

INDICADOR DE REDUÇÃO DO TEMPO DE INUNDAÇÃO COM APOIO DO MODELO HIDRODINÂMICO EM NOVA IGUAÇU - RJ

*Lavinia Helena Parreira da Silva¹; Luiz Eduardo Siqueira Saraiva²; Hudson de Mello Neto³;
Paula Moraes Canedo de Magalhães⁴; Marcelo Gomes Miguez⁵ & Matheus Martins de Sousa⁶*

RESUMO – O intenso processo de urbanização e o impacto das mudanças climáticas são fatores que contribuem para o aumento da recorrência das cheias urbanas e do tempo de resposta hidrológica das bacias hidrográficas. Nova Iguaçu (RJ), devido às suas características geofísicas e ao crescimento urbano desordenado, se mostra um município bastante vulnerável a eventos de chuvas extremas. Nesse contexto, a construção de um modelo hidrológico-hidrodinâmico quasi-2D da Bacia do Rio Botas utilizando a ferramenta MODCEL, possibilitou a criação de propostas de intervenção no local visando a mitigação de impactos. O presente estudo teve como objetivo desenvolver o Indicador de Redução do Tempo de Inundação (IRTI), a fim de avaliar os cenários pós-intervenção. Os resultados obtidos do IRTI foram coerentes, levando em consideração as características de cada proposta. As taxas de redução do tempo de permanência da cheia chegaram a níveis de 44%, mostrando que os cenários propostos com base no modelo, possuem um bom desempenho.

Palavras-Chave – modelagem matemática, MODCEL, Nova Iguaçu

ABSTRACT – The intense process of urbanization and the impacts of climate change are key factors contributing to the increasing frequency of urban flooding and the shortening of watershed hydrological response times. Due to its geophysical characteristics and uncontrolled urban expansion, Nova Iguaçu (Rio de Janeiro, Brazil) is highly vulnerable to extreme rainfall events. In this context, the development of a quasi-2D hydrological-hydrodynamic model of the Botas River Basin using the MODCEL modeling framework facilitated the design of intervention scenarios to mitigate flood impacts. This study proposed the Flood Duration Reduction Indicator (FDRI) to evaluate the effectiveness of the post-intervention scenarios. The FDRI results were consistent with the characteristics of each proposed intervention. Reductions in flood duration reached up to 44%, indicating that the scenarios developed based on the hydrological-hydrodynamic model achieved satisfactory performance in mitigating flood persistence.

Key-words – mathematical modeling, MODCEL, Nova Iguaçu

1) Escola Politécnica – POLI/UF RJ: Av. Athos da Silveira Ramos, 149 – Bloco A – Cidade Universitária, Rio de Janeiro – RJ, 21941-909, +55-21-3938-7830. lavinia.hp.silva.20241@poli.ufrj.br

2) Escola Politécnica – POLI/UF RJ: Av. Athos da Silveira Ramos, 149 – Bloco A – Cidade Universitária, Rio de Janeiro – RJ, 21941-909, +55-21-3938-7830. lessaraiva@poli.ufrj.br

3) Escola Politécnica – POLI/UF RJ: Av. Athos da Silveira Ramos, 149 – Bloco A – Cidade Universitária, Rio de Janeiro – RJ, 21941-909, +55-21-3938-7830. hudson.mello.neto@poli.ufrj.br

4) Programa de Engenharia Ambiental – PEA-POLI/UF RJ: Av. Athos da Silveira Ramos, 149 – Bloco A – Cidade Universitária, Rio de Janeiro – RJ, 21941-909, +55-21-3938-7830. paulamoraiscanedo.eng@poli.ufrj.br

5) Programa de Engenharia Ambiental – PEA-POLI/UF RJ, Programa de Engenharia Urbana – PEU-POLI/UF RJ Programa de Engenharia Civil – PEC-COPPE/UF RJ. PEA/UF RJ: Av. Athos da Silveira Ramos, 149 – Bloco A – Cidade Universitária, Rio de Janeiro – RJ, 21941-909, +55-21 3938-7830. marcelomiguez@poli.ufrj.br

6) Programa de Engenharia Ambiental – PEA-POLI/UF RJ: Av. Athos da Silveira Ramos, 149 – Bloco A – Cidade Universitária, Rio de Janeiro – RJ, 21941-909, +55-21-3938-7830. matheus@poli.ufrj.br

