado logo que os técnicos monitoraram a evolução da cava e sua posição em relação ao alinhamento da tubulação de tomada d’água. Essa última observação, acabou confirmando as falhas no sistema de adução da tomada d’água como a causa do incidente. Assim, medidas emergenciais adotadas com presteza ao final do mesmo mês foram bem-sucedidas, de acordo com Mello (2021), e evitaram o acidente.

Já a barragem do Caldeirão, também localizada ao norte do estado no município de Piripiri, passou por uma sequência de eventos que exigiram intervenções intensas e rápidas ao longo da sua operação (Mello et al, 2021). Desde 1956, todos os incidentes registrados nessa barragem tiveram o mecanismo da percolação atuando. Mello (2021) destaca que além da natureza da fundação, constituída por arenitos brandos e friáveis, com fraturas abertas e indícios de percolação, algumas características de projeto contribuíram para essa recorrência. As medidas de recuperação adotadas consistiram na injeção de caldas de cimento, para impermeabilizar a fundação, e na construção de um filtro invertido à jusante. Embora essas ações tenham controlado a situação da percolação, outras anomalias relacionadas à manutenção da barragem ainda ocorrem.

Portanto, apesar de existirem vários mecanismos atuando no complexo da barragem durante um incidente, a evolução de uma anomalia grave pode ser controlada tomando-se as medidas corretas e com a agilidade necessária a situação de emergência. Esse é objetivo principal do Plano de Ações Emergenciais (PAE) que, de acordo com a Lei 12.334/2010, integra o Plano de Segurança da Barragem (PSB) e é de elaboração obrigatória para todas as barragens classificadas como de médio e alto dano potencial associado ou de alto risco, a critério do órgão fiscalizador.

4 ESTUDO DE CASO

A partir do Relatório Técnico elaborado pelo IDEPI (Instituto do Desenvolvimento do Piauí), empreendedor da barragem do Bezerro, foram obtidas as informações relativas aos serviços executados durante e após o incidente ocorrido em 2018 e, por conseguinte, analisadas em relação às recomendações propostas pela ANA (2016), pela literatura especializada e pelos resultados das suas aplicações.

4.1 Caracterização da barragem

A barragem do Bezerro é caracterizada como sendo uma barragem de terra com seção homogênea, assente em fundação composta por pacotes de arenitos, com tratamento através de trincheira compactada a montante do eixo da barragem. Está localizada a cerca de 3 km do município de José de Freitas e, portanto, segundo classificação no SNISB, possui alto dano potencial associado, além de alta categoria de risco. Todavia, de acordo com o próprio empreendedor, não possui Plano de Ações Emergenciais (PAE).

Originalmente, seus taludes de montante e jusante apresentavam, respectivamente, inclinação de 1:2,5 (V:H) e de 1:2 (V:H). Na Figura 1 é possível observar a seção transversal da barragem antes do incidente ocorrido em 2018. Originalmente, o seu sistema de drenagem não possuía filtro vertical ou inclinado, nem tapete drenante horizontal, somente um enrocamento de pé (rock-fill) no talude de jusante. Como proteção superficial a montante, possuía um rip-rap, contra ação das ondas formadas no reservatório, bem como um revestimento em solo laterítico, com meio fio e saída d'água a cada 20 m, como proteção da crista da barragem.

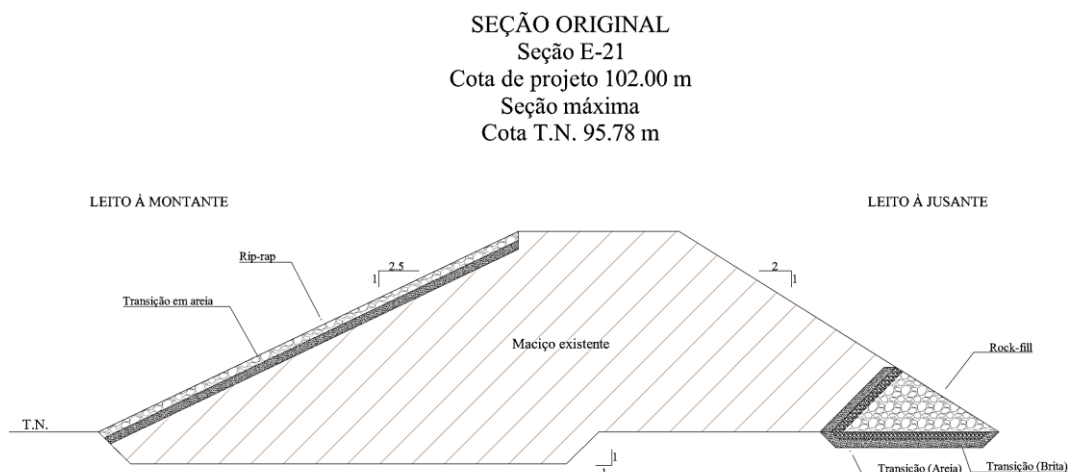


Figura 1. Seção transversal da barragem do Bezerro, antes do incidente.

