

MODELAGEM DE FALHAS EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA FRENTE A AMEAÇAS CLIMÁTICAS E OPERACIONAIS

Luís Eduardo de Souza Cintra¹ ; Ianca Peixoto Miranda²; Tainan Rodrigues Corrêa³; Ricardo Domingos dos Santos Junior⁴; Weslle da Rocha Silva⁵; Gustavo Lima de Barros⁶; Maria Mercedes Gamboa-Medina⁷

RESUMO - Sistemas de abastecimento de água precisam atender as demandas da população mesmo diante de ameaças como eventos climáticos extremos e problemas operacionais como parte da infraestrutura urbana interligada. A análise do comportamento hidráulico do sistema perante essas ameaças pode ser um elemento importante para a tomada de decisão, mas requer a representação correta dos impactos, incorporando as falhas específicas que possam ser consequência. Neste trabalho, a revisão de literatura permite identificar quais as principais ameaças enfrentadas pelos sistemas de abastecimento, os impactos que elas geram, e as formas de representá-las em modelos hidráulicos. Foi encontrado que, mesmo analisando uma grande variedade de ameaças, há um conjunto relativamente pequeno de tipos de impacto no sistema. Além de propor estratégias específicas para a representação desses impactos em modelos como EPANET, são apresentados exemplos de análise dos efeitos no atendimento da demanda para uma rede de teste. Mostra-se que é possível incorporar a análise de ameaças por eventos extremos e problemas operacionais à simulação hidráulica dos sistemas de abastecimento, com potencial para contribuir no planejamento estratégico e operacional dos sistemas para fazê-los mais resilientes.

Palavras-chave: Redes de distribuição de água; Modelagem de falhas; Mudanças climáticas.

ABSTRACT - Water supply systems need to meet the population's demands even in the face of threats such as extreme weather events and operational problems as part of the interconnected urban infrastructure. Analyzing the hydraulic behavior of the system in the face of these threats can be an important element for decision-making, but it requires the correct representation of impacts, incorporating specific failures that may result. In this work, a literature review identifies the main threats faced by water supply systems, the impacts they generate, and ways to represent them in hydraulic models. It was found that, even when analyzing a wide variety of threats, there is a relatively small set of impact types on the system. In addition to proposing specific strategies for representing these impacts in models such as EPANET, examples of analyzing the effects on demand fulfillment for a test network are presented. It is shown that it is possible to incorporate the analysis of threats from extreme events and operational problems into the hydraulic simulation of water supply systems, with the potential to contribute to the strategic and operational planning of systems to make them more resilient.

Keywords: Water supply systems; Hydraulic failures; Extreme climate events.

INTRODUÇÃO

Os sistemas de distribuição de água são infraestruturas críticas responsáveis por atender às demandas dos usuários e dar suporte ao funcionamento das atividades socioeconômicas. Entretanto, esses sistemas estão sujeitos a ameaças como a ocorrência de eventos extremos relacionados a fatores climáticos, ou problemas em alguma etapa dos múltiplos processos de operação do sistema. Além

^{1,2,3,4,5,6,7} Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Escola de Engenharia de São Carlos, Av. Trab. São Carlense, 400 - Centro, São Carlos, 13566-590, São Paulo, Brasil. E-mails: luis.cintradu@usp.br, iancapmiranda@usp.br, tainan@usp.br, ricardo.domingos.santos@usp.br, gustavo.barros@usp.br, mmgamboam@usp.br

disso, por integrarem um conjunto de infraestruturas urbanas interdependentes, os sistemas de abastecimento de água estão sujeitos a efeitos indiretos e a falhas em cascata, em que uma perturbação localizada pode se propagar entre ativos e serviços, ampliando a magnitude dos danos e a complexidade dos desafios associados à gestão operacional e à recuperação do sistema (BRUNNER *et al.*, 2024; CHATZISTEFANOU *et al.*, 2026).

