

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

Mapeamento de Inundações em Bacia Hidrográfica Urbana de Planície Costeira Utilizando um Modelo de Células – Caso do Jardim Maravilha - RJ

Luccas Tolentino Velez¹; Matheus Martins de Sousa²; Marcelo Gomes Miguez²; Osvaldo Moura Rezende²

1 Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Escola Politécnica, Rio de Janeiro, Brasil

2 Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Programa de Engenharia Ambiental (PEA), Rio de Janeiro, Brasil.

Resumo: As inundações estão se tornando cada vez mais frequentes e intensas devido à expansão urbana desordenada, que altera características naturais das bacias hidrográficas, como a infiltração e a cobertura vegetal. A ocupação inadequada de áreas sujeitas a alagamentos aumenta a vulnerabilidade da população e compromete a eficiência da drenagem dos rios. Este estudo utiliza modelagem matemática para simular eventos de cheia e mapear inundações, como ferramenta de apoio para a definição de estratégias de redução de riscos e adaptação climática. O modelo MODCEL, uma abordagem Quasi-2D, foi utilizado para simular eventos de inundaçāo na Bacia do rio Piraquê-Cabuçu, com foco no Jardim Maravilha, um sub-bairro da cidade do Rio de Janeiro, que apresenta alta vulnerabilidade. A metodologia incluiu coleta de dados, calibração do modelo com base em um evento de inundaçāo de 2010, atualização do modelo para refletir o cenário urbano de 2021, recalibração com dados de 2021 e simulação de chuvas de projeto para mapear áreas suscetíveis a alagamentos. Os resultados mostraram que 37% da população está exposta a inundações de médio impacto (alagamento que impacta a mobilidade urbana) e 44% a inundações de impacto médio (alagamento que impacta o interior das residências). O modelo foi capaz de representar de forma eficaz os diferentes cenários, apesar das mudanças urbanas, servindo como base sólida para estratégias futuras de mitigação de inundações, adaptação climática e aumento da resiliência.

Palavras-Chave – Mapeamento de inundações, Calibração, Jardim Maravilha, MODCEL.

Abstract: Floods are becoming increasingly frequent and intense due to uncontrolled urban expansion, which alters the natural characteristics of watersheds, such as infiltration and vegetation cover. The inadequate occupation of flood-prone areas increases the population's vulnerability and compromises the efficiency of river drainage. This study uses mathematical modeling to simulate flood events and map inundations as a support tool for defining risk reduction and climate adaptation strategies. The MODCEL model, a Quasi-2D approach, was used to simulate flood events in the Piraquê-Cabuçu River Basin, with a focus on Jardim Maravilha, a sub-neighborhood of the city of Rio de Janeiro, which has high vulnerability. The methodology included data collection, model calibration based on a 2010 flood event, updating the model to reflect the 2021 urban scenario, recalibration with 2021 data, and simulation of design storms to map areas susceptible to flooding. The results showed that 37% of the population is exposed to medium-impact floods (flooding that impacts urban mobility) and 44% to high-impact floods (flooding that impacts the interior of residences). The model was able to effectively represent the different

scenarios, despite urban changes, serving as a solid basis for future strategies for flood mitigation, climate adaptation, and increasing resilience.

Keywords – Flood mapping, Calibration, Jardim Maravilha, MODCEL.