INTRODUÇÃO

Atualmente, as cheias urbanas representam um dos principais desafios no Brasil, uma vez que esses eventos colocam em risco a saúde e integridade física da população, afetam a infraestrutura e prejudicam a economia. Segundo o Atlas de Desastres, no período de 1991 a 2024, ocorreram 4.079 mortes e cerca de 10,5 milhões de pessoas ficaram desabrigadas devido aos desastres relacionados às chuvas. Além disso, os prejuízos causados por esses eventos extremos chegam a R\$122,9 bilhões. A urbanização contribuiu diretamente para o aumento desse problema, já que devido ao excesso da impermeabilização do solo (diminuição da taxa de infiltração), ao desmatamento para construção civil e à ocupação irregular de determinadas áreas, há o aumento de inundações, e por consequência, um tempo maior de resposta das bacias. Simultaneamente, há a aceleração do escoamento superficial, o que ocasiona o assoreamento dos corpos hídricos, de tal forma que mesmo em chuvas de média intensidade podem ocorrer alagamentos e transtornos à população (LAC, 2025).

O município de Nova Iguaçu, por estar localizado em uma zona costeira, entre a Serra do Mar e a Baía de Guanabara, e por ter se formado de maneira desordenada, mostra-se naturalmente propenso a inundações (Saraiva et al., 2025). Os impactos desse problema são sofridos principalmente pelos grupos sociais menos favorecidos, já que essas pessoas ocupam, majoritariamente, áreas de risco, e consequentemente, ficam mais vulneráveis a esses eventos. Diante desse cenário, fica evidente que a falta de planejamento ambiental trouxe consequências severas para a população desse local, de forma que a engenharia assume um papel fundamental na busca de medidas preventivas e mitigadoras.

Nesse contexto, a modelagem hidrológico-hidrodinâmica insere-se como uma ferramenta essencial para a abordagem do problema das cheias urbanas, auxiliando na compreensão desses desastres e na proposição de soluções por meio da simulação de inundações (Miguez et al., 2017). Com o uso do software MODCEL (Miguez, 2001), programa computacional utilizado para representar áreas urbanas complexas através de células de escoamento (Miguez et al., 2017), foi desenvolvido um modelo da Bacia do Rio Botas, a fim de aprofundar a compreensão do comportamento das inundações nessa região.

Diante disso, foi possível criar propostas de intervenções hidráulicas e ambientais nesse território, com a simulação de diversos cenários progressivos, que combinaram a implementação de reservatórios, limpeza de calha, dragagem e remoção de obstruções. Através da aplicação de dois indicadores: Indicador de Redução de Área Alagada (IRAA) e Indicador de Redução de Extravasamento (IRE), foi possível mensurar o desempenho de cada cenário. No entanto, embora a maioria dos estudos usem apenas a área inundada e a lâmina d'água como parâmetros para avaliação

de cheias, o tempo de permanência da água é um importante fator no que diz respeito a esses eventos. Assim, esse estudo teve como objetivo o desenvolvimento de um indicador capaz de medir a redução desse critério, a fim de melhorar a avaliação da eficiência das intervenções propostas.

METODOLOGIA

O procedimento metodológico adotado para a construção do modelo da Bacia do Rio Botas e para a análise da mancha de inundação foi feito com o MODCEL, uma ferramenta capaz de: subdividir a bacia hidrográfica em células de escoamento, fazer a integração entre rede de drenagem e estruturas da paisagem urbana, simular matematicamente cenários futuros de intervenção, e auxiliar na gestão de risco. As células são compartimentos homogêneos interligados por ligações que, por meio de equações hidráulicas unidimensionais, representam o escoamento da água.

Os tipos de células fornecem grande capacidade de representação da natureza, já os tipos de ligação têm extrema importância para representar a multiplicidade dos escoamentos no cenário urbano. O uso de softwares auxiliares de georreferenciamento possibilitou uma delimitação mais precisa das células e das ligações.