Pesquisas recentes têm avançado na identificação das principais ameaças climáticas e operacionais que afetam os sistemas de abastecimento de água, bem como na discussão de seus efeitos sobre a vulnerabilidade e a resiliência desses sistemas. Revisões recentes indicam que secas, inundações, incêndios florestais, degradação da qualidade da água, elevação do nível do mar e eventos compostos podem comprometer diferentes etapas do abastecimento, desde a disponibilidade e qualidade da água bruta até a operação de estações de tratamento, bombeamento, reservação e distribuição (HOWARD *et al.*, 2026).

Em paralelo, diversos estudos têm buscado representar, de forma mais específica, os efeitos de eventos extremos ou falhas isoladas sobre componentes dos sistemas de abastecimento. No caso de inundações, os impactos podem incluir o aumento da turbidez e da carga de matéria orgânica na captação, danos elétricos e operacionais em estações de tratamento, além do risco de intrusão de contaminantes na rede de distribuição em situações de baixa pressão (ARRIGHI *et al.*, 2017). Incêndios florestais podem provocar despressurização da rede, danos a hidrantes, válvulas, hidrômetros e reservatórios, além de episódios de contaminação por compostos orgânicos voláteis (PROCTOR *et al.*, 2020). Situações de escassez hídrica, por sua vez, podem induzir regimes de abastecimento intermitente, uso de fontes alternativas, caminhões-pipa e armazenamento domiciliar, com efeitos sobre a quantidade e a qualidade da água fornecida (SALEHI, 2022). De modo semelhante, falhas energéticas podem comprometer diretamente a operação de estações elevatórias e reduzir a capacidade de atendimento, especialmente em redes dependentes de bombeamento (KLISE *et al.*, 2022).

Apesar desses avanços, grande parte das abordagens permanece fragmentada entre estudos voltados à caracterização conceitual das ameaças e estudos aplicados a eventos ou mecanismos específicos de falha. Assim, ainda há uma lacuna metodológica relacionada à tradução sistemática de ameaças climáticas e operacionais em perturbações representáveis em modelos computacionais do comportamento hidráulico dos sistemas.

Nesse contexto, este artigo tem como objetivo propor uma estrutura metodológica para representar, dentro da modelagem hidráulica de sistemas de abastecimento de água, as falhas que constituem o impacto das diferentes ameaças, com ênfase em eventos extremos e em seus efeitos diretos e indiretos sobre a infraestrutura. Nas seções seguintes são identificados, com suporte na revisão da literatura, os principais tipos de ameaças, seus impactos potenciais sobre os componentes do sistema e as formas de representação em modelos hidráulicos. Adicionalmente é apresentado um exemplo de modelagem e análise dos resultados de dois dos mais comuns tipos de impacto no modelo hidráulico.

METODOLOGIA

A metodologia segue uma abordagem sequencial. Inicialmente, a través de revisão da literatura foram identificadas as ameaças, e os seus impactos associados, para os sistemas de abastecimento de água. Em seguida, esses impactos foram traduzidos em modos de falha representáveis em modelos hidráulicos. Por fim, a estrutura foi aplicada a uma rede teste, considerando rupturas de tubulações e falhas em bombas, e seus efeitos foram avaliados por meio do índice disponibilidade do serviço de água (WSA).

Mapeamento das ameaças

A identificação dos tipos de ameaça a incluir neste estudo baseou-se em buscas na base de dados Scopus. Essa pesquisa limitou-se a artigos nos quais as expressões escolhidas aparecem no título, no resumo ou nas palavras-chave. A revisão realizada é do tipo narrativa, iniciando com termos mais abrangentes, como "*extreme events*", "*flood*", "*fire*", "*intermittent*". A expressão adicional "*water distribution network*" esteve presente em todas as consultas iniciais, delimitando o escopo desejado para esse trabalho. As buscas seguiram com foco nos impactos, diretos e indiretos, de cada uma dessas ameaças para os sistemas de abastecimento de água, acrescentando para tanto os termos de busca relacionados a eles. Além das buscas por termos, outra estratégia para inclusão de artigos foi a de analisar as referências e/ou citações dos trabalhos previamente selecionados pela sua maior aderência ao tema da pesquisa.