INTRODUÇÃO

As inundações têm se tornado cada vez mais frequentes e intensas devido ao crescimento urbano desordenado, que altera as características naturais das bacias hidrográficas, como a infiltração, a declividade e a cobertura vegetal, agravando os eventos de enchentes fluviais e urbanas. A ocupação inadequada de áreas sujeitas a inundações intensifica a vulnerabilidade da população e reduz a eficiência do escoamento dos rios. Segundo Tingsanchali (2012), o risco de inundações envolve a probabilidade de ocorrência de um evento extremo e suas consequências. Nesse contexto, a modelagem matemática se destaca como uma ferramenta eficaz para mapear inundações, permitindo a avaliação de diferentes cenários, como diagnóstico da situação atual e prognóstico de futuros possíveis, como a avaliação de cenários adversos e também de estratégias de redução de riscos e adaptação. O modelo utilizado neste estudo foi o MODCEL, um modelo hidrodinâmico quasi-2D empregado na simulação de escoamentos em redes de drenagem urbana (SOUSA et al., 2022; MIGUEZ et al., 2017). Esse modelo é capaz de simular falhas e extravasamentos de cursos d'água e de redes de drenagem urbana, de forma integrada aos escoamentos sobre a superfície urbana e planícies não ocupadas, sendo essencial para análises de drenagem urbana (OLIVEIRA et al., 2022). Esse tipo de modelo, conhecido como Quasi-2D, oferece um equilíbrio entre precisão e eficiência computacional. Este estudo teve como objetivo desenvolver um modelo para representar eventos de inundações em uma área de planície costeira, com aplicação no Jardim Maravilha, sub-bairro da Bacia do Piraquê-Cabuçu, no Rio de Janeiro. O estudo faz parte do Projeto de Extensão “Planejamento urbano territorial para incremento da resiliência a inundações”, da Escola Politécnica da UFRJ. A população local, em situação de vulnerabilidade, enfrenta inundações e transbordamentos de rios anualmente. Dois eventos de inundações foram utilizados para estabelecer um cenário de referência para futuras avaliações, a fim de analisar estratégias de mitigação e apoiar a tomada de decisão para a redução dos impactos das inundações. Os resultados foram visualizados espacialmente por meio do software QGIS.

METODOLOGIA

O método adotado neste trabalho baseia-se em cinco etapas principais: (i) construção da base de dados do modelo para um primeiro evento, ocorrido em 2010; (ii) calibração do modelo; (iii) atualização da base de dados do modelo para representar o território em 2021, quando ocorreu outro evento significativo de inundações; (iv) recalibração do modelo com dados do evento de inundações de 2021; (v) simulação de eventos de chuva de projeto para mapear inundações, considerando o território atual (2021). A Figura 1 apresenta o fluxo metodológico utilizado.

