

## DIÁGNÓSTICO DE INUNDAÇÕES NO MUNICÍPIO DE PETRÓPOLIS POR SIMULAÇÃO HIDRODINÂMICA

*Maria Vasconcelos Haniya<sup>1</sup>, Vivianne Dornellas Assunção<sup>2</sup>, Bruna Anteneodo Vallejos<sup>3</sup>, Maria Luisa Rodrigues Lado<sup>4</sup>, Ana Caroline Pitzer Jacob<sup>5</sup>, Erimar Pontes Santiago<sup>6</sup>, Antonio Krishnamurti Beleño de Oliveira<sup>7</sup>, Paulo Canedo de Magalhães<sup>8</sup>, Matheus Martins de Sousa<sup>9</sup>*

**Palavras-Chave** –Modelo de Células, Rio Piabanha, Inundações.

### INTRODUÇÃO

O ano de 2022 foi marcado pela maior tragédia da história do município de Petrópolis, no Rio de Janeiro. As chuvas extremas que atingiram o município em fevereiro e março de 2022 provocaram inundações e deslizamentos que levaram ao óbito de 240 pessoas. Além do saldo de mortes, foram centenas de famílias desabrigadas, 240 mil toneladas de detritos recolhidas das ruas e R\$ 200 milhões estimados em prejuízos para o setor comercial da cidade. A chuva do dia 15 de fevereiro, responsável por mais de 230 mortes. (PUENTE, BRASIL, ALPACADA, CNN BRASIL, 2022).

As inundações se dão pelo extravasamento das águas dos rios quando estes têm sua vazão nominal aumentada. Ocorrem em Petrópolis uma ou mais vezes ao ano e estão associadas a mortes, doenças, desabrigos e desalojamentos. Além do desastre de fevereiro de 2022, lembra-se do desastre da Região Serrana de 2011. A ocorrência de chuvas é facilitada na região pela entrada de massas que transportam umidade da Baía de Guanabara e a topografia montanhosa, porém é importante considerar o agravamento do fenômeno devido à não continuidade de políticas de planejamento urbano, especialmente relativas à habitação de interesse social (ASSUMPÇÃO, 2015).

A espacialização das inundações é de grande interesse para a determinação de áreas com maior risco e posterior elaboração de planos de prevenção e mitigação de danos por este fenômeno, além de simular possíveis soluções de intervenção (MACHADO et al., 2021). Nesse contexto, é de especial interesse as bacias hidrográficas que compreendem o Centro histórico de Petrópolis, que sofre os maiores danos com as inundações. São elas as bacias do rio Piabanha, delimitado entre sua nascente no Parque Nacional da Serra dos Órgãos e seu ponto de encontro no canal do Centro, e de seus afluentes Quitandinha, Palatino e Itamarati.

O presente trabalho pretende realizar o diagnóstico do funcionamento atual do sistema de drenagem na bacia do rio Piabanha no Centro do município de Petrópolis, Modelo de Células de escoamento (Modcel) desenvolvido por Miguez (2001).

### METODOLOGIA

A partir de dados topográficos levantados da região, a área estudada é delimitada e subdividida em sub-bacias menores e bacias de contribuição. Uma vez completa a divisão topográfica da região, são traçadas as células que efetivamente compõem o modelo hidrodinâmico. As células são delimitadas a partir das físicas características do terreno, como vegetação, corpos hídricos e urbanização, com

1) Afiliação: Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro; maria.haniya@gmail.com

2) Afiliação: Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro; vivianedornellas@gmail.com

3) Afiliação: Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro; bruna.a.vallejos@gmail.com

4) Afiliação: Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro; mluisa.rod@poli.ufrj.br

5) Afiliação: Aquafluxus Consultoria Ambiental em Recursos Hídrico; caroline@aquaflexus.com.br

6) Afiliação: Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro; krishnamurti@puc-rio.br

7) Afiliação: Programa de Engenharia Civil, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, erimarpontes@hotmail.com

8) Afiliação: Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro; canedo@hidro.ufrj.br

9) Afiliação: Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro; matheus@poli.ufrj.br

base em imagens de satélite. Áreas com maiores incidências de inundação possuem maior grau de detalhamento.

