

Modelagem Hidrodinâmica do Rio Guaíba no Evento Extremo de Maio de 2024:

Avaliação da Rugosidade de Fundo com Extravasamento do Fluxo

Henrique Wolff Salvador¹, Rafael Manica² & Eduardo Puhl³

Resumo: O evento extremo de chuvas que atingiu o Rio Grande do Sul em maio de 2024 impactou significativamente a hidrodinâmica do Delta do Jacuí e do rio Guaíba. Para entender essa mudança, este trabalho simulou computacionalmente a hidrodinâmica deste corpo hídrico durante esse evento. Foi utilizado o modelo 2DH do SisBahia com batimetria das cartas náuticas nº 2111 e 2113, atualizadas com canais dragados, e altimetria do MDT-ANADEM para áreas alagadas, ambos referenciados. Três cenários de rugosidade do leito foram simulados (mínimo, médio e máximo) com base em levantamentos prévios nesse corpo hídrico. Os dados de entrada incluíram série de nível em Itapuã, séries de vazões para os rios Jacuí, Caí, Sinos e Gravataí, e série de vento reconstituído do ERA5. Os resultados simulados de nível e vazão foram comparados com dados observados e avaliados por meio de métricas estatísticas (RMSE, R e R^2), indicando bom desempenho geral, com correlações em geral superiores a 80%. O cenário de rugosidade máxima apresentou melhor ajuste no Delta do Jacuí e desempenho semelhante aos demais no rio Guaíba, indicando ser o melhor cenário para a representação do comportamento do sistema em eventos extremos. A análise das vazões evidenciou o efeito do extravasamento lateral nas regiões alagáveis, reduzindo as vazões nas seções correspondentes, bem como um efeito de amortecimento nas seções ao sul do Guaíba. Em trechos intermediários, observa-se a conservação de vazão. Os resultados indicam que a modelagem hidrodinâmica é uma ferramenta promissora para a compreensão de eventos extremos no sul do Brasil.

Abstract: The extreme rainfall event that affected Rio Grande do Sul in May 2024 significantly altered the hydrodynamics of the Jacuí Delta and the Guaíba River. To understand these changes, the 2DH computationally simulated module of the SisBahia model was applied using the bathymetry from nautical charts No. 2111 and 2113, updated with dredged channels, and the altimetry from the MDT-ANADEM for flooded areas. Three bed-roughness scenarios (minimum, medium, and maximum) were also simulated based. Input data included the water-level time series at Itapuã, discharge series for the Jacuí, Caí, Sinos, and Gravataí rivers, and the reconstructed ERA5 wind fields. Simulated water levels and discharges were compared with observed data and evaluated using statistical metrics (RMSE, R, and R^2), indicating good overall performance, with correlations generally exceeding 80%. The maximum-roughness scenario yielded the best performance in the Jacuí Delta and showed similar performance to the other scenarios in the Guaíba River, indicating its suitability for representing system behavior under extreme conditions. Discharge analysis showed lateral floodplain overflow reducing local flows, downstream attenuation, and flow conservation in intermediate reaches. These results indicate that hydrodynamic modeling is a promising tool for understanding extreme events in southern Brazil.

Palavras-Chave: eventos extremos, simulação numérica, rio Guaíba

Keywords: extreme events, numerical simulation, Guaíba River

1) Núcleo de Estudos de Correntes de Densidade (NECOD), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), UFRGS Email: henrique.wolff@ufrgs.br

2) Núcleo de Estudos de Correntes de Densidade (NECOD), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), UFRGS Email: manica@iph.ufrgs.br

3) Núcleo de Estudos de Correntes de Densidade (NECOD), Instituto de Pesquisas Hidráulicas (IPH), UFRGS Email: eduardo.puhl@ufrgs.br

INTRODUÇÃO

O rio Guaíba é um dos principais corpos hídricos do estado do Rio Grande do Sul, situado entre o Delta do rio Jacuí e a Lagoa dos Patos (Figura 1a). Ele banha a capital estadual, Porto Alegre, além de outras cidades ao longo de sua extensão. Sua importância ambiental, econômica e cultural não só para a região metropolitana de Porto Alegre como também para o resto do estado, é enorme, sendo usado principalmente para navegação de cargas, transporte de pessoas, recreação, pesca, abastecimento hídrico, diluição de resíduos domésticos e industriais e inúmeras outras atividades.