Figura 1. Fluxo metodológico aplicado na pesquisa

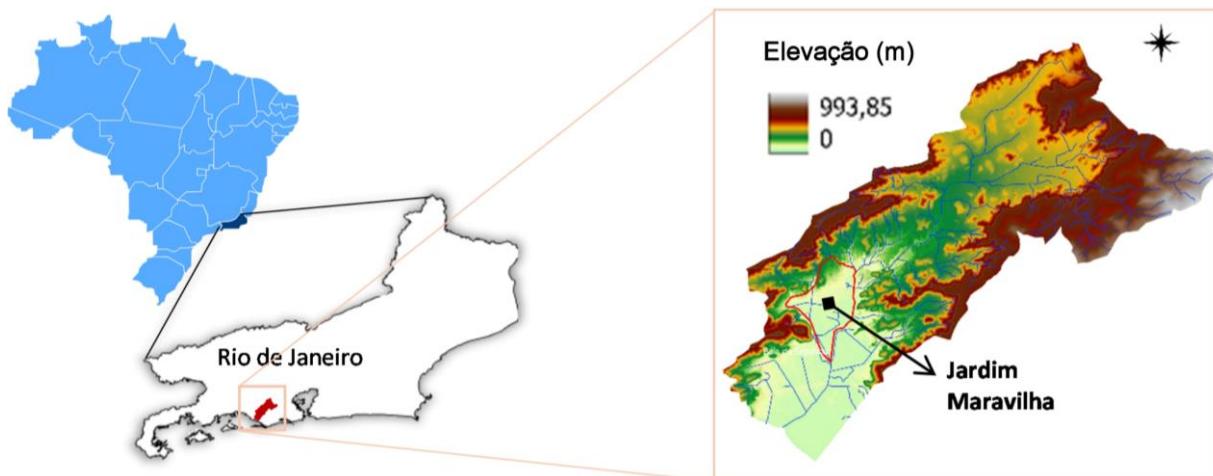


ESTUDO DE CASO: BACIA DO PIRAUQUÊ-CABUÇU

A bacia hidrográfica do rio Piraquê-Cabuçu está localizada na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro, dentro da macrorregião de drenagem da Baía de Sepetiba. Uma das zonas mais críticas dentro da bacia é a região do Jardim Maravilha. Esse bairro surgiu na década de 1950 como um grande loteamento residencial, sendo atualmente um dos maiores da América Latina. Localizado em uma área de planície, fazia parte originalmente de grandes propriedades rurais que foram sendo subdivididas à medida que a cidade se expandia em direção à zona oeste. O bairro se desenvolveu de forma irregular e desordenada, resultando em infraestrutura precária, especialmente no que diz respeito à drenagem urbana. A população, com uma parcela considerável em situação de vulnerabilidade, cresceu de 14.117 habitantes em 2000 para 25.928 em 2022, um aumento de aproximadamente 105%. A localização do Jardim Maravilha está indicada na Figura 2, contornada em vermelho.

A seguir são apresentadas as etapas de aplicação do método proposto para mapeamento das inundações na Bacia do Rio Piraquê-Cabuçu.

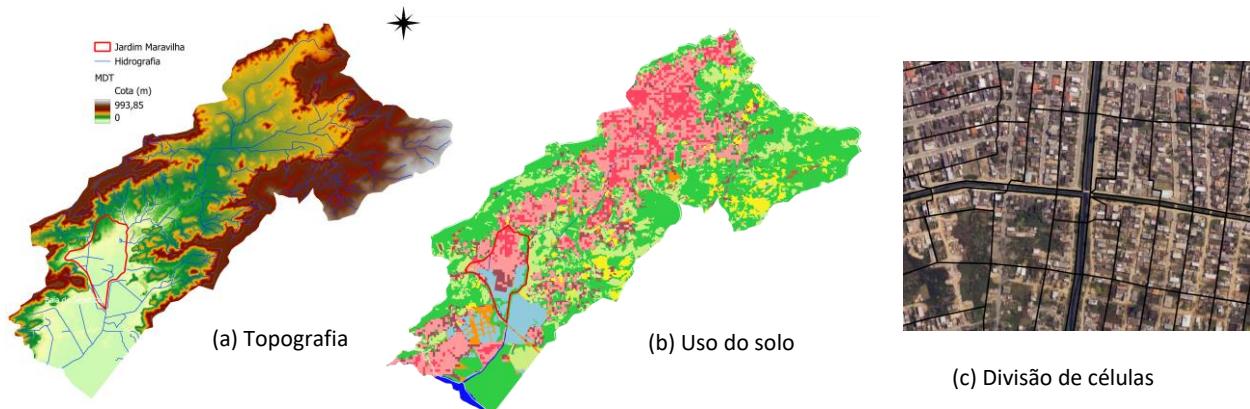
Figura 2. Bacia do Piraquê-Cabuçu e localização do Jardim Maravilha.



Etapa 1 – Construção do banco de dados do modelo hidrodinâmico

Para construir o banco de dados, foi necessário reunir informações sobre topografia, uso do solo e parcelamento urbano, utilizados para definição e delimitação das células de escoamento que compõem o domínio de modelagem. As imagens da Figura 3 representam: (a) a topografia, (b) o uso do solo e (c) a divisão de células com base no traçado urbano.

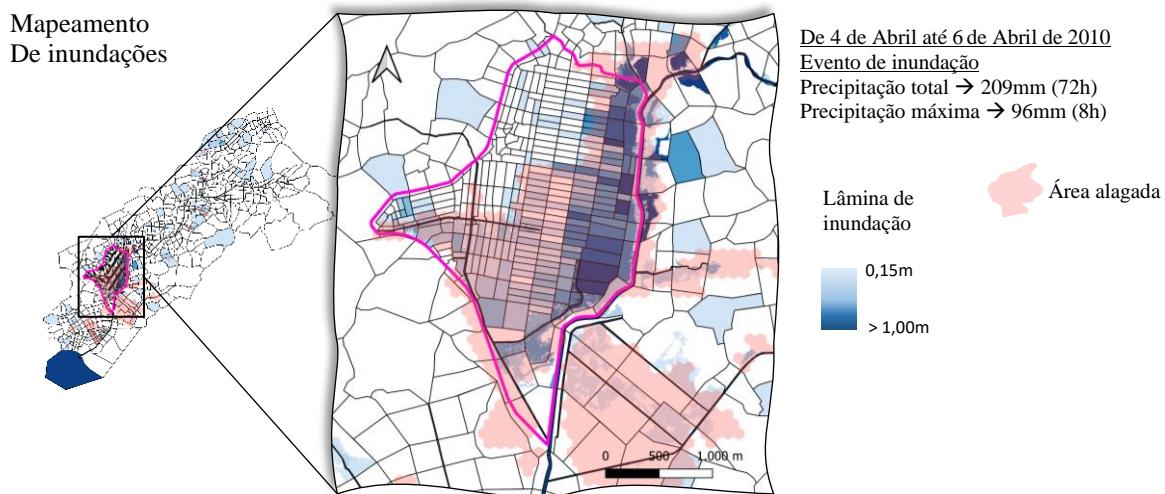
Figura 3. Informações utilizadas para construir o banco de dados do modelo



