



PREVISÃO DE NÍVEL POR SENSORIAMENTO REMOTO: ANÁLISE NO RIO URUGUAI

FLOOD PREDICTION USING REMOTE SENSING: ANALYSIS IN URUGUAI RIVER

Daniel Vieira Mendes¹

Artigo recebido em: 02/03/2026 e aceito para publicação em: 14/05/2026.

DOI: <https://doi.org/10.14295/holos.v26i1.12543>

Resumo: A previsão de eventos de cheia é um importante fator na prevenção dos desastres hidrológicos. Possuir diferentes mecanismos para realizá-la torna-se preponderante. Este estudo tem por objetivo a obtenção dos tempos de deslocamento de onda entre estações virtuais e fluviométrica, e a concepção de modelos de previsão de nível para Uruguai/RS. Foram utilizados os dados do produto Theia Hydroweb Operational Altimetry River Water Level Hydroweb do (LEGOS/CNES/IRD) e da estação fluviométrica Uruguai (77150000) da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), operada pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB). Os dados foram filtrados e consistidos antes das análises. Os modelos consistem em regressão linear múltipla na qual seus parâmetros foram obtidos pelo método dos mínimos quadrados. Foram analisadas métricas de desempenho, a significância dos modelos e a conformidade às premissas da regressão linear. Os valores de correlação variaram de 0,34 a 0,92, sendo os menores, de uma forma geral, associados às estações mais de montante, e os maiores, ao de jusante. Para o Modelo 1 (KM1192 e KM1180), obteve-se alguns resultados satisfatórios, enquanto para o Modelo 2 (KM864 e KM767), obteve-se bom desempenho em todas as métricas, como Erro Médio Absoluto de 0,72 m, Desvio Padrão dos Erros Absolutos de 0,56, Nash-Sutcliffe de 0,8, etc. Apenas o Modelo 1 atendeu aos pressupostos da regressão linear, sendo o único estatisticamente válido para explicar o nível em Uruguai/RS.

Palavras-chave: Modelagem hidrológica. Análise de cheias. Altimetria.

Abstract: Flood event prediction is a crucial factor in preventing hydrological disasters. Thus, having diverse mechanisms to achieve this is essential. This study aims to obtain wave travel times between virtual and gauging stations, as well as to obtain level forecasting models for Uruguai/RS. Data from the Theia Hydroweb Operational Altimetry River Water Level product (LEGOS/CNES/IRD) and the Uruguai (77150000) gauging station from the National Water and Basic Sanitation Agency (ANA), operated by the Geological Survey of Brazil (SGB), were used. The data were filtered and consistency-checked prior to analysis. The models consist of multiple linear regression, with parameters obtained using the least squares method. Performance metrics, model significance and compliance with linear regression assumptions were analyzed. Correlation values ranged from 0.34 to 0.92, generally, lower values were associated with upstream stations, while higher values were associated with downstream ones. For Model 1 (KM1192 and KM1180), some satisfactory results were obtained, whereas Model 2 (KM864 and KM767) demonstrated good performance across all metrics, such as a Mean Absolute Error of 0.72 m, a Standard Deviation of Absolute Errors of 0.56 m, and a Nash-Sutcliffe efficiency of 0.8, among others. Only Model 1 met the linear regression assumptions, making it the only one statistically valid for explaining water levels in Uruguai/RS.

Keywords: Hydrological modelling. Flood analysis. Altimetry.

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil. E-mail: danielmendesdaniel@hotmail.com

1 INTRODUÇÃO

Desastres hidrológicos vêm ocorrendo cada vez mais frequentemente, impactando diversos setores da sociedade. Para tal, possuir modelos que auxiliam a entender a dinâmica das águas fluviais se torna importante. Na previsão de nível, para prevenção de desastres, ter diferentes mecanismos que o antecipem são necessários, pois em algumas situações estações fluviométricas podem não funcionar corretamente. Conhecimento do tempo de deslocamento de onda e, atrelado a isso, a previsão do nível de água por sensoriamento remoto (altimetria) mostra-se uma ferramenta proeminentemente útil.

Uma das fontes de dados de cota d'água dos rios por sensoriamento remoto (altimetria) é o Hydroweb, gerenciado pelo LEGOS (Laboratório d'Etudes em Géophysique et Océanographie Spatiales) e CNES (Centre National d'Études Spatiales), e o IRD (Institut de Recherche pour le Développement) (Rosmorduc e Vayre, 2021). O Hydroweb é uma plataforma que fornece séries de longa duração de níveis de lagos, reservatórios e rios (THEIA, 2020). Há estudos que usam dados de altimetria disponíveis no Hydroweb, como exemplo Silva *et al.* (2018), que fizeram uso dos dados ENVISAT e JASON-2 para avaliar o impacto da variabilidade da temperatura nos níveis dos rios da Amazônia, Rocha e Silva (2023) que analisaram o perfil longitudinal do Rio Purus (Amazônia), através de dados Sentinel 3A e 3B. Estudos como de Silva *et al.* (2012), Biancamaria, Hossain e Lettenmaier (2011), Bogning *et al.* (2018) mostram a realização de comparação entre níveis de estações fluviométricas locais e estações virtuais.

No Hydroweb, conforme Rosmorduc e Vayre (2021), o nível/cota d'água pode ser definido por meio medições verticais entre a superfície e o satélite. Usualmente, há órbita e resolução temporal fixos. Isto é, cada missão tem regiões específicas que percorre ao longo do tempo. As séries altimétricas fornecidas são provenientes de várias missões, como Jason-2 e Envisat, Jason-3, Sentinel-3A e Sentinel-3B. O mecanismo de obtenção de nível em radares altimétricos consiste na emissão de um pulso (ativo) e na recepção do sinal após sua interação com a superfície (Silva *et al.*, 2013). O uso dos dados se dá por meio de estações virtuais, que, conforme Rosmorduc e Vayre (2021), são onde ocorrem as intersecções entre o rio e a trajetória do satélite. O uso de estações virtuais se mostra proeminente devido à sua acessibilidade a lugares que apresentam ausência de medição (Gehring *et al.*, 2022). Estudos como o de Biancamaria, Hossain e Lettenmaier (2011) mostram como isso pode ser norteador para previsão de eventos extremos em locais com barreiras geográficas. Um dos pontos principais do uso de altimetria por sensoriamento é ter uma visão geral do curso hídrico (Gehring *et al.*, 2022).

O uso da altimetria apresenta grande potencial para aplicações em modelagem hidrológica, para previsão de nível. Um dos métodos que se tem para tal é o dos mínimos quadrados, que é um dos mecanismos para obtenção de modelos de regressão para previsão de nível (Ibrahim e Wibowo, 2013; Reboita *et al.*, 2019). As equações de regressão têm grande utilidade pela sua praticidade em utilizar, sendo que a magnitude da equação depende do número de variáveis explicativas a serem usadas. A contribuição que este estudo propõe é justamente o uso de dados do Hydroweb (Theia Hydroweb Operational Altimetry River Water Level) para a concepção de modelo de regressão linear múltipla aplicados ao Rio Uruguai. Além disso, busca-se também analisar a relação que os níveis de estações virtuais e fluviométrica tem sobre Uruguaiana/RS, sendo este um tema ainda não explorado na literatura.

Na Bacia do Rio Uruguai, os eventos hidrológicos são recorrentes e podem ocorrer em qualquer mês (Mattiuzi *et al.*, 2023; Mattiuzi e Matos, 2023). Na região do Baixo Uruguai, que é onde se localiza o município de Uruguaiana/RS, as inundações ocorrem em virtude do conjunto de precipitação nos trechos do Alto Uruguai (divisa entre o RS e SC), Médio Uruguai (divisa entre Brasil e Argentina) e região da campanha (Bacia do Rio Ibicuí) (Zanandrea, 2023).

