INFLUÊNCIA DA PRECIPITAÇÃO NA RECARGA DO SISTEMA AQUÍFERO QUATERNÁRIO EM SERGIPE: MONITORAMENTO 2023-2025 NO SEHRES

Maria Beatriz dos Santos [1] ; Maria Eduarda da Silva Vieira [2] ; Thizá Vitória Sacramento Silveira[3]; Roger Dias Gonçalves[4]

RESUMO A recarga aquífera representa um dos principais processos de renovação das águas subterrâneas, sendo diretamente influenciada pela variabilidade climática e pelas características hidrogeológicas do meio. Este estudo teve como objetivo estimar a recarga aquífera no Sistema Aquífero Quaternário do *Sergipe Hydrogeological Research Site* (SEHRES) por meio do método *Water Table Fluctuation* (WTF), analisando a relação entre precipitação e eficiência da recarga durante os anos hidrológicos de 2023 a 2025. O monitoramento foi realizado em 15 poços distribuídos na área de estudo, localizada entre os municípios de São Cristóvão e Aracaju (SE), com medições semanais do nível freático associadas a dados de precipitação diária. Os resultados evidenciaram forte influência da sazonalidade climática na dinâmica do nível freático, com respostas rápidas aos eventos pluviométricos, principalmente entre maio e julho. As estimativas de recarga apresentaram aumento progressivo, com médias aproximadas de 130 mm em 2023, 165 mm em 2024 e 185 mm em 2025. A análise da eficiência da precipitação indicou que maiores volumes de chuva não resultaram necessariamente em maior eficiência infiltrativa. O estudo contribui para o entendimento da dinâmica hidrogeológica de aquíferos costeiros rasos e reforça a importância do monitoramento contínuo para gestão sustentável das águas subterrâneas.

ABSTRACT Groundwater recharge represents one of the main renewal processes of groundwater resources and is directly influenced by climate variability and hydrogeological characteristics. This study aimed to estimate groundwater recharge in the Quaternary Aquifer System at the Sergipe Hydrogeological Research Site (SEHRES) using the Water Table Fluctuation (WTF) method, analyzing the relationship between precipitation, groundwater level variation, and recharge efficiency during the hydrological years from 2023 to 2025. Monitoring was conducted in 15 wells distributed throughout the study area, located between the municipalities of São Cristóvão and Aracaju, Sergipe State, Brazil, with weekly groundwater level measurements associated with daily precipitation data. For the application of the WTF method, a specific yield (Sy) value of 10% was adopted, representative of sandy unconfined aquifers. The results showed a strong influence of climatic seasonality on groundwater dynamics, with rapid responses to rainfall events, especially between May and July. Recharge estimates showed a progressive increase throughout the monitoring period, with average values of approximately 130 mm in 2023, 165 mm in 2024, and 185 mm in 2025. Recharge efficiency analysis indicated that higher rainfall volumes did not necessarily result in greater infiltration efficiency. This study contributes to the understanding of the hydrogeological dynamics of shallow

[1]) Grupo de Pesquisas Hidrogeológicas e Ambientais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, Brasil. mbeatrix039@gmail.com
[2]) Grupo de Pesquisas Hidrogeológicas e Ambientais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, Brasil. mariaeduardavieira@academico.ufs.br
[3]) Grupo de Pesquisas Hidrogeológicas e Ambientais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, Brasil. vitoriathiza@gmail.com
[4]) Departamento de Geologia, Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, Brasil. roger.dias@academico.ufs.br

coastal aquifers and reinforces the importance of continuous monitoring for sustainable groundwater management.

Palavras-Chave: SEHRES; WTF (*Water Table Fluctuation*); VNA (Variação do nível d'água).

1. INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas constituem uma das mais importantes reservas de água doce do planeta, sendo fundamentais para o abastecimento humano, atividades econômicas e manutenção dos ecossistemas (Frappart *et al*., 2022; Aranguren *et al*., 2024) O monitoramento de águas subterrâneas, especialmente do nível freático, tem ganhado destaque nas últimas décadas por representar uma ferramenta essencial para a preservação e gestão sustentável das reservas de água doce. Do ponto de vista hidrogeológico, a profundidade do lençol freático fornece informações quantitativas relevantes sobre as condições e a dinâmica dos aquíferos (Nistor *et al*., 2020).