Etapa 2 – Calibração do modelo

A calibração envolve ajustes iterativos no modelo para garantir que os dados calculados estejam alinhados com os dados observados. Os ajustes na base podem incluir a redefinição das células, correções nas cotas do terreno e modificações em parâmetros hidráulicos e hidrológicos, como o coeficiente de Manning e os coeficientes de escoamento. O MODCEL fornece dados de saída sobre os níveis de água em cada célula e os fluxos entre elas. Com o uso do QGIS, é possível criar um mapa de inundação a partir dos dados de nível máximo de água em cada célula. A Fundação Rio-Águas realizou um levantamento mapeando as regiões afetadas pelas chuvas entre os dias 4 e 6 de abril de 2010. A Figura 4 apresenta a sobreposição das respostas obtidas com a simulação do evento com a mancha de inundação informada pela Fundação Rio-Águas.

Figura 4. Calibração para evento de 2010



Etapa 3 – Atualização do banco de dados do modelo para representar o território de 2021

Um novo evento de inundação foi simulado para representar o cenário atual do território, já que desde o evento de 2010, muitas modificações ocorreram na bacia, como novas ocupações,

adensamento urbano e obras de drenagem. Dados de uma forte chuva ocorrida em 17 de dezembro de 2021 permitiram esta nova calibração do modelo já construído, agora adaptado para um território modificado por um aumento de urbanização significativo. As mudanças territoriais entre 2010 e 2021 exigiram ajustes em alguns parâmetros do modelo. O parâmetro mais modificado foi o coeficiente de escoamento superficial (*runoff*), diretamente relacionado ao uso e ocupação do solo. Na Figura 5 é possível observar os valores de *runoff* para o modelo do evento de 2010 e para modelo do evento de 2021, enquanto na Figura 6 é possível observar os valores de Manning para esses mesmos eventos.

