DINÂMICA HIDROCLIMÁTICA E SALINIDADE EM AQUÍFERO ALUVIAL DO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

Cláudio Vinícius de Souza Moura [1]; Abelardo Antônio de Assunção Montenegro [2]; Thayná Alice Brito Almeida [3] & José Henrique De Souza Junior [4]

RESUMO – A água subterrânea constitui importante fonte hídrica em regiões semiáridas, especialmente para abastecimento e irrigação. Entretanto, a irregularidade das chuvas e as elevadas taxas de evapotranspiração tornam necessária a avaliação contínua da dinâmica e da qualidade dos aquíferos. Nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo analisar a dinâmica espaço-temporal do nível freático e da condutividade elétrica (CE) no Vale Aluvial do Mimoso, no agreste de Pernambuco, com ênfase na variabilidade. O monitoramento foi realizado entre janeiro de 2024 e abril de 2026, por meio de medições mensais em piezômetros e poços, além do monitoramento da precipitação e evapotranspiração. Os resultados demonstram forte influência da precipitação sobre a dinâmica do aquífero, com elevação do lençol freático durante períodos chuvosos e rebaixamento progressivo nos meses secos, intensificado pela elevada demanda evaporativa. A condutividade elétrica apresentou maiores valores durante estiagens, indicando acúmulo de sais, enquanto períodos chuvosos favoreceram a diluição da água subterrânea. Em termos espaciais, os piezômetros localizados em áreas de baixa condutividade hidráulica apresentaram maior suscetibilidade à salinização. De forma geral, os resultados reforçam a importância do monitoramento contínuo para a gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos no semiárido.

ABSTRACT– Groundwater is an important water source in semi-arid regions, especially for supply and irrigation. However, irregular rainfall and high evapotranspiration rates necessitate continuous evaluation of aquifer dynamics and quality. In this context, this study aimed to analyze the spatiotemporal dynamics of the water table level and electrical conductivity (EC) in the Mimoso Alluvial Valley, in the Agreste region of Pernambuco, with an emphasis on variability. Monitoring was carried out between January 2024 and April 2026, through monthly measurements in piezometers and wells, in addition to monitoring precipitation and evapotranspiration. The results demonstrate a strong influence of precipitation on aquifer dynamics, with an increase in the water table during rainy periods and a progressive decrease in dry months, intensified by high evaporative demand. Electrical conductivity showed higher values during droughts, indicating salt accumulation, while rainy periods favored groundwater dilution. In spatial terms, piezometers located in areas of low hydraulic conductivity showed greater susceptibility to salinization. Overall, the results reinforce the importance of continuous monitoring for the sustainable management of groundwater resources in the semi-arid region.

Palavras-Chave – Aquífero Aluvial, Lençol Freático, Variabilidade Climática.

[1]) Graduando em Eng. Agrícola e Ambiental, DEAGRI/UFRPE: Rua Dom M. De Medeiros, s/n – Dois Irmãos, Recife – PE, e-mail: claudio.vinicius@ufrpe.br
[2]) Professor Titular, DEAGRI/UFRPE: Rua Dom M. de Medeiros, s/n – Dois Irmãos, Recife - PE, e-mail: Montenegro.ufrpe@gmail.com
[3]) Doutoranda em Eng. Agrícola, PGEA/UFRPE: Rua Dom M. de Medeiros, s/n – Dois Irmãos, Recife - PE, e-mail: thayna.britoameida@ufrpe.br
[4]) Doutorando em Engenharia Agrícola, PGEA/UFRPE: Rua Dom Manoel de Medeiros, s/n – Dois Irmãos, Recife - PE, e-mail: juniorhhhhenrique@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

Os aquíferos aluviais representam importante fonte hídrica em regiões semiáridas, especialmente em áreas onde a irregularidade da precipitação e a elevada demanda evaporativa limitam a disponibilidade de água superficial ao longo do ano (ALMEIDA et al., 2025). Nessas regiões, a água subterrânea desempenha papel essencial na manutenção das atividades agrícolas, sobretudo em sistemas de agricultura familiar irrigada, fortemente dependentes da disponibilidade hídrica local.

