

Simulação de alerta, evacuação e perdas de vidas associadas à ruptura hipotética da barragem da Lagoa da Pampulha – Belo Horizonte/MG

André Felipe Rocha da Silva ¹ ; Julian Cardoso Eleutério ², Nilo de Oliveira Nascimento ³

Palavras-Chave – Avaliação de risco de inundações, Fatalidades, HEC-LifeSim.

INTRODUÇÃO

Com recentes atualizações na legislação brasileira destinada à segurança de barragens (Lei 14.066/2020), dispositivos relacionados ao planejamento em situações emergenciais se tornaram mais rigorosos, com a exigência de determinação de vulnerabilidades sociais, instalação de sistemas de alerta e definição de rotas de fuga e de pontos de encontro para possível evacuação em caso de sinistro. A análise prospectiva de fatalidades ocasionadas por inundações associadas a diferentes cenários de alerta e evacuação pode fornecer importantes subsídios à elaboração desse planejamento. Essa tipologia de dano se encontra entre as consequências mais relevantes de um evento de inundação pelo fato de ser quantificada de maneira objetiva e por ser impactante na percepção pública de desastres (Jonkman *et al.*, 2003). Existem na literatura diversos modelos de estimativa de perdas de vidas sobre os quais Silva (2020) apresenta uma revisão detalhada. Dentre esses, o modelo HEC-LifeSim (USACE, 2018) se destaca como dos mais atuais e completos para os fins propostos. O presente trabalho faz uso do HEC-LifeSim para estimar fatalidades relacionadas ao rompimento hipotético da barragem da Lagoa da Pampulha para diferentes cenários de alerta e evacuação. Ele integra resultados do projeto de extensão entre a UFMG e a Prefeitura de Belo Horizonte para desenvolvimento do Plano de Ações Emergenciais da Barragem da Pampulha. A Barragem da Pampulha forma um reservatório urbano de mesmo nome, com capacidade de 10 hm³, localizado em área densamente ocupada, ao norte de Belo Horizonte.

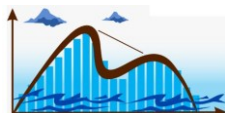
METODOLOGIA

O HEC-LifeSim é um modelo baseado em agente, estruturado por meio de um sistema de modelagem modular, em que os módulos trocam informações entre si por intermédio de um banco de dados que inclui diversas camadas e tabelas de sistemas de informações geográficas. Os quatro principais módulos presentes no modelo são: 1) o módulo de rotina da inundação, que apresenta um conjunto de redes representando, ao longo de toda área e período, as características da inundação; 2) o módulo de perda de abrigo, que simula a exposição de pessoas em construções durante cada evento como resultado de danos estruturais e critérios de submersão; 3) o módulo de alerta e evacuação, que

1) Afiliação: Universidade Federal de Minas Gerais, andre.felipe194@gmail.com

2) Professor pesquisador no Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, e no programa de pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil; julian.eleuterio@gmail.com.

3) Professor pesquisador no Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos, e no programa de pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil; niloon@chr.ufmg.br.

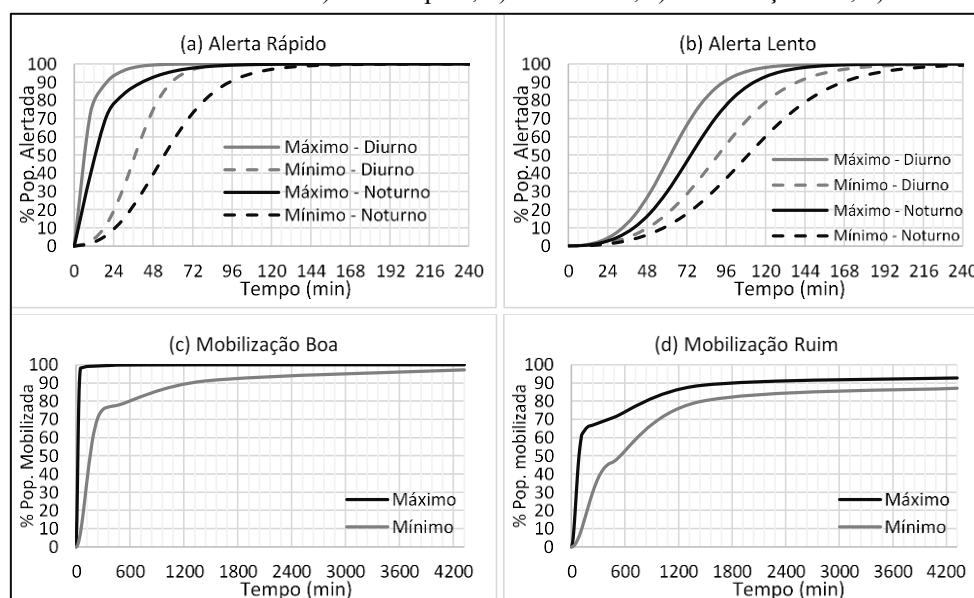


simula a distribuição e dinâmica da população em risco após a emissão do alerta; e 4) o módulo de perda de vida, que estima as perdas por meio de distribuições de probabilidades obtidas por um conjunto de eventos de inundações. Além disso, simulações de Monte Carlo são utilizadas para quantificar a incerteza aleatória no processo de alerta e evacuação, e no potencial de perdas de vidas. Diversos parâmetros do modelo podem ser inseridos considerando a sua variabilidade, permitindo também se quantificar as incertezas epistêmicas existentes.

