ESG - ENVIRONMENTAL,SOCIAL AND GOVERNANCE
SINGEURB
IV Simpósio Nacional de Engenharia Urbana

Rio de Janeiro, 22 a 24 de novembro de 2023

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DO IMPACTO DAS INUNDAÇÕES NO FUNCIONAMENTO DA INFRAESTRUTURA CRÍTICA DE TRANSPORTE RODOVIÁRIO

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF THE FLOODS IMPACT ON THE OPERATION OF ROAD TRANSPORTATION CRITICAL INFRASTRUCTURE

BATTEMARCO, Bruna P.[1]; REZENDE, Osvaldo M.[2]; MIGUEZ, Marcelo G.[3]

[1] Programa de Engenharia Urbana, Universidade Federal do Rio de Janeiro, brunabattemarco@eng.uerj.br
[2] Programa de Engenharia Ambiental e Mestrado Profissional em Arquitetura Paisagística, Universidade Federal do Rio de Janeiro,omrezende@poli.ufrj.br
[3] Programa de Engenharia Urbana, Programa de Engenharia Ambiental e Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, marcelomiguez@poli.ufrj.br

RESUMO

As inundações urbanas são eventos disruptivos capazes de gerar falhas em infraestruturas, desencadeando efeitos em cascata. Isso ocorre devido à interdependência entre os diferentes sistemas responsáveis por fornecer bens e serviços essenciais, denominados infraestruturas críticas, como a de transporte. Nesse sentido, este trabalho buscaavaliar o impacto das inundações no funcionamento da infraestrutura crítica de transporte rodoviário, visto que a manutenção do sistema em funcionamento é um dos pilares da resiliência urbana, pela possibilidade de continuar acessando serviços de apoio e prestando socorro.Para isso, é utilizado o Índice de Integridade do Sistema de Transporte Rodoviário, composto por dois indicadores: Indicador de Severidade do Impactonas Vias eIndicador de Redução de Velocidade. O índice foi aplicado à bacia do Rio Acari, no Rio de Janeiro, considerando a situação atual e um cenário de projeto, com medidas corretivas para falhas de drenagem. Os resultados demonstraram o impacto significativo das inundações na infraestrutura de transporte da região, com o cenário de projeto apresentando um valor mais de 20% superior ao da situação atual. Entretanto, ficou evidente a necessidade de implementar medidas adicionais para aumentar a resiliência destesistema, abrangendo aspectos como resistência, redundância e otimização da recuperação das vias.

Palavras-chave: Inundações urbanas, Efeitos em cascata, Infraestrutura crítica de transporte.

ABSTRACT

Urban floods are disruptive events capable of causing infrastructures failures, triggering cascading effects. This fact occurs due to the interdependence among several urban systems responsible for providing essential goods and services, known as critical infrastructures, such as transportation is an example. Therefore, this study aims to assess the impact of floods on the critical infrastructureof road transportation, as maintaining thissystem operation is a pillar tourban resilience, since maintaining mobility is key for continuing providing services and civil defense aid. The Road Transportation System Integrity Index is usedfor this purpose, and it is composed bytwo indicators: Road Impact Severity Indicator and Speed Reduction Indicator. The index was applied to the Acari River watershed in Rio de Janeiro, considering the current situation and a design scenario with corrective measures for the drainage system flaws. The results demonstrated a significant impact of floods on the local transportation infrastructure, with the design scenario showing a value more than 20% higher than that of the current situation. However, the need to implement additional measures to enhance the system resilience, including aspects like resistance, redundancy, and optimization of road recovery, became evident.

***Keywords**: Urban floods, Cascading effects, Transportation critical infrastructure.*

1 INTRODUÇÃO

As inundações urbanas são um dos principais desafios para as cidades e causam inúmeras perdas e danos (HOANG, FENNER, 2016), como a ameaça à vida, danos materiais e falhas em infraestruturas, no curto prazo, o aumento do risco de disseminação de doenças transmitidas pela água, a curto e médio prazo, e consequências econômicas para além da área diretamente afetada, no longo prazo (HAMMOND *et al.*, 2015).