Para o cálculo da redução do tempo de inundação foi usado o editor de planilhas Excel e os dados gerados pelo MODCEL na simulação de cada cenário. Essa etapa consistiu em, basicamente, coletar os dados de cada medição da lâmina d'água, feita a cada 15 minutos, e mensurar em horas, o quanto a lâmina em cada célula se manteve acima de um determinado valor. Nesse caso, foram usadas faixas de 15 cm a 30 cm, de 30 cm a 50 cm e igual ou acima de 50 cm. Profundidades de alagamento abaixo de 15 cm são consideradas de perigo nulo, uma vez que são transtornos comuns em dias chuvosos, mas as lâminas iguais ou acima de 30 cm já possuem um dano potencial significativo, enquanto as profundidades iguais ou acima de 50 cm atingem propriedades locais, causando graves prejuízos à infraestrutura e colocando em risco a vida da população. Desse modo, foi possível calcular a redução percentual do tempo de resposta hidrológica da bacia em cada cenário e desenvolver um Indicador de Redução do Tempo de Inundação (IRTI) (1).

$$IRTI = \frac{\left(1 * \left(1 - \left(\frac{TT_{int,15}}{TT_{atual,15}}\right)\right)\right) + \left(3 * \left(1 - \left(\frac{TT_{int,30}}{TT_{atual,30}}\right)\right)\right) + \left(5 * \left(1 - \left(\frac{TT_{int,50}}{TT_{atual,50}}\right)\right)\right)}{1 + 3 + 5} \quad (1)$$

$TT_{int,15}$, $TT_{int,30}$, $TT_{int,50}$: Tempo total da lâmina d'água igual ou acima de 15 cm, 30 cm e 50 cm, respectivamente, depois da intervenção.

$TT_{\text{atual},15}$, $TT_{\text{atual},30}$, $TT_{\text{atual},50}$: Tempo total da lâmina d'água igual ou acima de 15 cm, 30 cm, 50 cm, respectivamente, no cenário atual.

ESTUDO DE CASO

A modelagem foi direcionada à representação dos processos de microdrenagem e macrodrenagem da Bacia do Rio Botas, priorizando uma discretização mais detalhada da área urbana nas áreas adjacentes ao canal principal, por meio da utilização de um maior número de células (Saraiva et al., 2025). Essa bacia hidrográfica localiza-se majoritariamente no município de Nova Iguaçu, e o rio é cortado pela Rodovia Presidente Dutra e pelas linhas ferroviárias Supervia e M.R.S Logística, além da Via Light, que atravessa a região. Esses elementos, na prática, atuam como barreiras físicas ao escoamento, de modo a facilitar a ocorrência de inundações (Merlo et al., 2021).

Baseado nisso, foram formulados 11 cenários de intervenção, com um total de 18 reservatórios de retenção propostos (figura 1). Os reservatórios de 1 a 7 (R1 a R7) foram propostos pela Prefeitura de Nova Iguaçu, enquanto os reservatórios de 8 a 18 (R8 a R18) foram sugeridos pela equipe do Laboratório Água e Cidade (LAC), a fim de otimizar o desempenho hidráulico e amenizar as inundações. Os cenários propostos são:

- **C0:** Cenário com os reservatórios propostos pela Prefeitura + limpeza e desobstrução do Rio Botas
- **C0-A:** Cenário com os reservatórios propostos pela Prefeitura
- **C1:** R1 + R8 + R4 + R13 + R17 + limpeza e desobstrução do Rio Botas + dragagem + remoção de pontes críticas
- **C1-A:** R1 + R8 + R4 + R13 + R17
- **C2:** C1 + R14 + R15 + limpeza e desobstrução do Rio Botas + dragagem + remoção de pontes críticas
- **C3:** C2 + R2 + R3 + R9 + limpeza e desobstrução do Rio Botas + dragagem + remoção de pontes críticas
- **C4:** C3 + R10 + R11 + R12 + limpeza e desobstrução do Rio Botas + dragagem + remoção de pontes críticas
- **C5:** C4 + R16 + limpeza e desobstrução do Rio Botas + dragagem + remoção de pontes críticas
- **C6:** C5 + R5 + R6 + R7 + limpeza e desobstrução do Rio Botas + dragagem + remoção de pontes críticas

- **C7:** C6 + R18 + limpeza e desobstrução do Rio Botas + dragagem + remoção de pontes críticas
- **C7-A:** C6 + R18