A grande cheia de 2024, que teve pico no valor próximo de 1200 cm (GZH, 2025; BdF, 2024; CNN, 2024), tendo sido registrado 1219 cm pela estação fluviométrica Uruguaiana (77150000), e corroborado pelo valor de 1218 cm no Boletim de Alerta Hidrológico da Bacia do Rio Uruguai (Chagas, 2024), da ordem de 2200 pessoas precisaram deixar suas casas (GZH, 2025; BdF, 2024). Aproximadamente 400 moradias foram inundadas pela cheia (ANA, 2025). No final do ano de 2023, em setembro e novembro, mais de 170 boletins foram emitidos pelo SAH Uruguai devido às cheias. Nestes respectivos meses, a cota de inundação foi superada em Uruguaiana (SGB, 2023; Mattiuzi e Matos, 2023). A elevação do rio perdurou por 13 dias acima da cota de inundação no mês de setembro, atingindo o marco de 977 cm no dia 15. A segunda grande cheia deste ano permaneceu quase 2 meses acima da cota de inundação, tendo seu pico de 1235 cm no dia 26 de novembro (Mattiuzi e Matos, 2023). A maior cheia de Uruguaiana, registrada em 1983, foi tal que no início do já se verificava chuvas acima da média, principalmente na região do Baixo Uruguai, provocando aumento substancial do nível local. Foram registrados três grandes eventos neste ano 940 cm em 08/março, 1111 cm em 15/maio e 1356 cm em 19/julho. Devido à importância do monitoramento da variação nos Rio Uruguai nesta cidade, ela recebe previsão de nível durante eventos de inundação, por meio do SAH Uruguai (SGB, 2023).

Portanto, este estudo tem como objetivo de determinar os tempos de deslocamento de onda entre estações virtuais e fluviométrica (Uruguiana 77150000) e obter modelos de previsão de nível para a cidade de Uruguiana/RS, através do uso de níveis d'água obtidos por sensoriamento remoto e do uso de regressão linear múltipla.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área estudada compreende trechos do Rio Uruguai (Figura 1). Estes são em função dos pontos com registro de altimetria da rede do Hydroweb, isto é, as estações virtuais estudo.

O Rio Uruguai, com comprimento de aproximadamente 2.200 km, é proveniente da junção dos rios Pelotas e Canoas, possuindo tríplice fronteira (Argentina, Brasil e Uruguai), e tendo sua foz no Rio da Prata. A bacia hidrográfica concernente a este rio possui uma área de drenagem de aproximadamente 349 mil km², sendo cerca de 174 mil km² pertencente a território brasileiro (Mattiuzi e Mattos, 2023; Marcuzzo, 2017).

2.2 Dados utilizados

Os dados do Hydroweb já vêm com correções. Dentre estas, citam-se as devidas às águas nas nuvens, vapor, gases, conteúdo de elétrons na ionosfera, deformação devido às marés. (Rosmorduc e Vayre, 2021). Por padrão, os dados vêm em UTC. Ajustou-se o fuso para que os dados fossem disponibilizados no fuso UTC-3. Por meio dos produtos do Theia Hydroweb Operational Altimetry River Water Level (que reúne dados de vários satélites), foram selecionadas as estações virtuais desde o início do Rio Uruguai (encontro dos rios Canoas e Pelotas) até a última antes da fronteira. A estação fluviométrica tem sua localização também apresentada na imagem (Figura 1). Na Figura 1, as estações virtuais são identificadas pelas rótulos apresentados, ao longo do Rio Uruguai. Mais a jusante, identifica-se a estação fluviométrica. O período selecionado foi de 2018 a 2025.

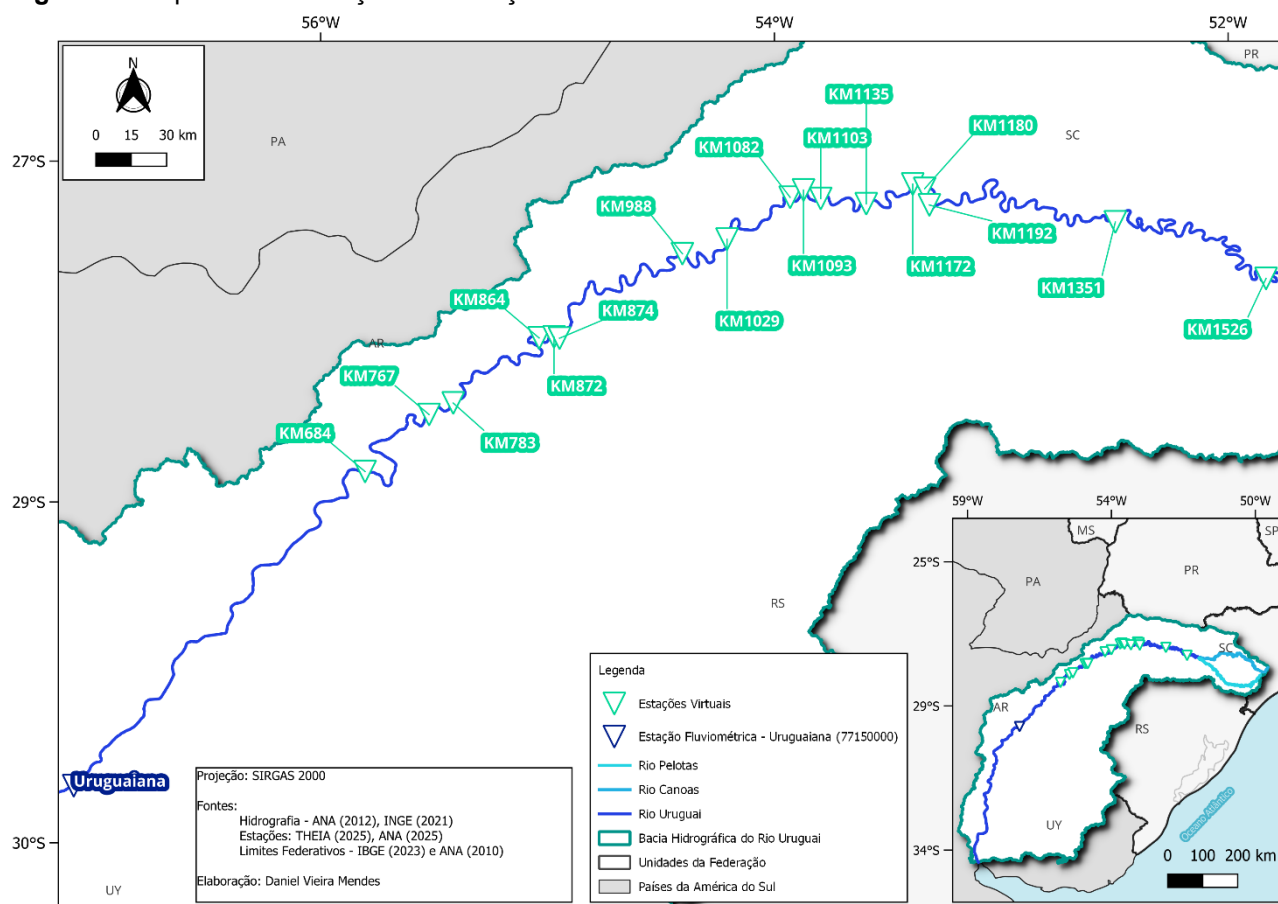
A órbita do satélite não segue o fluxo das águas do rio, assim, cada estação virtual tem um dia em específico para medição (Quadro 1). A manipulação dos dados foi realizada no *MS Excel*.

Conforme Quadro 1, os dados estão organizados da esquerda para direita seguindo de montante para jusante. Isto é, a coluna mais à esquerda representa o ponto mais distante, enquanto o mais da direita, o mais próximo de Uruguiana.

