

Comparação entre os modelos MODCEL e HEC-RAS 2D na simulação de alagamentos urbanos em Botafogo e Humaitá (RJ)

Yuri Guedes Maia¹ Eduarda Mulinari do Amaral²; & Antonio Krishnamurti Beleño de Oliveira³

RESUMO – As inundações urbanas representam um grande desafio em áreas densamente urbanizadas, como os bairros de Botafogo e Humaitá, no Rio de Janeiro, onde a elevada impermeabilização, a baixa declividade e o escoamento proveniente das encostas geram alagamentos frequentes. Este trabalho apresenta uma análise comparativa entre os modelos hidrodinâmicos MODCEL e HEC-RAS 2D na simulação de alagamentos nessa bacia, com foco na comparação das manchas de inundação geradas, na avaliação dos principais pontos de controle de alagamento e na análise quantitativa da concordância entre os resultados. A metodologia compreendeu o levantamento de registros históricos de alagamentos (2017–2025), a estruturação dos modelos com base topográfica e evento pluviométrico idênticos para os dois modelos, a discretização espacial e a comparação das manchas de inundação e profundidades simuladas. Os resultados apontaram comportamento semelhante na identificação das principais áreas críticas, como a Praia de Botafogo, Rua São Clemente, Rua Voluntários da Pátria e Praça Mauro Duarte. Contudo, observaram-se assimetrias na distribuição dos escoamentos: o MODCEL tendeu a concentrar as lâminas d'água de forma pontual, enquanto o HEC-RAS 2D exibiu uma distribuição espacial contínua e detalhada ao longo das vias, influenciado pela maior resolução da malha. Conclui-se que ambos os modelos são ferramentas eficientes para a gestão de riscos hídricos e suporte à drenagem urbana, variando a escolha conforme o detalhamento espacial demandado e os dados disponíveis.

Palavras-Chave – Cheias Urbanas; HEC-RAS 2D; MODCEL.

ABSTRACT– Urban flooding represents a major challenge in densely urbanized areas such as the neighborhoods of Botafogo and Humaitá, in Rio de Janeiro, where high imperviousness, low terrain slope, and runoff from surrounding hillsides lead to frequent flooding events. This study presents a comparative analysis between the MODCEL and HEC-RAS 2D hydrodynamic models for flood simulation in this watershed, focusing on the comparison of generated flood extents, the evaluation of major flood control points, and the quantitative assessment of agreement between model results. The methodology included the compilation of historical flood records (2017–2025), the development of both models using the same topographic basis and rainfall event, spatial discretization, and the comparison of simulated flood extents and water depths. The results indicated similar performance in identifying the main critical areas, such as Praia de Botafogo, São Clemente Street, Voluntários da Pátria Street, and Mauro Duarte Square. However, differences were observed in flow distribution patterns: MODCEL tended to concentrate water depths at localized points, whereas HEC-RAS 2D produced a more continuous and spatially detailed distribution along the streets, influenced by its finer computational mesh resolution. It is concluded that both models are effective tools for flood risk management and urban drainage planning, with the choice depending on the required spatial detail and the availability of input data.

Key-words – Urban floodings; HEC-RAS 2D; MODCEL.

1) Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, ygm77@live.com

2) Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, mulinarieneduarda@gmail.com

3) Departamento de Engenharia Civil da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, krishnamurti@puc-rio.br

INTRODUÇÃO

As inundações urbanas representam um dos principais desafios enfrentados pelas cidades contemporâneas, especialmente em áreas densamente urbanizadas e submetidas à intensa impermeabilização do solo. O crescimento urbano desordenado, associado às limitações dos sistemas de drenagem, contribui diretamente para o aumento da frequência e da severidade dos eventos de alagamento (Miguez et al., 2012). Nos bairros de Botafogo e Humaitá, localizados na Zona Sul do município do Rio de Janeiro, os episódios de inundação são recorrentes devido à combinação entre elevada impermeabilização, baixa declividade nas áreas centrais e rápida concentração do escoamento superficial proveniente das encostas da bacia hidrográfica.

Nesse contexto, a modelagem hidrodinâmica tem se consolidado como uma importante ferramenta para compreensão da dinâmica das inundações e alagamentos urbanos e para o suporte ao planejamento de intervenções no sistema de manejo de águas pluviais. Modelos computacionais como o MODCEL e o HEC-RAS 2D permitem representar o comportamento hidráulico do escoamento superficial, possibilitando a simulação de profundidades de inundação/alagamentos, velocidades de fluxo e áreas propensas a acúmulos de água.