No semiárido brasileiro, a dinâmica dos aquíferos rasos é fortemente condicionada pela variabilidade climática, caracterizada pela concentração das chuvas em poucos eventos e por longos períodos de estiagem (BEZERRA et al., 2024). Associadas às elevadas temperaturas e às altas taxas de evapotranspiração, essas condições reduzem a recarga efetiva dos aquíferos e favorecem o rebaixamento do nível freático durante os períodos secos (ALLEN et al., 1998; SILVA et al., 2026). Como consequência, os sistemas hidrogeológicos tornam-se mais vulneráveis à intensificação da salinidade e aos efeitos da explotação contínua da água subterrânea (ZHANG et al., 2022).

Em aquíferos aluviais do semiárido, a dinâmica da salinidade é controlada pelos processos de recarga, evapotranspiração e circulação subterrânea, sendo a condutividade elétrica (CE) amplamente utilizada como indicador hidroquímico da qualidade da água (COELHO et al., 2018; ALMEIDA et al., 2024). Além disso, a heterogeneidade hidráulica dos sedimentos influencia a renovação da água subterrânea e a distribuição espacial dos sais dissolvidos, tornando setores de menor fluxo mais suscetíveis à salinização (MONTENEGRO e MONTENEGRO, 2006; ALMEIDA et al., 2024).

O Vale Aluvial do Mimoso, localizado no município de Pesqueira, Pernambuco, constitui importante sistema hidroagrícola inserido no semiárido brasileiro, caracterizado pela forte dependência da água subterrânea para irrigação e abastecimento rural. Estudos realizados na área têm demonstrado elevada variabilidade espaço-temporal do nível freático e da qualidade da água subterrânea, associada às condições climáticas e às características hidrogeológicas locais (COELHO et al., 2018; ALMEIDA et al., 2025).

Diante da vulnerabilidade hidroclimática do semiárido, o presente estudo avaliou a dinâmica hidrológica do Vale Aluvial do Mimoso, considerando a variabilidade do nível freático e da condutividade elétrica da água subterrânea sob influência das condições climáticas e da heterogeneidade hidráulica local.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende o Vale Aluvial do Mimoso (MAV), inserido na Bacia do Riacho Mimoso, sub-bacia do Alto Ipanema, localizada no município de Pesqueira, no Agreste do estado de Pernambuco (Figura 1). Segundo a classificação climática de Köppen, o clima da região é do tipo BSsh, caracterizado como semiárido quente, com precipitação média anual em torno de 630 mm (SANTOS et al., 2012). O vale aluvial possui aproximadamente 15 km de extensão e é formado predominantemente por sedimentos arenosos e areno-argilosos característicos de aquíferos rasos do semiárido (COELHO et al., 2018; ALMEIDA et al., 2025).