Figura 5. Comparação entre os coeficientes de runoff

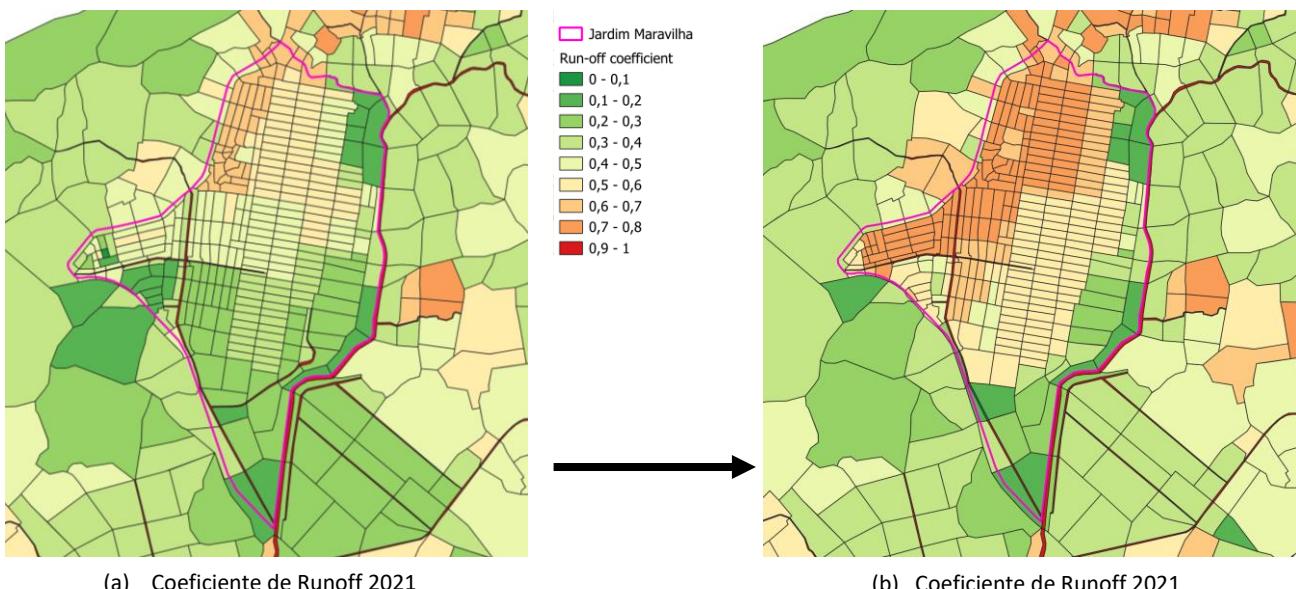
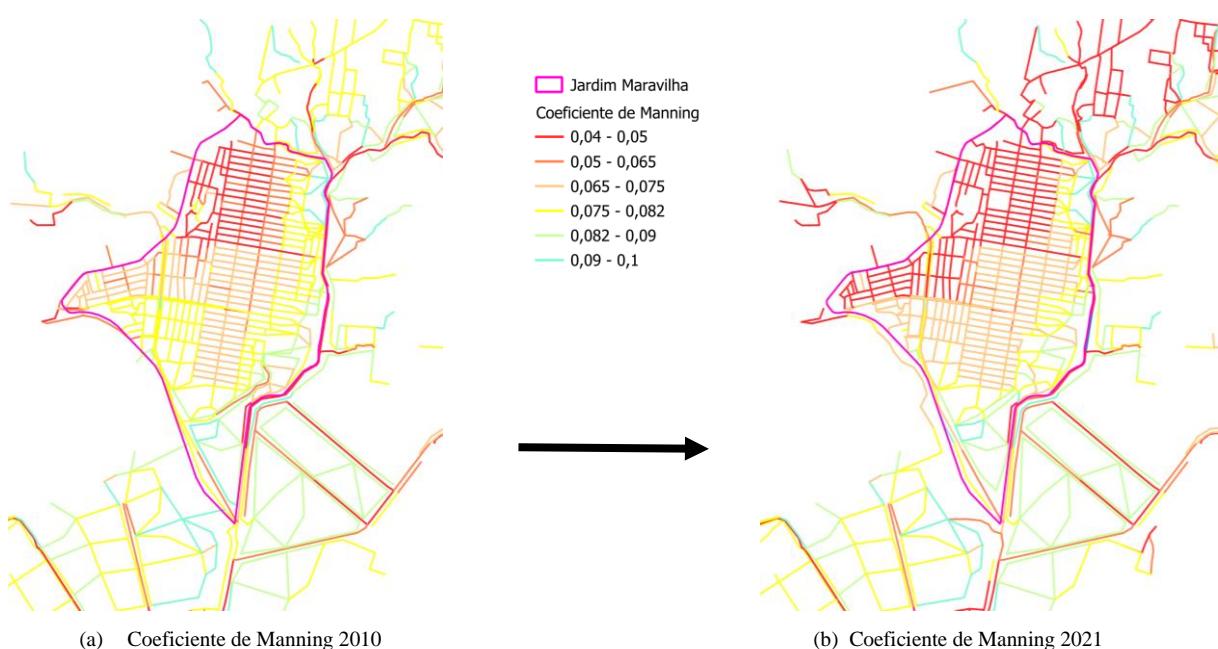