Entretanto, a evolução das ferramentas de simulação gerou um amplo debate na engenharia hidráulica sobre a complexidade e a estrutura dos modelos adotados. Tradicionalmente, as simulações em ambientes urbanos eram dominadas por modelos unidimensionais (1D) ou pseudo-bidimensionais, que evoluíram para formulações bidimensionais (2D) completas a partir da resolução das equações de Saint-Venant (Sousa et al., 2022). Paralelamente a essa evolução de modelos comerciais de alta densidade computacional, consolidaram-se as abordagens baseadas em Células de Escoamento (Quasi-2D), como o modelo MODCEL, que buscam otimizar o processamento a partir de uma representação topológico-conceitual do espaço urbano estruturada pelo próprio modelador (Mascarenhas e Miguez, 2002).

Essa discussão a respeito do impacto da escolha metodológica entre estruturas de modelagem hidráulica foi profundamente avaliada por Sousa (2017). Utilizando testes de referência (benchmarking) padronizados internacionalmente, o autor demonstrou que o ganho de refinamento geométrico e o uso de malhas bidimensionais massivas nem sempre se traduzem em maior precisão prática para a identificação de manchas de inundação e lâminas d'água máximas, especialmente se comparados a modelos Quasi-2D interpretativos devidamente estruturados. Segundo Sousa (2017), a premissa de que abordagens puramente bidimensionais superam intrinsecamente abordagens simplificadas ignora o fato de que diferentes estruturas de modelagem e parametrizações hidráulicas

podem produzir respostas distintas para um mesmo evento hidrológico sob um elevado custo de processamento computacional.

Considerando que tanto o MODCEL (Quasi-2D baseado em células) quanto o HEC-RAS 2D (baseado em malhas flexíveis bidimensionais) utilizam formulações fundamentadas nas equações de conservação de massa e quantidade de movimento, torna-se fundamental compreender como essas ferramentas respondem em bacias urbanas reais. A investigação dessa convergência e de suas assimetrias metodológicas preenche uma lacuna prática de projeto, alinhando-se às conclusões de Sousa (2017) de que a eficácia da modelagem depende diretamente da sensibilidade do arranjo espacial e das características físicas do terreno sob a ótica das decisões do modelador.

Uma avaliação similar foi feita por Marins et al. (2011) comparando ambos os modelos, porém, focou na avaliação de inundações em uma região urbana não densamente. O estudo demonstrou que ambos os modelos produziram perfis d'água semelhantes, porém com diferenças importantes na representação dos processos hidráulicos. O MODCEL apresentou maior capacidade de representar o extravasamento do rio para a planície de inundação e a evolução temporal das lâminas d'água entre células, sendo mais adequado para simulações de inundações urbanas complexas. Já o HEC-RAS 1D, por utilizar uma abordagem unidimensional tradicional, tende a representar limites laterais como paredes verticais, superestimando ligeiramente os níveis d'água e limitando a simulação do escoamento sobre a planície de inundação.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo comparar os resultados obtidos pelos modelos MODCEL e HEC-RAS 2D na simulação de alagamentos urbanos nos bairros de Botafogo e Humaitá, avaliando a extensão das áreas inundadas, as profundidades máximas simuladas e a representação dos principais pontos críticos de alagamento. A adoção da versão bidimensional do HEC-RAS busca estabelecer uma comparação metodologicamente mais equivalente entre os modelos, reduzindo diferenças associadas às simplificações unidimensionais e permitindo uma análise mais consistente da representação hidrodinâmica dos processos de inundação urbana.

MÉTODOS

Levantamento de ocorrências de alagamento

Foi realizado um levantamento sistemático de ocorrências de alagamentos nos bairros de Botafogo e Humaitá a partir de reportagens veiculadas em portais de mídia online e registros disponibilizados em redes sociais. Foram utilizadas informações provenientes dos portais G1, O Dia e Extra, os quais documentaram eventos significativos de inundação na área de estudo, conforme apresentado por Amaral *et al.* (2025) e que podem ser utilizados como forma alternativa de calibração segundo Oliveira et al. (2019) em cenários com falta de dados oficiais. O recorte temporal adotado

compreendeu o período entre 2017 e 2025, permitindo identificar os principais pontos historicamente suscetíveis à ocorrência de alagamentos na bacia hidrográfica estudada, com o objetivo de validar os as áreas atingidas em ambos os modelos utilizados.

