

## **BARRAGENS NO CONTEXTO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS E EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS: ANÁLISE DA SEGURANÇA DE BARRAGENS NA CIDADE DE ALTAMIRA, REGIÃO SUDOESTE DO PARÁ**

Rayane Pereira Sodré <sup>1</sup>  
Rafael Oliveira da Silva <sup>2</sup>  
Patrick de Souza Teixeira <sup>3</sup>  
Elnatan Ferreira Feio <sup>4</sup>  
Erika Kelliane Gonçalves da Silva <sup>5</sup>  
Ricardo de Lima Dias <sup>6</sup>  
Gabriel Alves Veloso <sup>7</sup>

### **INTRODUÇÃO**

As barragens mais comuns (principalmente devido à facilidade de construção e viabilidade de custo), são as de terra ou de terra e enrocamento (solos e/ou rochas) (Massad, 2010 *apud* Mariano; Silva, 2022). Durante a vida útil de uma barragem de terra, podem surgir anomalias que comprometem seu desempenho e podem levar à ruptura, se não forem tratadas a tempo, causando riscos às populações vizinhas, danos ambientais e prejuízos. A Resolução nº 236/2017 da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), conforme a Lei nº 12.334/2010 (Política Nacional de Segurança de Barragens), define anomalia como qualquer deficiência, irregularidade ou deformação que possa afetar a segurança da barragem a curto ou longo prazo.

Anomalias comuns em barragens de aterro incluem fissuras, surgências, instabilidade dos taludes, tocas de animais, erosão, vegetação inadequada, depressões, trincas, rachaduras, borda livre insuficiente, deformações, buracos, obstruções, deterioração ou falta de estruturas, percolação e infiltração (British Columbia, 2016; ANA, 2016). Essas anomalias constituem vulnerabilidades e contribuem para rupturas comuns em barragens de terra, como galgamento, erosão interna e colapso (liquefação e estabilização da fundação), principalmente quando da ocorrência de eventos climáticos extremos (como chuvas intensas, inundações, secas etc.) (ABNT, 2024; Fluíxá-Sanmartín *et al.*, 2018).

---

<sup>1</sup> Mestranda do Curso de Geografia da Universidade Federal do Pará - UFPA, [rayane.gazela@gmail.com](mailto:rayane.gazela@gmail.com);

<sup>2</sup> Doutorando do Curso de Geografia da Universidade Federal do Pará - UFPA, [rafaelosilva21@gmail.com](mailto:rafaelosilva21@gmail.com);

<sup>3</sup> Graduado pelo Curso de Engenharia Ambiental e Energias Renováveis da Universidade Federal Rural do Pará - UFRA, [patrickteixeira@outlook.com](mailto:patrickteixeira@outlook.com);

<sup>4</sup> Doutorando do Curso de Geografia da Universidade Federal do Pará - UFPA, [elnatan.feio9@gmail.com](mailto:elnatan.feio9@gmail.com);

<sup>5</sup> Mestranda do Curso de Geografia da Universidade Federal do Pará - UFPA, [erikakelliane21@gmail.com](mailto:erikakelliane21@gmail.com);

<sup>6</sup> Doutorando do Curso de Geografia da Universidade Federal - UFPA, [ricardo\\_limadias@hotmail.com](mailto:ricardo_limadias@hotmail.com);

<sup>7</sup> Professor orientador: Doutor, Faculdade de Geografia - UFPA, [gveloso@ufpa.br](mailto:gveloso@ufpa.br).

Pesquisas, como a de Oliveira (2021), mostram que as mudanças climáticas afetam a estabilidade das encostas e taludes. As barragens não foram projetadas para resistir às chuvas extremas atuais, que elevam a vazão dos reservatórios a níveis inéditos, causando riscos de galgamento e outras formas de ruptura (ASDSO, 2015). O rompimento de barragens, mesmo pequenas, provoca grandes danos sociais, ambientais e sanitários, com impactos duradouros. O desgaste da infraestrutura das barragens, ao longo do tempo, amplia o risco de rompimento e ameaça à vida (Silva; Silva, 2021).