Vale destacar que o sistema de macrodrenagem é também simulado por células de escoamento para representar o escoamento pluvial principal das bacias hidrográficas. Dessa maneira, seções topobatimétricas para a inclusão de informações hidráulicas, fornecidas pelo INEA (Instituto Estadual do Ambiente), foram incluídas no modelo. Além disso, para representar os escoamentos após o extravasamento, células marginais também são capazes de armazenar e gerar fluxos entre si.

Em relação à modelagem hidrodinâmica, optou-se por realizar a simulação hidrodinâmica a partir de modelo Quasi-2D, através do Modelo de Células de Escoamento MODCEL (MIGUEZ, 2001; 2017). Assim, a representação hidrodinâmica é adequada não somente quando o escoamento está dentro da calha dos cursos d'água, mas também quando os rios transbordam para as planícies marginais. No que diz respeito ao processo de calibração do modelo, fundamental para uma representação mais coerente com a realidade local observada, é necessário realizar uma comparação entre os resultados de simulação e os registros de níveis de água durante o evento de inundações (OLIVEIRA, 2019).

O modelo de células da região foi iniciado por Machado *et al.* (2021) e expandido dentro do âmbito da presente pesquisa em parceria com o INEA (2022). Inicialmente o processo de calibração parte da comparação dos níveis de água observados nos postos fluviométricos e simulados nos principais cursos d'água da bacia, a partir das informações disponibilizadas pelo Sistema de Alerta do Estado do Rio de Janeiro. Complementarmente, para calibração dos níveis de água nas planícies marginais, foi realizado o mapeamento de registros de inundações e alagamentos a partir de fontes midiáticas. Foram utilizados dados pluviométricos do dia 1 de abril de 2021, evento que não se caracterizou por ter gerado extravasamentos significativos em áreas urbanas, mas serve para a calibração da calha fluvial do modelo matemático utilizado. Em seguida, o modelo foi validado para um evento no qual ocorreram extravasamentos significativos, especificamente o evento do dia 15 de fevereiro de 2022, para garantir a correta representação do escoamento nas calhas secundárias, o acúmulo de água e fluxo pelas vias e espaços urbanos.

Finalmente, após a calibração e validação, foi realizada simulada o Cenário Atual, considerando o perfil topográfico e de cobertura e uso do solo existente e chuvas de projeto para os tempos de recorrência de 10, 25, 50 e 100 anos, e duração equivalente à chuva crítica de cada bacia modelada.

## **RESULTADOS**

Após o ModCel interpretar as informações foram obtidos resultados de profundidades de alagamento máximos, para a simulação dos eventos pluviométricos de 10, 25, 50 e 100 anos de tempo de recorrência (TR), para a situação atual do território. A Figura 1 apresenta a mancha de inundação para o Tempo de Recorrência de 10 anos e a Figura 2 para o Tempo de Recorrência de 50 anos.



