TESTES DE MODELOS ESTATÍSTICOS PARA PREVISÃO DE COTAS EM TAQUARI/RS, NA BACIA DO RIO TAQUARI-ANTAS

Otávio Augusto Rafai Malaquias de Oliveira [1]; Rafaela Cristina de Oliveira[2]; Francisco Fernando Noronha Marcuzzo[3]; Fernando Mainardi Fan[4] & Juan Martín Bravo[4]

Palavras-Chave – Autoregressão Estatística, Taquari-Antas, Modelagem Hidrológica.

INTRODUÇÃO

Em 2023 e 2024 o Rio Grande do Sul passou por eventos extremos de inundação, enxurrada e chuvas intensas concentradas (Kobyama *et al.* 2025), sendo as chuvas ocorridas no ano de 2024 apontadas como um dos eventos históricos (desde 1961) mais intensos ocorridos no Brasil (Collishonn *et al.*, 2024). Os níveis records da excepcional inundação de maio de 2024 no Rio Grande do Sul foram registrados na nota técnica do Serviço Geológico do Brasil, publicada por Marcuzzo *et al.* (2026), alcançando o rio Taquari o nível de 16,99 m na seção de réguas da estação Taquari (86950000), 8,49 m acima da cota de inundação. Miranda *et al.* (2024) relata a importância de modelos estatísticos de previsão de níveis para o Rio Grande do Sul; pois, esta região apresenta maior variação diária de nível no Brasil, podendo superar 8 m de variação em 24 h para eventos extremos, enquanto no resto do país a variação é de 2 m.

O estudo de regressão estatística, pelo método dos mínimos quadrados, é um recurso matemático de importante aplicação e grande utilidade para previsibilidade de fenômenos naturais (Marcuzzo, 2014). Analisar eventos que partem da cota de atenção até o final da cota de inundação tendem a apresentar melhores resultados, conforme descrito por Mendes, Marcuzzo e Buffon (2025).

Nesta linha, este estudo visa apresentar os resultados obtidos através de um modelo de previsão estatístico de nível para a bacia do rio Taquari-Antas, o qual foi ajustado considerando como função objetivo a minimização do erro médio absoluto nos diferentes cenários propostos (Oliveira, 2026). Ademais, analisou-se os erros de cota nos picos de cheia, tempo de erro nos picos, erros máximos entre as cotas observadas e as cotas calculadas, raiz do erro médio quadrático das cotas, desvio padrão e coeficiente de determinação (R^2) para cada horizonte de tempo.

METODOLOGIA

Foi utilizada adaptação de um modelo de diferenças, o qual prevê com base na variação recente dos níveis entre o instante atual e o instante defasado de h horas. Esta adaptação faz com que o modelo descreva a relação entre as séries observadas nas estações de montante e a série no ponto de previsão, sem representar explicitamente os processos físicos do escoamento (Oliveira, 2026). Abaixo está a Equação 1 utilizada para o modelo:

$$P_h = J_t + \sum_{n=1}^{n} a_n\left(M_{n,t} - M_{n,t-h}\right) + b(J_t - J_{t-h}) + c \quad (1)$$

Sendo: P a previsão de nível na estação; h o horizonte de previsão; t o instante de emissão da previsão; J_t e J_{t-h}os níveis observados na estação de jusante nos instantes t e $t-h$; $M_{n,t}$ e $M_{n,t-h}$os níveis da n-ésima estação de montante nos instantes t e $t-h$; a_n e b os coeficientes; e c o termo independente.

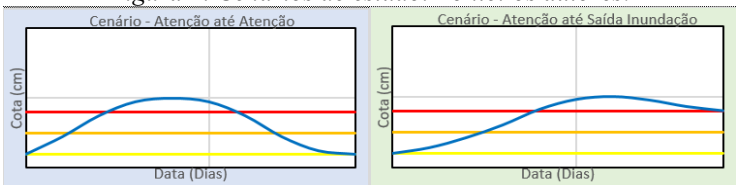
1) Estagiário do SGB/GEHITE – PA. Eng. Hídrica – IPH/UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Avenida Paulo Gama, 110 – Bairro Farroupilha – Porto Alegre/RS – CEP 90040-60, Tel.: (51) 33086000. omalaquiasdeoliveira@gmail.com
2) Doutoranda PPG. em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental – IPH/UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Avenida Paulo Gama, 110 – Bairro Farroupilha – Porto Alegre/RS – CEP 90040-60, Tel.: (51) 33086000. rafaela.cristina@ufrgs.br
3) SGB – Serviço Geológico do Brasil – Rua Banco da Província, 105 – Santa Teresa – Porto Alegre/RS. francisco.marcuzzo@sgb.gov.br
4) Professor – IPH/UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Avenida Paulo Gama, 110 – Bairro Farroupilha – Porto Alegre/RS – CEP 90040-60, Tel.: (51) 33086000. fernando.fan@ufrgs.br, jumarbra@iph.ufrgs.br