O rio Guaíba representa também uma fonte de risco durante eventos de cheias, especialmente para as comunidades situadas em suas margens. Ao longo dos últimos 152 anos, foram registradas diversas enchentes significativas, das quais nove ultrapassaram a cota de inundação de referência de 3,0 metros no Cais Mauá, em Porto Alegre. De acordo com Guimaraens (2009), cinco desses eventos ocorreram antes de 2023, sendo o maior nível máximo de 4,76 m em 1941. A partir de 2023, foram registradas mais quatro cheias significativas, culminando com o evento extremo de maio de 2024 com níveis de 5,35 m, e vazões que atingiram mais de 30 milhões de litros por segundo (Toldo Jr. et al., 2024). Esses dados evidenciam uma intensificação recente dos eventos extremos de cheia no rio Guaíba (Paiva et al., 2025; Medeiros et al., 2025).

Em termos hidrodinâmicos, o rio Guaíba apresenta um comportamento complexo, especialmente em cheias extremas, ainda pouco compreendido, destacando-se o extravasamento do fluxo na região do Delta do Jacuí. A modelagem numérica é uma ferramenta essencial para analisar esse comportamento a partir de dados de entrada controlados, servindo também de base para estudos de qualidade da água e sedimentos. Devido à largura do Guaíba, modelos bidimensionais ou tridimensionais são os mais adequados para sua simulação (SISBAHIA, 2025). Exemplos de uso de modelagem computacional recentes no Guaíba são: Pierrat, 2016; Michelin, 2023; Scottá et al., 2025; Medeiros et al., 2025; Belloli et al., 2026. Entretanto, em nenhum deles se buscou simular eventos extremos e verificar o impacto hidrodinâmico sob vazões elevadas.

Assim, este trabalho tem como principal objetivo a implantação de um modelo numérico computacional que simule a hidrodinâmica no rio Guaíba no evento extremo de cheia do mês de maio de 2024, incluindo o extravasamento do fluxo na região do Delta do Jacuí. Assim, buscará calibrar o modelo numérico (efeito da rugosidade) e estabelecer uma base metodológica e de dados que subsidie futuras simulações hidrodinâmicas no rio Guaíba, promovendo a padronização e a reprodutibilidade dos estudos na região para aplicação futura na segurança do transporte aquaviário e/ou portos localizados nas suas margens ou, também, em obras que busquem mitigar os efeitos das enchentes.

MÉTODOS

Neste estudo, foi empregado o modelo hidrodinâmico bidimensional 2DH do software SisBahia (Sistema Base de Hidrodinâmica Ambiental), desenvolvido pela COPPE/UFRJ (SISBAHIA, 2025), considerando processos de alagamento e secamento (Modulo Poroso-Rugoso) que presume a ocorrência de escoamento subsuperficial em meio poroso. Todas as simulações foram realizadas para o período de 15 de abril a 4 de junho de 2024.

No modelo hidrodinâmico 2DH do SisBahia, o módulo responsável pelos cálculos determina, a cada intervalo de tempo, as componentes das velocidades médias verticalmente integradas nas direções x e y , $U(x, y, t)$ e $V(x, y, t)$, respectivamente, bem como a elevação da superfície livre, $\zeta(x, y, t)$ integrada na vertical. Além disso, as áreas insulares do Delta do Jacuí tornam-se inundadas durante o pico das enchentes e retornam ao estado seco conforme os níveis diminuem. No modelo, a

representação desse processo de alagamento e secamento envolve três parâmetros de calibração: espessura da camada porosa-rugosa, fator de rugosidade e fator de calibração de celeridade da onda no meio subsuperficial. Em todas as simulações, adotaram-se valores de 0,5; 1; e 0, respectivamente.

As simulações no SisBahia exigiram a construção de uma malha com batimetria para os leitos do Guaíba e do Delta do Jacuí. Os dados foram obtidos das cartas náuticas nº 2113 e nº 2111, atualizados com canais dragados (conforme dados cedidos pela Portos-RS). Para a representação das áreas inundáveis, foram consideradas as ilhas do Delta do Jacuí e a região ao norte da Ilha da Pintada, às margens do rio Jacuí (Figura 1a), utilizando o Modelo Digital de Terreno ANADEM (UFRGS-IPH, 2024). Todos os níveis foram ajustados ao mesmo referencial altimétrico (PGA-POA, 2024).