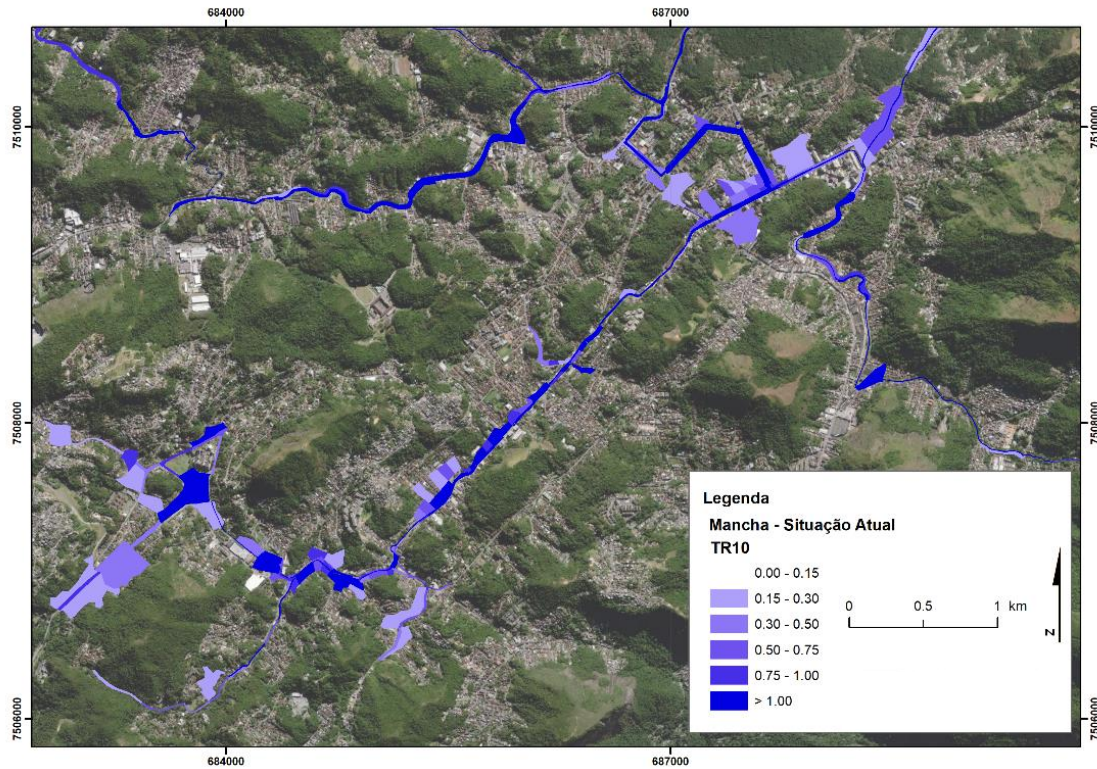


Figura 1. Mapa com as profundidades máximas de alagamento resultantes da simulação do evento hidrológico com TR 10 anos.