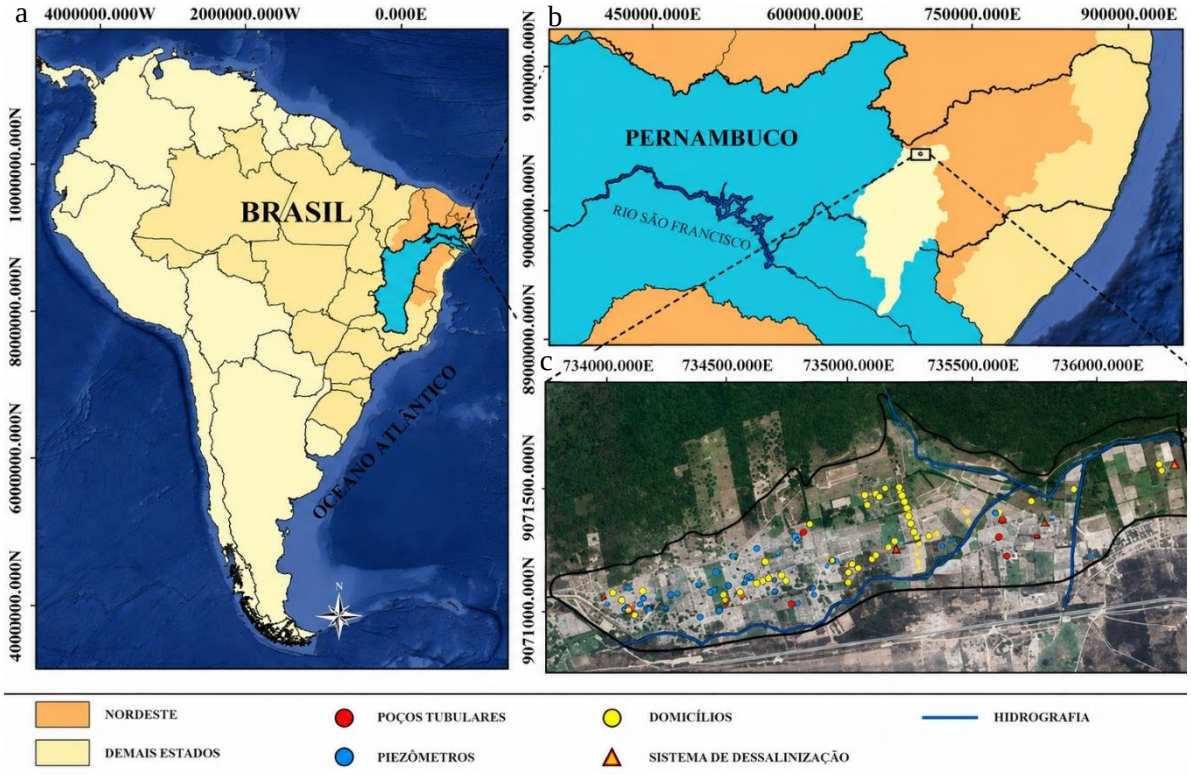


Figura 1 – Localização da área de estudo: (a) Bacia do Rio São Francisco; (b) Bacia do Rio Ipanema, Pernambuco; (c) Vale Aluvial do Mimoso, município de Pesqueira (PE).

A rede de monitoramento utilizada no estudo é composta por piezômetros georreferenciados instalados por Montenegro (1997), com aproximadamente 6 m de profundidade e diâmetro de 75 mm, além de poços comunitários distribuídos ao longo do vale aluvial. O monitoramento foi realizado em 24 poços cacimbões e 16 piezômetros, por meio de medições mensais do nível freático e coleta de amostras de água subterrânea, entre janeiro de 2024 e abril de 2026.

2.2 Monitoramento hidrológico

As variáveis climáticas utilizadas no estudo incluíram precipitação e temperatura do ar, obtidas por meio de estação meteorológica automática instalada no próprio vale aluvial pelo Laboratório de Água e Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Informações complementares foram obtidas junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), utilizando dados da estação automática localizada no município de Arcoverde (82890), Pernambuco. O monitoramento pluviométrico também contou com pluviômetros manuais operados por agricultores locais, inseridos em ações de monitoramento participativo desenvolvidas na área de estudo.

O nível freático foi monitorado mensalmente por meio de sensor sonoro de profundidade. Os piezômetros foram agrupados em setores de maior (PZ High) e menor (PZ Low) condutividade hidráulica, conforme Almeida et al. (2024), permitindo avaliar a influência da heterogeneidade hidráulica sobre a dinâmica hidrossalina do aquífero. Além disso, foram coletadas amostras da água do vale aluvial e em seguida encaminhadas para o Laboratório de água e Solo (LAS), da Universidade Federal Rural de Pernambuco, para leitura da condutividade elétrica (CE).

A evapotranspiração de referência (ETo) foi estimada pelo método de Penman–Monteith, recomendado pela FAO e amplamente utilizado em estudos hidrológicos e agrícolas por considerar variáveis meteorológicas e energéticas do sistema solo–planta–atmosfera (ALLEN et al., 1998), conforme a Equação 1.

$$ETo = \frac{0{,}408\Delta(Rn-G)\gamma\frac{900}{T+273}u2(es-ea)}{\Delta+\gamma(1+0{,}34u2)} \quad (1)$$

Em que: ETo é a evapotranspiração de referência (mm d^{-1}); Rn, o saldo de radiação (MJ m^{-2} d^{-1}); G, o fluxo de calor no solo (MJ m^{-2} d^{-1}); Δ, a inclinação da curva de pressão de vapor (kPa $°C^{-1}$); γ, a constante psicrométrica (kPa $°C^{-1}$); T, a temperatura média do ar (°C); u_2, a velocidade do vento a 2 m (m s^{-1}); e ($e_s - e_a$), o déficit de pressão de vapor (kPa).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Variabilidade climática, evapotranspiração e profundidade do lençol freático

A precipitação no Vale Aluvial do Mimoso apresentou elevada variabilidade entre janeiro de 2024 e abril de 2026, com chuvas concentradas em poucos meses e longos períodos de estiagem. Esse comportamento é característico de regiões semiáridas, onde a recarga subterrânea depende da

intensidade e da distribuição temporal das chuvas (BEZERRA et al., 2024). Almeida et al. (2024) também observaram que a dinâmica freática em aquíferos aluviais do semiárido pernambucano é influenciada pelas condições climáticas e pela explotação da água subterrânea.