A estimativa da recarga aquífera representa um desafio hidrogeológico devido à elevada variabilidade espacial e temporal desse processo, que é influenciado por fatores como características do solo, cobertura e uso do terreno, além das condições climáticas predominantes (Baalousha *et al.,* 2018).

Além disso, a sua correlação com o clima também traz dados importantes para previsão de como manejar o uso desse bem tão fundamental, portanto, as series históricas desses dados permite um maior entendimento de como o clima influencia no abastecimento desses reservatórios, devido a compreensão da evolução do nível d'água ao longo dos anos. (Chen *et al*., 2004).

As reservas subterrâneas são reabastecidas principalmente pelos processos de recarga aquífera, os quais apresentam elevada sensibilidade às mudanças climáticas e ao desenvolvimento urbano (Berghuijs *et al*., 2024)

Em sistemas aquíferos livres e rasos, como o Sistema Aquífero Quaternário (SAQ), essa correlação torna-se ainda mais crítica devido à vulnerabilidade intrínseca do meio e à dependência direta dos eventos de precipitação, como os períodos de excesso e déficit pluviométrico (Coulidiati *et al*.,2025; Zhang *et al*.,2024)

O clima da região é caracterizado como tropical úmido, apresentando duas estações bem definidas: uma estação chuvosa, concentrada entre os meses de março e julho, e uma estação seca, que se estende de agosto a fevereiro. Essa marcada sazonalidade pluviométrica exerce influência direta sobre os processos de infiltração e recarga do aquífero (Barbosa *et al*., 2022). Nesse contexto, o monitoramento contínuo aplicado no *Sergipe Hydrogeological Research Site* (SEHRES) fornece

dados essenciais para correlacionar o regime pluviométrico local com a manutenção da do nível estático (Saturnino *et al*., 2024; Santos *et al*., 2025).

As bases do monitoramento hidrodinâmico no *Sergipe Hydrogeological Research Site* (SEHRES) foram estabelecidas por Saturnino *et al*. (2023), que apresentaram estimativas preliminares da recarga no Sistema Aquífero Quaternário restritas a uma curta janela temporal, já o presente trabalho avança em relação à abordagem anterior e apresenta como caráter inédito a consolidação de uma série histórica contínua de três anos (2023 a 2025), permitindo avaliar a variabilidade interanual da recarga líquida.

Para a quantificação do aporte hídrico, destaca-se o método *Water Table Fluctuation* (WTF), também conhecido como Variação do Nível d'Água (VNA), sua aplicação em aquíferos livres fundamenta-se na premissa de que aumentos no nível freático em um intervalo de tempo determinado resultam de eventos de recarga efetiva, sendo a taxa de recarga proporcional à variação do nível d'água (Δh) e ao rendimento específico (Sy) do aquífero (Scanlon *et al*., 2002).

Em aquíferos rasos tropicais, a resposta piezométrica aos eventos de recarga tende a ocorrer de forma rápida, apresentando pequena defasagem entre os episódios de precipitação e a elevação do nível freático, além disso, os volumes anuais de recarga efetiva são condicionados por fatores como tipo de solo, cobertura vegetal, urbanização e uso e ocupação do terreno (Kafando *et al*., 2022; Belle *et al*., 2018).

Dessa forma, o monitoramento contínuo do nível freático associado à análise da precipitação constitui uma ferramenta fundamental para compreender a dinâmica de recarga em aquíferos livres rasos, especialmente em regiões costeiras sujeitas à elevada variabilidade climática. Nesse contexto, este estudo tem como objetivo estimar a recarga aquífera por meio do método *Water Table Fluctuation* (WTF) e analisar sua relação com a precipitação entre os anos de 2023 a 2025 no *Sergipe Hydrogeological Research Site* (SEHRES), contribuindo para o entendimento da dinâmica hidrológica do Sistema Aquífero Quaternário e para o manejo sustentável dos recursos hídricos subterrâneos.