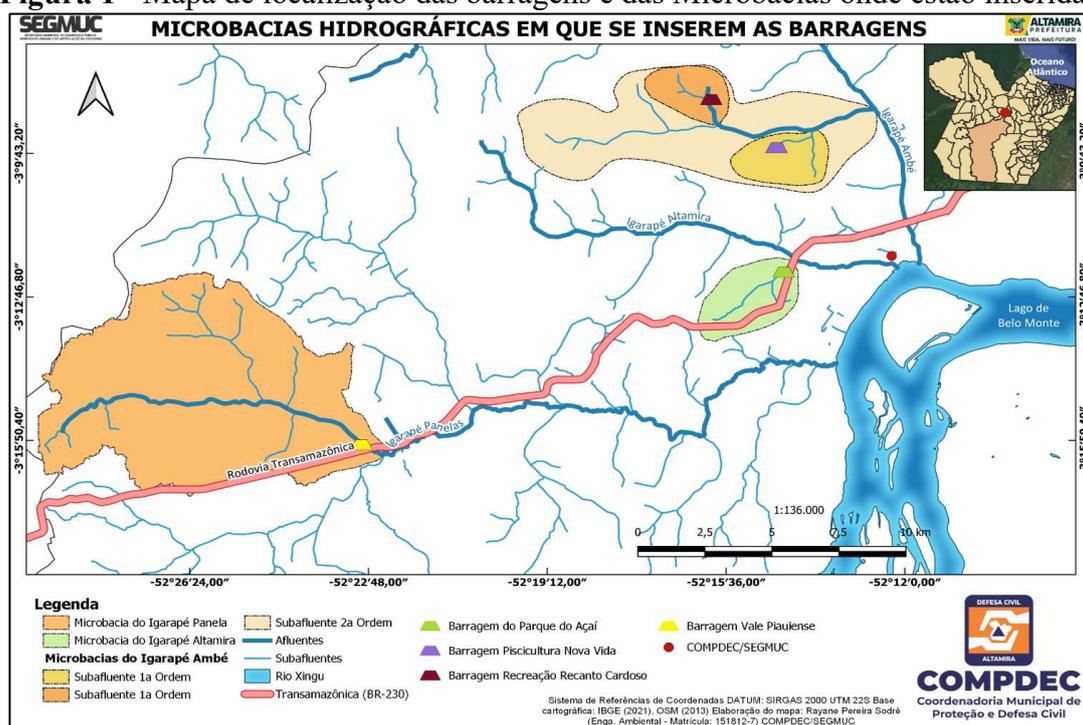
Em 12 de abril de 2009 (há 15 anos), devido à chuva de volume pluviométrico excepcional (no período chuvoso), 11 (onze) barragens construídas ao longo de igarapés que passam na cidade de Altamira (município do sudoeste estado do Pará), romperam e causaram inundação da cidade (desastre). Nos últimos anos, os eventos extremos superaram a capacidade de resiliência de alguns sistemas, causando impactos negativos irreversíveis (Krug; Nobre, 2024; King; Reid; Saunders, 2023).

O objetivo deste trabalho é analisar barragens na cidade de Altamira, especificamente quanto a anomalias que comprometem a segurança, especialmente no atual contexto de mudanças climáticas, que eleva a possibilidade de ocorrência de eventos climáticos extremos e, portanto, aumenta o risco de desastres hidrometeorológicos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A **Área de estudo** foi em 4 (quatro) barragens de terra na cidade de Altamira, Município da região sudoeste do Pará, região amazônica, **Figura 1**.

**Figura 1** - Mapa de localização das barragens e das Microbacias onde estão inseridas.



Fonte: COMPDEC/Altamira (2023)

As barragens são de terra e estão inseridas em sub-bacias – subafluentes do Igarapé Altamira, no Igarapé Panelas e subafluentes do Igarapé Ambé. Com base nos critérios da classificação climática de Köppen, o clima do município de Altamira é do tipo equatorial Am (clima de Monção) e Aw (clima tropical com estação seca de Inverno). A precipitação anual está em torno de 2.123 mm, situado a 96m de altitude (Lima *et al.*, 2023). No **Quadro 1**, a seguir, há um resumo das barragens (objeto de estudo).