Os maiores totais pluviométricos, como janeiro de 2025 (332 mm) e fevereiro de 2026 (174 mm), estiveram associados à redução da profundidade média do lençol freático, indicando aproximação da água subterrânea em relação à superfície. Em março e abril de 2026, por exemplo, as profundidades médias foram de 2,01 m e 1,97 m, respectivamente. Segundo Coelho et al. (2018), aquíferos aluviais rasos apresentam rápida resposta às chuvas devido à elevada conectividade hidráulica.

Em contrapartida, meses secos apresentaram aumento da profundidade média, indicando rebaixamento do lençol freático. Em novembro de 2025, com precipitação de apenas 0,6 mm, a profundidade média atingiu 2,81 m, enquanto em janeiro de 2026 chegou a 3,36 m. Além disso, os maiores valores máximos de profundidade ocorreram nesses períodos, evidenciando maior heterogeneidade espacial do aquífero. Segundo Montenegro e Montenegro (2006), diferenças texturais e hidráulicas dos sedimentos aluviais influenciam diretamente a dinâmica subterrânea.

A evapotranspiração de referência também apresentou influência importante sobre a dinâmica hídrica do vale, conforme mostrado na Figura 2.

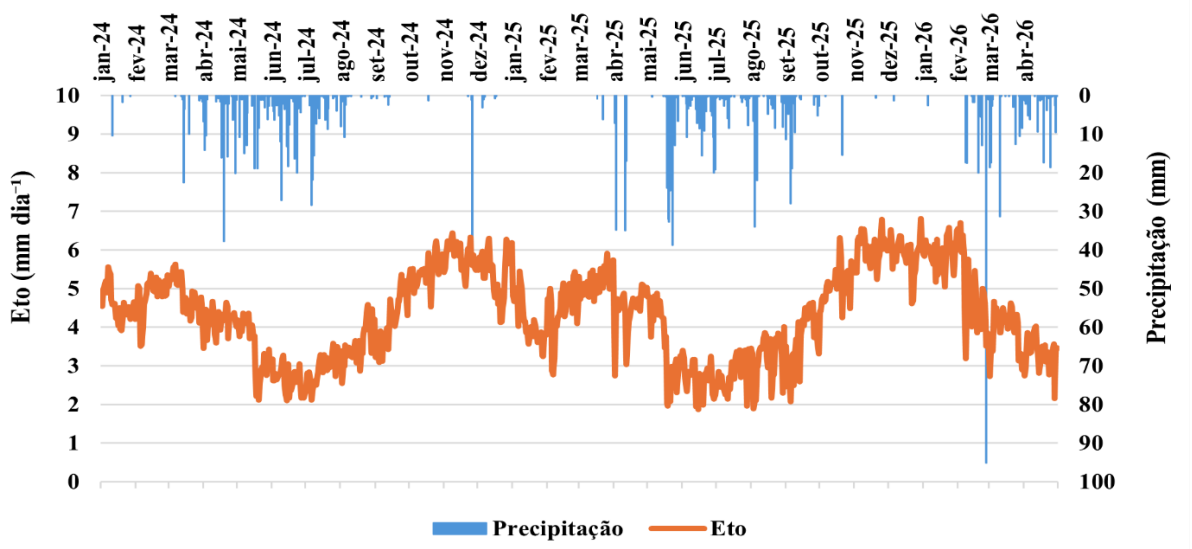


Figura 2 – Evapotranspiração de referência diária e precipitação diária

Os valores de ETo permaneceram elevados durante grande parte da série, frequentemente superiores a 5 mm dia^{-1}, principalmente nos meses mais secos. Allen et al. (1998) destacam que elevadas taxas evaporativas reduzem significativamente a recarga efetiva em regiões semiáridas.