2. OBJETIVOS

Esse trabalho tem como objetivo estimar a recarga aquífera no Sistema Aquífero Quaternário presente no *Sergipe Hydrogeological Research Site* por meio do método *Water Table Fluctuation*, analisando a relação entre precipitação, variação do nível freático e eficiência da recarga durante os anos hidrológicos de 2023 a 2025.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado no *Sergipe Hydrogeological Research Site* (SEHRES), situado entre São Cristóvão e Aracaju (SE), sobre o Sistema Aquífero Quaternário (SAQ), na qual é caracterizada por um aquífero livre raso em ambiente sedimentar costeiro, composto por depósitos flúvio-lagunares heterogêneos e terraços marinhos pleistocênicos (Bittencourt *et al*., 1983). A hidrodinâmica local é influenciada pelo Rio Poxim, que atua como zona de descarga, estabelecendo uma conexão direta entre o fluxo subterrâneo (NW-SE) e as águas superficiais.

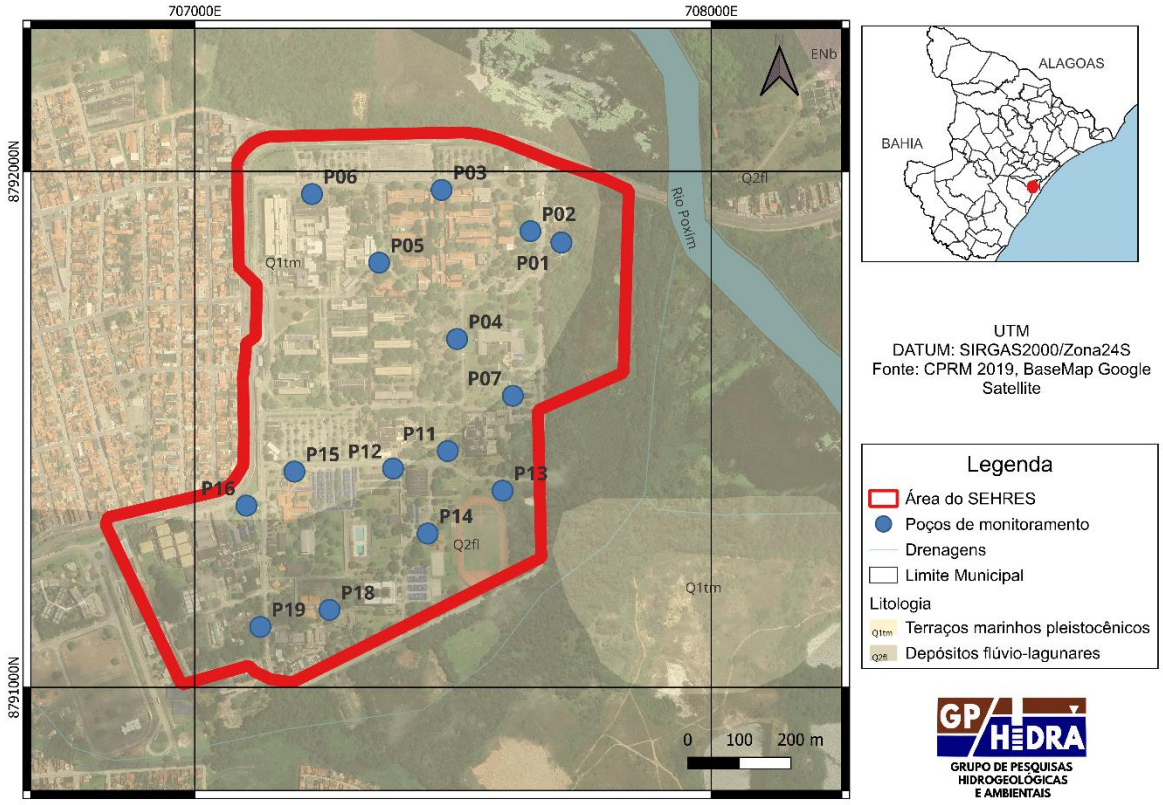


Figura 1 - Mapa de localização e geológico da área de estudo

Foi realizado monitoramento hidrodinâmico entre março de 2023 e fevereiro de 2026 em 15 poços do SEHRES a partir de medições semanais do nível freático com um medidor de nível d'água elétrico para a composição de séries temporais de nível d'água. Esses dados foram correlacionados a registros de precipitação diária (Figura 2) para identificar eventos de recarga e variações sazonais do aquífero.