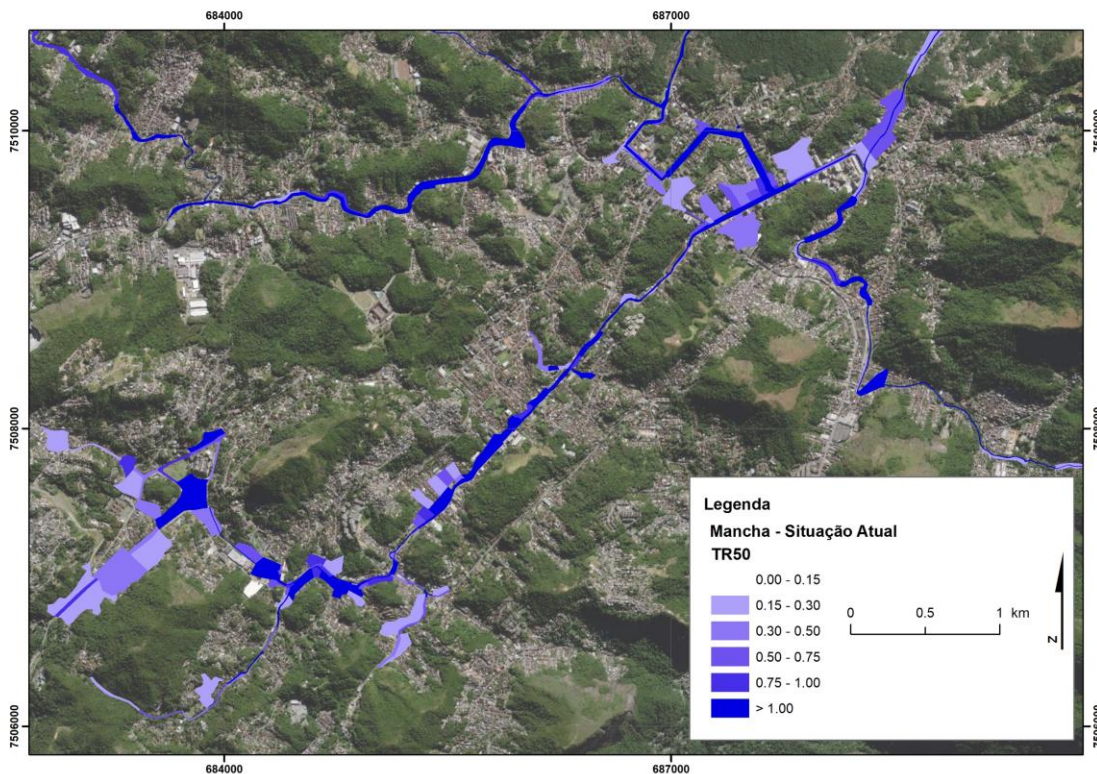


Figura 2. Mapa com as profundidades máximas de alagamento resultantes da simulação do evento hidrológico com TR 50 anos.

A seguir está apresentado o resultado dos maiores níveis encontrados, que correspondem ao Canal do Centro (figura 3). Com a observação gráfico da figura 3, em comparação aos níveis registrados na região, pode-se concluir que está coerente o resultado do ModCel e com o evento hidrológico estudado. Os níveis registrados foram obtidos de análises fotográficas do evento de ferreiro de 2022,

nas quais é possível observar inundações de mais de 1,5 metros no Centro Histórico. Porém, vale destacar que o evento de 2022, apresenta precipitações heterogêneas sobre o território, uma vez que em alguns postos pluviométricos relevantes para as inundações no centro histórico foram observados tempos de retorno superiores a 100 anos, em quanto em outros, as precipitações não ultrapassaram a recorrência de um ano. Para a simulação dos eventos de diagnóstico (TR 10, 25, 50 e 100), uma chuva homogênea foi aplicada em todo o território a montante do centro histórico.

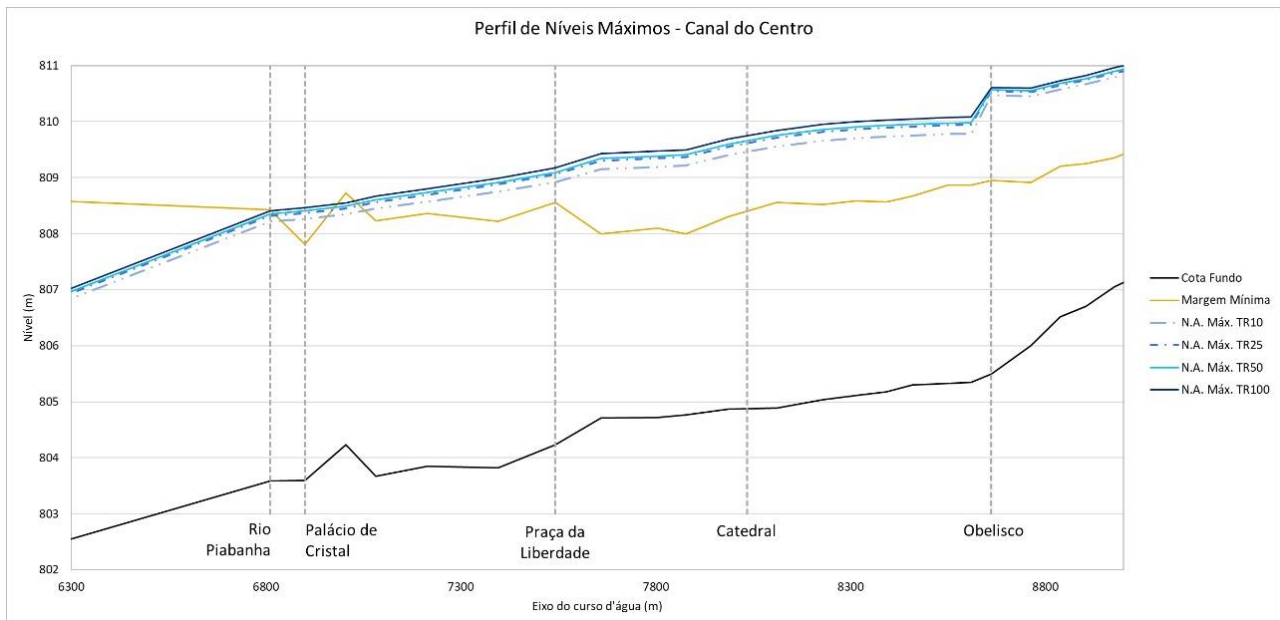


Figura 3. Gráfico com os níveis máximos da água com TR10, TR25, TR50 e TR100.