Representação dos impactos no modelo hidráulico

Após a análise de todos os impactos que potencialmente atingem os sistemas de abastecimento de água por conta das diferentes ameaças, foi identificado que muitos deles repetem-se para muitas ameaças simultaneamente. Cada um dos impactos então foi então associado a uma Falha em um ou mais elementos do sistema. Entende-se aqui como falha toda alteração nas características do elemento que faz com que seu estado (e em geral o estado do sistema) seja diferente do da situação base.

Considerando a simulação do funcionamento hidráulico do sistema de distribuição de água com um modelo em EPANET ou compatível, foi procurada a melhor forma de implementar cada falha. Em alguns casos o procedimento está bem estabelecido na literatura, mas em outros casos foram testadas várias alternativas até chegar à representação proposta. A incorporação de falhas no sistema incluiu supressão do elemento, alteração da sua conectividade, alteração dos seus parâmetros (de quantidade ou qualidade), ou ainda substituição por outros elementos, na forma detalhada na seção seguinte. Foram identificados também os parâmetros adicionais que precisam ser determinados para atribuir características específicas a cada falha simulada, como local e momento de incidência e grandeza da falha.

Implementação em rede de teste

A estrutura proposta de modelagem foi testada para um sistema de distribuição de água correspondente a um pequeno setor alimentado por um poço (modelado como reservatório de nível fixo) desde o qual uma bomba permite o escoamento para um reservatório elevado (modelado como reser-

vatório de nível variável). A partir do reservatório elevado, dá-se a distribuição através de rede com 363 nós, 415 tubulações e 1 válvula. Foi utilizado um modelo de EPANET, com análise dirigida por pressão (PDA), para período estendido de 24 horas. Inicialmente, foram analisadas as variáveis de maior interesse e foi verificado que a falha simulada estaria de fato representando o impacto desejado.

Para avaliar de forma condensada o impacto de cada falha modelada, foi escolhido o índice de disponibilidade do serviço de água (WSA, pela sigla em inglês), proposto por Zhuang, Lansey e Kang (2013). Essa métrica expressa a razão entre a vazão efetivamente disponível nos nós da rede durante a condição de falha e a vazão demandada no cenário de referência, permitindo quantificar a capacidade remanescente do sistema em atender à demanda da população ao longo do período simulado. Valores próximos de 1 indicam manutenção do atendimento, enquanto valores próximos de 0 indicam forte comprometimento da disponibilidade do serviço de água. Finalmente, foi analisada então a variação desse índice com a variação nas características das falhas simuladas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A seguir, são apresentados brevemente os resultados quanto à consolidação das ameaças para os sistemas de abastecimento de água, seus impactos e formas de representação, depois, sobre as estratégias de modelagem das falhas, e finalmente um exemplo de análise de falhas modeladas no desempenho de uma rede. A seguir, são apresentados brevemente os resultados quanto à consolidação das ameaças para os sistemas de abastecimento de água, seus impactos e formas de representação, depois, sobre as estratégias de modelagem das falhas, e finalmente um exemplo de análise de falhas modeladas no desempenho de uma rede.

Sistematização das ameaças e formas de representação

O Quadro 1 apresenta um resumo sobre as ameaças encontradas, quais os impactos na rede de distribuição, como representá-los no modelo hidráulico, e as fontes das informações. Os impactos na rede de distribuição indicam uma interdependência entre os elementos do sistema de distribuição, e é comum estarem repetidos em mais de uma ameaça. Quanto as formas de representação das falhas, de modo geral, podem ser desativar elementos afetados, considerar a possibilidade de contaminação com base em pressões internas e externas à rede, ou considerando junções, reservatórios e tubos como possíveis fontes de contaminação.