No primeiro módulo, o cenário de inundação considerado foi simulado com o modelo HEC-RAS 5.0.7 com hidrograma de ruptura hipotético, considerando a ruptura por *piping* segundo Dinésio Franco (2015). O módulo de perda de abrigo foi caracterizado pelas construções e pela população exposta ao risco nos períodos diurno e noturno por meio de um mapeamento da vulnerabilidade do vale a jusante da região a inundações, realizado por Silva *et al.* (2020). Os autores estimaram 38.002 construções com populações totais de 101.865 e 106.520 pessoas, em horários diurnos e noturnos, respectivamente, sendo que, em ambos os períodos, aproximadamente 7,5% dessas populações totais eram de indivíduos com mais de 65 anos de idade.

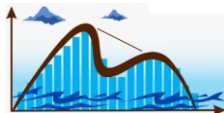
Para o alerta e evacuação, foram considerados dois cenários distintos: um ineficiente e outro eficiente em relação à preparação da população para reagir à emergência de ruptura da barragem. Foram utilizadas as curvas de difusão do alerta e mobilização da população de Sorensen & Mileti (2015a, b), já inseridas no modelo, para reprodução desses cenários (Figura 1).

Figura 1: Curvas teóricas utilizadas: a) alerta rápido, b) alerta lento, c) mobilização boa, d) mobilização ruim.



Fonte: Sorensen & Mileti (2015a, b).

Além disso, em ambos os cenários, buscou-se compreender o impacto do tempo entre a identificação da ameaça e a emissão do alerta na estimativa para verificação do tempo ótimo de ação dos agentes envolvidos no gerenciamento de emergência. Para isso, tal parâmetro foi adotado no modelo como uma distribuição uniforme de 0 a 24 horas com fim no início da ruptura.

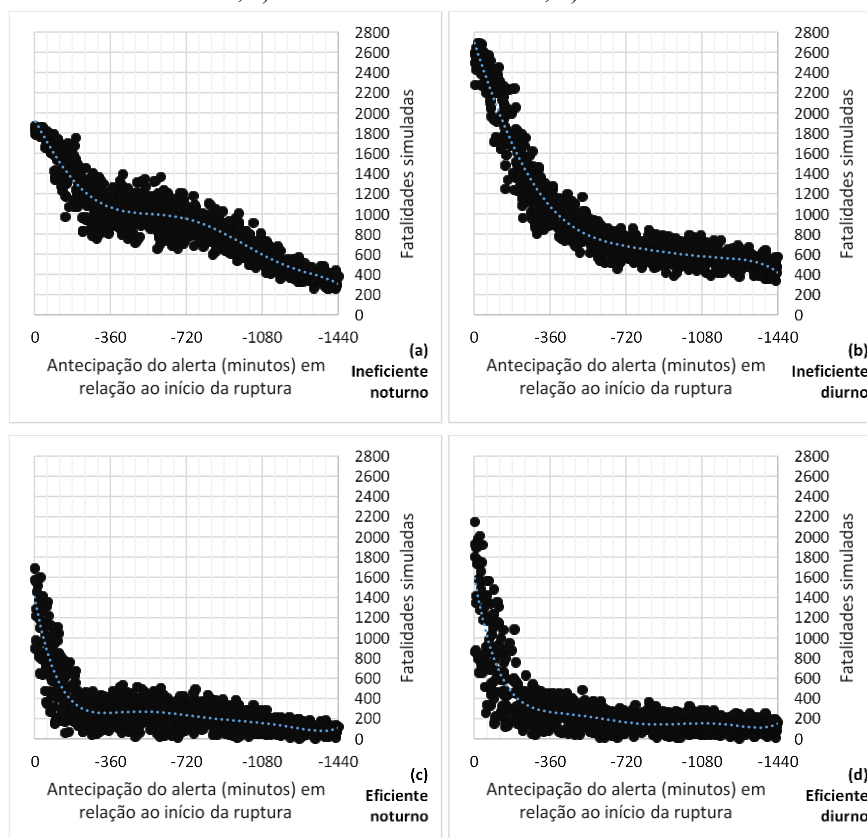


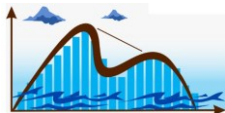
Para completar essas interações entre os módulos, foram incorporados ao modelo a malha viária, proveniente do *OpenStreetMap*, e determinados pontos de encontro fora da área inundável, que orientam a evacuação. Para cada cenário foram realizadas 1.000 simulações por aplicação do método Monte Carlo para sorteio dos parâmetros com base probabilística entre os valores mínimos e máximos das faixas definidas para antecedência do alerta, curvas de alerta e mobilização. Além disso, a evacuação foi definida como ocorrendo 50% a pé e 50% em veículos automotivos.