O parâmetro de rugosidade utilizado pelo SisBahia é chamado de amplitude equivalente da rugosidade do fundo (ε). A definição desse parâmetro para o leito do rio (Figura 1b) foi baseada em referências previamente obtidas para o rio Guaíba (Scottá, 2018; Andrade, 2018) e para o Delta do Jacuí (LABORATOIRE DAUPHINOIS D'HYDRAULIQUE, 1954; PROFILL, 2020); enquanto, nas áreas suscetíveis a alagamentos, foram aplicados valores recomendados pelo SisBahia de $\varepsilon = 0,15$ m.

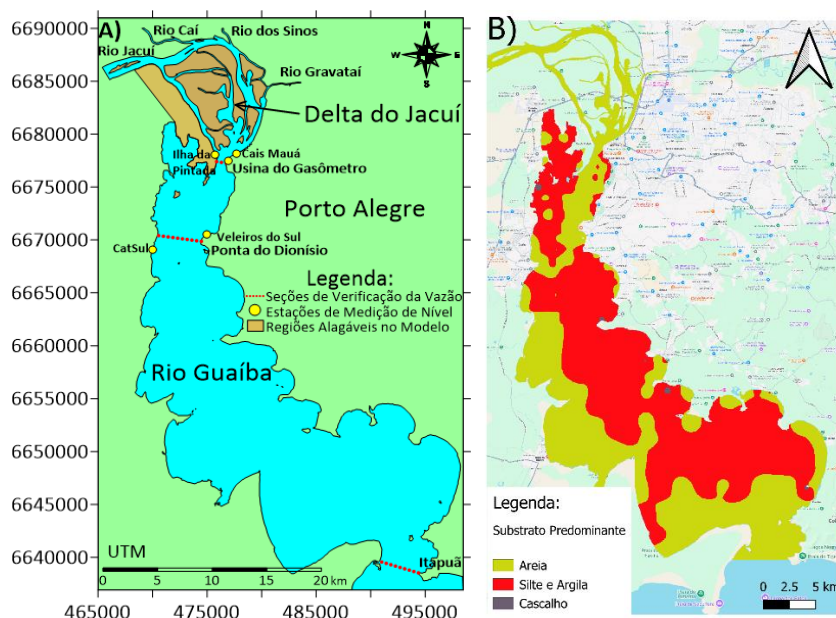


Figura 1 – Mapa de Localização (A) e do Substrato Predominante do Leito (B) do Delta do Jacuí e Rio Guaíba

As condições de vazão de entrada do modelo hidrodinâmico foram estabelecidas nas seções correspondentes aos quatro principais rios tributários do sistema: Jacuí, Cai, Sinos e Gravataí. Os dados utilizaram séries temporais de vazão geradas pelo modelo hidrológico MGB-IPH para a região (Medeiros et al., 2025), corrigidas com medições pontuais de vazão ao longo do mês de maio e junho de 2024 (Toldo Jr. et al., 2024). Cursos d'água menores, como arroios, não foram incluídos.

A condição de saída do modelo foi imposta na extremidade sul do Guaíba, na região do Farol de Itapuã, local onde o rio se conecta à Lagoa dos Patos. Devido à ausência de dados de nível medido na região, optou-se pela utilização de séries de nível modeladas para Itapuã obtidas a partir de simulações com o modelo hidrodinâmico bidimensional IPH-A. Nessas simulações, foram adotados como condição de contorno os níveis registrados pelo marégrafo do SIMCOSTA em Rio Grande (RS), bem como as mesmas vazões consideradas para os rios tributários do Delta do Jacuí.

Além disso, para a direção e intensidade do vento sobre o corpo hídrico foram utilizadas séries temporais provenientes da reanálise do ERA5. Esses dados já incluem as correções necessárias para representar adequadamente o efeito do vento na superfície da água (conforme Belloli et al., 2026).

Ainda, o modelo hidrodinâmico foi implementado assumindo fundo fixo, ou seja, não haverá processos de erosão ou deposição ao longo da simulação. Além disso, outros processos foram desconsiderados, tais como infiltração, evaporação e precipitação sobre a malha durante os eventos simulados. Tais variáveis apresentam impacto relativamente baixo sobre a hidrodinâmica em comparação com os efeitos do nível da água, da vazão e do vento, justificando sua exclusão do estudo.