Foi simulada regressão utilizando as estações da calha principal do rio Taquari operadas pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB) em parceria com a Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA), com o objetivo de minimizar o erro médio absoluto entre o modelo proposto na equação 1 e os dados históricos observados/registrados. Estas estações fazem parte dos Sistemas de Alerta Hidrológico (SAH) do SGB (Tabela 1), e, conforme Mendes, Marcuzzo e Buffon (2025). Quanto aos dados de cotas utilizados no ajuste dos modelos, dois cenários foram avaliados: (1) dados de "Atenção a Atenção" e (2) dados de "Atenção a saída de Inundação", conforme exemplo apresentado em um evento específico na Figura 1; simulando modelo Autoregressivo e Autoregressivo + Estação de apoio Tabela 1. Este estudo pode ser mais detalhado no trabalho de Oliveira (2026).

Tabela 1 – Estações utilizadas para regressão. Fonte: ANA (2026) e SGB (2026).

Estação Fluviométrica	Código	Município	Lat.	Long.	Período Utilizado	Total de Anos
Taquari	86950000	Taquari	-29,8070	-51,8758	Jul/2015 – Mai/2026	10,8
Porto Mariante	86895000	Venâncio Aires	-29,6922	-51,9700	Ago/2014 – Mai/2026	11,8
Bom Retiro do Sul	86881000	Bom Retiro do Sul	-29,6081	-51,9511	Nov/2018 – Mai/2026	7,4

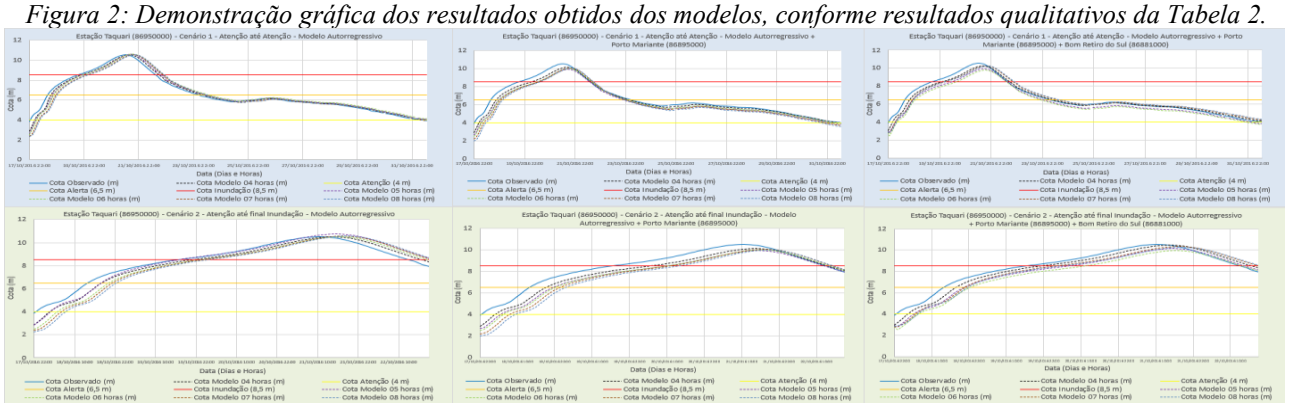
Figura 1. Cenários de estudo. Fonte: os autores.



RESULTADOS

Os resultados obtidos, simulados para o dia 17/10/2016 às 22:00:00, podem ser observados através da Tabela 2 e da Figura 2. Foram simulados índices para a estação Taquari (86950000) para os horizontes com intervalo de 04 h a 12 h, para os dois cenários definidos na Figura 1. No entanto, para representação através da Tabela 2 e da Figura 2, foram selecionados os melhores resultados.

Figura 2: Demonstração gráfica dos resultados obtidos dos modelos, conforme resultados qualitativos da Tabela 2.



A função objetivo foi de minimizar o erro médio absoluto (EMA) (Tabela 2). Os melhores resultados obtidos para o EMA e desvio padrão, considerando a Tabela 2, e as cinco horas testadas (04 h até 08 h), foram utilizando dados do intervalo de cotas de início de atenção até fim da inundação, e utilizando dados da própria estação de Taquari (86950000) mais Porto Mariante e Bom Retiro do Sul, quando observado o EMA. Já os piores resultados para o EMA foram concentrados nas cotas de início de atenção até o fim de atenção, com exceção do horizonte de 05 h, que ficou no início de atenção até o fim de inundação; para obtenção destes resultados foram utilizados os dados da própria estação de Taquari mais Porto Mariante. Para o desvio padrão, erro máximo absoluto, raiz do erro médio quadrado, diferença na cota de pico, e erro médio absoluto até o pico, os piores resultados (04 h a 08 h) concentram-se de atenção a atenção (Tabela 2).

