REDES NEURAIS ARTIFICIAIS PARA PREVISÃO DE CHEIAS NO RIO TAQUARI, MUNICÍPIO DE SANTA TEREZA, RS

Juliana Carolino Reis [1]; Guilherme Garcia de Oliveira [2]; Fernanda Vier Jung [3] e Josiane Leci Vanin Barbieri [4]

Palavras-Chave - Perceptron multicamadas (MLP), Previsão hidrológica de curto prazo, Sistemas de alerta de cheias, Bacia Hidrográfica do Taquari-Antas.

INTRODUÇÃO

Entre os eventos hidrológicos extremos, as inundações destacam-se como aquelas com maior potencial de causar danos e perdas humanas (Karunarathne, Lee 2020). Entre 2000 e 2023, as inundações causaram aproximadamente 130 mil mortes e o deslocamento de 20 milhões de pessoas, afetando direta ou indiretamente 1,8 bilhão de pessoas em todo o mundo, com um total de danos significativos estimado em US$ 935 bilhões (CRED, 2024).

O desenvolvimento de sistemas e modelos de previsão hidrológica constitui um dos recursos para mitigar os danos causados por inundações (Kumar *et al.*, 2023). Existem diversas abordagens para a modelagem e previsão hidrológica, entre as quais se destacam os modelos conceituais e hidrodinâmicos, e os modelos baseados em dados e aprendizado de máquinas (Maspo *et al.,* 2020). As Redes Neurais Artificiais (RNA), em suas diferentes arquiteturas e algoritmos de treinamento, representam uma das alternativas para previsão de cheias, tendo apresentado resultados promissores em diversas bacias hidrográficas (Sabzipour *et al.* 2023; Zhao *et al.* 2024).

A Bacia Hidrográfica do rio Taquari-Antas, no Rio Grande do Sul, tem registrado nos últimos anos eventos hidrológicos extremos, como por exemplo, as grandes inundações de 2023 e 2024, que atingiram municípios como Santa Tereza, Muçum, Encantado, Roca Sales e Lajeado. Diante da necessidade de aperfeiçoar os modelos de previsão hidrológica e qualificar o alerta de cheias e inundações, este trabalho utiliza RNA do tipo Perceptron Multicamadas (MLP) para a previsão do nível fluvial em condição de cheia, no Rio Taquari, em Santa Tereza, em horizontes temporais de 2 e 8 horas. A proposta é comparar duas abordagens de modelagem: i) modelo convencional (CONV), na qual a RNA é responsável pela previsão do nível fluvial absoluto em tempo futuro; ii) modelo alternativo (ALT), na qual a RNA se dedica apenas à previsão da diferença de nível em tempo futuro.

METODOLOGIA

A área de estudo corresponde à bacia de drenagem do rio Taquari até a estação de Santa Tereza (86472600), com área de aproximadamente 15.800 km² (Figura 1). Foram utilizados dados horários de precipitação e níveis fluviais (2022-2025), registrados em dezenas de estações da Agência Nacional de Águas e do Serviço Geológico do Brasil (portal HidroTelemetria). A escolha do período está associada à disponibilidade de dados telemétricos em Santa Tereza.

As RNAs foram implementadas no MATLAB, são do tipo MLP, treinadas com o algoritmo de retropropagação (Rumelhart et al., 1986) com gradiente descendente adaptativo e função de ativação sigmoide. Os dados foram organizados por eventos de cheia, usando aproximadamente 85% dos

[1, 2, 3,4] Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) / Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM) - julianacarolinoreis@gmail.com - g.g.oliveira10@gmail.com - fernanda.vier@ufrgs.br - josiane.barbieri@ufrgs.br

eventos para o treino e validação cruzada, e cerca de 15% para teste dos modelos e avaliação do desempenho. O número de neurônios na camada oculta foi definido a partir de testes e fixado em 2x o número de inputs de cada rede, com 10 inicializações e 100.000 ciclos de treinamento.