Dessa forma, a dinâmica do lençol freático no Vale Aluvial do Mimoso resulta da interação entre precipitação irregular, elevada evapotranspiração e heterogeneidade hidráulica local, comportamento também observado por Almeida et al. (2024).

3.2 Dinâmica temporal da condutividade elétrica

A condutividade elétrica apresentou elevada variabilidade temporal e espacial ao longo do período monitorado, refletindo a influência da precipitação, evapotranspiração e circulação subterrânea. Segundo Almeida et al. (2024), a CE constitui importante indicador da dinâmica hidroquímica em aquíferos aluviais do semiárido. A distribuição temporal da CE associada à precipitação é apresentada na Figura 3.

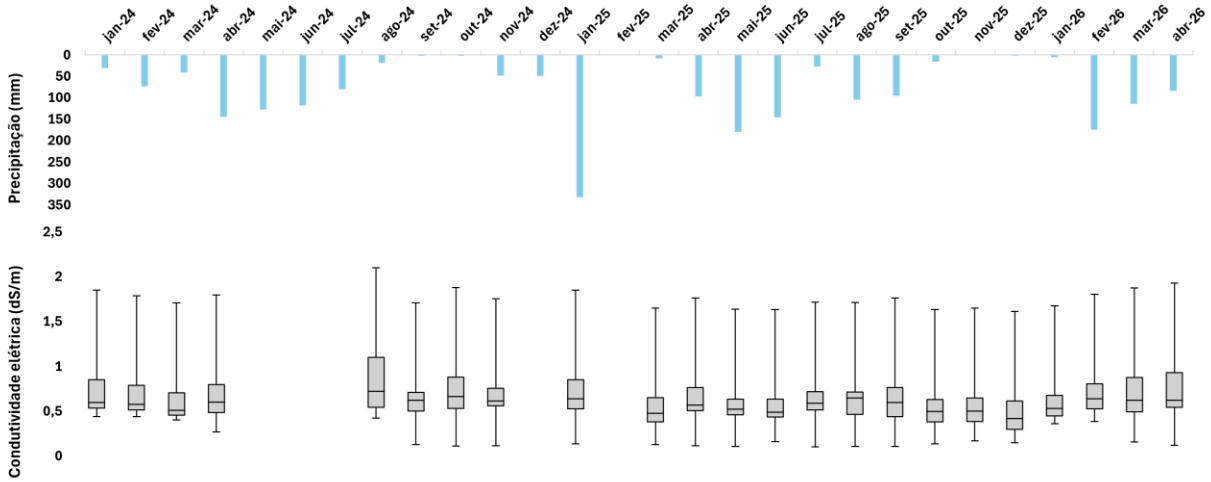


Figura 3 – Precipitação mensal e distribuição da condutividade elétrica

Os maiores valores médios e maiores dispersões de CE ocorreram principalmente em períodos secos. Em outubro de 2024, por exemplo, a CE média atingiu 2,33 dS m^{-1}, com máximos superiores a 25 dS m^{-1}. Esse comportamento indica concentração de sais dissolvidos associada à baixa recarga e à elevada evapotranspiração, conforme discutido por Schiavo (2024). Em contraste, períodos mais chuvosos apresentaram redução da CE média, como em junho de 2025 (0,74 dS m^{-1}) e abril de 2026 (0,68 dS m^{-1}), indicando efeito de diluição da água subterrânea (COELHO et al., 2018).

Os boxplots também evidenciam forte heterogeneidade espacial da salinidade, com presença de valores extremos em determinados meses. Segundo Montenegro (1997), essa variabilidade está relacionada às diferenças hidráulicas e texturais dos depósitos aluviais, que influenciam diretamente o fluxo subterrâneo e o acúmulo de sais.

3.3 Influência da heterogeneidade hidráulica na salinidade

A separação dos dados entre PZ High, PZ Low e poços permitiu avaliar a influência da heterogeneidade hidráulica sobre a salinidade da água subterrânea. A comparação entre os diferentes grupos é apresentada na Figura 4.