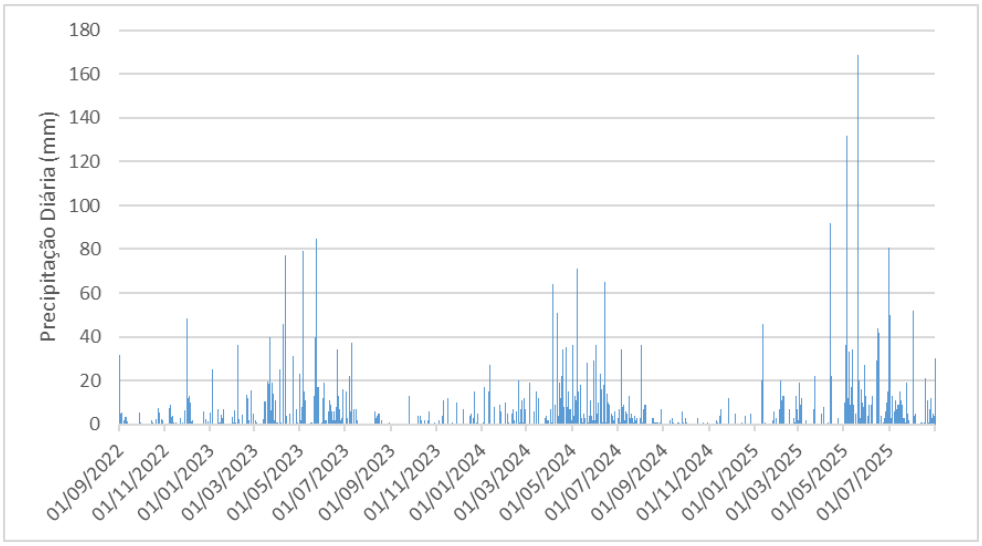


Figura 2 - Gráfico de precipitação diária no período.

A estimativa da recarga líquida foi realizada por meio do método *Water Table Fluctuation* (WTF), também denominado Variação do Nível d'Água (VNA), considerando os dados de precipitação e as oscilações do nível freático ao longo dos três anos monitorados. Para aplicação do método, adotou-se rendimento específico (Sy) de 10%, valor característico de aquíferos arenosos livres. O método baseia-se na premissa de que elevações do nível freático resultam de eventos de recarga efetiva, sendo a taxa de recarga proporcional à variação do nível d'água (Δh) em determinado intervalo de tempo (Scanlon *et al*., 2002).

$$\boldsymbol{R = Sy\frac{\Delta h}{\Delta t}} \qquad (1)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O monitoramento contínuo entre março de 2023 e fevereiro de 2026 demonstrado na figura 3, revelam uma hidrodinâmica fortemente influenciada pela sazonalidade climática local. Observou-se que o nível d'água apresenta uma resposta rápida aos eventos de precipitação, com picos de elevação registrados predominantemente entre os meses de maio e julho.