As características dos principais componentes desse barramento estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Características dos componentes da barragem.

Elemento	Dimensão
Cota da crista	102,00 m
Largura da crista	5,00 m
Altura máxima	6,00 m
Extensão	1400,00 m
Cota da soleira	101,00 m
Lâmina máx. de projeto	0,32 m
Folga	0,68 m
Largura do sangradouro	60,00 m

4.2 Identificação das anomalias

Uma vez que um incidente ocorre após um conjunto de anomalias se manifestem na barragem, como uma indicação de que aquela estrutura precisa de intervenção, na barragem do Bezerro, nos anos anteriores a 2018, registrou-se danos constantes na proteção tanto do rip-rap, quanto do rock-fill, por retirada de pedras destas estruturas. Essa situação é bastante corriqueira e irregular, uma vez que esse material costuma ser utilizado na construção civil.

Ademais, foi identificada a presença de vegetação densa e de grande porte, nos taludes de montante e jusante, promovendo possíveis canais preferenciais de percolação por suas raízes atravessando o corpo da barragem. Também foram observados depressões e afundamentos na crista, além de falhas no sistema de drenagem de proteção contra a chuva.

O conjunto de irregularidades manifestado no corpo da barragem culminou em uma anomalia grave: uma surgência, localizada no talude de jusante. A partir da observação de uma forte saída d'água "barrenta" na "parede" do reservatório, um pescador, morador local, comunicou à prefeitura do município que deu sequência ao acionamento das autoridades competentes.

4.3 Descrição do incidente

A evolução da surgência se deu com fluxo constante de água barrenta e rupturas localizadas sucessivas, revelando o elevado gradiente hidráulico naquele ponto, bem como fraturamento hidráulico provocando a erosão. Todas essas características, observadas na Figura 2, permitem confirmar que o fenômeno ocorrido na barragem do Bezerro tratou-se de uma erosão tubular regressiva, ou seja, um entubamento. Os mecanismos atuantes nesse incidente são a percolação e a erosão.



Figura 2. Surgência indicando erosão tubular regressiva, talude de jusante.

Carneiro (2021) destaca que, no caso de barragens de terra homogêneas em que já tenha iniciado o processo de erosão interna no maciço do aterro, não haverá barreiras que impeçam a continuidade do arraste de partículas de solo e a erosão interna tende a continuar, a não ser que as forças de arraste sejam reduzidas. Portanto, restringir o fluxo ou rebaixar o nível do reservatório são as melhores formas de restringir o processo erosivo.

Em barragens de terra, os acidentes por percolação se manifestam devido ineficiência do sistema de drenagem, não apresentando as características de condução e filtragem da água.

Tão logo confirmada a situação de alerta, foram definidas as ações emergenciais para conter o fluxo d'água pela surgência e evitar o rompimento da barragem. Posteriormente, foram projetadas e realizadas as ações corretivas necessárias para reabilitação e retorno a condição normal de operação da barragem do Bezerro.

4.4 Ações emergenciais

De imediato, o que se pretende nas ações emergenciais é conter a progressão da erosão. ANA (2016) orienta que sejam adotadas medidas de intervenção para situações em que, por inspeção visual no corpo da barragem, se identifique zonas úmidas ou surgências no talude de jusante, com cenário provável de erosão interna. Sendo tais recomendações: o rebaixamento do nível d'água do reservatório; obras de reabilitação a definir consoante o tipo e a magnitude do problema; e o reforço da observação.

No caso da barragem do Bezerro, o empreendedor procedeu com as medidas indicadas na Tabela 4, destacadas nas Figuras 3-a e 3-b, e avaliadas segundo seus resultados. Tais medidas tiveram como consequência o aumento do nível no leito à jusante, o deslocamento da população ribeirinha, por meio de ação integrada com a Defesa Civil, e o controle do processo erosivo no talude da barragem.

