Levantamento de dados sobre a mobilização de populações alertadas em Simulados Práticos de Rompimento de Barragem

Julian Cardoso Eleutério[1,2]; Bjorn Krause Camilo[3]; André Felipe Rocha Silva[3]; Maria Thereza G. Gabrich Fonseca[2]; André Ferreira Rodrigues[1,2]

Palavras-Chave – Inundações, Sistema de Alerta e Evacuação, Mobilização.

INTRODUÇÃO

Eventos hidrológicos extremos, particularmente aqueles decorrentes do rompimento de barragens, representam um desafio crescente para a gestão de riscos em escala global (UNDRR, 2022). Esses eventos são geralmente caracterizados por tempos curtos para evacuação de populações, e por impactos potencialmente catastróficos nas áreas a jusante da barragem. No contexto nacional, são obrigatórios os desenvolvimentos de Planos de Ações de Emergência (PAE) para barragens com alto risco ou com dano potencial associado médio ou alto, o que impõe a implementação de Sistemas de Alerta e Evacuação (SAE) na abrangência das Zonas de Autossalvamento (ZAS) (Brasil, 2020). Também é obrigatória a realização de Simulados Práticos de Rompimentos de Barragens (SPRB) com determinada periodicidade, de forma a testar os procolos operacionais, e capacitar e treinar as populações expostas na abrangência das ZAS em relação aos SAE.

Aspectos comportamentais da população, como capacitação, percepção de risco, confiança no alerta e capacidade de resposta, são fundamentais para que os SAE contribuam efetivamente para a redução do risco (Lindell, Perry, 2012; Basher, 2006). Apesar disso, ainda são escassos levantamentos empíricos sobre o comportamento humano durante emergências de inundações. Em modelos como o LifeSim (USACE, 2021), esses aspectos são representados por curvas comportamentais derivadas de diferentes desastres históricos, úteis para avaliação de cenários, mas com limitações para representar especificidades locais de evacuação (Jonkman, Vrijling, 2008).

Os SPRB constituem uma das poucas iniciativas sistemáticas, em larga escala, que possibilitam a observação das ações de autoproteção de populações em cenários de emergência de inundações no Brasil. Dessa forma, podem fornecer evidências empíricas valiosas sobre como diferentes populações percebem os alertas, tomam decisões e iniciam o processo de evacuação. A sistematização de informações provenientes desses exercícios pode reduzir a sub-representação de dados empíricos sobre as interações entre comportamento humano e processos hidrológicos.

Nesse contexto, esse trabalho objetivou, por meio do acompanhamento de SPRB, a avaliação de um aspecto central associado ao processo de evacuação de populações alertadas, o tempo de mobilização, que compreende o tempo necessário para que uma população, depois de receber um alerta, adote medidas protetivas, no caso, a evacuação para locais seguros. Esse acompanhamento foi realizado por meio de entrevistas com a população, de forma a avaliar a resposta da população ao SAE.

METODOLOGIA

Com base em referenciais da socio-hidrologia (Sivapalan *et al.,* 2012) e da pesquisa sobre comportamento em desastres (Paton, Johnston, 2001; Hofinger *et al*., 2014; Bernardini *et al.,* 2017; Kasperson, 2014), foram elaborados questionários curtos e objetivos, estruturados para caracterizar a

1) Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos (EHR) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).
2) Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SMARH) da UFMG.
3) Fundação Christiano Ottoni (FCO/UFMG).

vulnerabilidade, a capacidade de resposta, a percepção de risco e os principais fatores sociais e comportamentais que influenciam a evacuação, para aplicação durante a realização de SPRB. O uso de entrevistas para investigar percepção de risco e aspectos comportamentais em situações de emergência é amplamente reconhecido na literatura (Huang *et al.,* 2017; Kreibich *et al.,* 2021), sobretudo por permitir a obtenção de informações que não podem ser capturadas por registros operacionais ou dados observacionais.

As entrevistas contiveram questões individualizadas aos participantes do exercício para coletar idade, gênero e dificuldades de mobilidade, e informações sobre recebimento e percepção do alerta, tempo de resposta, localização no momento do acionamento, modo de deslocamento, participação prévia em simulados, conhecimento da área de risco e preparo. Os questionários desenvolvidos no presente estudo foram aplicados às pessoas que participaram de dois SPRB da Barragem de Ibirité, nas cidades de Betim e Sarzedo, em Minas Gerais, exercícios realizados em 2024 e 2025.

A área de abrangência do estudo foi a ZAS referente ao PAE da barragem, que abrange porções dos municípios de Betim e Sarzedo, estendendo-se desde a Barragem de Ibirité até cerca de 10 km a jusante. Estima-se que aproximadamente 3.200 pessoas residem na abrangência da ZAS. A área é equipada com um sistema de alerta e evacuação composto por sirenes de emergência, rotas de fuga sinalizadas e pontos de encontro (PE) seguros previamente definidos dentro do PAE.