Área de estudo

A área de estudo compreende os bairros de Botafogo e Humaitá, localizados na Zona Sul do município do Rio de Janeiro (RJ). A região apresenta elevada densidade urbana, intensa impermeabilização do solo e recorrentes registros de alagamentos associados a eventos pluviométricos intensos, configurando-se como uma área crítica para estudos de drenagem urbana e modelagem hidrodinâmica. A bacia hidrográfica estudada caracteriza-se pela presença de encostas íngremes associadas ao Maciço da Tijuca e por extensas áreas de baixa declividade próximas à orla da Praia de Botafogo. Essa configuração geomorfológica favorece a concentração do escoamento superficial nas regiões mais urbanizadas da bacia, potencializando a ocorrência de alagamentos durante eventos de chuva intensa.

Estruturação dos modelos hidrodinâmicos

A modelagem hidrodinâmica foi realizada utilizando os modelos MODCEL e HEC-RAS 2D, permitindo a comparação entre diferentes abordagens de representação do escoamento superficial urbano.

O modelo HEC-RAS 2D foi utilizado para representar o escoamento superficial a partir da resolução das equações bidimensionais de águas rasas derivadas das equações de Saint-Venant. Essa abordagem permite simular a propagação do fluxo em duas direções principais ao longo da malha computacional, considerando a influência da topografia, rugosidade hidráulica e conectividade superficial sobre a dinâmica do escoamento (Brunner, 2022; USACE, 2023).

O modelo MODCEL foi estruturado a partir da discretização da área de estudo em células hidrológicas conectadas hidráulicamente, conforme a metodologia proposta por Mascarenhas e Miguez (2002). O escoamento superficial foi representado por meio de células interligadas, que também utiliza as equações hidráulicas do tipo Saint-Venant, além das equações de vertimento, permitindo a simulação das trocas laterais de fluxo entre diferentes setores da bacia hidrográfica.

Ambos os modelos utilizaram o mesmo evento pluviométrico e a mesma base topográfica, buscando garantir a comparabilidade entre os resultados simulados.

Discretização espacial e caracterização das células

No modelo MODCEL, a área de estudo foi subdividida em 526 células hidrológicas, categorizadas conforme sua cobertura predominante em áreas urbanizadas, compostas por edificações e vias asfaltadas, e áreas florestadas, associadas a maciços vegetados, afloramentos rochosos e

encostas íngremes. Para cada célula foram atribuídos parâmetros físicos relacionados à dinâmica hidrológica, incluindo área total, área de armazenamento, cota de fundo, cota inicial, linha de matriz e coeficiente de escoamento superficial (runoff). O processo de modelagem pelo MODCEL é apresentado também no trabalho de Amaral *et al.* (2025).

Para a modelagem no HEC-RAS 2D, foi elaborada uma malha bidimensional composta por 15.758 células computacionais, construída a partir do mesmo Modelo Digital de Elevação utilizado no MODCEL, visando manter a coerência topográfica entre os modelos comparados. A discretização espacial buscou representar de forma mais detalhada o comportamento do escoamento superficial nas áreas urbanizadas da bacia hidrográfica.

Foram definidos três tipos principais de cobertura da terra: mancha urbana, edificações e áreas verdes. Para cada classe foram atribuídos coeficientes de rugosidade de Manning específicos, adotando-se os valores de 0,08 para mancha urbana, 0,10 (macrorugosidade) para áreas com predominância de edificações e 0,08 para áreas verdes, visando representar diferentes níveis de resistência hidráulica ao escoamento superficial (Rio de Janeiro, 2019).

Além disso, foram definidos percentuais de impermeabilização (Percent Impervious) de 90% para as áreas classificadas como mancha urbana e 85% para áreas verdes, buscando representar o elevado grau de impermeabilização presente na bacia hidrográfica estudada e sua influência sobre a geração do escoamento superficial.

Evento pluviométrico

As simulações hidrológicas e hidrodinâmicas foram realizadas utilizando os dados de precipitação referentes ao evento ocorrido em 26 de novembro de 2018 (Figura 1), amplamente associado a registros de alagamentos nos bairros de Botafogo e Humaitá. Os dados pluviométricos foram obtidos através do Sistema Alerta Rio, utilizando a estação pluviométrica da Urca, localizada nas proximidades da área de estudo.