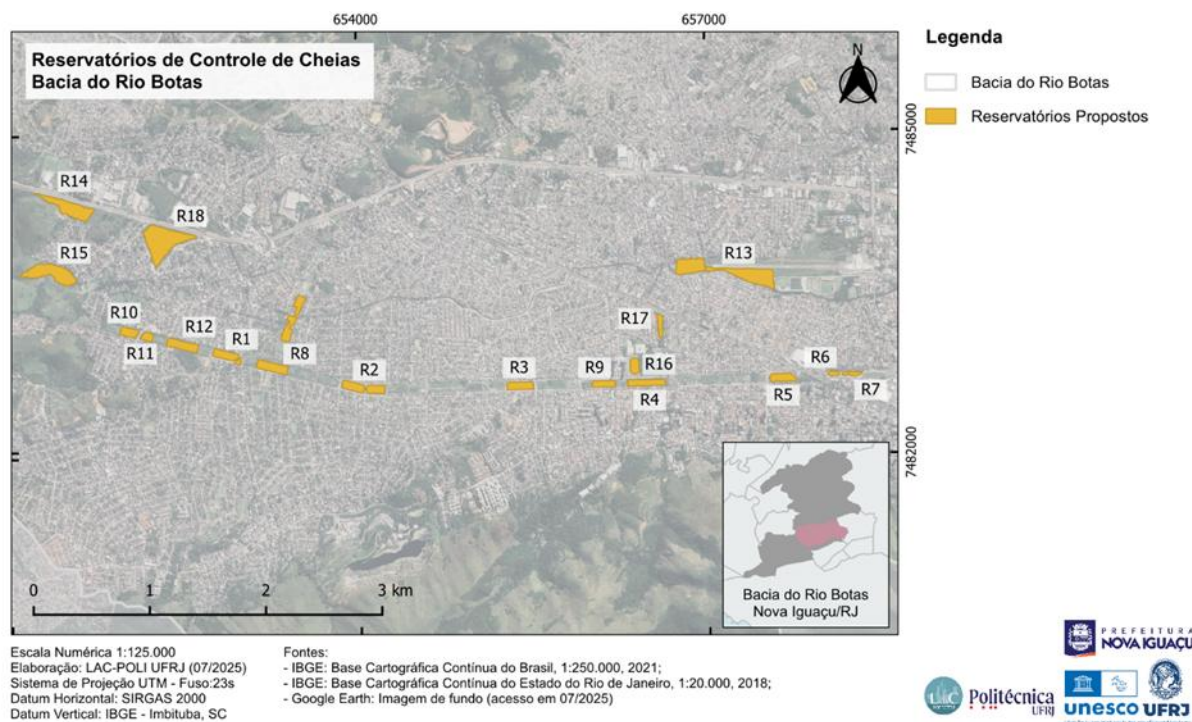


Figura 1 – Localização dos reservatórios propostos para a Bacia do Rio Botas

Desse modo, pôde-se calcular, para cada cenário, nas chuvas de TR10 e de TR25, o tempo em que as lâminas ficaram acima dos valores utilizados como parâmetros e, com isso, comparar os resultados obtidos com o tempo no cenário atual.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir dos cálculos realizados, foi possível identificar uma redução progressiva do tempo de inundação nos cenários de intervenção. Como esperado, o C7 foi o cenário com a maior redução percentual e com o melhor desempenho no IRTI, por representar a alternativa mais completa entre as propostas. No entanto, ao comparar o C0 e o C0-A, pôde-se observar que o C0 tem uma redução menor do tempo de permanência da água, em relação ao esperado para as alternativas envolvendo dragagem e intervenções de calha. Isso pode ser explicado devido à localização da dragagem, concentrada na região próxima à linha ferroviária, já que esse trecho atua como barreira física ao escoamento, logo a água tende a ficar retida e escoar mais lentamente. Os valores obtidos das reduções nas chuvas de TR10 e TR25 podem ser vistos nas tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1 – Reduções percentuais do tempo de inundação para cada cenário – TR10

Cenário	Reduções (%)		
	(15-30)	(30-50)	(=<50)
C0	6,9	8,6	13,8
C0A	9,3	13,7	23,0
C1	6,9	14,7	30,3
C1A	2,9	5,3	10,4
C2	8,8	17,1	33,3
C3	14,3	22,9	38,0
C4	14,4	22,9	38,0
C5	14,4	23,6	38,0
C6	14,6	24,3	39,9
C7	14,8	23,9	40,0
C7A	11,1	15,7	25,8

Tabela 2 – Reduções percentuais do tempo de inundação para cada cenário – TR25

Cenário	Reduções (%)		
	(15-30)	(30-50)	(=<50)
C0	8,1	8,2	13,6
C0A	9,7	12,6	24,3
C1	8,6	13,2	34,1
C1A	4,9	5,1	11,0
C2	9,6	16,0	37,7
C3	15,9	22,0	42,6
C4	16,0	22,1	42,6
C5	16,1	22,3	43,0
C6	16,3	23,0	44,6
C7	15,3	22,5	44,7
C7A	12,4	14,5	27,5

Os valores do IRTI podem ser vistos nas tabelas 3 e 4 e nas figuras 2 e 3.