Essas consequências capazes de ultrapassar os limites das regiões diretamente afetadas ocorre, na maioria das vezes, devido aos efeitos cascata, que são gerados quando a interrupção do funcionamento de uma infraestrutura causa a falha de um componente em outra infraestrutura, que subsequentemente causa uma interrupção ainda em outra infraestrutura (HILLY *et al.*, 2018).Isso acontece devido à interdependência existente entre os diversos sistemas urbanos responsáveis por fornecer bens e serviços essenciais(QUITANA *et al.*, 2020), chamados de infraestruturas críticas.O Decreto Nº 10.566/2020, que aprova a Estratégia Nacional de Segurança de Infraestruturas Críticas, classifica as infraestruturas de comunicações, de energia, de transportes, de finanças e de águas, entre outras, como críticas (BRASIL, 2020).

Pode-se citar como exemploas vias que compõem a infraestrutura crítica de transporte, que, como destacado por Fekete(2019), possuem um papel fundamental, pois também funcionam como uma infraestrutura transversal de apoio a um grande número de outras infraestruturas, por exemplo, permitindo o acesso de carros de resgate a áreas afetadas por inundação e de viaturas de manutenção e reparação a regiões com ativos alagados, danificados ou que necessitem ser verificados no local. Portanto, uma via é um componente importante do arcabouço de resiliência de uma dada região, pois influencia na rapidez de acesso e também na rapidez de reparação (FEKETE, 2019).

Cabe ressaltar que as infraestruturas de transportepossuem alta probabilidade de exposição à inundação (HILLY *et al.*, 2018) e asua ocorrência impacta o tráfego de diversas maneiras, incluindo o redirecionamento do tráfego, a redução da velocidade de deslocamento, o aumento do tempo de deslocamento, o

congestionamento e até mesmo o aumento dos níveis de poluição (STEVENS *et al.*, 2020).

Nesse contexto, este trabalho tem porobjetivo avaliar o impacto das inundações no funcionamento da infraestrutura crítica de transporte rodoviário, tendo em vista que a manutenção do sistema em funcionamento, evitando potenciais efeitos em cascata, que são efeitos de disrupções em sequência, pelo efeito de um sistema sobre o funcionamento do sistema vizinho. Este é um dos pilares da resiliência urbana. Esta avaliação é realizada por meio da proposição e aplicação de um índice, cuja capacidade de representação será testada em um estudo de caso, comparando a situação atual e um cenário de projeto que introduz medidas de correção das falhas do sistema de drenagem, a fim de avaliar soluções para incremento da resiliência da infraestrutura de transporte.

2 METODOLOGIA

Para avaliar os impactos das inundações no funcionamento dotransporte rodoviário, foi proposto um índice, denominado Índice de Integridade do Sistema de Transporte Rodoviário, que é calculado a partir do somatório ponderado de dois indicadores: o Indicador de Severidade das Vias e o Indicador de Redução de Velocidade.

O primeiro deles visa representar a interrupção do tráfego devido à inundação, levando em consideração a extensão de vias afetadas, ponderada pela importância da via de acordo com a sua hierarquia. Estudos como o de Stevens *et al.*(2020), por exemplo, consideram que, para lâminas de alagamento acima de 30 cm, o tráfego é interrompido. Já para carros maiores, é necessária uma lâmina limite de alagamento superior que a dos carros menores, com cerca de 50 cm(YIN *et al.*, 2017). No entanto, entende-se que carros menores afetados interferem na locomoção de veículos maiores. Assim, para quantificação da extensão de vias afetadas, nesse indicador, considerou-se 30 cm como lâmina limite de alagamento.

Cabe destacar que o sistema viário pode ser classificadoem sistema arterial principal, composto pelas vias estruturais e arteriais principais; em sistema arterial secundário; em sistema coletor; e em sistema local (DNIT, 2010). Desta forma, a hierarquia viária ajuda a compreender a importância de cada via na área de interesse, sendo, assim, possível prever que a ocorrência das inundações impacta a infraestrutura de transporte de maneira diferente.