Figura 1 - evento pluviométrico utilizado para simulação hidrológica e hidrodinâmica

O evento analisado compreende o período entre 04h00min e 07h30min, sendo aplicado de forma equivalente nos modelos MODCEL e HEC-RAS 2D, visando garantir a comparabilidade entre os resultados simulados. A utilização do mesmo evento pluviométrico permitiu avaliar as diferenças relacionadas exclusivamente às abordagens hidrodinâmicas e às parametrizações adotadas em cada modelo. No HEC-RAS 2D, a precipitação foi aplicada diretamente sobre a malha computacional por meio da abordagem Rain-on-Grid, possibilitando a representação espacial da geração e propagação do escoamento superficial ao longo da bacia hidrográfica estudada.

CrITÉRIOS de avaliação dos modelos

A comparação entre os modelos MODCEL e HEC-RAS 2D foi realizada a partir da análise espacial das manchas de inundação simuladas para o evento pluviométrico de 26 de novembro de 2018. Foram avaliadas as diferenças relacionadas à extensão das áreas inundadas, profundidades máximas simuladas e representação dos principais pontos críticos de alagamento identificados na bacia hidrográfica estudada.

A verificação qualitativa dos resultados foi conduzida utilizando registros históricos de alagamentos obtidos em reportagens, imagens e observações de campo, permitindo comparar a compatibilidade espacial entre os pontos efetivamente alagados e as regiões indicadas pelos modelos hidrodinâmicos. A análise quantitativa realizada neste estudo teve caráter comparativo entre modelos hidrodinâmicos, não sendo efetuada calibração com dados observados de profundidade de inundação em campo. Dessa forma, os indicadores estatísticos calculados, como o erro quadrático médio (RMSE), representam o nível de concordância entre os resultados simulados pelos modelos MODCEL e HEC-RAS 2D, e não erros absolutos em relação a valores reais observados. Ainda assim, a utilização de registros históricos de alagamentos permitiu realizar uma verificação qualitativa da coerência espacial das manchas de inundação simuladas.

RESULTADOS

A análise espacial das manchas de inundação simuladas pelos modelos MODCEL (Figura 2) e HEC-RAS 2D (Figura 3) evidenciou comportamento semelhante na identificação das principais áreas suscetíveis a alagamentos na bacia hidrográfica de Botafogo e Humaitá. Em ambos os modelos, observou-se maior concentração das lâminas de inundação nas regiões de menor declividade, especialmente próximas à Praia de Botafogo, Rua São Clemente, Rua Voluntários da Pátria e Praça Mauro Duarte, locais já identificados pelo levantamento das ocorrências de alagamento da região e historicamente associados à ocorrência recorrente de inundações urbanas.

Apesar da compatibilidade espacial geral entre os modelos, foram observadas diferenças relevantes na distribuição e propagação das manchas de inundação. O modelo MODCEL apresentou maior concentração das lâminas em regiões pontuais da bacia hidrográfica, com destaque para as áreas próximas ao exutório e aos principais corredores urbanos. Em contrapartida, o HEC-RAS 2D apresentou distribuição espacial mais contínua das manchas de inundação, associada à maior resolução da malha bidimensional e à representação explícita da propagação do escoamento superficial ao longo da superfície urbana.