RESULTADOS

Com base nos resultados das simulações (Figura 2), observa-se um efeito nítido no potencial de redução de fatalidades ao se incrementar os sistemas de alerta e a capacidade de mobilização no local, favorecendo a evacuação mais eficiente em caso de sinistro. Quando comparados os cenários ineficiente e eficiente para um evento noturno, constata-se um dano máximo quando o alerta é emitido sem antecedência em relação ao início do evento, com diferença média de fatalidades entre os cenários da ordem de 22%. Para o evento diurno, analisado segundo as mesmas premissas, essa diferença média entre os cenários é de 32%. Percebe-se o enorme potencial de redução de danos provido por melhora potencial na eficiência do alerta e mobilização. Quando analisada a simulação mais otimista de um alerta emitido com tempo de antecipação de 24 horas (1.440min), observa-se que, em ambos os períodos, o valor mínimo de dano simulado é 96% menor para o cenário eficiente comparado ao ineficiente.

Figura 2: Resultados das 1.000 simulações realizadas para cada cenário: a) cenário ineficiente noturno, b) cenário ineficiente diurno, c) cenário eficiente noturno, d) cenário eficiente diurno.





Constatou-se também a existência de limites relacionados ao tempo do alerta em relação à ocorrência do rompimento. Para o cenário eficiente, há um limite bem definido sobre o efeito da eficiência do alerta em aproximadamente 3 horas e meia de antecipação (210 minutos). Já para o cenário ineficiente, percebe-se uma redução mais suave de fatalidades à medida que se implementa alertas mais eficientes no que concerne o tempo de antecipação.

Observa-se que, para simulações com tempos similares de antecipação de alerta, as estimativas de fatalidades podem sofrer variações significativas. Essas variações ocorrem devido à ineficiência ou eficiência da evacuação (mobilização da população), analisada de forma probabilística nos testes realizados, o que remete à relevância da informação e do treinamento da população.

CONCLUSÕES

O conjunto de resultados apresentados demonstra um grande potencial de redução de fatalidades por meio da otimização dos sistemas de identificação de possíveis falhas, sistemas de difusão de alerta e organização de serviços relacionados à evacuação, incluindo a capacitação e educação de profissionais envolvidos com a gestão e operação e de civis potencialmente impactados.

Os resultados demonstram que o cenário de rompimento diurno é mais crítico do que o cenário noturno. Isso se explica pela presença de atividades comerciais na área, implicando em uma maior população exposta ao risco em horário comercial. Apesar de não ter sido considerada nas simulações, também é de se esperar uma maior população transitando pela área de risco durante horários comerciais, assim como uma consequente dificuldade de evacuação na área potencialmente atingida devido a condições de trânsito menos favoráveis, que podem ter efeitos bem negativos na evacuação.

REFERÊNCIAS

- DINÉSIO FRANCO ENGENHARIA/GEOTECNIA (2015). *Plano de Segurança, Relatório, Volume IV - Plano de Ação de Emergência – PAE*. P1503-SUDECAP-S-BA-RL-05-GE_r0.
- JONKMAN, S. N.; VAN GELDER, P.H.A.J.M.; VRIJLING, J. K. (2003). “An overview of quantitative risk measures for loss of life and economic damage”. *Journal of Hazardous Materials* 99(1), pp. 1-30.
- SILVA, A. F. R. (2020) *Análise da Aplicabilidade de Modelos de Estimativa de Perdas de Vidas para Inundações Provenientes de Rupturas de Barragens de Rejeitos*. 180f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) — UFMG.
- SILVA, A. F. R.; ELEUTÉRIO, J. C.; NASCIMENTO, N. O.; PALMIER, L. R.. (2020) “Análise de exposição da população do vale a jusante da barragem da Lagoa da Pampulha a inundações – Belo Horizonte/MG”. In: Encontro Nacional de Desastres, 2. ABRH.
- SORENSEN, J.; MILETI, D. (2015a). *First Alert or Warning Diffusion Time Estimation for Dam Breaches, Controlled Dam Releases and Levee Breaches or Overtopping*. USACE.
- SORENSEN, J.; MILETI, D. (2015b). *Protective Action Initiation Time Estimation for Dam Breaches, Controlled Dam Releases, and Levee Breaches or Overtopping*. USACE.
- USACE (2018). *Life Loss Estimation (HEC-LifeSim)*. Version 1.01. Davis, Califórnia.