**Quadro 1** – Identificação das barragens do estudo e suas finalidades.

Nome da Barragem	Atividade
Parque do Açáí	Recreação e loteamento (em desuso)
Nova Vida	Piscicultura
Recanto Cardoso	Recreação
Vale Piauiense (“João do Pezinho”)	Uso múltiplo

Foram coletados dados de três fontes principais: (1) inspeções de barragens realizadas pela Coordenação de Proteção e Defesa Civil de Altamira (COMPDEC/Altamira); (2) dados meteorológicos como precipitação pluviométrica e temperatura do ar, obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da estação climatológica convencional de Altamira–PA (código: 82353, altitude: 101,51m), localizada no centro da cidade, referentes ao período de 1993 a 2023, e dados de precipitação global do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation With Station Data (CHIRPS)*, abrangendo o período de 1981 a 2023; e (3) dados geoespaciais, incluindo um Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução horizontal de 30 metros, proveniente do *ALOS Global Digital Surface Model (AW3D30)*, obtido através de imagens de satélite do *Advanced Land Observing Satellite (ALOS)*, da Agência de Exploração Aeroespacial do Japão (JAXA), acessados através do *site OpenTopography*.

Para a **análise e interpretação**, os dados meteorológicos foram organizados em planilhas do *software EXCEL* para produção de gráficos necessários para análise na pesquisa. Os dados geoespaciais foram manipulados em *softwares* de Sistema de Informação Geográfica (SIG), *e. g.*, *QGIS* e *ArcGIS*, para delimitar as microbacias dos igarapés Altamira, Panelas e Ambé e gerar os objetos (feições) da área de estudo, bem como extração de dados de eventos hidrometeorológicos (em sites específicos). Por fim, os dados de inspeção, se referem às condições/situação atual(is) – quanto à existência ou ausência de anomalias (conforme descrição do Anexo 3, do Manual da ANA (2016)).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Condições das barragens de Altamira

Após a inspeção das barragens e análise quanto à existência ou ausência de anomalias – que favorecem a ruptura de barragens – identificou-se/verificou-se que:

A barragem do Parque do Açaí (sub-bacia do subafluente do Igarapé Altamira) apresenta barramento (coroamento e paramentos) completamente tomado por vegetação excessiva e inadequada (arbórea), **Figura 2-(A)**, bem como no sistema extravasor (causando obstrução), **Figura 2-(B)**; há erosão (e deslizamento) no pé de jusante (adjacente à zona de restituição) e comprometimento do muro-guia e nas paredes do extravasor da barragem, e erosões pontuais nos paramentos do barramento principal **Figura 2-(C)**. Na Barragem do Recanto Cardoso (sub-bacia do subafluente do Igarapé Ambé) há ocorrência de com espécies arbóreas nos taludes (açazeiro), **Figura 2-(D)**; observa-se erosão na encosta adjacente (não estabilizada), com movimento de massa (deslizamento) junto ao vertedouro auxiliar (extravasor) que, caso se agrave, pode ocasionar obstrução desse vertedouro, **Figura 2-(E, F)**.

**Figura 2 - Barragens Parque do Açaí e Recanto Cardoso e anomalias observadas.**



Fonte: Modificado de COMPDEC/Altamira (2023 e 2024).

Diferentemente das demais, a barragem/dique Piscicultura Nova Vida (sub-bacia do subafluente do Igarapé Ambé), **Figura 2**, é constituída, além do reservatório, por vários tanques de formato retangular e transversais ao corpo hídrico, **Figura 2-(A)**. Constatou-se que a borda livre nesse barramento é insuficiente, **Figura 2-(B)**; notou-se, ainda, que o coroamento estava com acumulação da água das chuvas (a existência de sulcos de rodados) – a infiltração de água nestes sulcos pode provocar problemas de perda de estabilidade **Figura 2-(C)**. Já a barragem no Vale Piauiense (sub-bacia do Igarapé Panelas), ainda na **Figura 2**, apresenta estado grave de alastração de vegetação

inadequada (árvores) no barramento e em seus componentes, **Figura 2-(D)**; conta com três vertedouros, mas nenhum dos três tem revestimento (muros-guia), um dos extravasores está deteriorado erosionado, **Figura 2-(E)**; e situações de erosão nos paramentos (superfícies de deslizamento/desmoronamento), **Figura 2-(F)**.