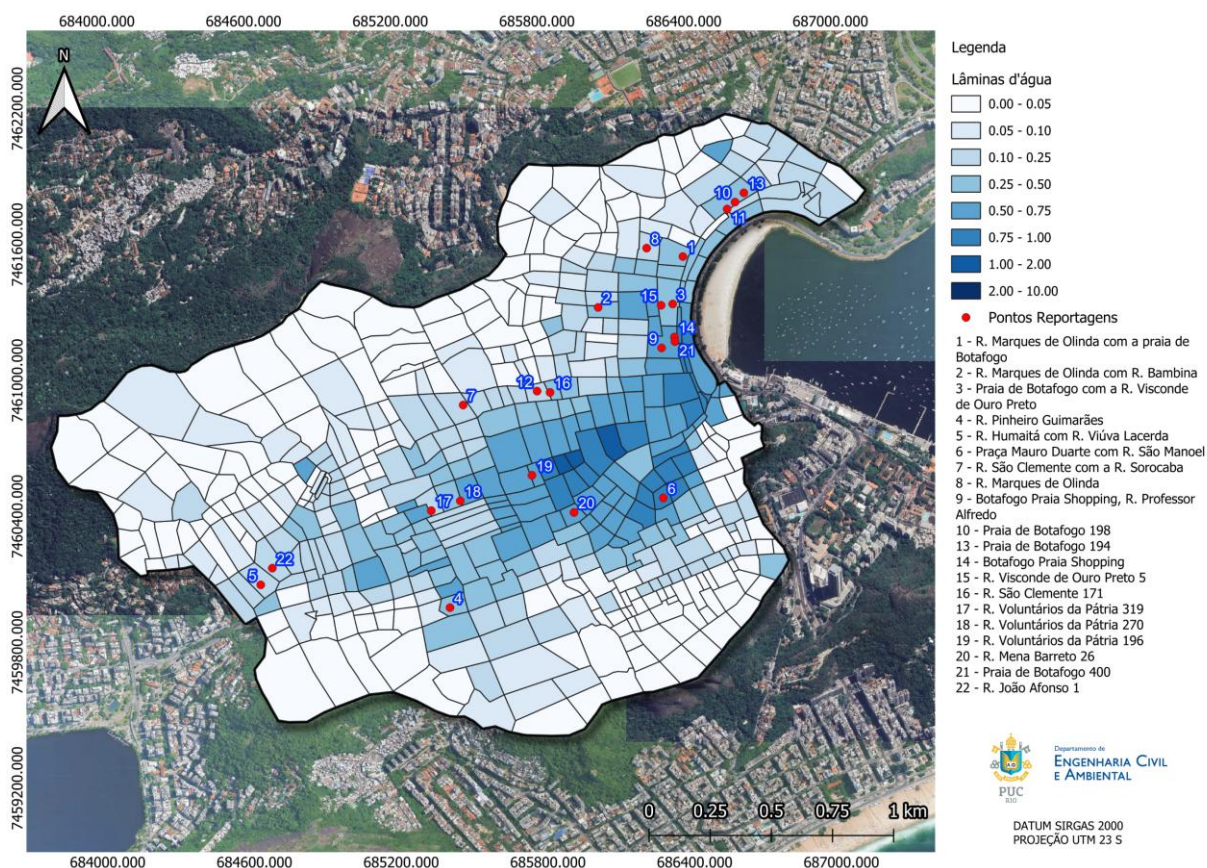


Figura 2 – Mancha de inundação simulada pelo MODCEL para o evento de 26 de novembro de 2018.