Modelagem

Entre os modos de falha identificados, foram selecionados vazamentos, rupturas, redução de disponibilidade hídrica e falhas de bombeamento, para implementação por representarem mecanismos recorrentes, diretamente modeláveis em simuladores hidráulicos e aplicáveis a diferentes ameaças. Os cenários de falha foram gerados a partir de um modelo hidráulico de referência, denominado modelo base. As simulações hidráulicas foram executadas utilizando o modelo PDA (*Pressure Driven Analysis*), visando representar o comportamento da rede sob condições de baixa pressão. Para cada cenário, uma cópia independente da rede foi criada, de modo que apenas uma condição de falha fosse aplicada por simulação.

Quadro 1: Ameaças, impactos em sistemas de abastecimento de água e formas de representação em modelos hidráulicos e de qualidade da água da rede.

Ameaças	Impacto na rede	Representação no modelo	Fontes
Inundação	Falha de bombas, reservatórios e junções; contaminação por intrusão; perda de pressão e população não atendida	Desativação de componentes inundados; comparação entre pressão externa e interna; simulação em período estendido com demanda dependente de pressão	(ARRIGHI <i>et al.</i> , 2017); (APEL <i>et al.</i> , 2009)
Incêndio florestal/urbano	Abertura de hidrantes, vazamentos, despressurização, danos físicos e contaminação por compostos orgânicos voláteis	Hidrantes como demandas adicionais; vazamentos como emissores/orifícios; simulação dependente de pressão	(PROCTOR <i>et al.</i> , 2020); (METZ; FISCHER; FARRIS, 2026)
Seca/redução da disponibilidade hídrica	Redução da capacidade de atendimento, queda de níveis em reservatórios, pressões insuficientes e intermitência	Redução de nível/carga em reservatórios; limitação de vazão de entrada; simulação com demanda dependente de pressão; simulação com EPA-SWMM; adaptação dos padrões de demanda	(GOTTIPATI; NANDURI, 2014); (CAMPISANO; GULLOTTA; MODICA, 2018); (SHAH; PATEL, 2026); (ANDEY; KELKAR, 2009); (SOUZA <i>et al.</i> , 2026)
Falha elétrica	Parada de estações elevatórias, redução de pressão, esvaziamento de reservatórios e interrupção do abastecimento	Alteração do status das bombas para desligado durante o intervalo de falha	(ARRIGHI <i>et al.</i> , 2017)
Intrusão de contaminantes	Contaminação da água distribuída, exposição da população e necessidade de lavagem da rede	Injeção pontual de contaminante, simulação de qualidade da água, fonte de contaminante pode ser representada como reservatório	(OSTFELD <i>et al.</i> , 2008); (SHAH; PATEL, 2026)
Refluxo/conexão cruzada	Entrada de água não potável na rede e risco microbiológico	Entrada pontual de contaminante; árvore de falhas; simulação hidráulica e avaliação de risco microbial	(VIÑAS <i>et al.</i> , 2022)
Lixiviação de compostos	Alteração da qualidade da água por compostos liberados pelas paredes dos tubos	Modelo cinético acoplado ao modelo hidráulico, com uso de EPANET-MSX	(CANTONI <i>et al.</i> , 2021)

Vazamentos

Os cenários de vazamento foram simulados considerando a ocorrência de uma perda localizada associada a cada tubulação da rede. Para isso, cada tubo do modelo foi selecionado individualmente e uma área de vazamento foi calculada como uma fração da área da seção transversal da tubulação. O vazamento foi representado por meio de um coeficiente emissor inserido no nó inicial da tubulação afetada. Esse coeficiente foi estimado a partir da equação de descarga por orifício:

$$Q = C_d A_{pipe} \cdot r \sqrt{2gh} \quad (1)$$

em que A_{pipe} é a área da seção transversal da tubulação e r é a razão entre a área do vazamento e a área do tubo, C_d é o coeficiente de descarga, g é a aceleração da gravidade e h é a carga de pressão.