Simulações Realizadas

Com base nos dados de entrada, foram realizadas três simulações com o objetivo de calibrar o modelo para o evento extremo de maio de 2024, adotando a amplitude equivalente de rugosidade do fundo (ϵ) do leito do corpo hídrico como principal parâmetro de ajuste (Figura 1b). Os intervalos de ϵ foram definidos conforme as faixas recomendadas pelo SisBahia para diferentes materiais de leito de rios naturais, variando de argila e silte a pedregulho. Assim, foram considerados três cenários: entre 0,0001 m (argila e silte) $< \epsilon < 0,05$ m (pedregulho) para o caso de rugosidade mínima; entre 0,0051 m (argila e silte) $< \epsilon < 0,085$ m (pedregulho) para o caso de rugosidade média; e entre 0,01 m (argila e silte) $< \epsilon < 0,12$ m (pedregulho) para o caso de rugosidade máxima.

Análise dos Resultados

A verificação dos resultados consiste na comparação entre os resultados simulados pelo modelo e os dados observados em campo. Primeiramente, serão confrontados os níveis d'água modelados com aqueles registrados pelas estações de monitoramento que permaneceram operantes durante o pico da cheia de maio de 2024. No total, cinco estações forneceram dados válidos: SPH4 – Cais Mauá, VDS1 – Veleiros do Sul e IDP1 – Ilha da Pintada, do sistema TideSat; além das estações 87242000 – Usina do Gasômetro e 87242000 – Terminal CatSul Guaíba, integrantes da rede de Hidro-Telemetria (Figura 1a). Três indicadores de desempenho foram adotados para a comparação dos resultados: a Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE), a qual mede a diferença média entre os valores previstos pelo modelo e os valores reais (Equação 1); o Coeficiente de Correlação (-1 (forte) $< R < 1$ (forte)), que mede o grau de relacionamento entre duas variáveis e a direção de relações lineares (Equação 2); e o Coeficiente de Determinação (0 (fraca) $< R^2 < 1$ (forte)), o qual é uma medida estatística que é usada para avaliar a qualidade do ajuste de um modelo de regressão (Equação 3).

Adicionalmente, serão comparadas as vazões simuladas em seções específicas (Figura 1a), como Ponta do Dionísio, Itapuã e Usina do Gasômetro, com a soma das vazões de entrada do modelo e serão adotadas as mesmas métricas de verificação, apresentadas na Tabela 1. Essa avaliação permite verificar a coerência dos resultados em relação ao princípio da conservação de massa. Cabe destacar que, em todas as análises de nível e vazão, foram desconsiderados os 14 dias anteriores a 29/04/2024 (início da subida dos níveis), de modo a restringir a avaliação exclusivamente ao período de cheia.

Tabela 1 – Métricas Estatísticas de Verificação Utilizadas

Métrica	Equação	Variável
Raiz do Erro Médio Quadrático (RMSE)	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum(M_i - O_i)^2}{N-1}}$	(1)
Coeficiente de Correlação (R)	$R = \frac{\sum(M_i - M)(O_i - O)}{\sqrt{\sum(M_i - M)^2 \sum(O_i - O)^2}}$	(2)
Coeficiente de Determinação (R^2)	$R^2 = 1 - \frac{\sum(M_i - O_i)^2}{\sum(O_i - O)^2}$	(3)

M_i = dados modelados em cada instante de tempo;
 M = média dos dados modelados no intervalo escolhido;
 O_i = dados observados em cada instante de tempo;
 O = média dos dados observados no intervalo escolhido
 N = número total de dados comparados para o cálculo do parâmetro

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das três simulações do evento extremo de cheia de maio de 2024 no rio Guaíba são apresentados abaixo.

Comparação das Séries de Nível - Modelagem vs. Medição

A Figura 2 apresenta as séries temporais de nível d'água simuladas para os três cenários de rugosidade considerados na malha de modelagem e a comparação com os valores medidos nas cinco estações de medição de nível existentes junto ao rio Guaíba (Figura 1a). Todos os níveis apresentados estão referenciados ao datum altimétrico do TideSat, adotado por sua compatibilidade com a cota de inundação de 3 m no Cais Mauá.