2.3 Deslocamento de onda

O tempo de deslocamento de onda, isto é, o tempo que leva para a onda se deslocar de um ponto a outro, foi estimado entre as estações virtuais (todas as apresentadas na Figura 1) e a fluviométrica, pelo método da correlação, conforme Biancamaria, Hossain e Lettenmaier (2011), Mendes *et al.* (2025b) e Mattiuzi e Cavedon (2025), Reboita *et al.* (2019). A base da correlação foi diária, visto que esta é discretização dos dados altimétricos. Manteve-se cada estação virtual com seus valores imóveis e deslocou-se os valores da estação fluviométrica Uruguiana (77150000) de 0 a 15 dias, sendo 0 o mesmo dia do registro da estação virtual. Mais detalhes sobre esse método podem ser conferidos em Mendes *et al.* (2025b) e Mattiuzi e Cavedon (2025).

Figura 1 - Mapa de identificação das estações virtuais e fluviométrica



Os dados da estação fluviométrica Uruguiana (77150000), da Agência Nacional de Águas, operada pelo Serviço Geológico do Brasil, foram consistidos conforme Mendes *et al.* (2025a). A etapa da consistência é fundamental no uso de séries hidrológicas, porquanto isto pode impactar em seus resultados finais de previsão e modelagem.

Quadro 1 - Amostra dos dados das de algumas estações virtuais do Hydroweb utilizadas

Data	KM1526	KM1351	KM1192	KM1180	KM1172	KM1135	KM1103	KM1093	KM1082
24/02/2024 20:10									
24/02/2024 22:58									
26/02/2024 10:23									
26/02/2024 22:45	373,06								
28/02/2024 22:55									
01/03/2024 10:19									
03/03/2024 22:51			199,29	194,01					
04/03/2024 07:39									128,91
05/03/2024 10:16					191,88				
05/03/2024 18:32						172,55			
08/03/2024 23:00									
09/03/2024 10:12		265,1							
15/03/2024 10:18								146,81	

Fonte: THEIA (2025).

2.4 Variáveis para os modelos

Após a correlação entre as estações virtuais e estação de Uruguiana (77150000), foram definidas as variáveis para os modelos de previsão de nível. Para isso, foram analisadas as correlações obtidas neste estudo com as obtidas entre as estações fluviométricas apresentadas em Mattiuzi e Cavedon (2025). Foram selecionadas as estações virtuais que apresentaram tempo de deslocamento com maior coerência aos encontrados pelos referidos autores. Um outro ponto que se ressalta é que os registros nas estações virtuais têm dias específicos, assim, além de identificar as estações com tempo de deslocamento coerente, foi necessário avaliar quanto ao dia do registro, para que um registro de uma estação em um ponto de jusante fosse registrado em um momento posterior ao de montante, como se vê exemplos no Quadro 1. Em uma etapa posterior, foram removidos registros que apresentavam falha, para que somente dados presentes nas séries concomitantes fossem utilizados.

2.5 Método dos mínimos

Com base nos tempos de deslocamentos previamente obtidos, objetivou-se a obtenção de modelos de previsão hidrológica para Uruguaiana/RS. Isto é, utilização dos dados das estações virtuais para previsão de nível em Uruguaiana (77150000).

Para concepção dos modelos, foi utilizado o método dos mínimos quadrados. Conforme Naghettini e Pinto (2007), este método busca uma relação que minimiza as diferenças entre os valores observados e os preditos. O objetivo do método é tornar mínima a soma do quadrado dessas diferenças (resíduos). O método dos mínimos pode ser resolvido por meio da seguinte relação (Naghettini e Pinto, 2007; Montgomery, Peck e Vining, 2012):

$$[\hat{\beta}] = ([X]^T[X])^{-1}[X]^T[Y] \quad (1)$$

Onde:

[X]: matriz com observações de cada uma das variáveis independentes

[Y]: vetor das observações das variáveis independentes

$[\hat{\beta}]$: vetor com os parâmetros

Resolvendo-se para encontrar $[\hat{\beta}]$, tem-se os parâmetros da equação de regressão linear que melhor representa a relação entre os dados. Utilizou-se o software *Matlab* para os cálculos.

2.6 Avaliação dos modelos

Para análise dos resultados de um modelo hidrológico, é necessário avaliar as métricas de desempenho (Antoniassi, 2022; Silva *et al.*, 2023; Godinho, 2021). As métricas avaliadas foram o Erro Médio, Erro Absoluto Médio, Erro Absoluto Máximo, Raiz do Erro Quadrático Médio, R^2 e Nash-Sutcliffe.

A fim de verificar se existe de fato relação entre a variável dependente (Uruguaiana – 77150000) e as explicativas (estações virtuais) (Reboita *et al.*, 2019), se o modelo pode ser usado para representar a relação entre as referidas variáveis, foi realizado o teste de significância (Teste F), a um nível de significância de 5%, no qual se tem (Naghettini e Pinto, 2007), por meio das relações das equações 2 e 3:

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_n = 0 \quad (2)$$

$$H_0: \text{pelo menos um } \beta_i \neq 0$$

A estatística do teste é dada pela seguinte relação:

$$F = \frac{SQReg/P}{SQRes/(n - P - 1)} \quad (3)$$

Onde:

SQReg: Somatório dos quadrados da regressão

SQRes: Somatório dos quadrados dos resíduos

P: quantidade de variáveis independentes

n: Tamanho da amostra

A hipótese nula é rejeitada se $F > F^{-1}(1 - \alpha, p_1 - p_2, N - p_1)$, onde p_1 e p_2 são a quantidade de parâmetros, α é o nível de significância. Realizou-se análise no *Matlab* e *MS Excel*.

Um dos pressupostos da regressão linear, para que ela seja adequada aos dados, são os quesitos de normalidade, homoscedasticidade dos resíduos (Hyndman e Athanasopoulos, 2014; Brooks, 2008; Cardoso *et al.*, 2023). O teste de homoscedasticidade verifica se a variância dos resíduos é constante ou não. Quando se verifica homoscedasticidade, o teste de significância apresentado anteriormente é validado e confiável (Gujarati e Porter, 2009). Foi utilizado o método de Breusch-Pagan, presente Silva (2024), sob a hipótese nula de que os resíduos são homocedásticos, a um nível de significância de 5% (Equações 4 e 5).

$$\begin{aligned} H_0: \sigma_{e_i}^2 &= \sigma_{e_j}^2 \text{ para } i \neq j \text{ (Homocedasticidade)} \\ H_1: \sigma_{e_i}^2 &\neq \sigma_{e_j}^2 \text{ pelo menos um } i \neq j \text{ (Heterocedasticidade)} \end{aligned} \quad (4)$$

A estatística do teste é calculada pela relação a seguir.

$$LM = n \cdot R_{aux}^2 \quad (5)$$

Onde:

n: Tamanho da amostra

R_{aux}^2 : Coeficiente de determinação auxiliar

LM: Estatística do teste

A hipótese de os resíduos serem homocedásticos é dada pela comparação com o valor crítico da distribuição qui-quadrado, com $p-1$ graus de liberdade.

Uma outra premissa requerida para o teste F apresentado anteriormente, especialmente para amostras pequenas (Gujarati e Peter, 2009), é que os resíduos sejam

normalmente distribuídos (Montgomery, Peck e Vining, 2012). O teste de normalidade dos resíduos foi realizado por meio do método Shapiro-Wilk, no *Matlab* (Bensaïda, 2014; Bertoncini, 2017). A um nível de significância de 5%, foram testadas as seguintes hipóteses (Equação 6).

$$\begin{aligned} H_0: e &\sim N(0, \sigma^2) \text{ (Resíduos são normalmente distribuídos)} \\ H_1: e &\not\sim N(0, \sigma^2) \text{ (Resíduos não são normalmente distribuídos)} \end{aligned} \tag{6}$$

Um outro pressuposto, é o a autocorrelação serial. A autocorrelação é expressa através da correlação dos erros com eles mesmos temporalmente (Montgomery, Peck e Vining, 2012). Dentre os efeitos de se ter autocorrelação nos resíduos, citam-se: coeficientes estimados não são mais atrelados à mínima variância; o erro quadrático médio pode subestimar a variância; teste de hipóteses baseados nas distribuições t e F não são mais indicados. O teste de autocorrelação serial adotado foi o de Durbin-Watson (DW), por meio do *Matlab* (Mathworks, 2026; Shahid *et al.*, 2021). A um nível de significância 5%, foram adotadas as seguintes hipóteses (Equação 7).