A formulação adotada, apresentada na Equação (1), é proposta por Battemarco (2023) como uma adaptação daquela definida por Oliveira (2018). O indicador varia de 0 a 1 em que, quanto mais próximo de 1, maior é o impacto da inundação na interrupção do tráfego rodoviário. Destaca-se que se o resultado da Equação(1)for maior do que 1, seu valor deve ser igual a 1. De forma intencional, a formulação proposta não aplica o somatório dos pesos no denominador e, portanto, não representa uma porcentagem de vias afetadas ponderada pela sua importância. Isto porque o objetivo do indicador é representar a criticidade introduzida pela interrupção do tráfego e que não pode ser bem avaliada por meio de uma porcentagem, visto que as extensões totais de vias são significativas e existe um impacto indireto mesmo em vias não afetadas pela inundação, devido à dificuldade de acesso às mesmas.

$$I_{Sev} = \frac{1 \cdot L_{local-af} + 2 \cdot L_{coletora-af} + 3 \cdot L_{art\,2-af} + 4 \cdot L_{art\,1-af} + 5 \cdot L_{estrut-af}}{L_{local-T} + L_{coletora-T} + L_{art\,2-T} + L_{art\,1-T} + L_{estrut-T}} \quad (1)$$

Sendo:

I_{Sev} – Indicador de Severidade das Vias;

$L_{local-af}$ – Comprimento das vias locais afetadas;

$L_{coletora-af}$ - Comprimento das vias coletoras afetadas;

$L_{art\,2-af}$ - Comprimento das vias arteriais secundárias afetadas;

$L_{art\,1-af}$ - Comprimento das vias arteriais principais afetadas;

$L_{estrut-af}$ - Comprimento das vias estruturantes afetadas;

$L_{local-T}$ – Comprimento total das vias locais na área de análise;

$L_{coletora-T}$ - Comprimento total das vias coletoras na área de análise;

$L_{art\,2-T}$ - Comprimento total das vias arteriais secundárias na área de análise;

$L_{art\,1-T}$ - Comprimento total das vias arteriais principais afetadas na área de análise;

$L_{estrut-T}$ - Comprimento total das vias estruturantes afetadas na área de análise.

Já o segundo indicador, denominado Redução de Velocidades, visa representar a redução da velocidade das vias resultante da manutenção de lâminas de alagamento baixas (entre 10 e 30 cm), levando em consideração a relação entre a velocidade da via inundada e a velocidade da via sem inundação, em função da sua hierarquia, ponderada pela importância da via.A velocidade da via inundada tem como referência a formulação proposta por Pregnolato*et al.*(2017), que descreve a velocidade limite do veículo em km/h (V_i) em função da profundidade da inundação em mm(h), apresentada na Equação (2).

$$V_i = 0{,}0009h^2 - 0{,}5529h + 86{,}9448 \quad (2)$$

Destaca-se que, devido ao modelo matemático utilizado para obtenção das lâminas de alagamento, a equação deve ser aplicada para cada célula de escoamento e, posteriormente, ser calculada uma velocidade média para a estimativa final do valor do indicador.Desta forma, considera-se que veículos que utilizam rotas alternativas durante eventos de inundação também sofrerão a mesma redução de velocidade e que veículos maiores se ajustarão à velocidade dos veículos pequenos, apesar de sua capacidade de dirigir mais rápido nas vias afetadas.