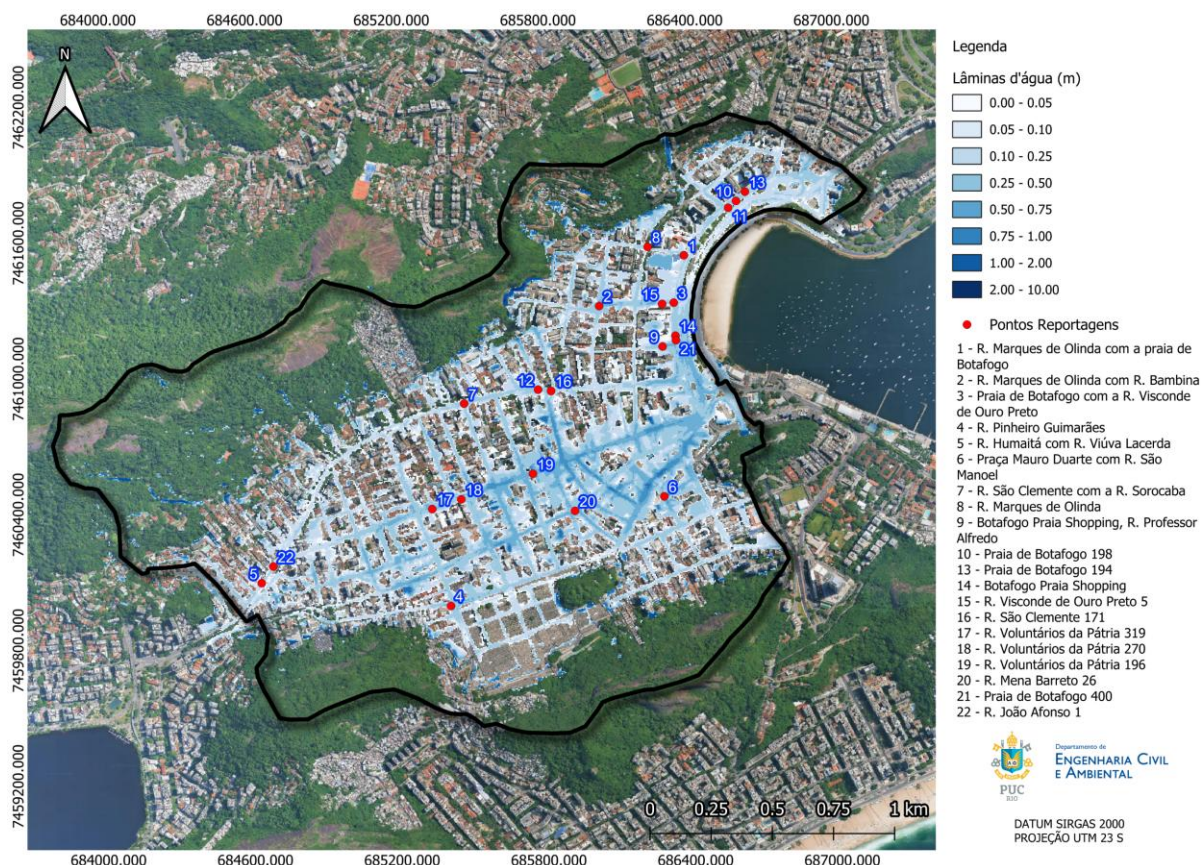


Figura 3 - Mancha de inundação simuladas pelo HEC-RAS 2D para o evento de 26 de novembro de 2018

A utilização de uma malha composta por 15.758 células computacionais no HEC-RAS 2D possibilitou representar com maior detalhamento os caminhos preferenciais de fluxo ao longo das vias urbanas, permitindo identificar padrões de propagação hidráulica menos perceptíveis no modelo MODCEL. Esse comportamento evidencia diferenças estruturais importantes entre os modelos hidrodinâmicos avaliados. A diferença entre as resoluções espaciais adotadas pelos modelos influenciou diretamente a representação da conectividade hidráulica superficial. Enquanto o MODCEL trabalha com células hidrológicas de maior agregação espacial, o HEC-RAS 2D permite representar com maior detalhamento os gradientes topográficos locais e os caminhos preferenciais do escoamento superficial ao longo do sistema viário urbano.

Comparação das lâminas de inundação simuladas

A comparação entre as profundidades máximas simuladas pelos modelos MODCEL e HEC-RAS 2D (Quadro 1) evidenciou comportamento semelhante na identificação das principais áreas suscetíveis a alagamentos na bacia hidrográfica estudada. Em ambos os modelos, os maiores valores de lâmina d'água foram observados nas regiões da Praia de Botafogo, Praça Mauro Duarte, Rua São Clemente e Rua Voluntários da Pátria.

Quadro 1 - Altura da lâmina de água encontrada nos pontos cotados dos jornais

ID	RUAS	Profundidade máxima MODCEL em (m)	Profundidade máxima HECRAS em (m)
1	R. Marques de Olinda com a praia de Botafogo	0.38	0.19
2	R. Marques de Olinda com R. Bambina	0.45	0.49
3	Praia de Botafogo com a R. Visconde de Ouro Preto	0.46	0.29
4	R. Pinheiro Guimarães	0.46	0.51
5	R. Humaitá com R. Viúva Lacerda	0.16	0.23
6	Praça Mauro Duarte com R. São Manoel	0.98	0.79
7	R. São Clemente com a R. Sorocaba	0.12	0.3
8	R. Marques de Olinda	0.16	0.13
9	Botafogo Praia Shopping, R. Professor Alfredo	0.72	0.43
10	Praia de Botafogo 198	0.41	0.35
11	Praia de Botafogo 210	0.41	0.26
12	R. São Clemente	0.21	0.38
13	Praia de Botafogo 194	0.41	0.31
14	Botafogo Praia Shopping	0.72	0.39
15	R. Visconde de Ouro Preto 5	0.46	0.43
16	R. São Clemente 171	0.26	0.35
17	R. Voluntários da Pátria 319	0.23	0.44
18	R. Voluntários da Pátria 270	0.27	0.42
19	R. Voluntários da Pátria 196	0.74	0.7
20	R. Mena Barreto 26	0.68	0.52
21	Praia de Botafogo 400	0.72	0.42
22	R. João Afonso 1	0.16	0.2

O ponto localizado na Praça Mauro Duarte com Rua São Manoel apresentou a maior profundidade simulada entre todos os pontos analisados, atingindo aproximadamente 0,98 m no modelo MODCEL e 0,79 m no HEC-RAS 2D. Valores elevados também foram observados na Rua Voluntários da Pátria 196, onde as profundidades simuladas foram de 0,74 m e 0,70 m para o MODCEL e HEC-RAS 2D, respectivamente.