Tabela 3 – Valores do IRTI para cada cenário – TR10

Cenário	IRTI	Área de reservação (m ²)	Volume escavado (m ³)
C0	0,11	179.920	481.373
C0A	0,18	179.920	481.373
C1	0,22	179.484	483.607
C1A	0,08	179.484	483.607
C2	0,25	272.090	649.953
C3	0,30	349.639	858.904
C4	0,30	388.227	928.218
C5	0,31	404.956	973.294
C6	0,32	429.286	1.035.441
C7	0,32	517.312	1.272.620
C7A	0,21	517.312	1.272.620

Tabela 4 – Valores do IRTI para cada cenário – TR25

Cenário	IRTI	Área de reservação (m ²)	Volume escavado (m ³)
C0	0,11	179.920	481.373
C0A	0,19	179.920	481.373
C1	0,24	179.484	483.607
C1A	0,08	179.484	483.607
C2	0,27	272.090	649.953
C3	0,33	349.639	858.904
C4	0,33	388.227	928.218
C5	0,33	404.956	973.294
C6	0,34	429.286	1.035.441
C7	0,34	517.312	1.272.620
C7A	0,22	517.312	1.272.620

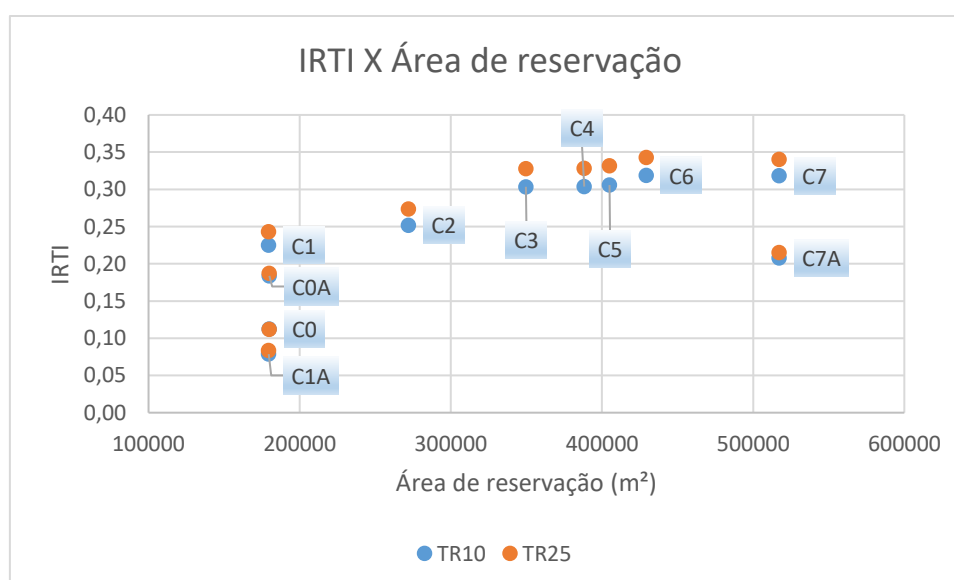


Figura 2 – Gráfico do valor do IRTI X área de reservação de cada cenário

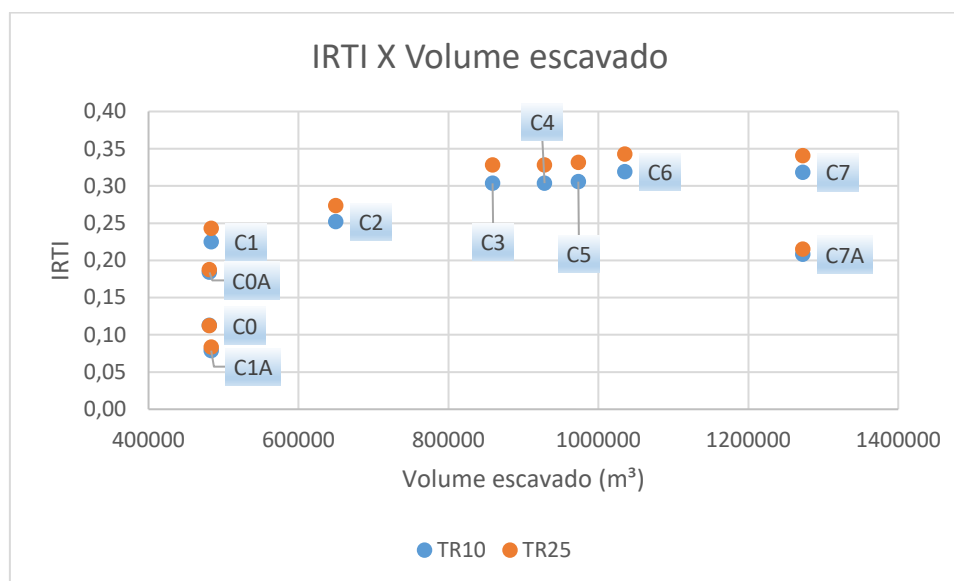


Figura 3 – Gráfico do valor do IRTI X volume escavado de cada cenário

Nota-se que conforme as intervenções vão sendo incorporadas ao sistema, o IRTI apresenta valores melhores, com destaque para os cenários que incluem intervenções de calha, dragagem e desobstrução do rio Botas.

CONCLUSÃO

O presente estudo evidenciou a relevância da utilização de um indicador capaz de mensurar a redução do tempo de inundação nos cenários pós-intervenção, uma vez que foi possível analisar de maneira consistente a eficiência das propostas em relação à situação atual da bacia. Os resultados obtidos foram coerentes com o esperado, com evolução contínua até o C7, que apresentou os melhores resultados no IRTI.

Além disso, a construção desse indicador possibilitou verificar a importância da dragagem para a redução do tempo de resposta hidrológica da bacia, já que, com exceção do C0-A, os cenários sem dragagem e sem intervenções de calha foram os que tiveram os menores valores no IRTI.