Já a velocidade das vias sem inundação (e, portanto, secas) tem como referência a velocidade diretriz desejável recomendada pelo DNIT(2010)para cada classificação hierárquica de via.Os valores de velocidade da via sem inundação considerados na metodologia proposta segundo a hierarquia da via são: 90 km/h para vias estruturais, 70 km/h para vias arteriais principais, 60 km/h para vias arteriais secundárias e vias coletoras, e 40 km/h para vias locais. A formulação final do Indicador de Redução de Velocidades é, então, apresentada na Equação(3), em que o valor final do indicador varia entre 0 e 1. Quanto mais próximo de 1, maior o impacto da inundação na redução das velocidades das vias da área de análise.

$$I_{RedV} = \frac{\left(1 \cdot \frac{(V_{s,l} - V_i)}{V_{s,l}} + 2 \cdot \frac{(V_{s,c} - V_i)}{V_{s,c}} + 3 \cdot \frac{(V_{s,a2} - V_i)}{V_{s,a2}} + 4 \cdot \frac{(V_{s,a1} - V_i)}{V_{s,a1}} + 5 \cdot \frac{(V_{s,e} - V_i)}{V_{s,e}}\right)}{15} \quad (3)$$

Sendo:

I_{RedV} – Indicador de Redução de Velocidade;

V_i - Velocidade do veículo em via alagada (km/h);

$V_{s,l}$ - Velocidade do veículo em via local seca (km/h);

$V_{s,c}$ - Velocidade do veículo em via coletora seca (km/h);

$V_{s,a2}$ - Velocidade do veículo em via arterial secundária seca (km/h);

$V_{s,a1}$ - Velocidade do veículo em via arterial principal seca (km/h);

$V_{s,e}$ - Velocidade do veículo em via estrutural seca (km/h).

Por fim, o Índice de Integridade do Sistema de Transporte Rodoviário é calculado por meio da Equação(4). Na formulação proposta, considera-se que o impacto da interrupção do tráfego rodoviário é maior do que os efeitos de redução de velocidades no funcionamento da infraestrutura crítica de transporte. Assim, os pesos foram distribuídos com cerca de 2/3 do valor para o Indicador de Severidade das Vias e 1/3 para o Indicador de Redução de Velocidades.

$$I_T = 0{,}65 \cdot (1 - I_{Sev}) + 0{,}35 \cdot (1 - I_{RedV}) \quad (4)$$

Sendo:

I_T – Índice de Integridade do Sistema de Transporte;

I_{Sev}– Indicador de Severidade das Vias;

I_{RedV} – Indicador de Redução de Velocidade.

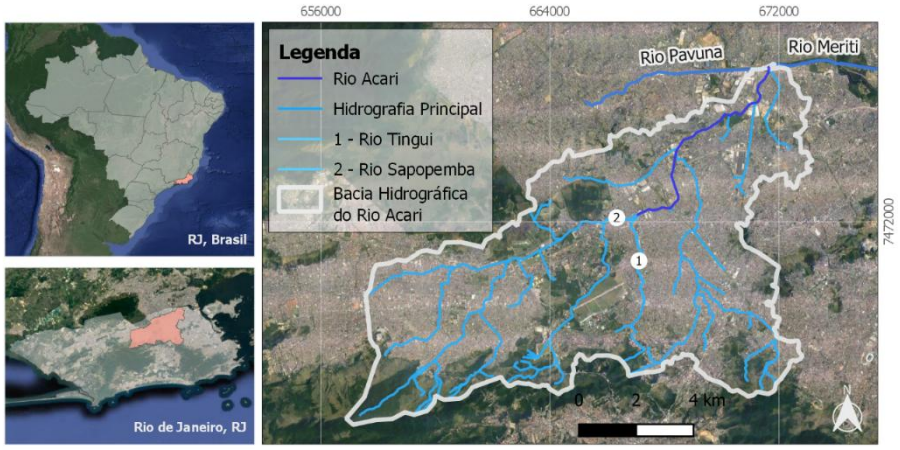
3 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso definido para a aplicação da metodologia proposta é a bacia hidrográfica do Rio Acari (

Figura 1), localizada na região norte do município do Rio de Janeiro. A Bacia do Rio Acari possui uma área de drenagem de mais de 140 km² e o rio que dá nome à bacia passa a ser assim denominado a partir da confluência entre os Rios Tingui e Sapopemba. O Rio Acari segue até encontrar o Rio Pavuna, formando o Rio Meriti, e tem seu deságue na Baía de Guanabara, que introduz efeitos de maré sobre o sistema fluvial.