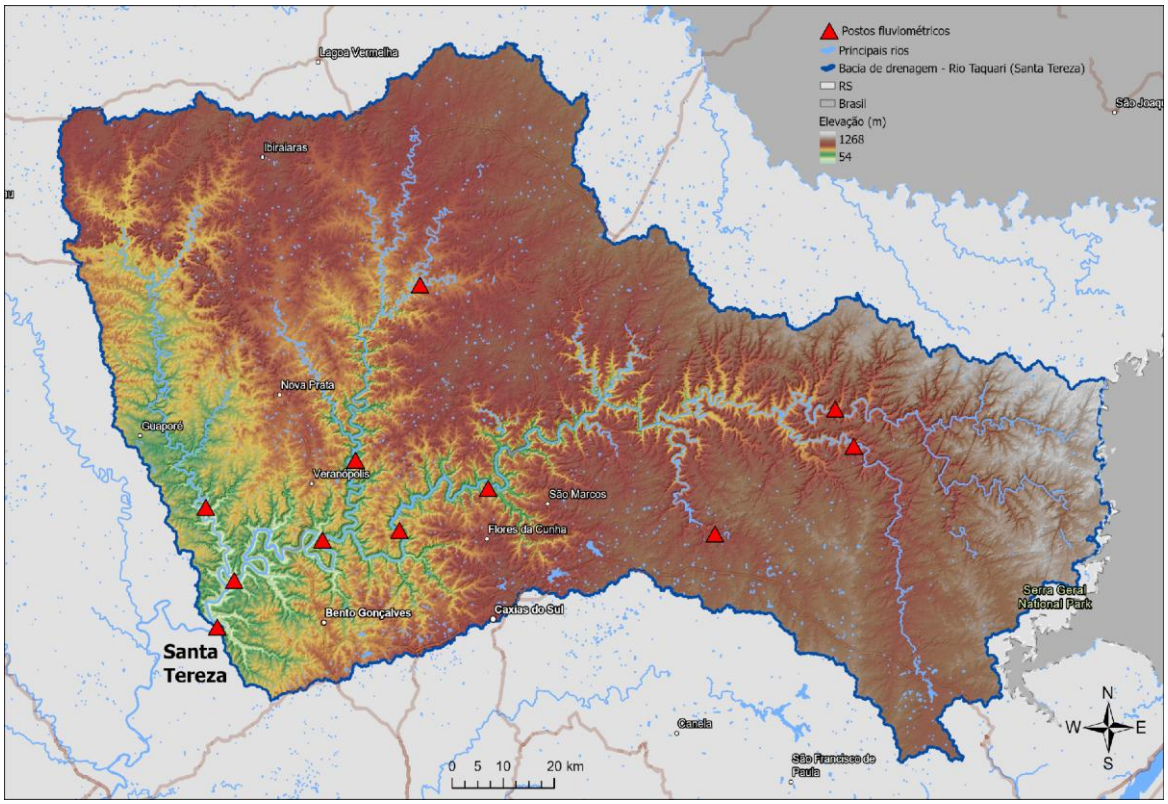


Figura 1 Localização da bacia de drenagem do Rio Taquari até Santa Tereza (estação 86472600).

Dois conjuntos de dados foram utilizados. O conjunto convencional (CONV) tem como variável dependente o nível fluvial absoluto futuro (2h e 8h a frente), enquanto o alternativo (ALT) tem como variável dependente a diferença de nível nos mesmos horizontes temporais. Como variáveis de entrada, foram combinados dados de chuva acumulada antecedente, níveis de estações fluviométricas (local e a montante, ver Figura 1), além das diferenças de nível de primeira e segunda ordem. Um algoritmo foi desenvolvido no *Python* para buscar as melhores combinações de dados de entrada para cada um dos modelos (CONV e ALT) e horizontes temporais (2h e 8h).

O desempenho dos modelos foi avaliado a partir do coeficiente de Nash-Sutcliffe (*Nash-Sutcliffe Efficiency* - NSE) e pelo coeficiente de Persistência (*Persistence Model Efficiency* - PME), este último, que compara o erro do modelo ao erro cometido ao se admitir o nível atual como previsão futura. Além destes, foi calculado o erro absoluto médio (EAM) e o erro que não foi superado em 95% das amostras (E95).