Rupturas de tubulações

A representação hidráulica da ruptura foi realizada a partir da remoção da tubulação original do modelo. Em seguida, foram criadas duas junções no ponto de ruptura, correspondentes às extremidades desconectadas do tubo removido. Essas junções foram conectadas a um reservatório de nível fixo, cuja carga hidráulica foi definida como igual à cota estimada no ponto médio da tubulação rompida, representando uma condição de descarga para a atmosfera. Além disso, em cada conexão entre a rede e o reservatório, foi adicionada uma válvula de retenção, permitindo que o escoamento ocorra apenas no sentido da rede para o ponto de ruptura, impedindo o fluxo reverso do reservatório "virtual" para o sistema.

Redução de disponibilidade hídrica

Os cenários de indisponibilidade hídrica foram utilizados para representar situações de redução da disponibilidade de água ou da carga hidráulica associada aos reservatórios do sistema. Para cada reservatório presente no modelo, foram gerados cenários independentes com diferentes fatores de redução. A carga hidráulica base do reservatório foi multiplicada por um fator de disponibilidade:

$$H_{red} = H_{base} \cdot \alpha \quad (2)$$

em que H_{red} é a carga hidráulica reduzida do reservatório, H_{base} é a carga hidráulica original e α é o fator de disponibilidade hídrica.

Falhas operacionais em bombas

As falhas em bombas foram simuladas por meio da interrupção temporária da operação de cada bomba do sistema. Para cada bomba, foram gerados cenários considerando diferentes horários de início da falha e diferentes durações. A falha foi implementada como um período de desligamento operacional da bomba, iniciado em um tempo t_0 e finalizado em $t_0 + \Delta t$, em que t_0 representa o horário de início da falha e Δt sua duração:

$$t_{fim} = t_0 + \Delta t \quad (3)$$

Durante esse intervalo, a bomba é retirada de operação, simulando uma condição de falha mecânica, elétrica ou operacional. Após o término do período de falha, uma regra de retorno à operação é adicionada ao modelo, permitindo que a bomba volte a funcionar após o intervalo definido.

As falhas de vazamento, ruptura e indisponibilidade hídrica foram aplicadas como condições presentes ao longo da simulação hidráulica, enquanto as falhas em bombas foram representadas como eventos temporais, definidos por um horário de início e uma duração específica. O código utilizado para modelagem das falhas foi gerado com base na biblioteca WNTR (KLISE *et al.*, 2017) e está disponível em <<https://github.com/cintradu/ENAU-Modelling>>.

Avaliação do impacto de rupturas e falhas de bombeamento na população atendida

A Figura 1 apresenta o impacto da ruptura individual de cada tubulação sobre o desempenho global da rede, considerando o índice WSA médio do sistema. Nesse resultado, cada cenário foi construído a partir da remoção de uma tubulação específica, e a cor atribuída ao trecho representa o nível médio de atendimento populacional obtido após essa falha.

Observa-se que as tubulações localizadas em regiões mais centrais da rede apresentam maior criticidade. Quando a ruptura ocorre nesses trechos, destacados em vermelho, o índice WSA tende a valores próximos de zero, indicando forte comprometimento da capacidade do sistema em atender a demanda requerida pela população. Por outro lado, as rupturas em tubulações localizadas em regiões mais periféricas tendem a produzir impactos menos abruptos no desempenho global. Nesses casos, embora possa haver redução do atendimento em áreas específicas, o índice WSA permanece mais elevado, indicando que a maior parte da população continua sendo atendida.