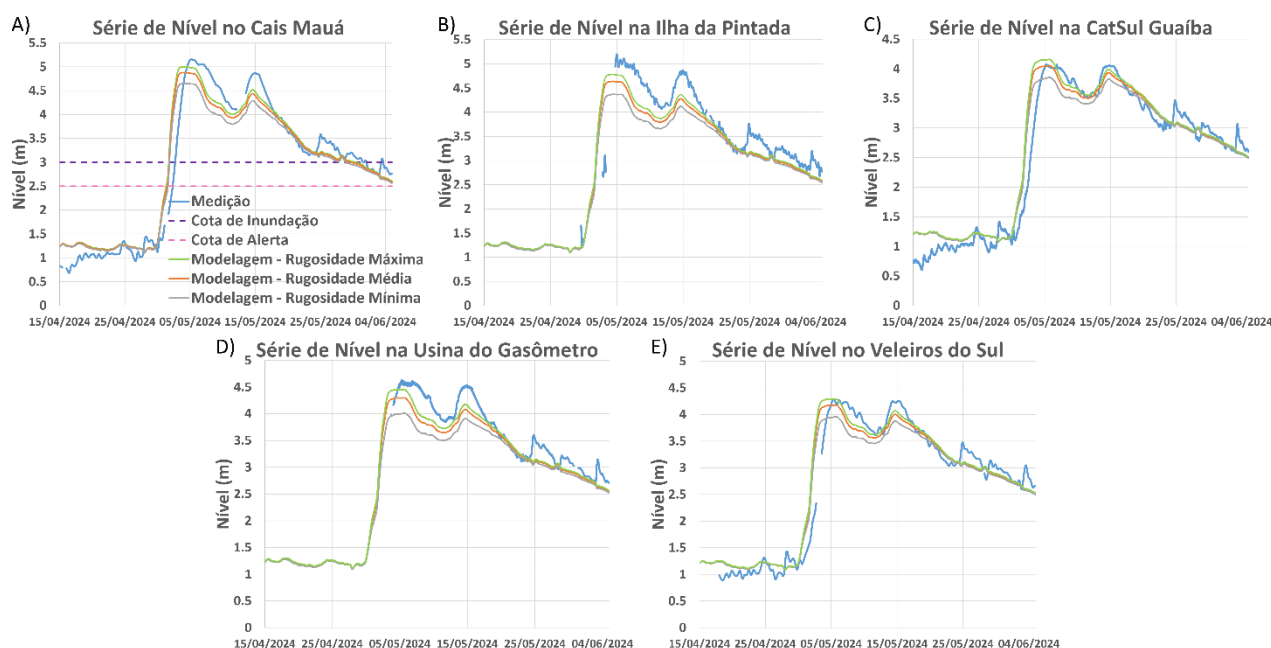


Figura 2 - Comparação entre as Séries de Nível de Água Simuladas e Medidas em Cinco Estações do Rio Guaíba

Observa-se de maneira geral para as cinco estações que, durante a subida inicial associada às cheias, os níveis simulados apresentam antecipação em relação aos valores medidos (Figuras 2a, 2b, 2c e 2e), indicando uma defasagem temporal da simulação, i.e. o modelo está respondendo mais rápido o aumento de vazão nos rios do que o rio natural. Os resultados modelados indicam que essa cota foi ultrapassada aproximadamente às 16h do dia 1º de maio, enquanto as medições apontam seu transbordamento apenas às 17h do dia 2 de maio, ou seja, cerca de 25 horas mais tarde. Nesse contexto, o monitoramento preciso dos níveis d'água é essencial, não apenas para a detecção da cota de inundação, mas também para o acompanhamento da cota de alerta (2,5 m).

O cenário de rugosidade máxima apresentou melhor desempenho, sobretudo na representação do pico (próximo ao dia 05/05/2024) e do repique (próximo ao dia 15/05/2024) no Delta do Jacuí (Figuras 2a, 2b e 2d), enquanto no rio Guaíba (Figuras 2c e 2e) teve resultados semelhantes aos demais cenários de rugosidade média e mínima. Após o repique, o modelo suaviza a recessão e não capta variações diárias, devido principalmente à condição de contorno em Itapuã e à malha menos refinada na Lagoa dos Patos (do modelo IPH-A). Antes das enchentes, os três cenários mostraram pouca diferença nos níveis simulados. Em eventos extremos, porém, a rugosidade passa a influenciar significativamente os níveis d'água, sendo um parâmetro chave na calibração.

A Figura 3 apresenta os índices estatísticos de verificação calculados para as cinco estações.

