



I CONGRESSO PERNAMBUCANO DE RECURSOS HÍDRICOS

Água para o Desenvolvimento
Recife, 24, 25 e 26 de Março de 2026

MACHINE LEARNING EM NUVEM PARA ANÁLISE COMPORTAMENTAL E ESTATÍSTICA DE VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS NA MICROBACIA DO RIO BITURY EM PERNAMBUCO

Fernando Jeferson de Macêdo Nascimento¹ ; Thaise de Souza Santos² & Elizabeth Amaral Pastich Gonçalves³; Joel da Silva Almeida⁴ & Gustavo Arturo Riveros Godoy⁵

Palavras-chave: Diagnóstico ambiental, Variáveis meteorológicas, Machine Learning, Mudanças climáticas, Microbacia hidrográfica.

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, a intensificação dos desastres naturais tem evidenciado a necessidade de análises mais robustas das variáveis meteorológicas, sobretudo em regiões vulneráveis. Alterações nos padrões climáticos, associadas à ocupação desordenada do território, ampliam os riscos ambientais, sociais e econômicos, tornando essencial o monitoramento climático contínuo (Silva *et al.*, 2025).

Variáveis como precipitação, temperatura e evapotranspiração influenciam diretamente o ciclo hidrológico e permitem identificar padrões sazonais, tendências e eventos extremos. A análise estatística dessas variáveis contribui para a caracterização do clima local e para o desenvolvimento de diagnósticos ambientais mais precisos (Conceição *et al.*, 2024).

Nesse contexto, técnicas de Machine Learning vêm se destacando por sua capacidade de lidar com grandes volumes de dados e identificar padrões complexos (Scheifer *et al.*, 2025). O uso de aprendizado supervisionado em ambiente de nuvem possibilita maior eficiência computacional, rapidez no processamento e melhor interpretação dos fenômenos climáticos (Costa *et al.*, 2022).

Diante disso, este estudo teve como objetivo analisar o comportamento das variáveis meteorológicas na Microbacia do rio Bitury (PE), por meio de métodos estatísticos e técnicas de *Machine Learning* supervisionado, visando à identificação de padrões climáticos e ao suporte à gestão dos recursos hídricos.

METODOLOGIA

O estudo foi realizado na Microbacia do rio Bitury (Figura 1), localizada no Agreste Pernambucano, abrangendo os municípios de Belo Jardim e Sanharó. A área apresenta clima do tipo *As* (Tropical Chuvoso com Verão Seco) segundo o sistema de Köppen-Geiger, caracterizado por forte sazonalidade pluviométrica e elevada evapotranspiração potencial. A área está localizada em uma Área de Preservação Permanente (APA) Serras e Brejos do Capibaribe, tendo grande relevância ecológica e biodiversidade, Também

¹) Universidade Federal Rural de Pernambuco, 081999889416, fernando.jeferson@ufrpe.br, joel.almeida@ufrpe.br

²) Universidade Federal de Pernambuco, 081995688373, thaise.santos@ufpe.br

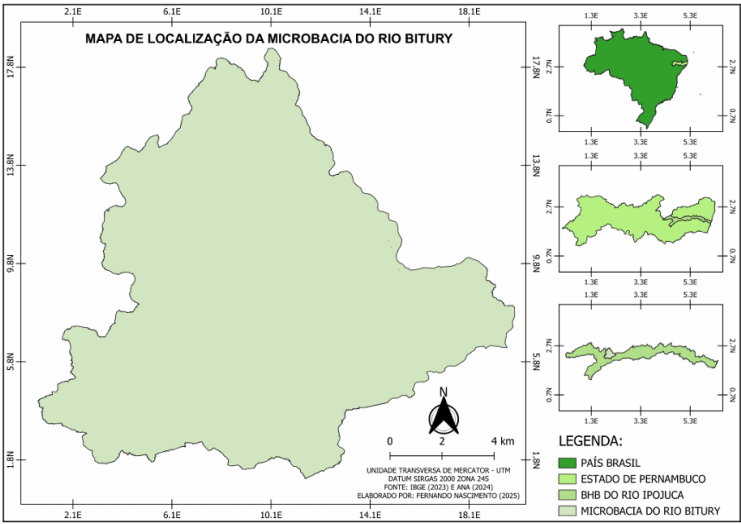
³) Universidade Federal de Pernambuco, 081988569982, elizabeth.goncalve@ufpe.br

⁴) Universidade Federal Rural de Pernambuco, 081989556581, joel.almeida@ufrpe.br

⁵) Itaipu Binacional, 9994756450, rivergodoy@gmail.com

estando dentro do Brejo de Altitude do Bitury, sendo um ecótono importante, trazendo a transição entre a mata atlântica e a caatinga (Nascimento et al. 2025).