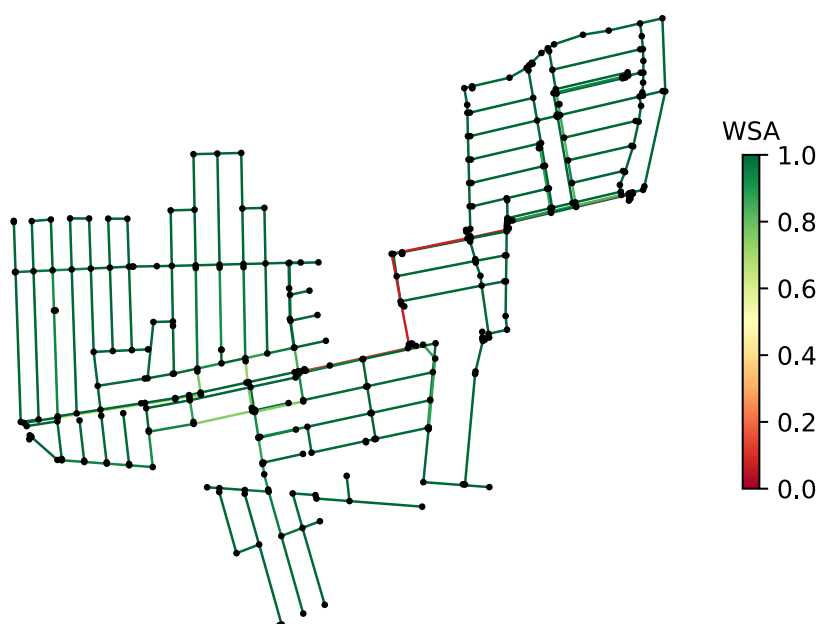


Figura 1: Impacto da ruptura individual de tubulações sobre o atendimento populacional da rede, avaliado pelo índice WSA médio do sistema. A coloração de cada trecho representa o desempenho global da rede quando aquela tubulação é removida do modelo hidráulico.

Na Figura 2 observa-se que as primeiras reduções do índice WSA só passam a ser verificadas a partir da quarta hora da simulação, independentemente da duração ou do horário de início do evento. Esse comportamento indica que o impacto da falha de bombeamento não é necessariamente imediato, pois o sistema ainda consegue manter o atendimento populacional durante as primeiras horas do evento. Esse atraso está associado à capacidade de armazenamento que consegue manter a demanda nas primeiras horas após a falha da bomba.

Após esse período inicial, o impacto da falha passa a se manifestar pela queda do índice WSA. O deslocamento das curvas ao longo do eixo do tempo está relacionado ao horário de início da falha, enquanto a largura do vale de desempenho está associada à duração do evento. Assim, falhas com maior duração tendem a manter o sistema por mais tempo em condição crítica, reduzindo a população atendida. Quando a bomba é religada, o índice WSA tende a retornar a valores próximos de 1, indicando a recuperação da capacidade de atendimento da rede.