## CONCLUSÕES

Em relação ao cenário de validação (fevereiro de 2022), foi observado que as chuvas intensas não ocorreram homogêneas em toda a bacia, se concentrando principalmente a montante da bacia do rio Quitandinha e na bacia do rio Palatino.

As principais limitações do estudo residem no fato de que os resultados se restringem aos locais onde há registros para comparação de níveis simulados e observados. Contudo, o Centro histórico, foco do trabalho, a simulação apresentou níveis semelhantes aos observados no evento de fevereiro de 2022, com níveis simulados variando entre 0,50 m e 1,75 m. Vale pontuar que no centro de Petrópolis a simulação mostrou inundações com lâminas d'água superiores a 1,0 m de profundidade em todos os tempos de recorrência simulados.

A simulação do Cenário Atual apresentou extravasamentos para além das seções hidráulicas para tempos de recorrência de 10 anos. Essa situação sugere o mau dimensionamento do sistema de macrodrenagem, que deveria suportar cheias de TR de 25 anos.

As seções hidráulicas apresentam incapacidade para transportar vazões de eventos pluviométricos intensos, mesmo para recorrências menores a 25 anos. O extravasamento que ocorre para o tempo de recorrência de 10 anos, por exemplo tem capacidade de ocupar uma extensa área urbana, incluindo vias, edificações e espaços urbanos livres.

Os resultados hidrodinâmicos apresentados servem como base de comparação para possíveis medidas de intervenção que vierem a ser estudadas, de forma que servem de subsídio para a proposição de medidas para a mitigação de danos provocados por inundações.



## REFERÊNCIAS

ASSUMPÇÃO, R. S. F. V. (2015). *Petrópolis – Um histórico de desastres sem solução? Do Plano Köeler ao Programa Cidades Resilientes*. Tese (Doutorado em Ciências na área de Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2015. 246 f.

INEA. Instituto Estadual do Ambiente. Estudo de Alternativas e Elaboração de Projetos Básicos e Executivos para Controle de Inundações do Centro Histórico do Município de Petrópolis-RJ. Relatório de Estudos Hidrológicos (RT-03). 2022.

MACHADO, A. C. M.; SOUSA, M. M.; FERNÁNDEZ, M. A. F.; MIGUEZ, M. G. (2021). “Análise de mancha de alagamento no centro urbano do município de Petrópolis/RJ, utilizando o modelo *MODECEL*” in XXIV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, on-line, 2021, pp. 1-10.

MIGUEZ, M. G. (2001) Modelo Matemático de Células de Escoamento para Bacias Urbanas. 2001. 410 f. [thesis]. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.

MIGUEZ, M. G., BATTEMARCO, B.P., SOUSA, M.M., REZENDE, O.M., VERÓL, A.P., & GUSMAROLI, G. (2017). Urban flood simulation using MODCEL—an alternative quasi-2D conceptual model. *Water*, 9(6), 445.

OLIVEIRA, A. K. B., REZENDE, O. M., DE SOUSA, M. M., NARDINI, A., & MIGUEZ, M. G. (2019). An alternative flood model calibration strategy for urban watersheds: the case study of Riohacha, Colombia. *Water Science and Technology*, 79(11), 2095-2105.

PUENTE, B.; BRASIL, F.; ALPACA, N. (2022). *Tragédia em Petrópolis completa três meses neste domingo*. CNN Brasil. Disponível em < <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/tragedia-em-petropolis-completa-tres-meses-neste-domingo/>>. Acesso em 30 de outubro de 2022.

SOUSA, M. M. (2018). Avaliação Comparativa de Metodologias de Modelagem Hidráulica 2D e seu Impacto na Interpretação e Avaliação de Ondas de Cheia [thesis]. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.