De maneira geral, o modelo MODCEL apresentou maiores profundidades máximas em parte significativa dos pontos avaliados, especialmente nas regiões próximas à Praia de Botafogo e ao Botafogo Praia Shopping. Por outro lado, o HEC-RAS 2D apresentou maiores profundidades em alguns trechos da Rua São Clemente e Rua Voluntários da Pátria, indicando diferenças na representação hidrodinâmica do escoamento superficial entre os modelos.

As diferenças observadas entre os resultados estão diretamente relacionadas às distintas abordagens hidráulicas empregadas pelos modelos. O MODCEL tende a concentrar o volume escoado em regiões específicas da bacia hidrográfica, favorecendo maiores profundidades localizadas. Em contrapartida, o HEC-RAS 2D distribui o escoamento de forma mais contínua ao

longo da malha bidimensional, reduzindo a concentração pontual das lâminas de inundação em alguns setores da bacia.

Foi realizada uma análise quantitativa de concordância entre os modelos MODCEL e HEC-RAS 2D com base nas profundidades máximas simuladas em 22 pontos historicamente associados a alagamentos na área de estudo. A comparação utilizou o indicador estatístico RMSE para avaliar a dispersão entre os resultados simulados, com dados observados em campo. Os resultados indicaram convergência geral entre os modelos, com profundidades médias de aproximadamente 0,44 m para o MODCEL e 0,38 m para o HEC-RAS 2D, diferença média absoluta de cerca de 0,12 m e RMSE aproximado de 0,15 m. As maiores divergências ocorreram em áreas urbanas de baixa declividade e elevada complexidade hidráulica, enquanto os maiores níveis de concordância foram observados em pontos específicos da bacia. De forma geral, ambos os modelos apresentaram comportamento semelhante na identificação das principais áreas suscetíveis a alagamentos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho realizou uma análise comparativa entre os modelos hidrodinâmicos MODCEL e HEC-RAS 2D aplicados à simulação de alagamentos urbanos nos bairros de Botafogo e Humaitá, no município do Rio de Janeiro, utilizando o evento pluviométrico ocorrido em 26 de novembro de 2018. Os resultados obtidos evidenciaram que ambos os modelos foram capazes de representar de forma coerente os principais pontos críticos de inundação identificados na área de estudo, demonstrando potencial para aplicação em estudos de drenagem urbana e apoio ao planejamento territorial. A comparação entre os modelos permitiu identificar diferenças relevantes na representação espacial das manchas de inundação e nas profundidades simuladas. O modelo MODCEL apresentou tendência de maior concentração das lâminas de inundação em regiões específicas da bacia hidrográfica, enquanto o HEC-RAS 2D apresentou distribuição espacial mais contínua do escoamento superficial, associada à maior resolução da malha computacional e à representação bidimensional do fluxo.

Observou-se ainda que a parametrização hidráulica, especialmente os coeficientes de rugosidade de Manning, exerceu influência significativa sobre os resultados obtidos no HEC-RAS 2D, afetando diretamente a propagação do escoamento e a formação das manchas de inundação. A utilização de coeficientes espacializados permitiu representar de maneira mais detalhada os diferentes padrões de resistência hidráulica associados às distintas coberturas do solo presentes na bacia urbana estudada. Os resultados também evidenciaram a importância da discretização espacial na modelagem hidrodinâmica urbana. A malha bidimensional mais refinada do HEC-RAS 2D possibilitou representar com maior detalhamento os caminhos preferenciais de fluxo ao longo das vias urbanas,

enquanto o MODCEL apresentou maior simplificação espacial, priorizando a conectividade hidrológica entre células e a representação global do comportamento hidráulico da bacia. Adicionalmente, os resultados demonstraram que o modelo MODCEL demanda menor volume de dados topográficos de entrada em comparação com a abordagem bidimensional completa. Em contrapartida, essa simplificação geométrica requer uma rigorosa interpretação prévia por parte do modelador para a discretização da bacia e para a definição das ligações hidráulicas pertinentes.