**Figura 3 - Barragens Nova Vida e Vale Piauiense e observações.**



Fonte: Modificado de COMPDEC/Altamira (2023 e 2024).

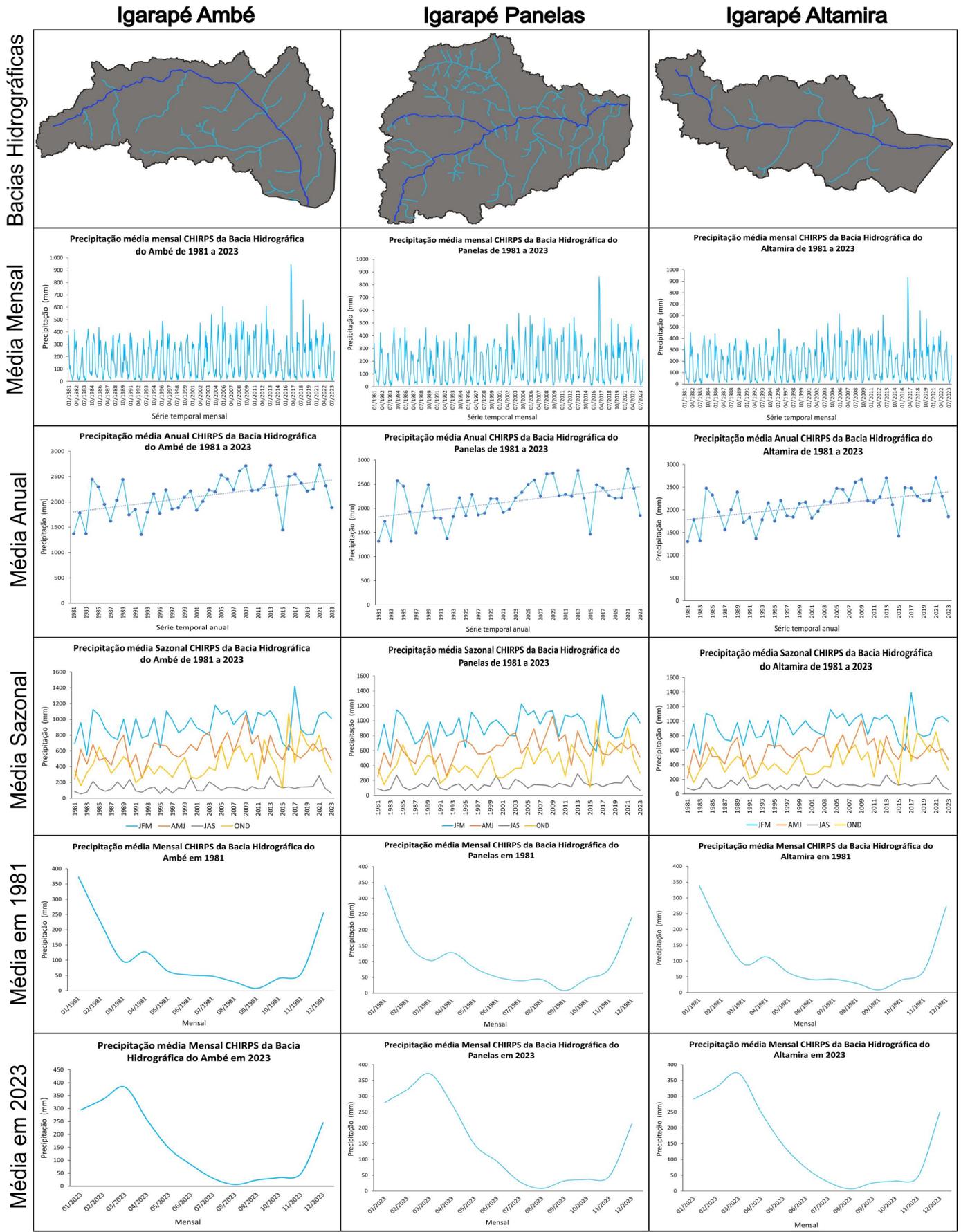
Em suma, nas barragens vistoriadas, chama-se à atenção para a proliferação de vegetação inadequada (raízes profundas e acúmulo de umidade) nos paramentos (taludes), que ocasiona instabilidade estrutural, bem como no sistema extravasor (vertedores auxiliares). A vegetação adequada para paramentos é somente de gramíneas; (Escolano Sánchez; Fernandez-Serrano, 2015). E, quando há obstrução parcial ou total de qualquer zona do extravasor, ocorre a redução capacidade de vazão, não será capaz de escoar a cheia para a qual foi projetado (ANA, 2016).