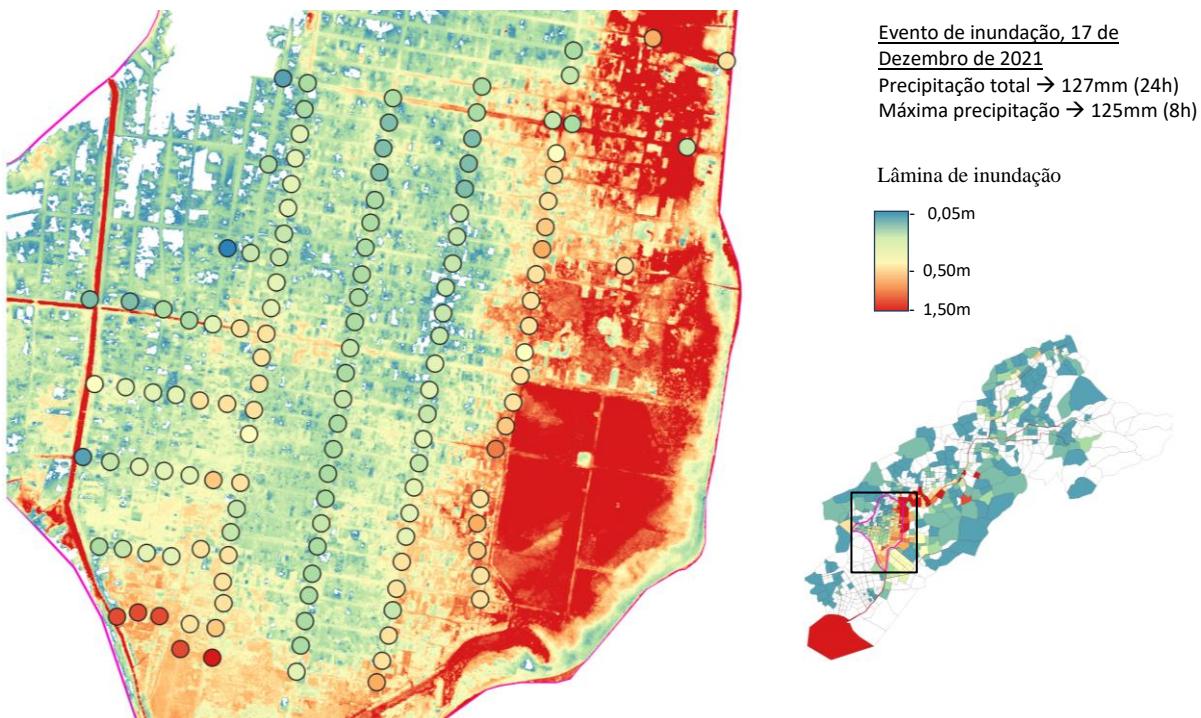
Figura 6. Comparação entre os coeficientes de Manning