$$\begin{aligned} H_0: \phi &= 0 \text{ (Não há autocorrelação serial)} \\ H_1: \phi &> 0 \text{ (Há autocorrelação serial)} \end{aligned} \tag{7}$$

Se o valor da estatística DW estiver entre 1,5 e 2,5 (Shahid *et al.*, 2021), e o p-valor maior que o nível de significância, não se rejeita a hipótese nula.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Avaliação dos modelos

Dentre os valores de correlação, os mais elevados são os que melhor caracterizariam o deslocamento da onda (Mendes *et al.*, 2025b; Reboita *et al.*, 2019), os quais são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Correlação e tempos de deslocamento até Uruguaiana (77150000)

Estação Virtual	Maior correlação (dias)	Correlação de Pearson
1526	0	0,553
1351	3	0,341
1192	4	0,814
1180	4	0,774
1172	4	0,609
1135	4	0,811
1103	0	0,782

1093	2	0,818
1082	5	0,864
1029	4	0,752
988	3	0,690
874	2	0,799
872	2	0,789
864	3	0,861
783	3	0,831
767	2	0,916
684	2	0,922

Observa-se que, de um modo geral, conforme se direciona para montante, maior a quantidade de dias que leva para onda se deslocar, muito embora haja estações virtuais que apresentem comportamentos inconsistentes.

Um outro ponto que se destaca é justamente a correlação, que é maior conforme se aproxima dos pontos mais a jusante, conforme também encontrou Bogning *et al.* (2018). A correlação tende a ficar maior quanto mais próximo do ponto de jusante, o que é coerente hidrológicamente.

Pelas estações virtuais apresentadas na Tabela 1, é possível identificar aquelas que poderiam ser usadas para previsão e outras que não. As correlações baixas e o número de dias de correlação incoerentes (valores muito baixos para pontos a jusante) são fatores que auxiliam nesta identificação.

3.2 Variáveis para modelos

Para identificar as estações que poderiam ser usadas no modelo, é necessário averiguar quais estações têm o número de dias (maior correlação) mais coerentes. Assim, comparou-se com os resultados obtidos por Mattiuzi e Cavedon (2025), obtendo-se a comparação presente na Figura 2.

Há algumas estações (59%) que convergem com os dados dos referidos autores, sendo essas apresentadas na Tabela 2.

As demais estações não foram consideradas ou por estarem longe do ponto de referência de onde se tem o valor do deslocamento de onda, ou por seus valores de dias divergirem desta referência. Alguns tiveram uma maior correlação próxima (KM874 e KM872, por exemplo, com 2 dias), que, se houvesse uma série maior, a correlação, provavelmente, convergiria. Outros fugiram completamente do esperado (KM1526 e KM1103, com 0 dias). Neste primeiro caso (KM1526), a correlação volta a ter um pico pelo sexto dia (0,51), mas mesmo assim fica inferior aos dos dias 0 (0,55) e 1 (0,52). Como a correlação mesmo assim é baixa, infere-se que, além da quantidade de dados, a distância

pode fazer com que, em alguns casos, a correlação não performe da melhor forma. No segundo caso (KM1103), a correlação foi crescendo de forma unívoca aos menores dias (0 com 0,78 e 1 com 0,77). Embora a correlação seja razoável, sua interpretação física não o valida para utilização. Infere-se que alguns dos registros desta estação virtual podem ter sido registrados com algum viés/inconsistência.

Figura 2 – Comparação com os tempos de deslocamento obtidos por Mattiuzi e Cavedon (2025)

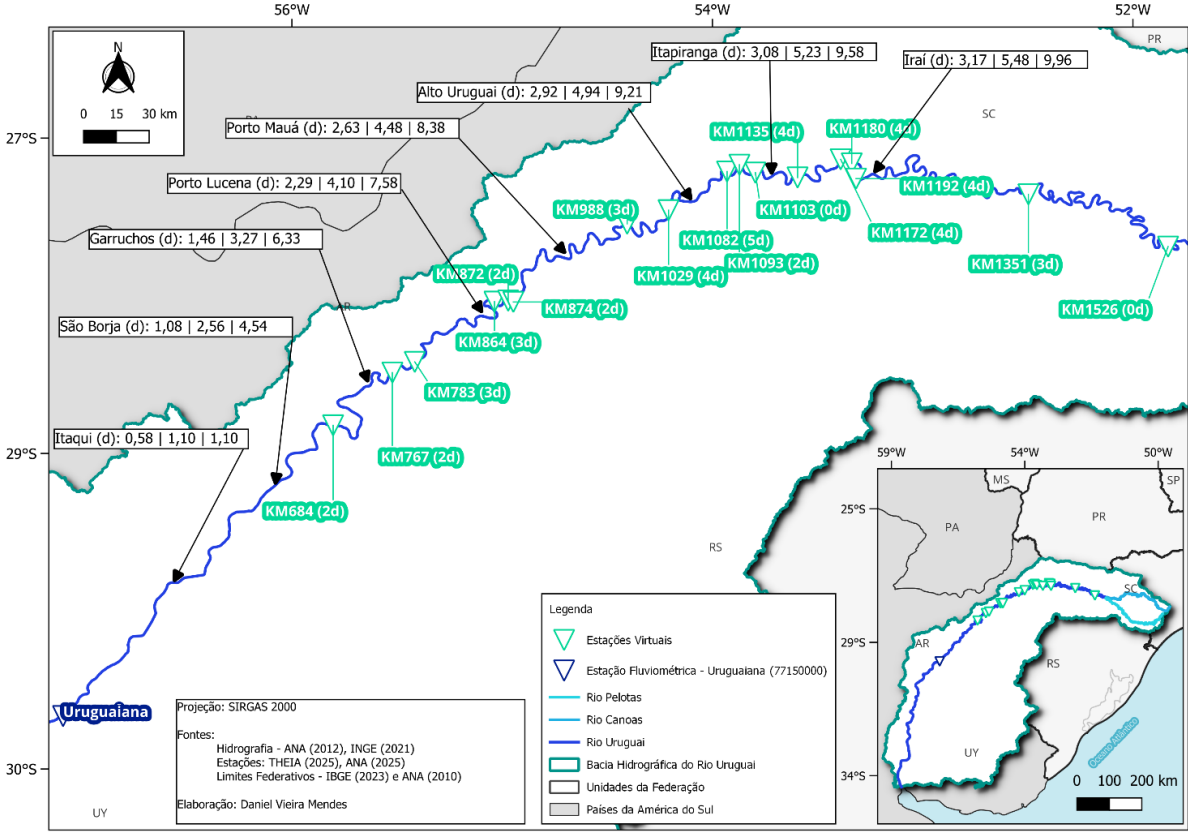


Tabela 2 – Correlação e tempos de deslocamento até Uruguiana (77150000)

Estação Virtual	Maior correlação (dias)	Correlação de Pearson	Observação
1192	4	0,81	Estão dentro do intervalo, entre o mínimo e o médio
1180	4	0,77	
1172	4	0,61	
1135	4	0,81	Estão coerentes com o tempo médio
1082	5	0,86	
1029	4	0,75	
988	3	0,69	Está dentro do intervalo, entre o mínimo e o médio
783	3	0,83	Está coerente com o tempo médio
767	2	0,92	Estão dentro do intervalo, entre o mínimo e o médio

Um outro ponto que se deve considerar é a data de registro de nível pela estação virtual. Para uma análise consistente hidrológicamente, deve-se considerar as estações virtuais de jusante que têm registro em uma data posterior ao registro de montante

(Quadros 2, 3 e 4). A estação mais distante, no ponto mais a montante (Figura 2) foi tomada como referência para discretização dos intervalos “t” (Quadro 3).