Portanto, o indicador proposto apresenta potencial para aplicação em estudos de drenagem urbana e avaliação de intervenções hidráulicas, de forma a auxiliar ações de gestão de risco e análise comparativa de alternativas de mitigação de inundações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Cátedra UNESCO de Drenagem Urbana em Regiões de Baixada Costeira, sediada na UFRJ, pelo apoio institucional ao desenvolvimento deste estudo, à Prefeitura de Nova

Iguaçu pelo fornecimento de dados técnicos e ao CNPq e à UFRJ, por meio do Programa de Bolsas de Iniciação Científica – PIBIC, pelo incentivo e apoio financeiro concedidos.

REFERÊNCIAS

- LABORATÓRIO ÁGUA E CIDADE – LAC (2025). “Simulação do Conjunto de Cenários Propostos e Análise de Resultados”. Relatório Técnico. Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ.
- MERLO, M. L.; VERÓL, A. P.; MATTOS, R. R. (2021). “Planejamento e Reestruturação da Paisagem da Bacia do Rio Botas” in Anais do IV Encontro Latino Americano e Europeu sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, Salvador, Nov. 2021.
- MIGUEZ, M. G. (2001). Modelo matemático de células de escoamento para bacias urbanas. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ.
- MIGUEZ, M. G.; BATTEMARCO, B. P.; DE SOUSA, M. M.; REZENDE, O. M.; VERÓL, A. P.; GUSMAROLI, G. (2017). “Urban flood simulation using MODCEL-an alternative quasi-2D conceptual model”. Water (Switzerland), v. 9, n. 6.
- MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO E DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL – MIDR (2025). Atlas Digital de Desastres no Brasil. Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, Brasília – DF.
- SARAIVA, L. E. S.; CEZANA, L. T. A.; MEDEIROS, V. S. B.; MELLO NETO, H.; MAGALHÃES, P. M. C.; BATTEMARCO, B. P.; MIGUEZ, M. G.; SOUSA, M. M. (2025). “Calibração e validação de modelo hidrodinâmico para simulação de cheias urbanas em Nova Iguaçu-RJ” in Anais do XXVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2025.