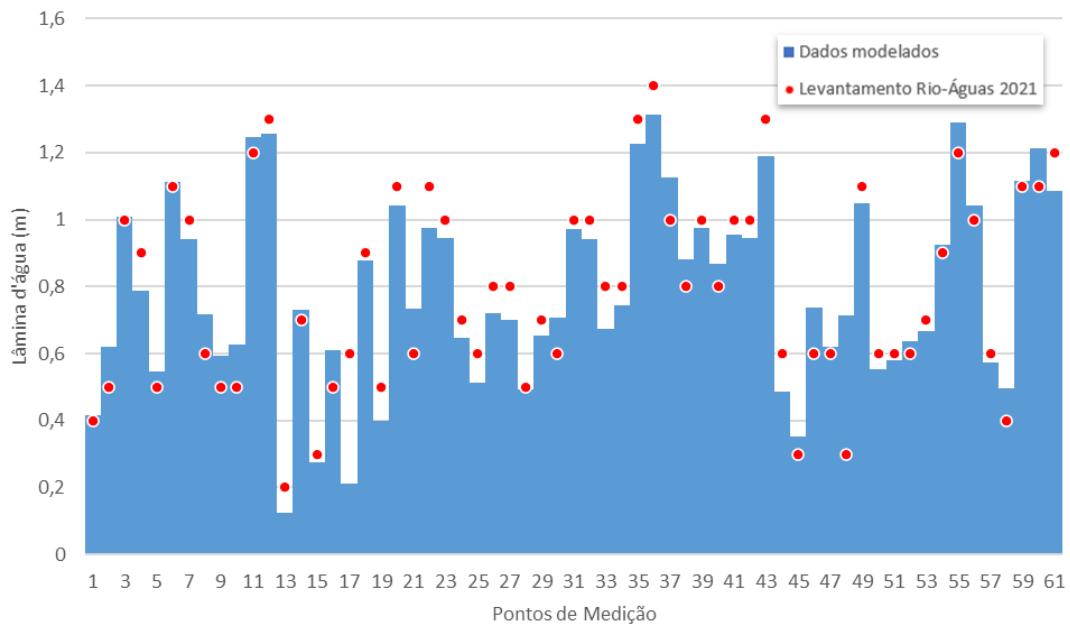


Etapa 4 – Recalibração com o evento hidrológico de 2021

O levantamento realizado pela prefeitura para o evento de 2021, além de ter realizado a caracterização da extensão da inundação, documentou níveis de água em diversos pontos do Jardim Maravilha. Para melhor visualização do resultado, foi feito uma interpolação das informações de nível máximo de inundação resultantes da simulação e, com suporte do Modelo Digital de Terreno (MDT), foi gerado um arquivo raster com informações de lâmina de inundação na região. A escala de cores do raster representativa das alturas de lâmina d'água foi compatibilizada com a escala do levantamento da Rio-água com registros de alagamentos máximos. A Figura 7 apresenta os resultados da nova calibração.