Quadro 2 – Datas de registro de nível das estações selecionadas (amostra)

DATA	KM1192	KM1180	KM1172	KM1135	KM1082	KM1029	KM988	KM783
19/07/2025 13:00				172,44				
21/07/2025 23:00								
23/07/2025 10:00								
23/07/2025 23:00								
25/07/2025 23:00						120,62		
27/07/2025 10:00							113,22	
29/07/2025 23:00	200,1							
29/07/2025 23:00		194,47						
31/07/2025 10:00			191,48					
03/08/2025 23:00								66,06

Quadro 3 – Intervalo de medições entre as estações virtuais – Parte 1

Estação Virtual	KM1526	KM1351	KM1192	KM1180	KM1172	KM1135	KM1103	KM1093
Intervalo de tempo	t	t+11,5	t+6	t+6	t+7,5	t+14	t+19	t+17,5

Quadro 4 – Intervalo de medições entre as estações virtuais – Parte 2

Estação Virtual	KM1082	KM1029	KM0988	KM0874	KM0872	KM0864	KM0783	KM0767	KM0684
Intervalo de tempo	t+13	t+2	t+3,5	t+15	t+13,5	t+25	t+11	t+26,5	t+21

Assim, ao analisar todos esses fatores, identificou-se estações virtuais coerentes para constituição de modelos de previsão de nível para Uruguaiana/RS. Reboita *et al.* (2019) também fizeram uso de equações de regressão semelhantes a essa (constante x cota) para previsão de nível no Rio Sapucaí/MG.

3.3 Modelo Hidrológico 1

Considerando as estações virtuais KM1192 e KM1180 como as variáveis do modelo, estabeleceu-se a relação para previsão de com 4 dias de antecedência. Por meio do método dos mínimos quadrados, ajustou-se os parâmetros da equação de previsão de nível considerando as variáveis mencionadas, obtendo-se a Equação 8 a seguir, para previsão de nível de 4 dias de antecedência.

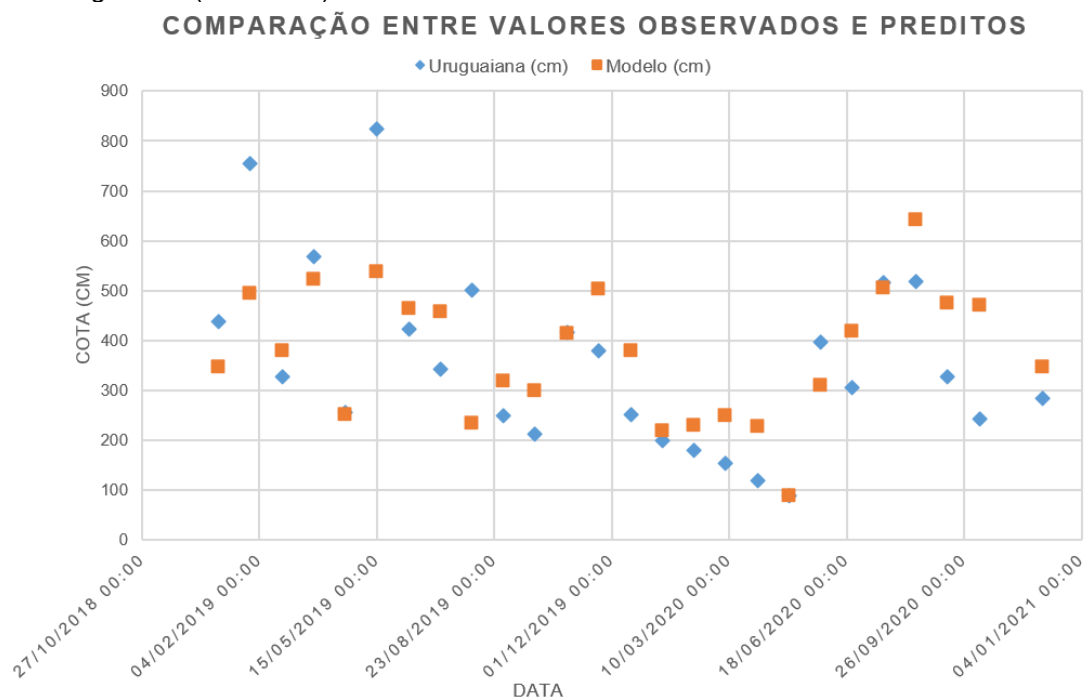
$$Uruguaiana_{t+4} = 1,6(KM1192)_t + 0,2(KM1180)_t - 35532,16 \quad (8)$$

O modelo da Equação 8 foi estruturado sobre os dados de mesma magnitude, em centímetros. Isto é, os dados das estações virtuais devem ser inseridos em centímetros, de modo que o valor de cota obtido em Uruguaiana também será em centímetros. As métricas de desempenho do referido modelo são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Métricas de desempenho do modelo 1 (m)

Erro Médio	Erro absoluto médio	Erro absoluto máximo	Desvio Padrão dos erros absolutos	Raiz do Erro Quadrático Médio	R ²	Nash-Stucliffe
-0,19	1,01	2,87	0,81	1,28	0,47	0,47

Figura 3 – Comparação entre os valores preditos pelo Modelo 1 e os observados na estação de Uruguaiana (77150000)



Fonte: O autor (2026).

O erro absoluto médio indica que o modelo, no geral, consegue manter as previsões no entorno de 1 metro de discrepância, o desvio padrão dos erros também demonstra isso.

Isto é, no geral, na média, os resultados são razoáveis (Figura 3). O erro absoluto máximo apresentando cerca de 3 metros sinaliza que em alguns casos isolados pode-se extrapolar a média. Com relação à métrica Nash-Sutcliffe, é como insatisfatório (Moriassi *et al.*, 2007), estando próximo de estar como satisfatório (valor mínimo de 0,5).

Para verificar se o modelo tem significância, e se pode ser utilizado para representar a relação entre as variáveis, deve-se realizar o teste de significância. Aqui, comparou-se o modelo obtido com a média dos valores. Ou seja, a hipótese nula (H_0) é que os coeficientes da equação são iguais a zero (variável prevista não depende das variáveis explicativas). Alternativamente, a outra hipótese (H_1) é que a variável dependente depende das explicativas, de, ao menos, uma. Utilizou-se os valores concernentes à verificação do desempenho. Por meio dos cálculos em ambiente *MS Excel* e *Matlab*, por meio das equações apresentadas em Materiais e Método, chegou-se aos seguintes valores:

$$F = 10,3$$

$$F^{-1} = 3,4221$$

$$P\text{-valor} = 6,39 \times 10^{-4}$$

Assim, como $F > F^{-1}$, rejeita-se H_0 , isto é, o modelo é significativo e as estações virtuais escolhidas podem ser usadas para realizar a previsão do nível. Os dados das estações virtuais KM1192 e KM1180 explicam o nível em Uruguaiana/RS.

Por meio do teste de homocedasticidade, não se rejeitou a hipótese nula de que os resíduos tenham variância constante. Estatística do teste (3,66) apresentou valor menor que o limite crítico (5,99), outrossim, o valor de p-valor (0,16) é superior ao alfa (0,05).

Pelo teste de normalidade, a um nível de significância de 5%, a hipótese de normalidade dos resíduos não foi rejeitada (p-valor=0,21; Estatística W=0,97).

Por meio do teste de autocorrelação, obteve-se estatística DW=1,64 e p-valor=0,09, desse modo, não se rejeita a hipótese nula, de não haver autocorrelação serial entre os resíduos.

O modelo 1 não violou nenhum pressuposto da análise de regressão linear. Desse modo, a equação obtida pode ser, de fato, considerada significativa, e sua relação pode ser aplicada nos dados de cota KM1192 e KM1180, com base estatística.