A bacia sofre com eventos frequentes de inundação, evidenciando a sua propensão a esses eventos, seja devido às suas características naturais ou de uso e ocupação do solo. Pode-se destacar o processo de urbanização da bacia, que agravou ainda mais o risco de inundação, visto que a área urbanizada foi formada, em grande parte, pela ocupação informal de encostas e várzeas, sem planejamento adequado de drenagem e de outras redes de infraestrutura, em geral (GUIMARÃES *et al.*, 2021).

Figura 1 – Localização e Hidrografia da Bacia do Rio Acari

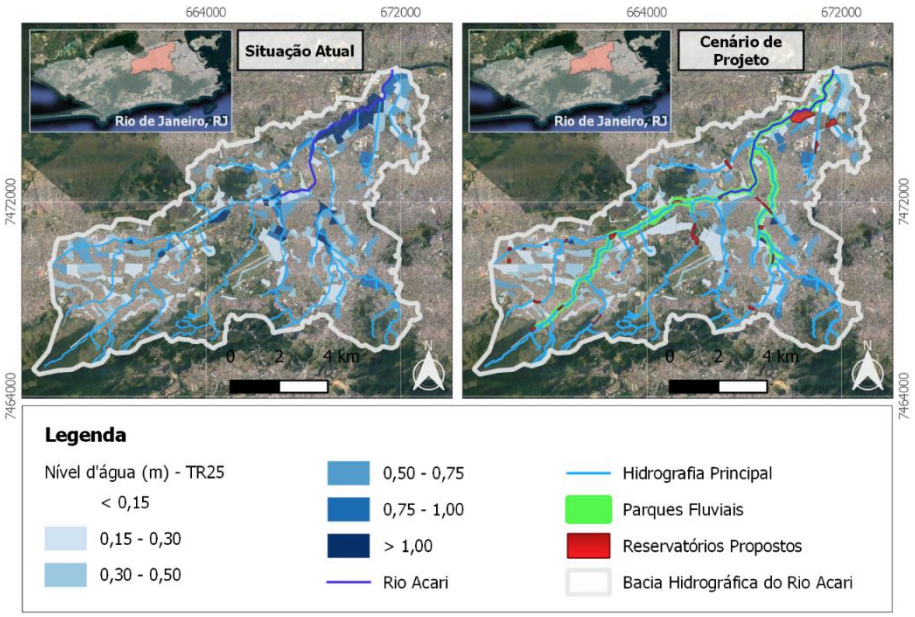


Fonte: Autor (2023)

Nesse sentido, Oliveira (2018) desenvolveu um projeto que contempla correções estruturais no sistema de drenagem, buscando introduzir modificações em estruturas que geram algum tipo de obstrução no escoamento dos cursos d'água; a limpeza e dragagem dos principais cursos d'água, a fim de melhorar as condições hidráulicas da calha principal; a implementação de reservatórios de amortecimento adaptados do Plano Diretor de Manejo de Águas Pluviais (PDMAP) do Rio de Janeiro(HIDROSTUDIO/FCTH, 2014); a incorporação de espaços livres para controle de inundações; e a proposta de parques fluviais para devolver para o rio parte de seus espaços naturais, funcionando como calhas secundárias. Neste caso, a incorporação dos espaços livres surge como alternativa de mitigação e requalificação do ambiente urbano, uma vez que as correções estruturais e os reservatórios de amortecimento não seriam suficientes para conter as cheias. O objetivo deste projeto focava na manutenção dos escoamentos do rio principal em calha.

O autor realizou a modelagem hidrodinâmica da bacia tanto para a situação atual quanto para o cenário de projeto utilizando o Modelo de Células de Escoamento – MODCEL (MIGUEZ *et al.*, 2017).AFigura 2resume espacialmente as intervenções propostas no Cenário de Projeto, bem como apresenta as manchas de inundação obtidas por Oliveira (2018) para a simulação da situação atual e da alternativa de projeto, considerando um tempo de recorrência de 25 anos (TR25).