### **Análise de variáveis meteorológicas**

Na **Figura 4** (pelas médias mensal, anual e sazonal) é possível observar a tendência de aumento da precipitação média, no período de 1981 a 2023 (42 anos), nas bacias dos igarapés Panelas, Altamira e Ambé. Em 2023-2024, ocorreu o *El Niño* Oscilação Sul (ENOS, tradução de *El Niño–Southern Oscillation (ENSO)*) – cujas fases são *El Niño* e *La Niña*. O INMET prevê que o segundo semestre de 2024 (a partir de agosto) deverá ser marcado pela ocorrência do fenômeno *La Niña* (que gera episódios de chuva intensa para região Norte do País).

Quando se compara o volume de chuva nos anos de 1981 e 2023 das bacias, nota-se um aumento desse volume em 2023 (mesmo sob influência do *El Niño*, que provoca estiagem na região).

**Figura 4 - Análise da Precipitação nas bacias hidrográficas do Painelas, Altamira e no Ambé.**

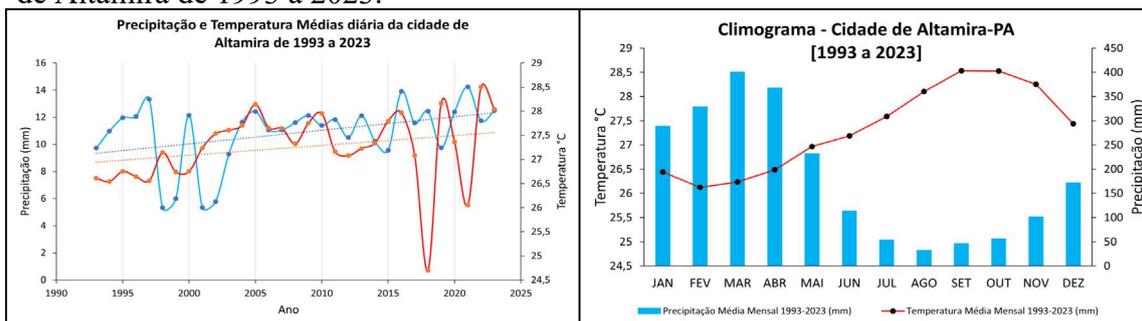


Fonte: Dados do CHIRPS. Elaboração: Autores (2024).

A pluviosidade, ao longo dos 42 anos, foi maior nas bacias do Ambé e do Panelas, respectivamente. Os meses mais chuvosos são JFM (principalmente) e AMJ, no entanto, a partir de 2015, os meses de OND ultrapassaram, com frequência, o volume de precipitação dos meses de AMJ e demonstram tendência de aumento.

A **Figura 5** mostra o comportamento da temperatura e precipitação na cidade de Altamira ao longo de 30 anos – de 1993 a 2023.

**Figura 5** - Climatograma e série temporal anual de temperatura e Precipitação na cidade de Altamira de 1993 a 2023.



Fonte: Dados do INMET. Elaboração: Autores (2024).