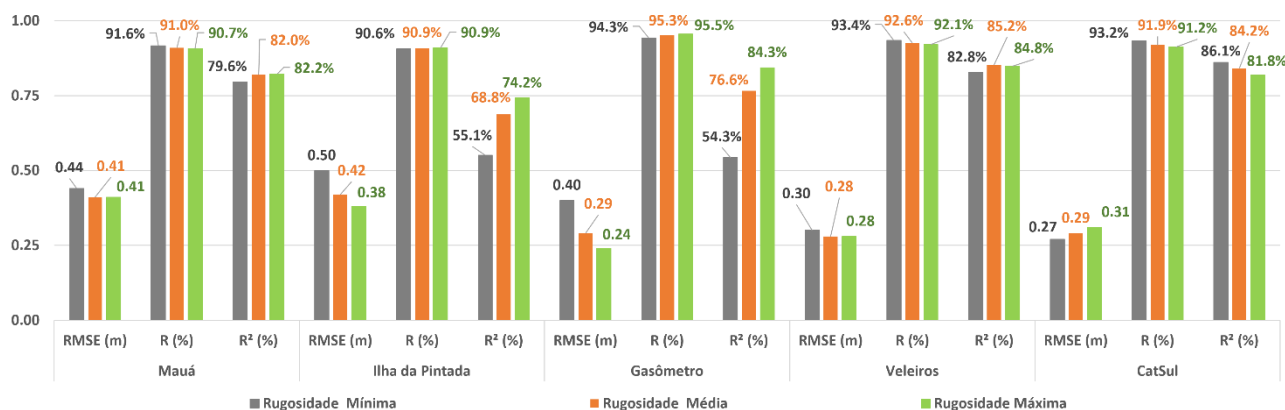


Figura 3 - Resultados das Métricas Estatísticas de Verificação Utilizadas para os Valores de Nível

Em relação às métricas estatísticas, o coeficiente de correlação (R) indicou forte associação entre séries simuladas e observadas, com valores superiores a 0,90. Já o coeficiente de determinação (R^2) apresentou valores acima de 0,80 para a maioria das estações, com exceção da Ilha da Pintada e da Usina do Gasômetro. Esse comportamento pode ser explicado pela ausência de medições no início do evento nessas estações, conforme ilustrado nas Figuras 2b e 2d, com registros contínuos iniciando apenas por volta de 04/05 e 03/05, respectivamente. Por sua vez, a raiz do erro médio quadrático (RMSE) apresentou, em termos gerais, maiores discrepâncias nas estações do Delta do Jacuí, corroborando as análises previamente discutidas. Ainda assim, os resultados indicam que o modelo reproduziu de forma satisfatória a dinâmica observada, destacando-se o cenário com rugosidade máxima como aquele de melhor desempenho global entre os avaliados.

Comparação das Séries de Vazão - Modelagem vs. Dado de Entrada

A Figura 4 apresenta as três seções de medição de vazão simuladas, comparadas à série de vazão inicial utilizada nas simulações, permitindo verificar a conservação de massa no modelo.

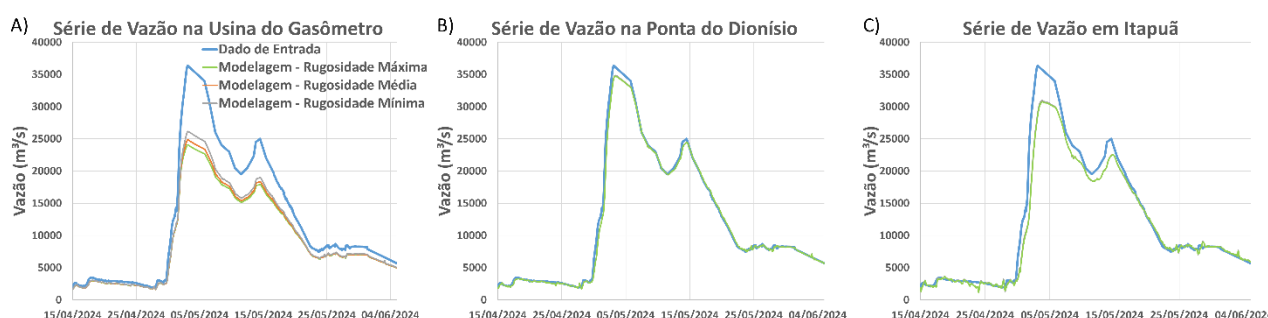


Figura 4 – Comparação entre as Séries Temporais de Vazão Simuladas em Três Seções e a Vazão de Entrada do Modelo

Na Usina do Gasômetro, a Figura 4a revela uma distinção mais evidente entre a vazão imposta e a simulada. Durante o pico, a vazão simulada é menor que a de entrada devido ao desvio do escoamento para áreas alagáveis na região da Ilha da Pintada, reduzindo o fluxo na seção do Gasômetro. À medida que a cheia perde intensidade, a vazão modelada volta a convergir para a de entrada, indicando a diminuição desse desvio. Na Ponta do Dionísio, por outro lado, não há áreas de alagamento capazes de desviar parte do escoamento. Assim, como mostrado na Figura 4b, as vazões simuladas permanecem praticamente coincidentes com a vazão de entrada ao longo de todo o evento. Já na seção de Itapua (Figura 4c), o comportamento é complexo, com oscilações antes do pico devido à hidrodinâmica da região, influenciada pelo Guaíba a montante e pela Lagoa dos Patos a jusante. No pico, a vazão simulada se afasta da de entrada, mas volta a convergir após o evento, sugerindo efeito de amortecimento do Guaíba.