Tabela 4. Ações emergenciais realizadas na barragem do Bezerro.

Ações emergenciais	Resultado	Observação
Abertura do registro da tomada d'água	Ineficaz	Falta de manutenção do equipamento
Rebaixamento do canal de aproximação da soleira do vertedouro	Eficaz	Mobilização de equipamentos e direcionamento do fluxo
Estabilização do talude na região da cavidade formada	Eficaz	Com manta bidim, tubo drenante e sacos de terra



(a)



(b)

Figura 3-a. Abertura do canal para reduzir o nível do reservatório; Figura 3-b. Estabilização do talude de jusante na região da surgência.

Portanto, a falta de manutenção de um equipamento tão importante para operação do reservatório, tanto no controle de vazão do rio, quanto no caso de incidentes como esse, indica a condição de vulnerabilidade que a barragem do Bezerro se encontrava à época do ocorrido. Por outro lado, as medidas que se seguiram contornaram essa falha e mostraram-se eficazes, apesar de aportar custos que poderiam ser evitados.

4.5 Ações corretivas

Uma vez controlada a progressão da anomalia grave, coube ao empreendedor retro analisar o projeto original e avaliar a possibilidade da continuidade do processo de erosão associado ao mecanismo da percolação em outros pontos da barragem. Por conseguinte, concluiu-se que o sistema de drenagem interno, composto unicamente pelo rock-fill, já não era suficiente para condução segura do fluxo d'água pelo corpo da barragem. Embora, tenha sido eficaz ao logo dos 25 anos de operação, os furtos do material de enrocamento do rock-fill potencializaram o incidente, sendo esse mais um indício da falta de manutenção dos elementos da estrutura.

Dessa forma, as medidas adotadas pelo empreendedor da barragem do Bezerro concentraram-se em implantar um sistema de drenagem interno eficiente e recuperar elementos comprometidos, conforme disposto na Tabela 5:

Tabela 5. Ações corretivas realizadas na barragem do Bezerro.

Ações corretivas	Resultado	Observação
Dimensionamento de filtro de areia do tipo chaminé	Eficaz	Conforme os critérios de filtragem em barragens
Projeto de poços de alívio à jusante	Eficaz	Para auxiliar o escoamento do fluxo drenado pelo rock-fill
Recomposição e ampliação do Rock-fill	Eficaz	Para controlar o gradiente de saída no pé do talude de jusante
Recomposição do Rip-rap	Eficaz	Para proteção do talude de montante
Alteamento da cota da crista	Eficaz	Para atender ao valor da folga mínima
Preenchimento dos canais e vazios no aterro remanescente	Eficaz	Com injeção de calda rigidificável

A implementação de tais ações alterou a seção transversal da barragem que atualmente é representada pela Figura 4:

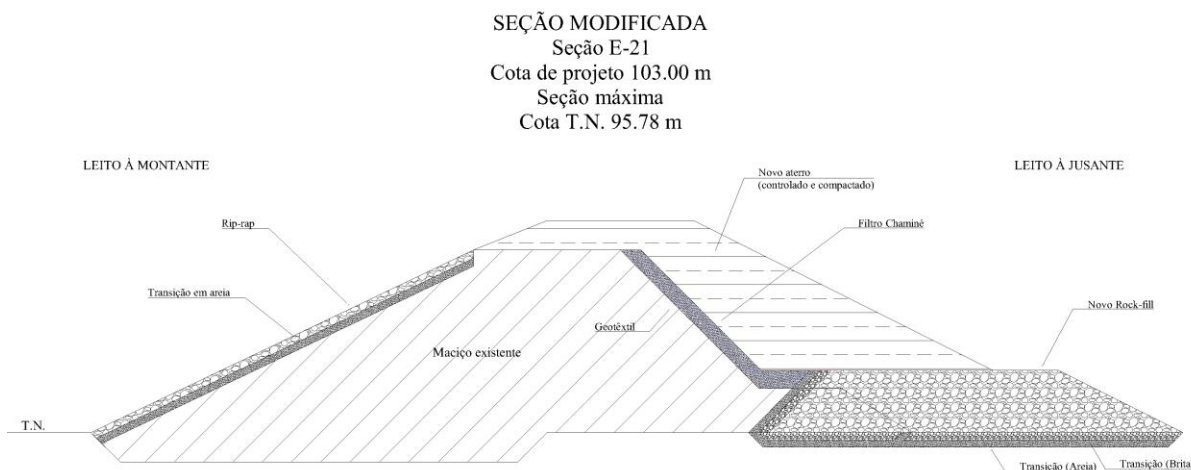


Figura 4. Seção transversal da barragem do Bezerro, após o incidente.