A variabilidade climática natural (incluindo o fenômeno *ENSO*) pode resultar em impactos climáticos e meteorológicos extremos (WMO, 2023; Krug; Nobre, 2024). Nota-se que, no decorrer desse tempo, a variabilidade dessas variáveis, na cidade de Altamira (1º gráfico), denota predisposição de elevação de temperatura e do índice pluviométrico. E o climatograma (2º gráfico) do período analisado mostra o padrão já esperado para a região (chove mais nos primeiros e nos últimos meses do ano, e a temperatura é maior nesse intervalo mensal).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Duas das barragens (Parque do Açaí e Vale Piauiense) necessitam de manutenção urgente quanto às anomalias, e todas de monitoramento constante. A característica das séries temporais apresentadas indica uma alteração no comportamento (tendência de aumento) da média de precipitação (nas bacias) e de precipitação e temperatura (na cidade de Altamira) nos períodos analisados. Se as barragens estiverem vulneráveis, maior será o risco de ruptura caso ocorra evento extremo (*e. g.*, chuvas persistentes/intensas).

**Palavras-chave:** Segurança; Barragens, Eventos extremos, Mudança climática.

## REFERÊNCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Guia Prático de Pequenas Barragens**. Brasília: ANA, 2016. (Manual do empreendedor sobre segurança de barragens). Disponível em:

[https://www.snisb.gov.br/Entenda\\_Mais/publicacoes/ManualEmpreendedor](https://www.snisb.gov.br/Entenda_Mais/publicacoes/ManualEmpreendedor). Acesso em: 19 jun. 2024.

ASDSO. Association of State Dam Safety Officials. **Living With Dams: Extreme Rainfall Events**. [S. l.], 2015. Disponível em: <https://damsafety.org/content/living-dams-extreme-rainfall-events>. Acesso em: 14 jun. 2024.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17188: Barragens: Ruptura hipotética: Diretrizes**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

BRITISH COLUMBIA (CA). **Dam safety guidelines: inspection & maintenance of small dams**. [S. l.]: Ministry of Forests, Lands and Natural Resources Operations, 2016. Disponível em: [www.gov.bc.ca/damsafety](http://www.gov.bc.ca/damsafety). Acesso em: 8 jul. 2024.

ESCOLANO SÁNCHEZ, F.; FERNANDEZ-SERRANO, R. Hazards Caused by Uncontrolled Vegetation and Inadequate Maintenance Practice in Earth Dams. **TECNOLOGIA Y CIENCIAS DEL AGUA**, [s. l.], v. 6, p. 137–144, 2015.

FLUIXÁ-SANMARTÍN, J. *et al.* Review article: Climate change impacts on dam safety. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, [s. l.], v. 18, n. 9, p. 2471–2488, 2018. Disponível em: <https://nhess.copernicus.org/articles/18/2471/2018/>. Acesso em: 19 jun. 2024.

KING, A. D.; REID, K. J.; SAUNDERS, K. R. Communicating the link between climate change and extreme rain events. **Nature Geoscience**, [s. l.], v. 16, n. 7, p. 552–554, 2023. Disponível em: <https://www-nature-com.ez3.periodicos.capes.gov.br/articles/s41561-023-01223-1>. Acesso em: 14 jun. 2024.

LIMA, I. F. *et al.* Alterações antrópicas no uso da terra e seu impacto na temperatura do ar na porção setentrional do Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 1565–1585, 2023. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/257237>. Acesso em: 8 jul. 2024.

MARIANO, D. C. L.; SILVA, J. B. Barragens de terra: características de seus alteamentos. **Research, Society and Development**, [s. l.], v. 11, n. 11, p. e277111133469–e277111133469, 2022. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/33469>. Acesso em: 20 jun. 2024.

OLIVEIRA, E. do P. O impacto das mudanças climáticas nos deslizamentos de terra em regiões de clima tropical e subtropical. [s. l.], 2021. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/74722>. Acesso em: 22 jul. 2024.

SILVA, E. L. e; SILVA, M. A. da. Segurança de barragens e os riscos potenciais à saúde pública. **Saúde em Debate**, [s. l.], v. 44, p. 242–261, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/sdeb/a/GxCcNJjsWLzNqmN9HbsFgqG/>. Acesso em: 16 jan. 2024

WMO. World Meteorological Organization. **Extreme weather**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://wmo.int/topics/extreme-weather>. Acesso em: 16 jul. 2024.