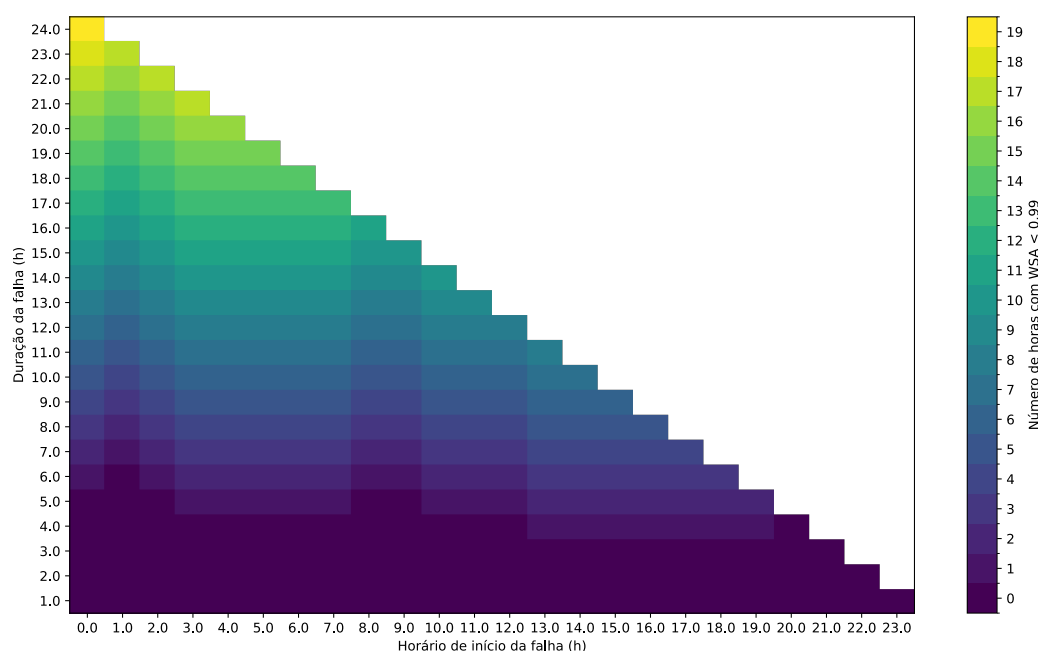


Figura 2: Impacto da ruptura individual de tubulações sobre o atendimento populacional da rede, avaliado pelo índice WSA médio do sistema. A coloração de cada trecho representa o desempenho global da rede quando aquela tubulação é removida do modelo hidráulico.

CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou uma estrutura conceitual e metodológica para representar falhas em sistemas de abastecimento de água a partir de ameaças climáticas e operacionais identificadas na literatura. A sistematização realizada permitiu relacionar diferentes tipos de ameaça, como inundações, incêndios, secas, falhas elétricas e intrusões de contaminantes, aos seus impactos potenciais na rede e às formas de representação em modelos hidráulicos. Com isso, o estudo contribui para organizar a tradução entre eventos externos, modos de falha e procedimentos de simulação computacional.

A aplicação em rede teste demonstrou o uso da estrutura proposta para avaliar cenários de

ruptura de tubulações e falhas de bombeamento por meio do índice de disponibilidade do serviço de água (*WSA*). Os resultados indicaram que a criticidade das falhas depende tanto da localização dos componentes afetados quanto da duração e do momento de ocorrência do evento. Assim, a abordagem proposta pode apoiar estudos futuros voltados à análise de impactos.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