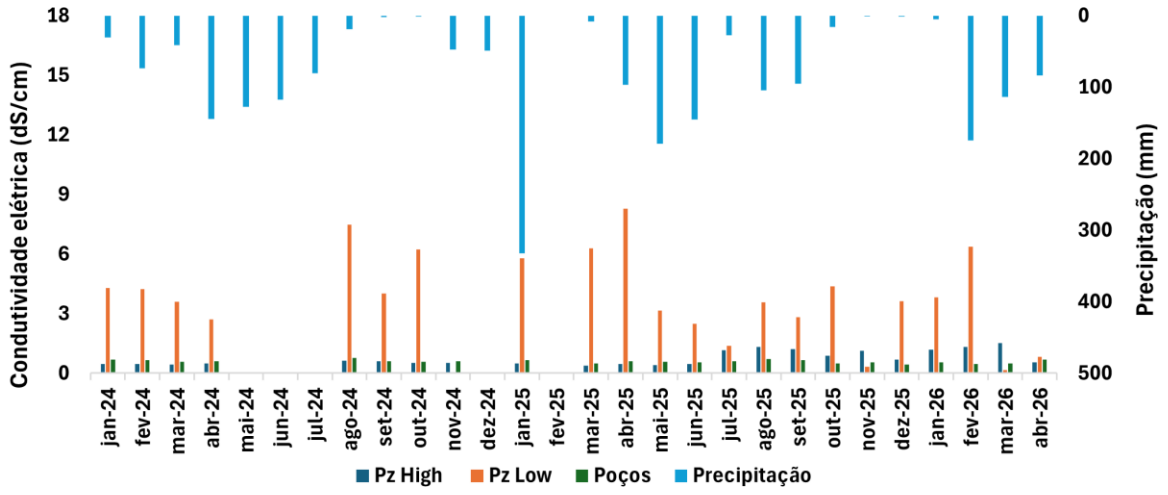


Figura 4 – Condutividade elétrica média em PZ High, PZ Low e poços

Os piezômetros classificados como PZ High apresentaram menores valores médios de CE ao longo da série, geralmente inferiores a 1,5 dS m^{-1}, indicando maior renovação da água subterrânea. Almeida et al. (2024) destacam que áreas com maior condutividade hidráulica tendem a responder mais rapidamente aos eventos de recarga, reduzindo o acúmulo de sais.

Por outro lado, os PZ Low apresentaram os maiores valores médios de CE, atingindo 7,48 dS m^{-1} em agosto de 2024 e 8,30 dS m^{-1} em abril de 2025. Esses resultados indicam maior suscetibilidade à salinização em áreas de baixa circulação subterrânea, onde o tempo de residência da água é maior. Segundo Montenegro e Montenegro (2006), áreas menos permeáveis favorecem a concentração progressiva de sais dissolvidos.

Os poços apresentaram comportamento mais estável, com médias geralmente inferiores a 0,80 dS m^{-1}, sugerindo condições hidroquímicas mais favoráveis. De forma geral, os resultados demonstram que a dinâmica da salinidade no Vale Aluvial do Mimoso é controlada tanto pela variabilidade climática quanto pela heterogeneidade hidráulica dos sedimentos aluviais, reforçando a importância do monitoramento contínuo em regiões semiáridas (ALMEIDA et al., 2025; ZHANG et al., 2022).

4. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos entre janeiro de 2024 e abril de 2026 demonstraram que a dinâmica hidroagrícola do Vale Aluvial do Mimoso é fortemente influenciada pela variabilidade climática típica do semiárido, especialmente pela irregularidade da precipitação e pelas elevadas taxas de evapotranspiração. Os períodos chuvosos favoreceram a redução da profundidade do lençol freático, indicando recarga do aquífero, enquanto os períodos secos promoveram o rebaixamento progressivo da água subterrânea.

A condutividade elétrica apresentou comportamento diretamente relacionado às condições hidrológicas e climáticas, com maiores valores durante períodos de estiagem e redução da salinidade em meses mais chuvosos, evidenciando o efeito da recarga e da diluição da água subterrânea. Além disso, os resultados mostraram forte influência da heterogeneidade hidráulica dos sedimentos aluviais sobre a distribuição espacial da salinidade.