Quanto ao período de treinamento, foram considerados os dados mais recentes (02/2020 a 11/2025) e, para a verificação do desempenho do modelo, os mais antigos (12/2018 a 12/2020). Foi realizado o ajuste para o inverso, isto é, considerando treinamento dos dados mais antigos (12/2018 a 07/2023) e verificação nos mais recentes (07/2023 a 11/2025), porém obteve-se um pior desempenho. O teste de normalidade foi recusado e, com exceção do erro absoluto médio, todas as métricas pioraram. Uma possível consequência disso, com base nesta análise, é que os dados antigos das estações virtuais,

consideradas neste estudo, poderiam não estar adequados para a calibração, podendo haver inconsistência ou imprecisão em suas medidas. Além disso, 8 dos 10 maiores registros de cota da estação de Uruguaiana (no intervalo considerado neste estudo) estão contemplados neste período posterior adotado. Se fosse considerado o oposto (dados de calibração mais antigos), apenas 3 estariam sendo considerados no treinamento. Ao considerar os maiores registros, obtém-se um modelo mais adequado para eventos futuros. Dessa forma, também foi mantido o uso dos dados mais recentes para calibração no modelo 2.

3.4 Modelo Hidrológico 2

Considerou-se as estações KM864 e KM767 para previsão para Uruguaiana por este Modelo 2, por possuírem proximidade e registros temporais próximos. Para a previsão, utilizou-se KM 767 como norteador (vide estações da Tabela 2), por meio do horizonte de sua maior correlação (2 dias). Ao considerar 2 dias para esta estação, buscou-se uma outra estação que pudesse contribuir (tempo de deslocamento próximo), e KM864 diferia apenas 1 dia e meio. Mesmo não estando nos registros em conformidade com Mattiuzi e Cavedón (2025), foi testada. Obteve-se, por meio do método dos mínimos quadrados, a Equação 9 a seguir.

$$Uruguaiana_{t+3,5} = 1,76(KM767)_{t+1,5} - 0,02(KM864)_t - 10.535,089 \quad (9)$$

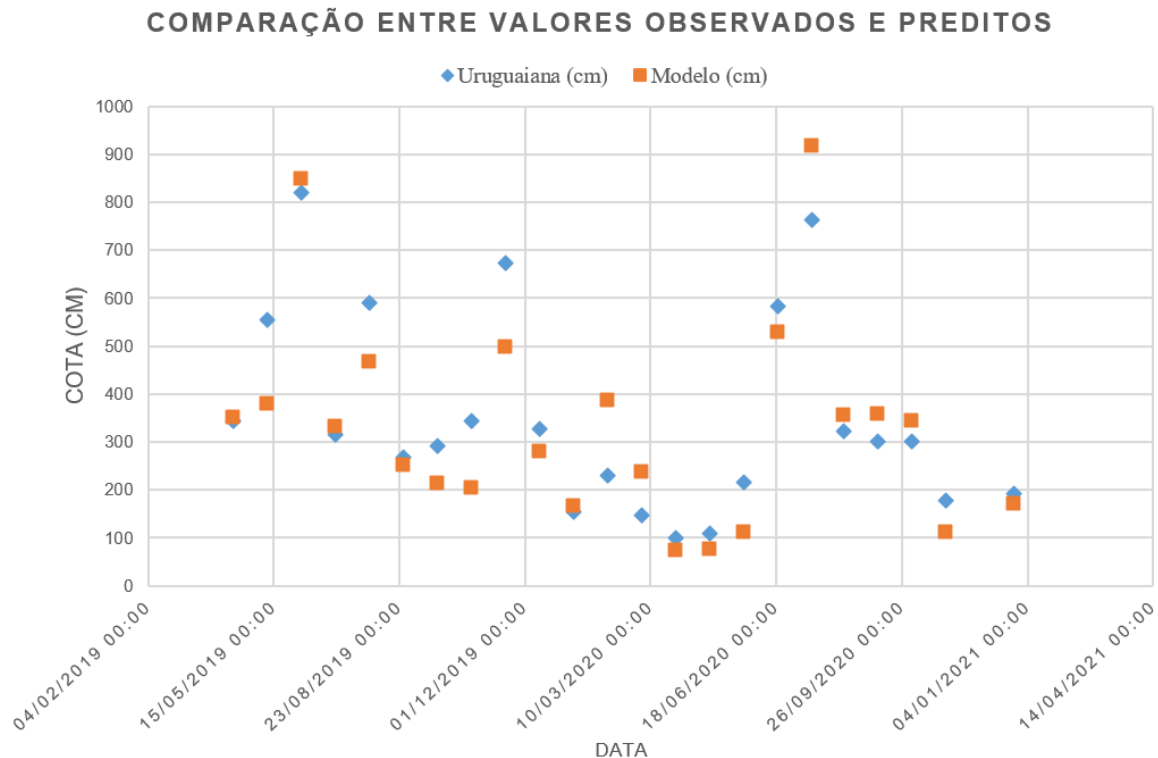
O modelo da Equação 9 tem seus dados de entrada na mesma dimensão dos de saída, isto é, em centímetros. Foram utilizados 54 (02/2021 a 11/2025) dados para treinamento e 23 para verificação do desempenho (04/2019 a 12/2025). Ao fazer o teste do segundo modelo, obteve-se resultados muito superiores aos do Modelo 1 (Tabela 4).

Tabela 4 – Métricas de desempenho do modelo 2 (m)

Erro Médio	Erro absoluto médio	Erro absoluto máximo	Desvio Padrão dos erros absolutos	Raiz do Erro Quadrático Médio	R ²	Nash-Sutcliffe
0,20	0,72	1,76	0,56	0,90	0,80	0,80

Este modelo consegue fornecer resultados bem precisos, inferiores a 1 metro de discrepância, e de forma consistente (Figura 4), com desvio padrão de 0,5 m. O R² e o Nash-Sutcliffe deram resultados muito bons, sendo este classificado, agora, como muito bom (Moriassi *et al.*, 2007).

Figura 4 – Comparação entre os valores preditos pelo Modelo 2 e os observados na estação de Uruguiana (7750000)



Fonte: O autor (2026).

Um outro ponto que se destaca é que, na Equação 9, a componente de maior peso é justamente o ponto mais próximo da estação de Uruguiana. Sendo que este é o ponto de maior correlação, dentre os demais. Este segundo modelo ajuda a constatar que quanto menor o horizonte de previsão, que neste caso é devido mais à estação virtual KM767, que tem um horizonte de 2 dias até Uruguiana, melhor são os resultados. Foi realizado o teste de significância utilizando-se os valores concernentes à verificação do desempenho. Para tal, foi considerado que a hipótese nula é que o modelo não é significativo, que os níveis em Uruguiana (77150000) não podem ser explicados pelas estações virtuais KM864 e KM767. Alternativamente, a outra hipótese, é que, sim, de fato, o modelo pode ser usado para previsão de nível, que há relação entre as variáveis. Os resultados são os que seguem.

$$F = 40,5$$

$$F^{-1} = 3,4928$$

$$P\text{-valor} = 9,27 \times 10^{-8}$$

Por $F > F^{-1}$, e $p\text{-valor} < \alpha$, rejeita-se H_0 , isto é, o modelo com estas duas variáveis também podem ser utilizadas para previsão de nível para Uruguiana/RS, como já se era esperado, vide Modelo 1.

Porém, ao realizar o teste de homocedasticidade, a estatística do teste LM (12,83) apresentou valor maior que o valor crítico (5,99). O p-valor (0,0016), sendo menor que o

valor alfa (0,05), confirma que a variância dos resíduos não é constante, sendo, portanto, heterocedásticos.

Por meio do teste de normalidade, rejeita-se a hipótese de que os resíduos sejam normais, a um nível de significância de 5% (p-valor= 0,01; Estatística W=0,94).

A análise de autocorrelação serial resultou em um coeficiente DW=2,003 e p-valor=0,822, assim, não se rejeita a hipótese de que os resíduos são autocorrelacionados, a um nível de significância de 5%.

O modelo 2, portanto, violou os pressupostos da análise de regressão. Não que não se possa usar seus valores para previsão, mas não se pode dizer que os coeficientes da regressão são significativos e que, de fato, o modelo é eficiente.

3.5 Outras análises dos modelos

Por meio dos resultados obtidos entre os modelos, observa-se que quanto mais se direciona para jusante, melhor tende a ser a precisão do modelo (variáveis com correlações mais altas). Quanto mais próximo se está do local para o qual se quer realizar a previsão, mais semelhante são os hidrogramas. Além disso, verificou-se, principalmente devido ao Modelo 2, que quanto menor o horizonte, melhores tendem a ser as métricas.