5 CONCLUSÃO

Pode-se depreender da análise do histórico de acidentes e incidentes ocorridos em barragens no Piauí que: algumas anomalias são mais frequentes em barragens de terra; o mecanismo da percolação é o principal envolvido nos incidentes registrados pelo estado do Piauí; e a falta de manutenção dos elementos da barragem é fator comum atrelado à presença de anomalias e à gestão dos incidentes.

Em relação ao caso da barragem do Bezerro, as falhas no sistema de drenagem interno contribuíram fortemente para o processo de erosão tubular regressiva. Isto posto, cabe refletir sobre outros barramentos em condições semelhantes e que apontam para necessidade de retro análise de seus projetos e verificação da eficiência dos seus elementos. As soluções adotadas pelo empreendedor para controlar o fenômeno da erosão interna, apesar de não se pautarem em um Plano de Ações Emergenciais (PAE) próprio da barragem, seguiram as recomendações da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e foram eficazes em reestabelecer a segurança da estrutura e da população à jusante.

A condição em que uma barragem se encontra no momento da confirmação de uma anomalia grave é preponderante para a implementação das medidas emergenciais e corretivas, podendo até inviabilizá-las. Isso

comprova que nenhuma barragem é totalmente segura se não for bem gerenciada, constantemente monitorada e, principalmente, preparada para situações de emergência. Nesse ponto, ressalta-se a importância de elaborar e aplicar o Plano de Ações Emergenciais (PAE) que, por lei, deveria ser obrigatório não só para a barragem do Bezerro, como também para tantas outras classificadas como de alto dano potencial associado. Portanto, aprender com as experiências positivas (e negativas) em barragens de terra contribui para o fortalecimento da gestão de segurança de barragens no Piauí e no Brasil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental da Universidade Federal do Ceará (DEHA-UFC) pelo incentivo e apoio para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO (ANA). *Manual do empreendedor sobre segurança de barragens – Volume II: Guia de orientação e formulários para Inspeções de Segurança de barragem*. Brasília: ANA, 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO (ANA). *Manual do empreendedor sobre segurança de barragens – Volume IV: Guia de orientação e formulários do Plano de Ação de Emergência – PAE*. Brasília: ANA, 2016
- CARNEIRO, H.F. *Erosões Internas no Aterro da Barragem Granjeiro: Estudo de Caso*. Monografia de Especialização, Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2021, 114 p.
- IDEPI, Instituto de Desenvolvimento do Piauí. *Tomo I - Relatório Geral da Barragem do Bezerro*. Piauí: Junho, 2018.
- Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. *Estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, e dá outras providências*. Diário Oficial da União, Brasília, DF, Brasil.
- MENESCAL, R. A. et al. *Segurança de Barragens e Gestão de Recursos Hídricos no Brasil*. Brasília, 2004.
- MELLO, F. M.; SANDRONI, S. S.; GUIDICINI, G. *Lições aprendidas com acidentes e incidentes em barragem e obras anexas no Brasil*. Rio de Janeiro: Comitê Brasileiro de Barragens, 2021a.
- MIRANDA, A.N.; MENESCAL, R.A.; PERINI, D.S.; SOARES, F.R. – *Barragem Joana – Uma intervenção emergencial de segurança*. In: Seminário Nacional de Grandes Barragens, XXVI, Goiânia, 2005. T95 A08. 12 páginas.
- PERSECHINI, M. I. M.; FREITAS, P.; DE NYS, E.; NUNES, C. M. *Segurança de barragens: engenharia a serviço da sociedade*. Série Água. Banco Mundial, Brasília, 2015.
- SAMPAIO, Marcos Vinicius Nunes. *Segurança de barragens de terra: um relato da experiência do Piauí*. Fortaleza, 2014. 77 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, Fortaleza-CE, 2014. Disponível em: <<http://www.repositoriobib.ufc.br/00001c/00001c28.pdf>>. Acesso em: 15/02/2024.
- SANDRONI, S. S.; GUIDICINI, G. *Barragens de terra e enrocamento*. São Paulo: Oficina de Textos, 2021.