RESULTADOS

Na Tabela 1 são apresentados os três melhores modelos para cada combinação de horizonte de previsão (2 ou 8 h) e de variável dependente do modelo de RNA (CONV - nível absoluto; ALT - diferença de nível). De modo geral, os modelos de previsão que utilizam a diferença de nível fluvial como variável dependente (ALT) mostraram-se mais estáveis, consistentes e precisos. Observa-se que, para o horizonte de previsão de 2 horas, os modelos ALT superam consistentemente os modelos CONV tanto no ajuste geral (EAM e E95, Tabela 1) quanto na generalização para o conjunto de teste

(NSE e PME, Tabela 1). Para o horizonte de 8 horas, o quadro é mais heterogêneo: considerando os coeficientes de eficiência NSE e PME, amostras de teste, destacam-se os modelos ALT-8a (NSE=0,94) e ALT-8b (PME=0,709); porém, analisando os erros no geral (treinamento, validação cruzada e teste), o modelo CONV-8b demonstrou ajuste superior (EAM de 30 cm e E95 de 90 cm). A Figura 2 ilustra a dispersão entre os níveis previstos e observados para os modelos com horizontes temporais de 2 h e 8 h, evidenciando o forte ajuste em ambas as abordagens (CONV e ALT).

Tabela 1 – Desempenho dos modelos de RNA por horizonte de previsão e abordagem em relação à variável dependente.

Horizonte	Modelo	Nº *inputs*	NSE teste	PME teste	EAM (cm)	E95 (cm)
	ALT-2a	14	0,988	**0,685**	10,5	40
2 h	ALT-2b	15	**0,989**	0,654	9,9	36
	ALT-2c	15	0,988	0,613	**9,5**	**32**
	CONV-2a	12	0,983	0,468	11,4	39
2 h	CONV-2b	7	0,978	0,420	11,4	42
	CONV-2c	7	0,977	0,392	11,3	42
	ALT-8a	10	**0,940**	0,694	38,6	114
8 h	ALT-8b	10	0,936	**0,709**	48,4	137
	ALT-8c	10	0,903	0,558	38,6	114
	CONV-8a	10	0,935	0,621	40,1	107
8 h	CONV-8b	12	0,909	0,628	**30,0**	**90**
	CONV-8c	10	0,933	0,651	37,7	106

Fonte: autoria própria.

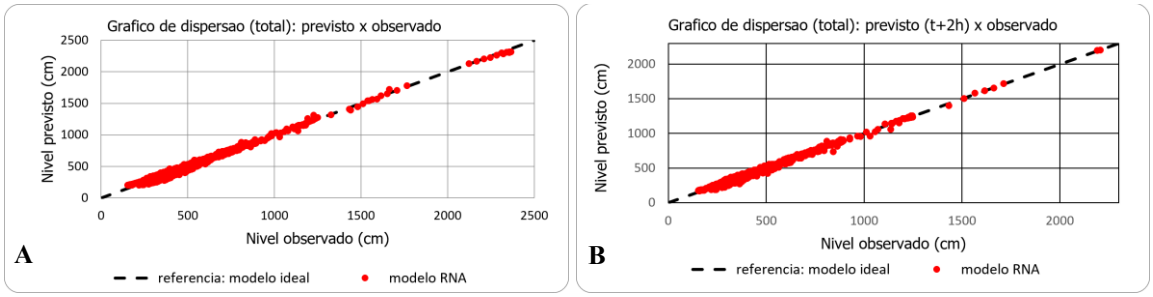


Figura 2 Gráficos de dispersão dos modelos de previsão de 2h a frente (série completa): nível previsto x observado, A: modelo ALT e B: modelo CONV. Fonte: autoria própria.

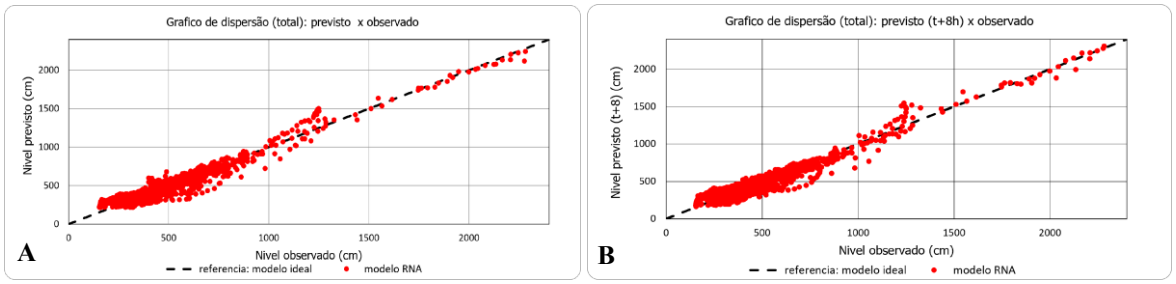


Figura 3 Gráficos de dispersão dos modelos de previsão de 8h a frente (série completa): nível previsto x observado, A: modelo ALT e B: modelo CONV. Fonte: autoria própria.