Os piezômetros localizados em áreas de menor condutividade hidráulica (PZ Low) apresentaram maior suscetibilidade ao acúmulo de sais dissolvidos, enquanto os setores de maior condutividade hidráulica (PZ High) apresentaram menores valores de condutividade elétrica e maior renovação hídrica. Dessa forma, os resultados reforçam a importância do monitoramento contínuo da quantidade e qualidade da água subterrânea como ferramenta essencial para o manejo sustentável dos recursos hídricos em regiões semiáridas.

Além disso, os resultados contribuem para o entendimento dos processos hidrossalinos em aquíferos aluviais do semiárido brasileiro, fornecendo subsídios para estratégias de manejo e gestão sustentável da água subterrânea em cenários de elevada variabilidade climática.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) pelo apoio técnico e logístico durante a realização deste estudo, à FACEPE pelo financiamento do projeto de pesquisa, e à CAPES, CNPq e à FINEP pelo suporte institucional. Agradecemos também ao LAS (Laboratório de Água e Solo) pelo apoio nas atividades experimentais e análises desenvolvidas ao longo do trabalho.

6. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, T. A. B.; MONTENEGRO, A. A. A.; MACKAY, R.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; COELHO, V. H. R.; DE CARVALHO, A. A.; DA SILVA, T. G. F. (2024). "Hydrogeological trends in an alluvial valley in the Brazilian semiarid: Impacts of observed climate variables change and exploitation on groundwater availability and salinity". *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 53, pp. 1-23.

ALMEIDA, T. A.; MONTENEGRO, A. A.; DE LIMA, J. L.; FARIAS, C. W.; CARVALHO, A. A.; PAIVA, A. L. (2025). "Spatiotemporal variability of groundwater quality for irrigation: A case study in Mimoso Alluvial Valley, semiarid region of Brazil". *Water*, 17(3), 410.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. (1998). *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, 300 p.

BEZERRA, G. E. M. N.; VASCONCELOS, R. S.; CAETANO, T. O.; SOARES, B. M.; CIRILO, J. A.; PAIVA, A. L. R. (2024). "Estimativa de recarga hídrica utilizando o método Water Table Fluctuation em aquífero aluvionar: estudo de caso no Alto Rio Capibaribe, região semiárida pernambucana". *Revista de Geociências do Nordeste*, 10(2), pp. 1-14.

COELHO, V. H. R.; BERTRAND, G. F.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; PAIVA, A. L. R.; ALMEIDA, C. N.; GALVÃO, C. O.; BARBOSA, L. R.; BATISTA, L. F. D. R.; FERREIRA, E. L. G. A. (2018). "Piezometric level and electrical conductivity spatiotemporal monitoring as an instrument to design further managed aquifer recharge strategies in a complex estuarial system under anthropogenic pressure". *Journal of Environmental Management*, 209, pp. 426-439.

MONTENEGRO, A. A. A. (1997). *Stochastic hydrogeological modelling of aquifer salinization from small scale agriculture in Northeast Brazil*. Tese (Doutorado em Engenharia Hidrológica), University of Newcastle, Newcastle, 272 p.

MONTENEGRO, A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L. (2006). "Variabilidade espacial de classes de textura, salinidade e condutividade hidráulica de solos em planície aluvial". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 10, pp. 30-37.

SANTOS, K. S.; MONTENEGRO, A. A. A.; ALMEIDA, B. G.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANDRADE, T. S.; FONTES JÚNIOR, R. V. P. (2012). "Variabilidade espacial de atributos físicos em solos de vale aluvial no semiárido de Pernambuco". *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 16, pp. 828-835.

SCHIAVO, M. (2024). "Spatial modeling of the water table and its historical variations in Northeastern Italy via a geostatistical approach". *Groundwater for Sustainable Development*, 25, 101186.

SILVA, R. G. D.; CHAGAS, A. M. S. D.; SANTANA, M. A. D.; CLAUDINO, C. M. D. A.; COELHO, V. H. R.; ALMEIDA, T. A. B.; FARIAS, C. W. L. D. A. (2026). "Using satellite-based evapotranspiration (ESTIMET) in SWAT to quantify sediment yield in scarce data in a desertified watershed". *Sustainability*, 18(2), 917.

ZHANG, X.; WU, X.; ZHAO, R.; MU, W.; WU, C. (2022). "Identifying the facts and driving factors of deceleration of groundwater table decline in Beijing during 1999-2018". *Journal of Hydrology*, 607, 127475.