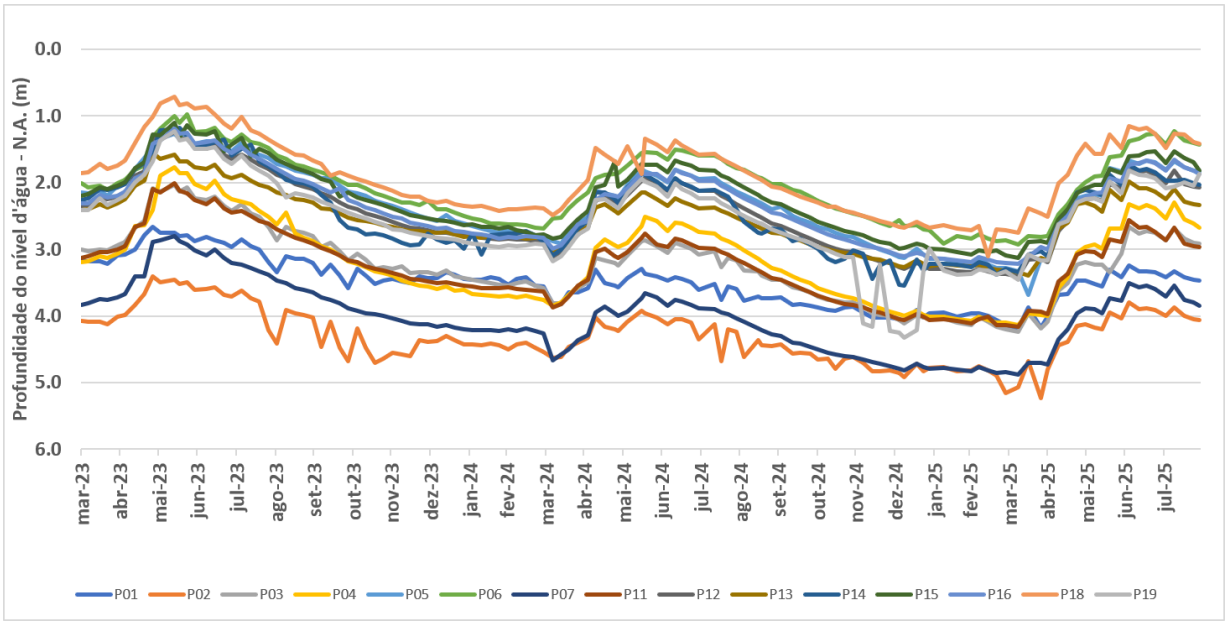


Figura 3 - Gráfico da variação da profundidade do nível d'água subterrâneo.

A quantificação via método WTF confirmou um aumento progressivo nas taxas de recarga líquida anual durante o triênio monitorado (Figura 4). As estimativas anuais apresentaram médias crescentes de aproximadamente 130 mm em 2023, com valores mínimos e máximos de cerca de 92 mm e 200 mm, respectivamente, indicando maior variabilidade dos dados. Para 2024, observou-se aumento da recarga média para aproximadamente 165 mm, com mínimo de 118 mm e máximo de 225 mm, demonstrando elevação da recarga em relação ao ano anterior. Já em 2025, verificou-se a maior recarga média do período, em torno de 185 mm, com valores variando entre aproximadamente 122 mm e 228 mm, evidenciando maior concentração dos dados em faixas elevadas de recarga. Esses resultados confirmam tendência de aumento progressivo da recarga aquífera ao longo do triênio monitorado, acompanhando o comportamento do regime pluviométrico local.

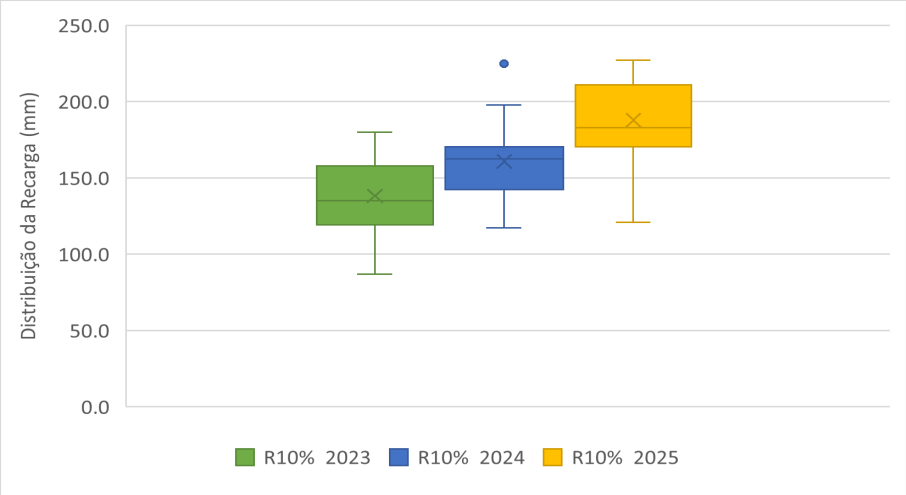


Figura 4 - Gráfico de caixa (*boxplot*) dos eventos de recarga dos anos de 2023, 2024 e 2025.