Os resultados qualitativos descritos anteriormente são confirmados pelas métricas estatísticas de verificação dos valores de vazão (Figura 5), que indicam bom desempenho geral do modelo ($R > 0,98$) nas três seções. O melhor ajuste geral ocorre na Ponta do Dionísio, sugerindo conservação de vazão, seguido por Itapuã, refletindo o efeito de amortecimento do Guaíba. O pior desempenho é observado no Gasômetro, evidenciando a influência do extravasamento lateral na seção. Destaca-se ainda que apenas a seção do Gasômetro apresentou sensibilidade significativa à rugosidade; nas demais, as diferenças foram pequenas, com leve destaque geral para a rugosidade mínima.

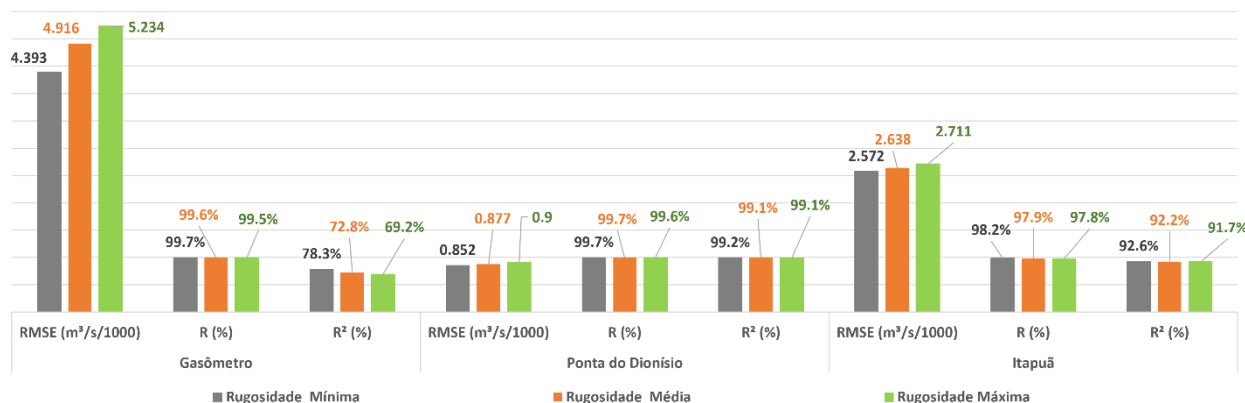


Figura 5 - Resultados das Métricas Estatísticas de Verificação Utilizadas para os Valores de Vazão

CONCLUSÃO

Com base nas simulações o modelo hidrodinâmico reproduziu, em geral, o comportamento de vazões e níveis no evento extremo de maio de 2024 no rio Guaíba, com boa conservação de massa e concordância fora de áreas alagáveis. Em regiões inundáveis, o escoamento lateral reduziu vazões em algumas seções, gerando divergências locais. A sensibilidade à rugosidade variou espacialmente: o cenário com rugosidade máxima proporcionou melhor ajuste no Delta do Jacuí e desempenho semelhante aos outros cenários no rio Guaíba. Dessa forma, recomenda-se a adoção de valores mais elevados de rugosidade para a representação do comportamento geral do sistema em cheias extremas. Incertezas relevantes incluem batimetria desatualizada, estimativas de rugosidade, séries de vazão e de vento. A hipótese de fundo fixo e a condição de nível na fronteira aberta contribuíram para limitações e suavização dos resultados. Em termos práticos, os resultados demonstram que a modelagem hidrodinâmica bidimensional é uma ferramenta promissora para previsão e diagnóstico de eventos extremos no Guaíba, contribuindo para a tomada de decisão em gestão portuária, segurança da navegação e mitigação de impactos associados a eventos extremos na região.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro concedido pela Portos RS, empresa pública, por meio do Programa de Gestão Ambiental Portuária - Porto de Porto Alegre (PGA-POA) (Projeto 2.20.2126/423, Convênio nº 1117/2021), administrado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), que possibilitou esta pesquisa.