Figura 2 – Medidas de projeto propostas por Oliveira (2018) e manchas de inundação obtidaspela simulação hidrodinâmica dasituação atual e do cenário de projeto – TR25

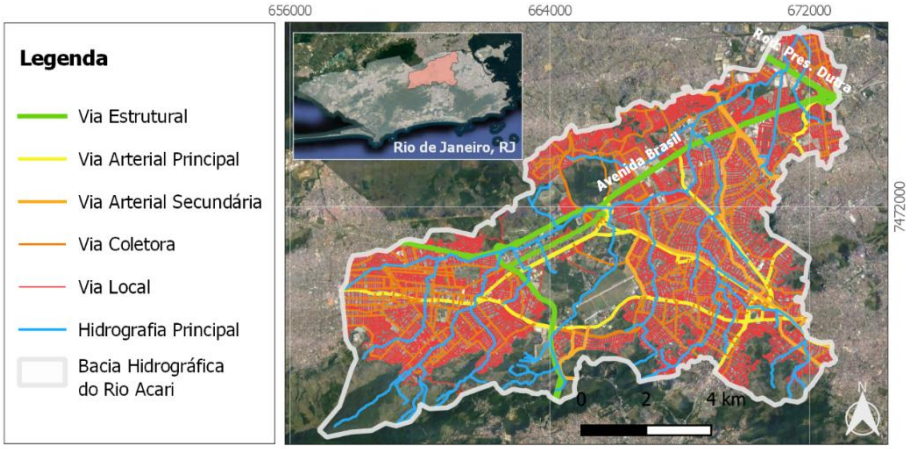


Fonte: Autor (2023) com dados de Oliveira (2018)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 3, é apresentado o mapeamento realizado para caracterização da Infraestrutura Crítica de Transporte Rodoviário, com informações obtidas no Data Rio. Nela, estão representadas as vias rodoviárias e suas respectivas hierarquias viárias. Cabe destacar a existência de vias estruturais na bacia, de grande importância para a cidade do Rio de Janeiro e sua Região Metropolitana: a Rodovia Presidente Dutra e a Avenida Brasil. Ao todo, na bacia, são 84,7 km de vias estruturais, 68,1 km de vias arteriais principais, 33,6 km de vias arteriais secundárias,233,5 km de vias coletoras e 1.082 km de vias locais.

Figura 3 – Mapeamento das vias e hierarquias viárias



Fonte: Autor (2023)com dados do Data Rio

Comparando a localização das vias e suas respectivas hierarquias viárias com os resultados da simulação matemática para a situação atual e para o cenário de projeto, para o tempo de recorrência de 25 anos, estima-se que são afetadas, por lâminas de inundação acima de 30 cm, 15,7 km de vias estruturais, 18,3 km de vias arteriais principais, 9,1 km de vias arteriais secundárias, 62,6 km de vias coletoras e 220,3 km de vias locais na bacia, na situação atual. Isso implica em um valor igual a 0,35 para o Indicador de Severidade de Vias.Já no cenário de projeto, estima-se que são afetadas, por lâminas de inundação acima de 30 cm, 10,7 km de vias estruturais, 16,3 km de vias arteriais principais, 7,9 km de vias arteriais secundárias, 38,1 km de vias coletoras e 131,4 km de vias locais na bacia, o que resulta em um valor de 0,23 para o mesmo indicador.

Com relação às velocidades das vias inundadas, estima-se uma velocidade média de 28,6 km/h para as vias estruturais, de 14,2 km/h para as vias arteriais principais, de 4,9 km/h para as vias arteriais secundárias, de 10,2 km/h para as vias coletoras e de 10,8 km/h para as vias locais, na situação atual. Isso implica em um valor igual a 0,78 para o Indicador de Redução de Velocidades.Já no cenário de projeto, estima-se uma velocidade média de 37,7 km/h para as vias estruturais, de 16,6 km/h para as vias arteriais principais, de 10,8 km/h para as vias arteriais secundárias, de 17,8 km/h para as vias coletoras e de 16,5 km/h para as vias locais, o que resulta em um valor de 0,69 para o mesmo indicador.