As entrevistas desenvolvidas foram realizadas nos PE definidos, à medida que a população que participou dos simulados se deslocava até esses locais, onde pesquisadores e profissionais relacionados à gestão da barragem se posicionaram durante a realização dos SPRB para coleta de dados. Além da aplicação dos questionários, foram registrados os tempos de chegada de cada pessoa nos PEs, com o objetivo de se compreender os aspectos temporais de deslocamento.

Finalmente, com o intuito de se compreender como os aspectos levantados se apresentam face aos elementos existentes na literatura científica, referentes especificamente à mobilização de populações durante eventos de inundação, os dados levantados foram comparados com dados padrão utilizados no LifeSim. Para tal, foram analisadas as curvas de mobilização de Sorensen & Mileti (2015), que representam como populações se mobilizam em diferentes cenários de nível de capacitação populacional (nível alto, nível moderado e nível baixo) em relação ao risco. Nesse contexto, as informações locais sobre o comportamento da população em cenários de emergência foram confrontadas com dados mais genéricos, geralmente utilizados em análises de risco.

RESULTADOS

Durante os dois SPRB, foram entrevistadas 156 pessoas (84 em 2024 e 72 em 2025). Esses números correspondem à totalidade dos participantes do exercício nesses exercícios, o que representa aproximadamente 2% (por ano) da população exposta na ZAS. De modo geral, os participantes declararam possuir bom conhecimento sobre o risco e sobre os procedimentos de autoproteção. Aproximadamente 77% em 2024 e 87% em 2025 afirmaram conhecer a área de risco. Além disso, 82% em 2024 e 85% em 2025 declararam saber como agir em uma situação real de emergência.

Em relação ao aspecto central da pesquisa, se considerarmos que a amostra de população que participou do SPRB representa o comportamento global, podemos aferir que os tempos de mobilização obtidos pelas entrevistas com os participantes dos exercícios na área de estudos foram substancialmente inferiores aos valores nas curvas padrão do modelo LifeSim. O tempo médio de mobilização mais provável, segundo as curvas de Sorensen & Mileti (2015), é de 68, 161 e 222 minutos, respectivamente para populações com nível alto, intermediário e baixo de capacitação. Já os resultados das entrevistas realizadas durante o SPRB demonstraram uma população muito mais reativa, com tempo médio de mobilização da ordem de apenas 8 minutos.

Essa diferença deve ser interpretada à luz do contexto em que os simulados foram realizados. As entrevistas indicaram que aproximadamente 80% dos participantes, em 2024 e 2025, já estavam aguardando o início do exercício e se encontravam prontos para sair de casa ou do trabalho e se deslocar aos pontos de encontro. Portanto, os baixos tempos de mobilização nos SPRB refletem, em grande parte, uma condição de preparação imediata, típica de exercícios previamente anunciados, e não necessariamente o comportamento espontâneo esperado em uma situação real de emergência.

Na mesma linha, os tempos máximos para mobilização por parte da população entrevistada também foram extremamente baixos, da ordem de 35 minutos, enquanto as curvas de Sorensen & Mileti (2015) indicam que algumas pessoas podem demorar até 3 dias para se mobilizar. Embora esse limite não represente diretamente a dinâmica esperada em eventos rápidos, como rompimentos de barragens, essa diferença indica que, em situações reais de emergência, parte da população pode apresentar resposta tardia ou mesmo não adotar ações protetivas (Lindell, Perry 2012). Além disso, apenas cerca de 2% da população participou dos SPRB a cada ano, o que significa que grande parte da população poderia ter um comportamento muito mais lento do que o da amostra específica, demonstrando que esses exercícios, para o caso de serem definidos para ocorrer em hora específica, e de não alcançarem parcelas significativas das populações expostas, podem não representar o comportamento realista de populações em situações de emergência.

Finalmente se comparamos os tempos de mobilização no SPRB com os tempos da literatura (Sorensen & Mileti, 2015), considerando apenas a porcentagem da população que participou do exercício como aquela que se mobilizaria no tempo do exercício, podemos ter uma visão bastante diferente desse aspecto comportamental. Em 35 minutos, temos que praticamente todos os participantes dos simulados se mobilizaram para ir aos pontos de encontro – correspondendo a uma mobilização de aproximadamente 2% dos residentes da área; já para as curvas padrão, nesse mesmo tempo, teríamos, nos casos mais prováveis, 3,1, 4,0 e 17,6% da população total mobilizada, respectivamente para os cenários de nível baixo, intermediário e alto de capacitação. Esses resultados revelam que é mais prudente associarmos a mobilização no local a um baixo nível de capacitação.