Agradecem, ainda, ao professor Paulo Cesar Colonna Rosman, do Departamento de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica/UFRJ e da Área de Engenharia Costeira e Oceanográfica do Programa de Engenharia Oceânica da COPPE/UFRJ, pelo suporte técnico e pela expertise compartilhada na realização das simulações hidrodinâmicas no SisBaHiA.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, L. C. *Impactos do ambiente urbano na poluição dos sedimentos do Lago Guaíba*. 2018. Tese (Doutorado) — Programa de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.
- BELLOLI, R L; MANICA, R; MICHELON, C R; SALVADOR, H W; PUHL, E; TOLDO JR., E E. *Modelagem computacional de dispersão de derramamento de óleo no porto de Porto Alegre/RS*. 2026. Braz. J. Water Resour., 2026. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.312620250189>
- UFRGS – IPH. *ANADEM – Modelo Digital de Terreno para a América do Sul*. 2024. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/hge/anadem-modelo-digital-de-terreno-mdt/> . Acesso em: 07 maio 2025.
- GUIMARÃENS, R. *A enchente de 41*. Porto Alegre: Libretos, 2009.
- LABORATOIRE DAUPHINOIS D'HYDRAULIQUE. *Étude sur modèle réduit du franchissement du delta du Rio Jacuí*: R. 3.846: Réglage du modèle. Grenoble: Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (DAER), 1954.
- MEDEIROS, M. S.; FAN, F. M.; PAIVA, R. *Emergency forecasts for water levels in the Guaíba River during the 2024 unprecedented flood in South Brazil*. Rev. Bras. Recur. Hídr., v. 30, e1, 2025. DOI: 10.1590/2318-0331.302520250025.
- MICHELON, C. R. *Estudo de casos de acidentes de navegação na hidrovia do Rio Guaíba*. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2023.
- PAIVA, Rodrigo Cauduro Dias de (org.) et al. *Extremos hidrológicos*. Realização de Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil), Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Brasília: ANA : IPH, 2025. 153 p., il. (*Impacto da mudança climática nos recursos hídricos do Brasil*, v. 2). ISBN 9786588101919. Disponível em: https://biblioteca.ana.gov.br/sophia_web/acervo/detalhe/111836. Acesso em: 28 nov. 2025
- PGA-POA – Programa de Gestão Ambiental do Porto de Porto Alegre. *Integração dos referenciais altimétricos para modelagem hidrodinâmica no Guaíba*. Porto Alegre, 2024.
- PIERRAT, E. A. S. *Estudo da balneabilidade atual e futura das praias do Lami e Belém Novo em Porto Alegre (RS): comparação de modelos de dispersão de poluentes numéricos e analíticos em meio aquático*. 2016. TCC — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.
- PROFILL ENGENHARIA E AMBIENTE S.A. *Zoneamento ambiental para a atividade de mineração de areia nos cursos médio e baixo do Rio Jacuí: RT5 – hidrografia, hidrossedimentometria e prognósticos*. Porto Alegre: FEPAM, 2020.
- SCOTTÁ, F. C. *A hidrodinâmica e sedimentologia do Rio Guaíba analisados por sensores geoacústicos e orbitais*. 2018. Tese (Doutorado em Ciências) — Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018.
- SCOTTÁ, F.; MICHELON, C. R.; PUHL, E.; MANICA, R.; TOLDO JÚNIOR, E. E.; FICK, C.; LENHARD, C.; SILVA, T.; NUNES, J. C. R. *Environmental causes of navigation accidents in the Guaíba River waterway*. Braz. J. Water Resour., 2025. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.302520250035>
- SISBAHIA. *Referência técnica do SisBahia*. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2025. Disponível em: https://www.sisbahia.coppe.ufrj.br/assets/downloads/SisBaHiA_RefTec.pdf Acesso: 28 out. 2025.
- TOLDO Jr, E. E., Rodrigues Nunes, J. C., dos Reis Castro, N. M., Funke, A. J., Geremia Nievinski, F., Manica, R., Puhl, E., Fick, C., Scottá, F., & Silva da Silva, T. (2024). *Vazões no Rio Guaíba durante os picos da enchente de maio de 2024 considerando o transbordamento na seção* <https://doi.org/10.5281/zenodo.14526481>