Por outro lado, a análise estatística da eficiência da precipitação na recarga, por meio de gráficos de caixa (Figura 5), revelou diferenças importantes no comportamento hidrológico entre os anos hidrológicos analisados. No período correspondente a 2023, observou-se mediana próxima de 9,0 mm, com valores mínimos e máximos de aproximadamente 6,2 mm e 13,8 mm, respectivamente, indicando ampla variabilidade dos dados.

Para 2024, verificou-se aumento da eficiência relativa da recarga, com mediana em torno de 10,8 mm, mínimo de aproximadamente 7,9 mm e máximo de 15,1 mm, representando os maiores valores de eficiência entre os períodos analisados. Já em 2025, a mediana foi de aproximadamente 10,2 mm, com valores variando entre cerca de 6,8 mm e 12,7 mm, evidenciando menor dispersão e maior homogeneidade dos dados em relação aos demais anos.

Já em 2025, observou-se mediana próxima de 10,1%, com valores mínimos e máximos de aproximadamente 6,7 mm e 12,6 mm, respectivamente. Além disso, o intervalo interquartil apresentou menor amplitude em relação aos demais anos, evidenciando menor dispersão e maior homogeneidade dos dados.

Apesar da menor amplitude observada em 2025, esse período apresentou os maiores valores de recarga acumulada, indicando que o aumento da recarga esteve associado principalmente ao maior volume pluviométrico registrado ao longo do período hidrológico. Esse comportamento sugere que, embora uma fração menor da precipitação tenha sido convertida em recarga efetiva, o elevado volume total de chuva foi suficiente para promover maiores taxas absolutas de recarga. Além disso, a ocorrência de eventos pluviométricos mais intensos e concentrados temporalmente pode ter favorecido perdas por escoamento superficial, evapotranspiração e saturação do solo, reduzindo a permeabilidade do sistema aquífero.

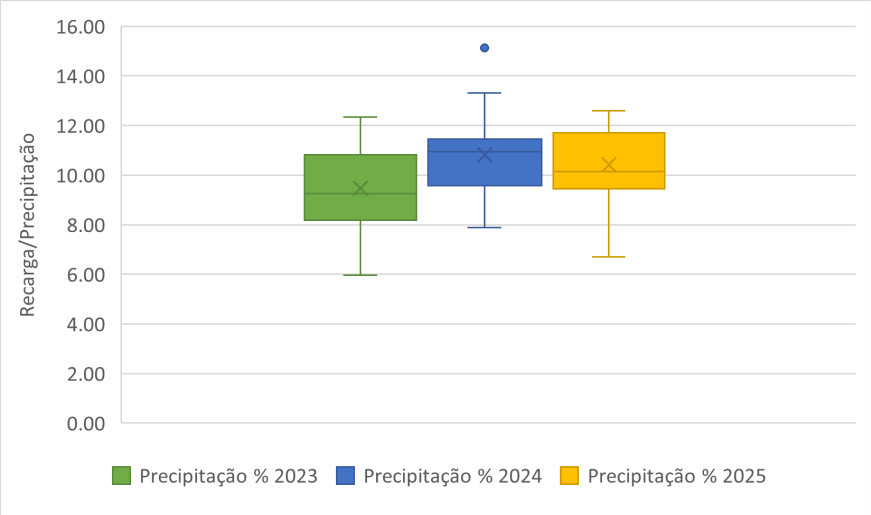


Figura 5 - Gráfico de caixa (*boxplot*) da eficiência da recarga com relação à precipitação

5. CONCLUSÕES

O monitoramento hidrodinâmico realizado no SEHRES evidenciou forte influência da sazonalidade climática sobre a dinâmica do nível freático do Sistema Aquífero Quaternário, com respostas rápidas do aquífero aos eventos de precipitação, especialmente durante o período chuvoso regional. A aplicação do método *Water Table Fluctuation* (WTF) mostrou-se eficiente para a estimativa da recarga aquífera em aquíferos livres rasos, permitindo identificar aumento progressivo da recarga acumulada entre os anos de 2023 e 2025.