CONCLUSÕES

As experiências com os Simulados Práticos de Rompimento de Barragem (SPRB) apresentaram grande potencial para o levantamento e a análise de dados comportamentais, especialmente por permitirem observar tempos de resposta, percepção do alerta, modos de deslocamento e conhecimento prévio da população sobre o SAE. No entanto, os resultados também evidenciaram limitações importantes. Os SPRB correspondem a exercícios previamente programados, nos quais parte da população já possuía expectativa de ocorrência do alerta e alguma orientação prévia sobre os procedimentos a serem adotados. Além disso, uma baixa taxa de adesão aos simulados foi observada, logo, a participação da população foi reduzida em relação ao total de pessoas potencialmente expostas. Assim, os dados comportamentais obtidos diretamente a partir dos SPRB devem ser interpretadas como uma referência complementar e condicionada de resposta, não como representação direta do comportamento esperado de toda a população em uma situação real de emergência. Esse aspecto reforça a necessidade de ampliar a participação nos simulados e fortalecer processos contínuos de capacitação das populações expostas ao risco de inundações.

Apesar dessas limitações, as informações dos simulados são relevantes para apoiar a parametrização mais realista de modelos de difusão do alerta, mobilização e evacuação. Em etapas futuras, recomenda-se que esses dados locais sejam utilizados de forma combinada com as bases conceituais e empíricas de modelos de evacuação (como LifeSim) e da literatura sobre comportamento em emergências, de modo a representar cenários intermediários e mais plausíveis de resposta populacional. Essa estratégia tende a ser mais adequada do que utilizar diretamente curvas

comportamentais padronizadas em modelos hidrodinâmicos, que não representam especificidades locais, ou dados observados nos simulados, que refletem uma condição treinada, previamente anunciada, representativa apenas para uma parcela da população. Estudos futuros devem aprofundar a relação entre características populacionais, percepção de risco e comportamento de evacuação.

REFERÊNCIAS

BASHER, R. (2006). *"Global early warning systems for natural hazards: systematic and people-centred*". Philosophical Transactions of the Royal Society A, v. 364.

BERNARDINI, G.; POSTACCHINI, M.; QUAGLIARINI, E.; BROCCHINI, M.; CIANCA, C.; D'ORAZIO, M. (2017) *"A preliminary combined simulation tool for the risk assessment of pedestrians' flood-induced evacuation"*. Environmental Modelling & Software, v. 96, p. 14–29. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.007.

BRASIL. Lei nº 14.066, de 30 de setembro de 2020. Altera a Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010, que estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB). Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF..

HOFINGER, G.; ZINKE, R.; KÜNZER, L. (2014) *"Human factors in evacuation simulation, planning, and guidance"*. Transportation Research Procedia, v. 2, p. 603–611, 2014.

HUANG, S.-K.; WU, H.-C.; LINDELL, M. K.; WEI, H.-L.; SAMUELSON, C. D. (2017). *"Perceptions, behavioral expectations, and implementation timing for response actions in a hurricane emergency*". Natural Hazards, v. 88, p. 533–558. JONKMAN, S. N.; VRIJLING, J. K. (2008). *"Loss of Life due to Floods"*. Journal of Flood Risk Management.

KASPERSON, R. E. (2014). *"Four questions for risk communication"*. Journal of Risk Research, v. 17, n. 10, p. 1233–1239, 2014.

KREIBICH, H.; HUDSON, P.; MERZ, B. (2021). *"Knowing what to do substantially improves the effectiveness of flood early warning"*. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 102, n. 7, p. E1450–E1463.

LINDELL, M. K.; PERRY, R. W. (2012). *"The Protective Action Decision Model"*. In: Behavioral Foundations of Community Emergency Management. 2. ed. Sage, 2012.

PATON, D.; JOHNSTON, D. (2001). *"Disasters and communities: vulnerability, resilience and preparedness"*. Disaster Prevention and Management, v. 10, n. 4, p. 270–277.

SIVAPALAN, M.; SAVENIJE, H.t H. G.; BLÖSCHL, G. (2012). "Socio-hydrology: a new science of people and water". Hydrological Processes, v. 26, n. 8, p. 1270–1276. SORENSEN, J. H.; MILETI, D. S. (2015). "Interview Schedule. Community Warning Issuance, Diffusion, and Protective Action Initiation Estimation. Lakewood: [s.n.].

UNDRR - United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2022). *"Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2022 (GAR 2022): Our World at Risk: Transforming Governance for a Resilient Future"*. Geneva: UNDRR.

USACE (2021). *"HEC-LifeSim: Life Loss Estimation. Version 2.0. Technical Reference Manual"*. CPD-97a. Davis: U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ANP/Petrobras pelo apoio financeiro por meio do Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento AQUASMART (Nº PT-200.20.00248), à CAPES, ao CNPq e à UFMG.