Há, sim, fatores limitantes dos modelos. Pelo fato de haver uma resolução temporal específica para cada estação virtual, é difícil de se conseguir todas as estações virtuais com boa correlação coincidindo para a previsão. A ausência de um longo registro de dados, de uma resolução temporal alta, de mais estações virtuais, também limita o desenvolvimento de modelos mais robustos.

Destaca-se que modelos de regressão linear possuem praticidade, tendo facilidade em seu uso, podendo ser empregado pelo poder público, comunidade acadêmica e sociedade civil, havendo necessidade apenas dos valores de cota das referidas estações virtuais. Potencialmente, no uso de modelos não lineares ou com uso de redes neurais artificiais, os modelos consigam ter desempenhos melhores ainda.

O Modelo 2 embora tenha apresentado as melhores métricas, não atendeu todos os pressupostos da regressão linear. Isto poderia ser explorado em outros estudos, ou seja, aplicar técnicas de transformação de variáveis, mínimos quadrados ponderados. Assim sendo, somente o Modelo 1 constituiria-se estatisticamente válido.

Essa é uma abordagem para previsão de nível ainda em caráter exploratório, então, espera-se que este estudo seja analisado em conjunto com outros, não sendo levado em consideração unicamente. A medida que esta área do sensoriamento remoto for evoluindo, mais estações virtuais, com uma resolução temporal maior, podem surgir e, tratando-se do

Rio Uruguai, tanto melhor seria a previsão quanto maior a disponibilidade de dados e de estações, especificamente próximas à Uruguaiana.

4 CONCLUSÃO

Realizou-se análise dos níveis d'água obtidos por sensoriamento remoto disponibilizado na plataforma Hydroweb para cálculos no tempo de deslocamento e previsão de nível para Uruguaiana/RS, no Rio Uruguai. Verificou-se que, conforme se distancia do ponto de jusante, menor a correlação e maior o tempo de deslocamento. Um total de 59% das estações virtuais analisadas apresentou tempo de deslocamento coerente. O Modelo 1 obtido é significativo e embora tenha apresentado alguns resultados satisfatórios (Erro Absoluto Médio e Desvio Padrão dos Erros Absolutos), não se atingiu um desempenho adequado para uso operacional (Nash-Stucliffe=0,47). O Modelo 2 obtido, com a mesma quantidade de parâmetros que o Modelo 1, apresentou resultados muito superiores, com valores muito bons em todas as métricas. Ao analisar os pressupostos da regressão linear, todavia, somente o Modelo 1 atendeu. Por meio do tempo de deslocamento de onda, verificou-se que, quanto mais próximo espacialmente do local de previsão e menor é o horizonte, melhor tendem a ser os resultados.

A metodologia se mostra promissora à medida que mais dados vão sendo obtidos, com uma melhor resolução temporal. Ademais, o modelo de previsão, baseado em regressão linear múltipla, apresenta praticidade em seu uso, podendo ser usado diretamente apenas necessitando dos valores de cota das referidas estações virtuais.

5 AGRADECIMENTOS

O presente estudo foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. 2025. **As enchentes no Rio Grande do Sul: lições, desafios e caminhos para um futuro resiliente**. Brasília: ANA. Disponível em: <https://biblioteca.ana.gov.br/>. Acesso em: 15 abr. 2026.

ANTONIASSI, R. A. S. 2022. **Predição de nível de rios da Região Hidrográfica do Rio Paraguai utilizando algoritmos de Aprendizado de Máquina**. Dissertação (Mestrado em Ciência da Computação). Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande: 70f. Disponível em: <https://repositorio.ufms.br/handle/123456789/4642>. Acesso em: 01 dez. 2025.

BIANCAMARIA, S.; HOSSAIN, F.; LETTENMAIER, D. P. 2011. Forecasting transboundary river water elevations from space. **Geophysical Research Letters**, 38:L11401. DOI: <https://doi.org/10.1029/2011GL047290>. Acesso em: 01 dez. 2025.

BENSAÏDA, A. 2014. Shapiro-Wilk and Shapiro-Francia normality tests. MATLAB Central File Exchange. Disponível em: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/13964-shapiro-wilk-and-shapiro-francia-normality-tests/files/swtest.m>. Acesso em: 09 abr. 2026.

BERTONCINI, A. L. da S. 2017. **Influência da variabilidade espaço-temporal da chuva nos escoamentos superficiais de bacias hidrográficas do estado de Santa Catarina**. São José dos Campos: INPE. xxviii, 108f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/INPE_792a51f5e4ae14d10788655eb41a0dd9/Details. Acesso em: 09 abr. 2026.

BRASIL DE FATO (BdF). 2024. Enchente no rio Uruguai deixa desabrigados no Brasil, na Argentina e no Uruguai. Brasil de Fato, 14 maio 2024. Disponível em: <https://www.brasildefato.com.br/2024/05/14/enchente-no-rio-uruguai-deixa-desabrigados-no-brasil-na-argentina-e-no-uruguai/>. Acesso em: 15 abr. 2026.

BOGNING, S.; FRAPPART, F.; BLAREL, F.; NIÑO, F.; MAHÉ, G.; BRICQUET, J.-P.; SEYLER, F.; ONGUÉNÉ, R.; ETAMÉ, J.; PAIZ, M.-C.; BRAUN, J.-J. 2018. Monitoring Water Levels and Discharges Using Radar Altimetry in an Ungauged River Basin: The Case of the Ogooué. **Remote Sensing**, 10(2):350. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/10/2/350>. Acesso em: 01 dez. 2025.

BROOKS, C. 2008. Classical linear regression model assumptions and diagnostic tests. In: **Introductory Econometrics for Finance**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, p. 129-205. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/books/abs/introductory-econometrics-for-finance/classical-linear-regression-model-assumptions-and-diagnostic-tests/01A41CDFE852DFB6AA382F170DB7175E>. Acesso em: 09 abr. 2026.

CARDOSO, F. C.; BERRI, R. A.; LUCCA, G.; BORGES, E. N.; MATTOS, V. L. D. 2023. Normality tests: a study of residuals obtained on time series tendency modeling. **Exacta**, 23(1):134-158. DOI: <https://doi.org/10.5585/2023.22928>. Disponível em: 22928.pdf. Acesso em: 09 abr. 2026.

CHAGAS, A. 2024. **Boletim de Alerta Hidrológico da Bacia do Rio Uruguai**. Porto Alegre: SGB-CPRM, 12 maio 2024. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/sace>. Acesso em: 15 abr. 2025.

CNN. 2024. Rio Uruguai deve permanecer acima do nível de inundação em municípios do RS. CNN Brasil, 10 maio 2024. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/rio-uruguai-deve-permanecer-acima-do-nivel-de-inundacao-em-municipios-do-rs/>. Acesso em: 15 abr. 2026.

GZH. 2024. Cheia do rio Uruguai faz com que mais de 2 mil pessoas fiquem fora de casa em Uruguiana. Gaúcha ZH, 10 maio 2024. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/geral/noticia/2024/05/cheia-do-rio-uruguai-faz-com-que-mais-de-2-mil-pessoas-fiquem-fora-de-casa-em-uruguiana-clw0wlpmx00mz0152mnromvoe.html>. Acesso em: 15 abr. 2026.

GUJARATI, D. N.; PORTER, D. C. 2009. **Basic Econometrics**. 5. ed. New York: McGraw-Hill/Irwin. 944 p. ISBN 978-0-07-337577-9.

GODINHO, J. D. S. 2021. **Previsão hidrológica na bacia hidrográfica do Rio Maca com redes neurais**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Macaé. Disponível em: https://engenharias.macaue.ufrj.br/images/testetcc/2021/TCC_Julia_Godinho.pdf. Acesso em: 01 dez. 2025.