A estabilidade e consistência dos modelos baseados na diferença do nível fluvial (modelo alternativo) deve-se ao fato de a RNA prever exclusivamente a variação do nível em tempo futuro, tomando como referência o nível atual. Partindo do princípio de que o nível fluvial em intervalo de tempo posterior é em grande parte explicado pelo nível fluvial no intervalo de tempo atual, é promissor orientar o uso de modelos de aprendizado de máquinas para auxiliar na determinação da parcela não explicada pelo nível atual, se concentrando apenas na variação (diferença) do nível. Em

Alvisi *et al.* (2006), a abordagem de modelagem baseada em diferenças de nível já havia sido testada e também confirmada com a melhor alternativa para previsão de níveis fluviais.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo indicam que as RNAs apresentam potencial de uso operacional para previsões de curto prazo no Rio Taquari, seção de Santa Tereza, com coeficientes de eficiência que atestam sua capacidade de explicar a variabilidade do nível fluvial futuro em relação à média (NSE superior a 0,909 em todas as combinações selecionadas) e em relação à persistência do nível atual (PME de 0,685 no modelo ALT-2a; PME de 0,709 no modelo ALT-8b). Conclui-se que, de modo geral, a abordagem alternativa, em que a RNA é responsável pela previsão de diferença de nível futuro, supera a abordagem convencional de modelagem, na qual a RNA é treinada para previsão do nível absoluto.

REFERÊNCIAS

ALVISI, S.; MASCELLANI, G.; FRANCHINI, M.; BARDOSSY, A. (2006). *"Water level forecasting through fuzzy logic and artificial neural network approaches"*. Hydrology and Earth System Sciences, v.10, n.1, p.1-17.

CRED (2024). Centre for Research on the Epidemiology of Disasters. The Emergency Events Database (EM-DAT). UCLouvain, Brussels/Belgium. Disponível em: www.emdat.be.

KARUNARATHNE, A. Y.; LEE, G. (2020). *"The geographies of the dynamic evolution of social networks for the flood disaster response and recovery"*. Applied Geography, v.125, 102274.

KUMAR, V.; AZAMATHULLA, H. M.; SHARMA, K. V.; MEHTA, D. J.; MAHARAJ, K. T. (2023). *"The state of the art in deep learning applications, challenges, and future prospects: a comprehensive review of flood forecasting and management"*. Sustainability, v.15, n.13, 10543.

MASPO, N. A.; HARUN, A. N. B.; GOTO, M.; CHEROS, F.; HARON, N. A.; NAWI, M. N. M. (2020). *"Evaluation of Machine Learning approach in flood prediction scenarios and its input parameters: a systematic review"* in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v.479, n.1, 012038. IOP Publishing.

RUMELHART, D. E.; HINTON, G. E.; WILLIAMS, R. J. (1986). *"Learning representations by back-propagating errors"*. Nature, v.323, pp.533-536.

SABZIPOUR, B.; ARSENAULT, R.; TROIN, M.; MARTEL, J. L.; BRISSETTE, F.; BRUNET, F.; MAI, J. (2023). *"Comparing a long short-term memory (LSTM) neural network with a physically-based hydrological model for streamflow forecasting over a Canadian catchment"*. Journal of Hydrology, v.627, 130380.

ZHAO, X.; WANG, H.; BAI, M.; XU, Y.; DONG, S.; RAO, H.; MING, W. (2024). *"A comprehensive review of methods for hydrological forecasting based on deep learning"*. Water, v.16, n.10, 1407.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPERGS pelo financiamento do projeto (processos nº 24/2551-0002124-8 e n° 25/2551-0002522-2).