Essa característica decorre da versatilidade do modelo em simular o escoamento a partir não apenas das equações de Saint-Venant, mas também de uma ampla gama de formulações de estruturas (como orifícios, vertedores e galerias), transferindo o esforço do processamento computacional bruto para a sensibilidade técnica do projetista. Apesar das diferenças observadas entre os modelos, ambos apresentaram compatibilidade espacial com os registros históricos de alagamentos identificados na região, indicando consistência na representação das áreas suscetíveis à inundação.

Dessa forma, conclui-se que tanto o MODCEL quanto o HEC-RAS 2D possuem potencial para aplicação em estudos hidrodinâmicos urbanos, sendo a escolha do modelo dependente dos objetivos da análise, da disponibilidade de dados e do nível de detalhamento desejado. Os resultados obtidos demonstram que diferentes abordagens hidrodinâmicas podem produzir respostas espaciais distintas para um mesmo evento pluviométrico, especialmente em bacias urbanas complexas e altamente impermeabilizadas. Ainda assim, ambos os modelos apresentaram coerência na identificação das principais áreas críticas de inundação, evidenciando potencial para aplicação em estudos de drenagem urbana e apoio à gestão de riscos hidrológicos. Por fim, recomenda-se que estudos futuros incorporem análises quantitativas de calibração, avaliação de diferentes cenários pluviométricos e integração com dados de microdrenagem urbana, visando ampliar a capacidade de representação hidrodinâmica dos modelos e contribuir para o desenvolvimento de estratégias de mitigação e adaptação frente aos eventos extremos de precipitação em áreas urbanas densamente ocupadas.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, E. M.; MAIA, Y. G.; RANGEL JUNIOR, F. S.; PINHEIRO, I. L. C.; CARVALHO JUNIOR, C. E. F.; OLIVEIRA, A. K. B. (2025) Modelagem hidrológica-hidrodinâmica aplicada à análise de alagamentos urbanos no bairro de Botafogo, Rio de Janeiro, RJ. In: XXVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2025. Anais [...]. [S.l.: s.n.].
- BRUNNER, G. W. HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual. Version 6.3. Davis, California: US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 2022.
- CHAI, T.; DRAXLER, R. R. Root Mean Square Error (RMSE) or Mean Absolute Error (MAE)? Arguments against avoiding RMSE in the literature. *Geoscientific Model Development*, v. 7, p. 1247–1250, 2014.
- CHOW, V. T. *Open-Channel Hydraulics*. New York: McGraw-Hill, 1959.

COSTABILE, P.; COSTANZO, C.; MACCHIAROLI, M.; PETACCIA, G. Performances of 2D numerical models for hydraulic flood modelling: benchmarking and comparison between models. *Journal of Hydrology*, v. 590, 2020.

MARINS, M. F.; JACOB, A. C. P.; MIGUEZ, M. G.; SOBRAL, B. S.; PRATA, D. A. A comparison between HEC-RAS and MODCEL: an application in Taquaraçu river basin - Espírito Santo, Brazil. (2011) In: 13th International Conference on Urban Drainage, 2014. Proceedings [...]. Sarawak: IWA.

MASCARENHAS, F. C. B.; MIGUEZ, M. G. O modelo de células de escoamento aplicado à simulação de cheias urbanas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 7, n. 4, p. 57-70, 2002.

MIGUEZ, M. G., Rezende, O. M., & Veról, A. P. (2012). Interações entre o rio dos macacos e a lagoa rodrigo de freitas sob a ótica dos problemas de drenagem urbana e ações integradas de revitalização ambiental. *Oecologia Australis*, 16(3), 615–650. <https://doi.org/10.4257/oeco.2012.1603.16>

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.

RIO DE JANEIRO (Município). Secretaria Municipal de Obras. Subsecretaria de Gestão de Bacias Hidrográficas – RIO-ÁGUAS. Instruções técnicas para elaboração de estudos hidrológicos e dimensionamento hidráulico de sistemas de drenagem urbana. 2. versão, jul. 2019. Rio de Janeiro: RIO-ÁGUAS, 2019. Disponível em: RIO-ÁGUAS. Acesso em: 17 maio 2026.

SOUSA, M. M. Avaliação Comparativa de Metodologias de Modelagem Hidráulica 2D e seu Impacto na Interpretação e Avaliação de Ondas de Cheia. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

SOUSA, M. M., DE OLIVEIRA, A. K. B., REZENDE, O. M., DE MAGALHÃES, P. M. C., PITZER JACOB, A. C., DE 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), 976-991.