Com os valores de cada indicador obtidos tanto para a situação atual, quanto para o cenário de projeto, é possível calcular o Índice de Integridade do Sistema de Transporte Rodoviário para ambos os casos. Na situação atual, o índice tem valor igual a 0,50, enquanto no cenário de projeto, com a redução das lâminas de alagamento, há um acréscimo de mais de 20% nesse valor, chegando a 0,61.

Isso evidencia que, mesmo com a introdução de medidas para correção das falhas do sistema de drenagem, o sistema de transporte não se mostra tão resiliente, necessitando de medidas adicionais para o seu incremento.O incremento de resiliência em infraestruturas críticas de transporte, de forma geral, pode abordar medidas de resistência, como a manutenção da drenagem urbana, de redundância, definindo rotas alternativas para os motoristas, e de otimização da recuperação das vias, o que contribui para a diminuição do tempo em que o sistema permanece afetado(LIU, SONG, 2020).

É importante ressaltar que, a infraestrutura crítica de transporte rodoviário ainda pode ser afetada pela falha de outras infraestruturas, como a de energia, necessária para a manutenção do funcionamento da sinalização. Como destacado por Hilly*et al.*(2018), impactos na sinalização geram aumento do tempo de percurso e afetam o funcionamento adequado do sistema.Por outro lado, a falha do sistema de transporte também gera inúmeros efeitos secundários em outras infraestruturas que compõem o sistema urbano, inclusive o de energia. Muitas instalações, como as subestações elétricas, as estações elevatórias de água e esgoto, por exemplo, podem ser afetadas diretamente por inundações e necessitar de reparos e até mesmo substituições. A acessibilidade a esses ativos afetados é fundamental para a manutenção de baixos tempos de recuperação pós-evento, o que é prejudicado se as vias que dão acesso a essas regiões também estão inundadas (FEKETE, 2020).

Um outro impacto importante da falha da infraestrutura crítica de transporte é na gestão de emergências e de hospitais, que depende da manutenção da

acessibilidade. Vias afetadas aumentam o tempo de chegada a regiões afetadas, prejudicando ações de socorro, bem como dificultam o acesso da população às infraestruturas de saúde. Cabe destacar que, quando prejudicada, essa rede ainda pode fornecer redundâncias em muitos casos, por rotas alternativas. No entanto, também existem vias de acesso únicas, que ficam isoladas quando afetadas (FEKETE, 2020).

5 CONCLUSÕES

Este trabalho visou avaliar, a partir da quantificação da integridade do sistema de transporte rodoviário, a sua capacidade de funcionamento mesmo com a ocorrência de inundações. A Bacia do Rio Acari, localizada no Rio de Janeiro, foi utilizada como estudo de caso, sendo analisados a situação atual e um cenário de projeto. Foi possível constatar o impacto significativo do evento disruptivo na infraestrutura crítica considerada da bacia e, além disso, a necessidade de complementação de medidas para incremento da resiliência, que vão além da correção das falhas de macrodrenagem. O índice proposto se mostrou efetivoparaavaliar a extensão do impacto das inundações no funcionamento da infraestrutura crítica de transporte rodoviário.

Cabe destacar a importância desse tipo de avaliação prévia, antecipando possíveis interrupções de serviço e buscando melhores alternativas para a manutenção da funcionalidade da infraestrutura, visto que isso evita potenciais efeitos em cascata, como a impossibilidade de acesso a ativos afetados e o prejuízo a ações de socorro,contribuindo para resiliência urbana da bacia a inundações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior- Brasil (CAPES) [Código de Financiamento 001; 88887.495814/2020-00]; e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil (CNPq) [303862/2020-3]. Os autores também agradecem à Cátedra UNESCO de Drenagem Urbana em Regiões de Baixada Costeira da Universidade Federal do Rio de Janeiro, na qual este trabalho está inserido.

REFERÊNCIAS

BATTEMARCO, B.P. **Quadro metodológicopara avaliação da resiliência de infraestruturas críticas a inundações, considerando efeitos cascata**. 187 f. Tese de DSc., COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2023.