Tabela 2: Resultados obtidos com os diferentes cenários mostrados na Figura 1, testados com previsão de 4 a 8 horas de antecedência, modelos autorregressivos e utilizando dados a montante..

Estação Fluviométrica / Código	Autoregressão Sem e Com Apoios a Montante	Intervalo de Cotas SACE-Taquari https://www.sgb.gov.br/sace/	Horizonte de Tempo -- horas --	Erro Médio Absoluto	Erro Máximo Absoluto	Raiz do Erro Médio Quadrático	Diferença na Cota de Pico	Erro Médio Absoluto Até o Pico	Desvio Padrão	Diferença na Cota de Pico Horária	R²
				m							
Taquari 86950000 Município: Taquari/RS Coordenadas Geodésicas: -29°48´25´´S e -51°52´33´´O Área de Drenagem Aproximada de 25.900 km²	Autoregressivo	Início: Atenção Fim: Atenção	04 h	0,1612	0,7693	0,2236	0,0197	0,1827	0,2214	03 h 08 min	0,9773
			05 h	0,1947	1,0276	0,2817	0,0407	0,2160	0,2786	02 h 18 min	0,9649
			06 h	0,2180	1,1885	0,3243	0,0694	0,2505	0,3221	04 h 09 min	0,9544
			07 h	0,2405	1,4554	0,3243	0,1161	0,2835	0,3604	03 h 46 min	0,9447
			08 h	0,2727	1,6989	0,3617	0,1933	0,3226	0,4094	04 h 19 min	0,9315
	Autoregressivo + Porto Mariante	Início: Atenção Fim: Atenção	04 h	0,3551	1,5579	0,4743	0,3114	0,4884	0,4066	04 h 00 min*	0,9131
			05 h	0,4695	1,7396	0,6185	0,3852	0,6592	0,5269	05 h 00 min	0,8671
			06 h	0,5465	1,9356	0,7207	0,4277	0,7915	0,6103	06 h 00 min	0,8281
			07 h	0,6212	2,2170	0,8161	0,4470	0,9185	0,6829	07 h 00 min	0,7922
			08 h	0,6856	2,3717	0,9052	0,4706	0,9910	0,7487	08 h 00 min*	0,7662
	Autoregressivo + Porto Mariante + Bom Retiro do Sul	Início: Atenção Fim: Atenção	04 h	0,1456	0,8592	0,2277	0,1759	0,1436	0,2160	02 h 17 min*	0,9807
			05 h	0,1531	0,9210	0,2465	0,1742	0,1857	0,2390	00 h 00 min*	0,9772
			06 h	0,1993	1,2011	0,3020	0,1997	0,2414	0,2962	03 h 00 min*	0,9640
			07 h	0,2282	1,3914	0,3579	0,2452	0,3058	0,3536	03 h 30 min*	0,9439
			08 h	0,2536	1,4418	0,3971	0,2464	0,3235	0,3970	04 h 00 min*	0,9290
	Autoregressivo	Início: Atenção Fim: Inundação	04 h	0,1305	0,7349	0,1884	0,0360	0,1366	0,1875	03 h 08 min	0,9838
			05 h	0,1701	1,0276	0,2543	0,0563	0,1870	0,2526	01 h 32 min	0,9714
			06 h	0,2021	1,1622	0,3066	0,0875	0,2364	0,3053	04 h 09 min	0,9594
			07 h	0,2289	1,4424	0,3499	0,1367	0,2721	0,3492	03 h 46 min	0,9486
			08 h	0,2641	1,6923	0,4020	0,2091	0,3130	0,4023	04 h 19 min	0,9344
	Autoregressivo + Porto Mariante	Início: Atenção Fim: Inundação	04 h	0,3043	1,4184	0,4203	0,2071	0,4005	0,3873	04 h 00 min*	0,9208
			05 h	0,9761	1,5248	0,5104	0,2274	0,5101	0,4650	04 h 23 min	0,8959
			06 h	0,4161	1,7852	0,5706	0,2344	0,5892	0,5155	05 h 15 min	0,8756
			07 h	0,4775	1,9833	0,6559	0,2757	0,6960	0,5838	06 h 08 min	0,8415
			08 h	0,5513	2,0479	0,7539	0,3425	0,7789	0,6623	08 h 00 min*	0,8016
	Autoregressivo + Porto Mariante + Bom Retiro do Sul	Início: Atenção Fim: Inundação	04 h	0,0778	0,6527	0,1277	0,0684	0,0864	0,1280	02 h 17 min*	0,9929
			05 h	0,1172	0,9210	0,1962	0,1182	0,1474	0,1964	00 h 00 min*	0,9844
			06 h	0,1690	1,2011	0,2661	0,1581	0,2083	0,2668	03 h 00 min*	0,9705
			07 h	0,2052	1,3914	0,3408	0,2193	0,2793	0,3418	03 h 30 min*	0,9475
			08 h	0,2456	1,4418	0,3900	0,2281	0,3137	0,3933	04 h 00 min*	0,9303