Figura 1 – Mapa de Localização da Microbacia do rio Bitury.



Fonte: Autores.

Foram utilizados dados diários de precipitação pluvial (Costa *et al.*, 2022), evapotranspiração potencial e temperaturas máxima, média e mínima, no período de julho de 2024 a junho de 2025 (Costa *et al.*, 2025; Lins *et al.*, 2021). A precipitação foi obtida da estação pluviométrica nº 20 da APAC, enquanto a evapotranspiração foi estimada por meio do aplicativo EvapoWeb (UNESP). Dados históricos de 30 anos foram utilizados para o cálculo da normal climatológica.

O balanço hídrico meteorológico foi calculado pela diferença entre precipitação e evapotranspiração potencial (Costa *et al.*, 2025). As análises estatísticas e a modelagem computacional foram realizadas em ambiente Google Colab, utilizando a linguagem Python. Aplicou-se aprendizado supervisionado, associado a métricas estatísticas descritivas e matriz de correlação, para identificação das inter-relações entre as variáveis meteorológicas (Zebende *et al.*, 2021; Conceição *et al.*, 2024; Scheifer *et al.*, 2025).

RESULTADOS

A precipitação pluvial acumulada no período analisado foi de 781,88 mm, apresentando distribuição altamente irregular, com concentração em poucos eventos intensos. A evapotranspiração potencial totalizou 1004,83 mm, valor superior à precipitação, evidenciando um cenário de déficit hídrico na microbacia. O balanço hídrico meteorológico apresentou predominância de valores negativos, refletindo a maior demanda atmosférica em relação à oferta hídrica. As variáveis térmicas apresentaram baixa dispersão e comportamento sazonal bem definido, com temperaturas mais elevadas no período seco e redução durante o período chuvoso.

A Tabela 1 apresenta oito métricas estatísticas resultantes do processo de modelagem em *Machine Learning*. Essas métricas foram obtidas a partir da validação do modelo supervisionado, que alcançou 100% de acurácia após a etapa de calibração. A consistência dos resultados foi confirmada por meio de uma avaliação paralela realizada em planilha eletrônica, assegurando a confiabilidade do desempenho observado.

Tabela 1 - Resultados das métricas estatísticas em escala diária para microbacia do rio Bitury no período de julho de 2024 a junho de 2025.

Métricas	PP (mm)	ETP (mm)	BHM (mm)	TMax (°C)	TMed (°C)	TMin (°C)
Soma	781,88	1004,83	-222,95	-	-	-
Média	2,14	2,75	-0,61	29,75	25,07	20,39
Mediana	0,00	2,68	-2,59	30,00	25,00	21,00
Máximo	110,00	4,59	107,77	34,00	28,50	24,00
Mínimo	0,00	0,65	-4,59	23,00	21,00	16,00
Desvio Padrão	8,03	0,82	8,15	2,33	1,61	1,42
Variância	64,49	0,68	66,49	5,44	2,59	2,01
Curtose	93,98	-0,63	89,69	-0,54	-0,91	-0,02

Fonte: Autores.

A análise em escala diária evidenciou elevada variabilidade da precipitação, enquanto a evapotranspiração apresentou comportamento mais regular. Em escala mensal, observou-se que, apesar do total anual de precipitação superar a normal climatológica, a distribuição ao longo do ano foi irregular, com meses de déficit hídrico acentuado.

As matrizes de correlação (Figura 2) indicaram forte associação entre precipitação e balanço hídrico, tanto em escala diária quanto mensal, enquanto as variáveis térmicas apresentaram elevada correlação entre si.

Figura 2 – Matriz de calor para correlação das variáveis em escala mensal para microbacia do rio Bitury no período de julho de 2024 a junho de 2025.



Fonte: Autores.

CONCLUSÕES

Os resultados demonstram o potencial do uso de *Machine Learning* em nuvem aliado à análise estatística para o diagnóstico climático local. A análise em múltiplas escalas temporais permitiu compreender tanto a variabilidade diária quanto os padrões sazonais das variáveis meteorológicas.

O estudo confirmou a ocorrência de déficit hídrico na microbacia do rio Bitury, mesmo em um período com precipitação acumulada superior à média histórica, evidenciando a importância da distribuição temporal das chuvas. A metodologia aplicada

mostrou-se eficiente como ferramenta de suporte ao planejamento ambiental e à gestão sustentável dos recursos hídricos, especialmente em regiões sensíveis às mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (APAC). Dados pluviométricos da Estação 20, Belo Jardim. Disponível em: <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio>. Acesso em: 11 nov. 2025.