BRASIL. Decreto No 10.569, de 9 de dezembro de 2020. Aprova a Estratégia Nacional de Segurança de Infraestruturas Críticas. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 09 jul. 2020.

DNIT. **Manual de projeto geométrico de travessias urbanas**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes – Instituto de Pesquisas Rodoviárias. Rio de Janeiro, 2010.

FEKETE, A. Critical infrastructure and flood resilience: Cascading effects beyond water.**Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v. 6, n. 5, p. 1–13, 2019. DOI: 10.1002/wat2.1370.

FEKETE, A. Critical infrastructure cascading effects. Disaster resilience assessment for floods affecting city of Cologne and Rhein-Erft-Kreis.**Journal of Flood Risk Management**, v. 13, n. 2, p. 1–9, 2020. DOI: 10.1111/jfr3.12600.

GUIMARÃES, L. F.; BATTEMARCO, B. P.; OLIVEIRA, A. K. B., et al. A new approach to assess cascading effects of urban floods.**Energy Reports**, 2021. DOI: 10.1016/j.egyr.2021.07.047.

HAMMOND, M. J.; CHEN, A. S.; DJORDJEVIĆ, S., et al. Urban flood impact assessment: A state-of-the-art review.**Urban Water Journal**, v. 12, n. 1, p. 14–29, 2015. DOI: 10.1080/1573062X.2013.857421.

HIDROSTUDIO/FCTH. **Plano diretor de manejo de águas pluviais da cidade do Rio de Janeiro - PDMAP**. Rio de Janeiro, 2014.

HILLY, G.; VOJINOVIC, Z.; WEESAKUL, S., et al. Methodological framework for analysing cascading effects fromflood events: The case of Sukhumvit area, Bangkok, Thailand.**Water (Switzerland)**, v. 10, n. 1, p. 7–11, 2018. DOI: 10.3390/w10010081.

HOANG, L.; FENNER, R. A. System interactions of stormwater management using sustainable urban drainage systems and green infrastructure.**Urban Water Journal**, v. 13, n. 7, p. 739–758, 2016. DOI: 10.1080/1573062X.2015.1036083.

LIU, W.; SONG, Z. Review of studies on the resilience of urban critical infrastructure networks.**Reliability Engineering and System Safety**, v. 193, n. June 2019, p. 106617, 2020. DOI: 10.1016/j.ress.2019.106617.

MIGUEZ, M. G.; BATTEMARCO, B. P.; DE SOUSA, M. M., et al. Urban flood simulation using MODCEL-an alternative quasi-2D conceptual model.**Water (Switzerland**), v. 9, n. 6, 2017. DOI: 10.3390/w9060445.

OLIVEIRA, A. K. B. **O Sistema de Drenagem como Eixo Estruturante do Planejamento Urbano: Caso da Bacia Hidrográfica do Rio Acari**. 210 f. Dissertação de MSc., COPPE/ UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2018.

PREGNOLATO, M.; FORD, A.; WILKINSON, S. M., et al. The impact of flooding on road transport: A depth-disruption function. **Transportation Research Part D: Transport and Environment**, v. 55, p. 67–81, 2017. DOI: 10.1016/j.trd.2017.06.020.

QUITANA, G.; MOLINOS-SENANTE, M.; CHAMORRO, A. Resilience of critical infrastructure to natural hazards: A review focused on drinking water systems.**International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 48, n. September 2019, p. 101575, 2020. DOI: 10.1016/j.ijdrr.2020.101575.

STEVENS, J.; HENDERSON, R.; WEBBER, J., et al. Interlinking bristol based models to build resilience to climate change.**Sustainability (Switzerland)**, v. 12, n. 8, p. 1–19, 2020. DOI: 10.3390/SU12083233.

YIN, J.; YU, D.; LIN, N., et al. Evaluating the cascading impacts of sea level rise and coastal flooding on emergency response spatial accessibility in Lower Manhattan, New York City.**Journal of Hydrology**, v. 555, p. 648–658, 2017. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.10.067.