Para a diferença horária na cota de pico (Tabela 2), foram observadas diferenças iguais para o mesmo horizonte de simulação em alguns casos; estes foram sinalizados com o símbolo asterisco (*). Nestes casos, a menor diferença foi de 00 h para o modelo Autoregressivo mais Porto Mariante e Bom Retiro do Sul, no limiar de Atenção a Atenção e horizonte de 05 h. Já o pior cenário encontrado, cujo valor foi obtido igualmente para os dois modelos Autoregressivo mais Porto Mariante com horizonte de 08 h nos cenários de Atenção a Atenção e Atenção até o final de inundação, obteve diferença de 08 h. As apresentações deste estudo podem ser obtidas clicando AQUI (https://drive.google.com/drive/folders/1GdzUG4IsJPJ1c8XDFxYloB_MbdPHb1wx?usp=sharing).

CONCLUSÃO

Os modelos desenvolvidos apresentaram bom desempenho para previsão de nível, com melhores resultados previstos até 08 horas. O aumento do horizonte de simulação eleva o valor do erro encontrado para os dois cenários da Figura 1, independentemente da quantidade de estações de apoio escolhidas. O modelo de previsão com melhor desempenho foi com cenário de simulação de Atenção até o Final da Inundação utilizando três estações de apoio.

A função objetivo deste estudo foi de minimizar o erro médio absoluto. Sugere-se, para próximos estudos, utilizar diferentes funções objetivo de minimização, como por exemplo, minimizar a diferença de cota de pico entre a previsão e o observado, a diferença horária nas cotas picos, etc.

REFERÊNCIAS

COLLISCHONN, W.; CABELEIRA, R.; RAMALHO, N.; RUHOFF, A.; PAIVA, R.; FAN, F.; WONGCHUIG, S.; BREDA, J. Chuvas sem precedentes de abril a maio de 2024 no Sul do Brasil definem novo recorde. SciELO Preprints, 2024. Disponível em: [Link]. Acesso em: 10 jun. 2026.

KOBIYAMA, M.; MICHEL, R.D.L.; FLORES, C.H.; FRANCK, A.G.; ZAMBRANO, F.C. Sugestões às comunidades locais sobre a gestão de risco de desastres com base em experiências in situ durante a tragédia de 2024 no Rio Grande do Sul. In: MAGNORI JÚNIOR, L. *et al.* (orgs.) Do local ao global: Mudanças climáticas e gestão de risco de desastres. SP: Paula Souza, 2025. p.23-50.

MARCUZZO, F. F. N.; BAO, R.; MENDES, D. V.; TRASEL, L.; KENUP, R. E. Inundação de maio de 2024 no Rio Grande do Sul: levantamento dos níveis máximos da inundação em estações fluviométricas do Serviço Geológico do Brasil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SONSORIAMENTO REMOTO, 21., 2025, Salvador. **Anais...** Salvador: INPE, 2025. Disponível em: [Link]. Acesso em: 01 jun. 2026.

MARCUZZO, F. F. N.; KENUP, R. E.; ZANETTI, H. P.; BENVENUTTI, L.; OLIVEIRA, M. P. de; WILSON, E. da S.; ACOSTA, C. C.; BAO, R. Nota Técnica: aferição direta e avalição indireta do nível máximo de rios em estações fluviométricas e marcas de inundação no Rio Grande do Sul na grande cheia de maio de 2024. 18ª versão. Porto Alegre: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, 2026. Disponível em: [Link]. Acesso em: 19 jun. 2026.

MENDES, D. V.; MARCUZZO, F. F. N.; BUFFON, F. T. Aplicação de rede neural linear para modelos autorregressivos em estações fluviométricas da Bacia do rio Taquari no Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 26., 2025, Vitória. **Anais...** Vitória: ABRHidro, 2025. Disponível em: [Link]. Acesso: 24 jun. 2026.

MIRANDA, P. T.; LIMA, S. G.; RAMALHO, N. V.; COLLISCHONN, W.; DE PAIVA, R. C. D. Rios da região sul possuem as cheias mais abruptas do Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE DESASTRES, 4., 2024, Curitiba. Anais...Porto Alegre: ABRH, 2024. Disponível em: [Link]. Acesso em: 01 jun. 2026.

OLIVEIRA, R. C. Modelos empíricos e de grandes bacias para previsão de cheias no Rio Grande do Sul. 2026. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2026.