Figura 7. Resultados finais da calibração do modelo para o evento de 2021

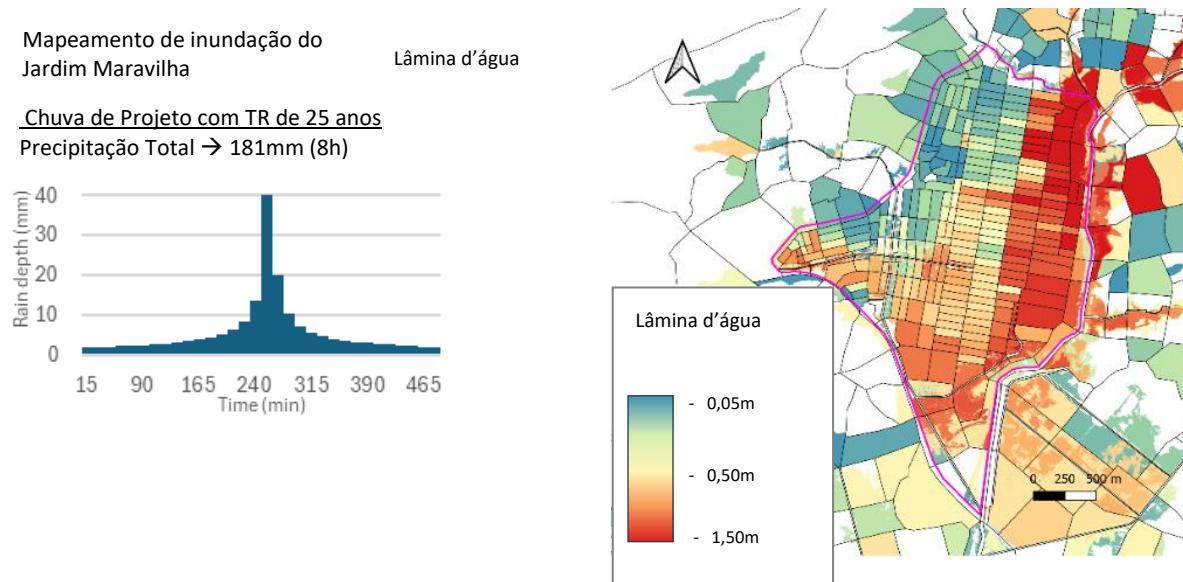




Etapa 5 – Simulação de chuva de projeto e análise de impactos

A simulação de uma chuva de projeto avaliou as áreas mais afetadas durante um evento com uma determinada probabilidade de ocorrência. O modelo calibrado para o evento de 2021 foi utilizado para simular a chuva de projeto, com objetivo de elaborar um mapa de inundações. Esse cenário pode servir como referência para futuros estudos de mitigação de inundações na bacia. A simulação do evento permitiu avaliar o impacto da inundaçāo na bacia, com foco na região do Jardim Maravilha, classificando as áreas conforme o risco de inundaçāo, de forma simplificada, calculado a partir da sobreposição do perigo (altura de inundaçāo) com a vulnerabilidade (população exposta). A análise foi dividida em duas categorias de impacto: *impacto médio*, refere-se a locais cuja mobilidade das pessoas foi afetada pelo alagamento de vias; *impacto alto*, refere-se a moradores que tiveram suas casas inundadas. A bacia apresenta diferentes formas de ocupação urbana, incluindo casas com soleiras elevadas e calçadas públicas definidas, assim como casas com soleiras próximas ao nível da rua e calçadas mal definidas ou inexistentes. Dessa forma, foi essencial avaliar o impacto da lâmina de inundaçāo com base no tipo de urbanização presente em cada célula. A bacia foi categorizada em duas formas de urbanização: áreas com calçadas de aproximadamente 0,05 m de altura e soleiras em torno de 0,15 m foram classificadas como *tipo 1 - informal*; áreas com calçadas de aproximadamente 0,15 m e soleiras em torno de 0,50 m foram classificadas como *tipo 2 - formal*. A Figura 5 apresenta o mapa de inundaçāo gerado para um evento de chuva com período de retorno de 25 anos, destacando a região do Jardim Maravilha.

Figura 8 - Mapa de inundação no Jardim Maravilha resultante da simulação de uma chuva com 25 anos de tempo de recorrência na Bacia do Rio Piraquê-Cabuçu



RESULTADOS, DISCUSSÃO E TRABALHOS FUTUROS

O estudo constatou que 44% da população do Jardim Maravilha sofreu *alto impacto* das inundações, enquanto 37% enfrentaram *impacto médio*. Os resultados do mapa de inundação, apresentados na Figura 5, permitem uma avaliação abrangente de toda a bacia, identificando as áreas com maior risco de inundações e quantificando os impactos potenciais. A calibração confirmou a robustez do modelo Quasi-2D, representando com precisão dois cenários, mesmo diante de mudanças significativas no uso do solo. O cenário atual, correspondente ao território de 2021, serve como base para a criação de cenários de projeto voltados à mitigação de inundações, à redução de riscos e ao aumento da resiliência das áreas afetadas. O estudo em questão está em andamento, e as próximas etapas envolverão a elaboração de um mapeamento de risco mais abrangente, bem como a proposição de um conjunto de soluções de mitigação de inundações, com foco em Soluções Baseadas na Natureza.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi parcialmente financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), por meio de bolsas de apoio vinculadas ao Programa PIBIC-UFRJ. Agradecemos à Cátedra UNESCO sobre Drenagem Urbana em Regiões de Baixada Litorânea, sediada na Universidade Federal do Rio de Janeiro, à qual esta pesquisa está vinculada.

REFERÊNCIAS

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

OLIVEIRA, A.K.B.; BATTEMARCO, B.P.; BARBARO, G.; GOMES, M.V.R.; CABRAL, F.M.; DE OLIVEIRA PEREIRA BEZERRA, R.; DE ARAÚJO RUTIGLIANI, V.; LOURENÇO, I.B.; MACHADO, R.K.; REZENDE, O.M.; et al. (2022). "Evaluating the role of urban drainage flaws in triggering cascading effects on critical infrastructure, affecting urban resilience". *Infrastructures*, 7(11), p. 153.

SOUSA, M.M.; OLIVEIRA, A.K.B.; REZENDE, O.M.; MAGALHÃES, P.M.C.; PITZER JACOB, A.C.; MAGALHÃES, P.C.; MIGUEZ, M.G. (2022). "Highlighting the role of the model user and physical interpretation in urban flooding simulation". *Journal of Hydroinformatics*, 24(5), pp. 976–991.

TINGSANCHALI, T. (2012). "Urban flood disaster management". *Procedia Engineering*, 32, pp. 25–37.