GEHRING, J.; DUVVURI, B.; BEIGHLEY, E. 2022. Deriving River Discharge Using Remotely Sensed Water Surface Characteristics and Satellite Altimetry in the Mississippi River Basin. **Remote Sensing**, 14:354. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/15/3541>. Acesso em: 01 dez. 2025.

HYNDMAN, R. J.; ATHANASOPOULOS, G. 2014. **Forecasting: principles and practice**. Melbourne: OTexts. ISBN 978-0-9875071-0-5.

IBRAHIM, N.; WIBOWO, A. 2013. Partial Least Squares Regression Based Variables Selection for Water Level Predictions. **American Journal of Applied Sciences**, 10(4):322-330. Disponível em: <https://thescipub.com/pdf/10.3844/ajassp.2013.322.330>. Acesso em: 01 dez. 2025.

MARCUZZO, F. F. N. 2017. Bacia hidrográfica do rio Uruguai: altimetria e áreas. In: XXII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2017, Florianópolis. Disponível em: <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/60/PAP021878.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2026.

MathWorks. 2026. Durbin-Watson Test. MATLAB & Simulink. Disponível em: <https://www.mathworks.com/help/stats/dwtest.html>. Acesso em: 09 abr. 2026.

MATTIUZI, C. D. P.; MATOS, A. J. S. 2023. **Relatório de operação do Sistema de Alerta Hidrológico da bacia do Rio Uruguai 2023**. Porto Alegre: SGB-CPRM, 47p. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/server/api/core/bitstreams/54adf121-0c5a-4453-ab98-db1f062c590e/content>. Acesso em: 27 fev. 2026.

MATTIUZI, C. D. P.; OLINTO, F. A. S.; MORAIS, C. C. C.; BUFFON, F. T.; MATOS, A. J. S. 2023. Ocorrências de inundação e relação com fenômeno ENOS na bacia do Rio Uruguai. In: XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2023, Aracaju. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=15791>. Acesso em: 15 abr. 2026.

MATTIUZI, C. D. P.; CAVEDON, T. X. 2025. Tempo de deslocamento de ondas de cheia no rio Uruguai em cotas altas. In: XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2025, Vitória. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=17626>. Acesso em: 01 dez. 2025.

MENDES, D. V.; CAVEDON, T. X.; LEITE, A. P.; MARCUZZO, F. F. N.; MATTIUZI, C. D. P.; PICKBRENNER, K. 2025a. Desenvolvimento de ferramenta para análise e pré-consistência de séries de nível de estações automáticas: aplicação na região sul do Brasil. In: XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2025. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=17411>. Acesso em: 01 dez. 2025.

MENDES, D. V.; MARCUZZO, F. F. N.; MATTIUZI, C. D. P. 2025b. Tempos de deslocamento de aumento nos níveis dos rios Cai e Taquari entre estações fluviométricas. In: XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2025, Vitória. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=17469>. Acesso em 01 dez. 2025.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. 2012. **Introduction to Linear Regression Analysis**. 5. ed. Hoboken: Wiley. ISBN 978-0-470-54281-1.

MORIASI, D. N.; ARNOLD, J. G.; VAN LIEW, M. W.; BINGNER, R. L.; HARMEL, R. D.; VEITH, T. L. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. **Transactions of the ASABE**, 50(3):885-900. <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=23153>. Acesso em: 01 dez. 2025.

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. de A. 2007. **Hidrologia Estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 552p. Disponível em: <https://rigeo.sgb.gov.br/handle/doc/454?mode=full>. Acesso em 01 dez. 2025.

REBOITA, M. S.; SILVA, B. C.; SILVA, M. V. 2019. Modelos de Regressão Aplicados à Previsão de Nível Fluviométrico no Rio Sapucaí em Itajubá-MG. **Anuário do Instituto de Geociências**, 42(2):217-229. DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_2_217_229. Acesso em: 01 dez. 2025.

ROCHA, J. C. R.; SILVA, J. S. 2023. Análise do equilíbrio fluvial do rio Purus através dos dados dos satélites Sentinel-3A e Sentinel-3B. **Revistaft**, 119. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.7594652>. Acesso em: 01 dez. 2025.

ROSMORDUC, V.; VAYRE, M. 2021. **Hydroweb Product User Manual**. Ramonville Saint-Agne: CLS, 24p. Disponível em: <http://hydroweb.theia-land.fr/>. Acesso em: 01 dez. 2025.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (SGB). 2023. Cheias no RS: Rio Uruguai está acima da “cota de inundação” e com tendência de elevação em Itaqui e Uruguaiana. Disponível em: <https://www.sgb.gov.br/w/cheias-no-rs-rio-uruguai-esta-acima-da-cota-de-inundacao-e-com-tendencia-de-elevacao-em-itaqui-e-uruguaiana>. Acesso em: 15 abr. 2026.

SHAHID, I. A.; ULLAH, K.; KHAN, A. N.; AHMED, M. I.; DAWOOD, M.; MILLER, C. A.; KHAN, Z. A. 2021. Nexus between Household Energy and Poverty in Poorly Documented Developing Economies: Perspectives from Pakistan. **Sustainability**, 13(19):10894. DOI: <https://doi.org/10.3390/su131910894>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/19/10894>. Acesso em: 09 abr. 2026.

SILVA, J. S. da; CALMANT, S.; SEYLER, F. 2013. Satellite Altimetry for Hydrology - A review. In: XVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2013, Foz do Iguaçu. Disponível em: https://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/divers15-11/010059356.pdf. Acesso em: 01 dez. 2025.

SILVA, J. S. da; SEYLER, F.; CALMANT, S.; ROTUNNO FILHO, O. C.; ROUX, E.; ARAÚJO, A. A. M.; GUYOT, J. L. 2012. Water level dynamics of Amazon wetlands at the watershed scale by satellite altimetry. **International Journal of Remote Sensing**, 33(11):3323-3353. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/01431161.2010.531914>. Acesso em: 01 dez. 2025.

SILVA, M. V.; PARIS, A.; CALMANT, S.; CÂNDIDO, L. A.; SILVA, J. S. da. 2018. Relationships between pacific and atlantic ocean sea surface temperatures and water levels from satellite altimetry data in the Amazon rivers. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, 23:e32. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbrh/a/SjC6LD64rcR9n9858czQf6q/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 01 dez. 2025.

SILVA, V. A.; SOUZA, R. F.; OLIVEIRA, M. P.; SANTOS, F. L. 2023. Aplicação de machine learning e deep learning para modelagem de uma bacia hidrográfica. **Cadernos de Arquitetura e Urbanismo Paranoá**, n. 34: 1-21. DOI: <http://doi.org/10.18830/issn.1679-0944.n34.2023.20>. Disponível em: <https://www.cbhmedioparaiba.org.br/conteudo/aplicacao-learning-deep-bacia.pdf>. Acesso em: 01 dez. 2025.

SILVA, J. F. da. 2024. **Desempenhos de Testes de Heterocedasticidade na Regressão Linear Simples**. Viçosa: UFV. 53f. Dissertação (Mestrado em Estatística Aplicada e Biometria). Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <https://locus.ufv.br/items/cb9274cb-bf9b-40e3-b2fb-150396bb47f1>. Acesso em: 09 abr. 2026.

THEIA. 2025. **Hydroweb**. Disponível em: <https://hydroweb.next.theia-land.fr/>. Acesso em: 01 dez. 2025.

THEIA. **Water levels of rivers and lakes (Hydroweb)**. 2020. Disponível em: <https://www.theia-land.fr/en/blog/product/water-levels-of-rivers-and-lakes-hydroweb/>. Acesso em: 27 fev. 2026.

ZANANDREA, F.; KOBIYAMA, M.; MICHEL, G. P.; FLEISCHMANN, A.; COLLISCHONN, W. 2023. **Desastres e água: eventos históricos no Brasil**. Porto Alegre: ABRHidro. Disponível em: https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=5&LIVRO=257&TITULO=desastres_e_agua_eventos_historicos_no_brasil. Acesso em: 15 abr. 2026.