- ANDEY, S. P.; KELKAR, P. S. Influence of intermittent and continuous modes of water supply on domestic water consumption. **Water Resources Management**, v. 23, n. 12, p. 2555–2566, 2009. ISSN 0920-4741.
- APEL, H. *et al.* Flood risk analyses—how detailed do we need to be? **Natural Hazards**, v. 49, n. 1, p. 79–98, abr. 2009. ISSN 1573-0840. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11069-008-9277-8>>.
- ARRIGHI, C. *et al.* Flood impacts on a water distribution network. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v. 17, n. 12, p. 2109–2123, dez. 2017. ISSN 1561-8633. Disponível em: <<https://nhess.copernicus.org/articles/17/2109/2017/>>.
- BRUNNER, L. *et al.* Understanding cascading risks through real-world interdependent urban infrastructure. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 241, p. 109653, jan. 2024. ISSN 09518320. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0951832023005677>>.
- CAMPISANO, A.; GULLOTTA, A.; MODICA, C. Using EPA-SWMM to simulate intermittent water distribution systems. **Urban Water Journal**, v. 15, n. 10, p. 925–933, nov. 2018. ISSN 1573-062X, 1744-9006. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/1573062X.2019.1597379>>.
- CANTONI, B. *et al.* Bisphenol A leaching from epoxy resins in the drinking water distribution networks as human health risk determinant. **Science of The Total Environment**, v. 783, p. 146908, ago. 2021. ISSN 0048-9697. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969721019781>>.
- CHATZISTEFANOU, G. A. *et al.* Criticality, resilience and prioritization of components in interdependent infrastructure systems: An overview of definitions and quantitative modelling approaches. **Resilient Cities and Structures**, Elsevier B.V., v. 5, n. 1, p. 118–132, 2026. ISSN 2772-7416.
- GOTTIPATI, P. V. K. S. V.; NANDURI, U. V. Equity in water supply in intermittent water distribution networks. **Water and Environment Journal**, v. 28, n. 4, p. 509–515, 2014. ISSN 1747-6593. _eprint: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1111/wej.12065>. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/wej.12065>>.
- HOWARD, G. *et al.* The Vulnerability and Resilience of Drinking Water Systems to Extreme Weather Events and Future Climate Change. **Current Environmental Health Reports**, Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, v. 13, n. 1, 2026. ISSN 2196-5412.
- KLISE, K. *et al.* Resilience Analysis of Potable Water Service after Power Outages in the U.S. Virgin Islands. **Journal of Water Resources Planning and Management**, American Society of Civil Engineers (ASCE), v. 148, n. 12, 2022. ISSN 0733-9496.
- KLISE, K. A. *et al.* A software framework for assessing the resilience of drinking water systems to disasters with an example earthquake case study. **Environmental Modelling & Software**, v. 95, p. 420–431, set. 2017. ISSN 13648152. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364815216309501>>.

METZ, A. J.; FISCHER, E. C.; FARRIS, H. S. Development and validation of a pressure-dependent hydraulic modeling framework for water systems under wildfire conditions. **Fire Safety Journal**, v. 162, p. 104709, jul. 2026. ISSN 0379-7112. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0379711226000779>>.

OSTFELD, A. *et al.* The Battle of the Water Sensor Networks (BWSN): A Design Challenge for Engineers and Algorithms. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 134, n. 6, p. 556–568, nov. 2008. ISSN 0733-9496, 1943-5452. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%290733-9496%282008%29134%3A6%28556%29>>.

PROCTOR, C. R. *et al.* Wildfire caused widespread drinking water distribution network contamination. **AWWA Water Science**, John Wiley and Sons Inc, v. 2, n. 4, 2020. ISSN 2577-8161.

SALEHI, M. Global water shortage and potable water safety; Today's concern and tomorrow's crisis. **Environment International**, v. 158, p. 106936, jan. 2022. ISSN 0160-4120. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412021005614>>.

SHAH, K. V.; PATEL, H. M. Source Contamination Detection and Identification of Affected Spots in the Intermittent Water Supply System Using Mixed Tool-Based and Data-Driven Machine Learning Techniques. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 152, n. 3, p. 04026001, mar. 2026. ISSN 0733-9496, 1943-5452. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/10.1061/JWRMD5.WRENG-7171>>.

SOUZA, R. G. *et al.* Optimal partitioning and operation of water distribution networks under intermittent conditions: A case study of Modena network. **Water Science and Engineering**, v. 19, n. 1, p. 120–131, mar. 2026. ISSN 1674-2370. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S167423702500105X>>.

VlñAS, V. *et al.* Cross-connections in drinking water distribution networks: Quantitative microbial risk assessment in combination with fault tree analysis and hydraulic modelling. **Science of The Total Environment**, v. 831, p. 154874, jul. 2022. ISSN 00489697. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969722019672>>.

ZHUANG, B.; LANSEY, K.; KANG, D. Resilience/Availability Analysis of Municipal Water Distribution System Incorporating Adaptive Pump Operation. **Journal of Hydraulic Engineering**, American Society of Civil Engineers, v. 139, n. 5, p. 527–537, maio 2013. Disponível em: <<https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29HY.1943-7900.0000676>>.