CONCEIÇÃO, A. B. N.; COSTA, D. C. L.; MENESES, L. A.; RIBEIRO, M. M.; PEREIRA JUNIOR, R. A.; MEDEIROS, N. V.; COSTA, H. A. O.; SILVA, S. T. T.; SILVA, H. C. M. da; CASTRO, A. P. S.; ALCÂNTARA NETO, M. C. de. Aplicação de machine learning para integração e análise das matrizes climáticas. *Caderno Pedagógico, [S. l.]*, v. 21, n. 9, p. e8048, 2024. DOI: 10.54033/cadpedv21n9-214. Disponível em: <https://ojs.studiespublicacoes.com.br/ojs/index.php/cadped/article/view/8048>. Acesso em: 27 nov. 2025.

COSTA, W. S.; PAIXÃO, G.; JUNIOR, W.; MONTEIRO, M.; OLIVEIRA, A.; ALVES, E. Análise Comparativa de Modelos Climáticos com Dados do INMET Usando Métricas Hidrológicas e Interpretação por IA. In: WORKSHOP DE COMPUTAÇÃO APLICADA À GESTÃO DO MEIO AMBIENTE E RECURSOS NATURAIS (WCAMA), 16, 2025, Maceió/AL. Anais [...]. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2025. p. 266-275. ISSN 2595-6124. DOI: <https://doi.org/10.5753/wcama.2025.9109>.

COSTA, W. S.; DALLACORT, R.; CARVALHO, M. A. C.; SANTOS, S. B. Sistema Web para pré-processamento e análise de dados meteorológicos. *Revista Brasileira de Climatologia, [S. l.]*, v. 30, n. 18, p. 591–610, 2022. DOI: 10.55761/abclima.v30i18.15079. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/15079>. Acesso em: 22 nov. 2025.

LINS, F. A. C.; MONTENEGRO, A. A. A.; FARIAS, C. W. L. A.; CHAGAS, A. M. S.; MIRANDA, R. Q.; GALVÍNIO, J. D. ANÁLISE DA DINÂMICA TEMPORAL DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL EM UMA BACIA HIDROGRÁFICA DO SEMIÁRIDO ATRAVÉS DE MODELAGEM HIDROLÓGICA E SENSORIAMENTO REMOTO. *IRRIGA, [S. l.]*, v. 26, n. 3, p. 543–564, 2021. DOI: 10.15809/irriga.2021v26n3p543-564. Disponível em: <https://revistas.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/4449>. Acesso em: 23 nov. 2025.

NASCIMENTO, F. J. M.; ALMEIDA, J. S.; SOUZA, T. K. A.; RODRIGUES, J. C.; SILVA, J. R. L.; THORPE, B. G. S. Characterization and hydro-environmental diagnosis in water springs in the Upper Bitury River Microbasin, State of Pernambuco, NE Brazil - *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade* (ISSN 2359-1412). Vol. 12, Nº 31, p. 917-927 - 31 ago. 2025. DOI: [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2025\)123123](https://doi.org/10.21438/rbgas(2025)123123). Acesso em: 15 out. 2025.

SCHEIFER, E. L.; PEREIRA, G. Q.; GUIMARÃES, A. A.; SOUZA, L. F.; LORENZETTO, J. A. S. Uso de dados climáticos e machine learning na previsão de chuvas para gestão sustentável do ecoturismo em Francisco Beltrão (PR). *Revista Brasileira de Ecoturismo (RBEcotur), [S. l.]*, v. 18, n. 5, p. 706–717, 2025. DOI: 10.34024/zq2rzz11. Disponível em: <https://periodicos.unifesp.br/index.php/ecoturismo/article/view/21271>. Acesso em: 29 nov. 2025.

SILVA, A. D. G.; LOPES, R. F.; FERNANDES, I. W. L.; PEREIRA, G. V. A.; SILVA, C. L. C.; REIS, J. S.; LUCENA, R. L. Mudanças climáticas e variabilidade termopluiométrica na região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia, [S. l.]*, v. 36, n. 21, p. 533–559, 2025. DOI: 10.55761/abclima.v36i21.18695. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/18695>. Acesso em: 28 nov. 2025.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP). Plataforma EvapoWeb: dados de evapotranspiração de referência (ET_o). Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/items/a97a544f-2f87-45e9-9bbe-ab1651a31ea2/full>. Acesso em: 19 nov. 2025.

ZEBENDE, G. F.; BRITO, A. A.; SANTOS, R. P. C.; SILVA FILHO, A. M. UMA VISÃO HOJE A HOJE DA AUTOCORRELAÇÃO EM DADOS DE TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA DO AR NA BAHIA. *Revista Brasileira de Climatologia, [S. l.]*, v. 29, p. 99–112, 2021. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/rbclima/article/view/15152>. Acesso em: 25 nov. 2025.