Os resultados indicaram que o aumento da recarga esteve diretamente relacionado ao maior volume pluviométrico registrado ao longo do período monitorado. Entretanto, a análise da eficiência da precipitação na recarga demonstrou que maiores volumes de chuva não implicam necessariamente maior eficiência da recarga, uma vez que fatores como intensidade pluviométrica, escoamento superficial, evapotranspiração e saturação do solo podem influenciar significativamente os processos de recarga principalmente quando ocorrem em abundância e em curto espaço temporal.

Dessa forma, o estudo contribui para o entendimento da dinâmica hidrogeológica de aquíferos costeiros rasos submetidos à elevada variabilidade climática, reforçando a importância do monitoramento contínuo como ferramenta de suporte à gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos.

AGRADECIMENTOS

À POSGRAP pelo apoio financeiro, ao Grupo de Pesquisas Hidrogeológicas e Ambientais (GPHIDRA) e ao Laboratório de Tecnologia e Monitoramento Ambiental (LTMA).

REFERÊNCIAS

Aranguren-Díaz, Y.; Galán-Freyle, N.J.; Guerra, A.; Manares-Romero, A.; Pacheco-Londoño, L.C.; Romero-Coronado, A.; Vidal-Figueroa, N.; Machado-Sierra, E. Aquifers and Groundwater: Challenges and Opportunities in Water Resource Management in Colombia. *Water* 2024, *16*, 685. https://doi.org/10.3390/w16050685

Baalousha HM, Barth N, Ramasomanana FH, Ahzi S. Estimation of groundwater recharge in arid regions using GIS: A Case study from Qatar. Qatar Foundation Annual Research Conference Proceedings. 2018;2018(1):EEPP298. doi: 10.5339/qfarc.2018.EEPP298

Belle, P.; Aunay, B.; Lachassagne, P.; Ladouche, B.; Join, J.-L. Control of Tropical Landcover and Soil Properties on Landslides' Aquifer Recharge, Piezometry and Dynamics. *Water* **2018**, *10*, 1491. https://doi.org/10.3390/w10101491

Berghuijs, W.R., Collenteur, R.A., Jasechko, S. *et al.* Groundwater recharge is sensitive to changing long-term aridity. *Nat. Clim. Chang.* 14, 357–363 (2024). https://doi.org/10.1038/s41558-024-01953-z

Bittencourt, Abílio Carlos da S. P.; MARTIN, Louis; DOMINGUEZ, José Maria Landim; *et al*. Evolução paleogeográfica quaternária da costa do estado de Sergipe e da costa sul do estado de Alagoas. Revista Brasileira de Geociências, v. 13, n. 2, p. 93–97, 1983.

CHEN, Zhuoheng; GRASBY, Stephen E. ; OSADETZ, Kirk G. Relation between climate variability and groundwater levels in the upper carbonate aquifer, southern Manitoba, Canada. Journal of Hydrology, v. 290, n. 1-2, p. 43–62, 2004.

Coulidiati, T.F.A.; Biaou, A.C.; Faye, M.D.; Yonaba, R.; Sauret, E.S.G.; Compaoré, N.F.; Koïta, M. Groundwater Vulnerability in the Kou Sub-Basin, Burkina Faso: A Critical Review of Hydrogeological Knowledge. *Water* 2025, *17*, 1317. https://doi.org/10.3390/w17091317

Frappart F and Merwade VM (2022) Editorial: Groundwater systems worldwide. Front. Earth Sci. 10:1097789. doi: 10.3389/feart.2022.1097789

Kafando, M.B.; Koïta, M.; Zouré, C.O.; Yonaba, R.; Niang, D. Quantification of Soil Deep Drainage and Aquifer Recharge Dynamics according to Land Use and Land Cover in the Basement Zone of Burkina Faso in West Africa. *Sustainability* 2022, *14*, 14687. https://doi.org/10.3390/su142214687

SATURNINO, N. M. S. R. et al. Monitoramento e estimativa de recarga em aquífero raso: um estudo hidrodinâmico no *Sergipe Hydrogeological Research Site* (SEHRES). In: XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (SBRH), 2023, Aracaju. *Anais...* Porto Alegre: ABRHidro, 2023

SATURNINO, N. M. R. S. et al. Aplicação do método WTF para estimativa de recarga subterrânea no Sistema Aquífero Quaternário em Sergipe, Brasil. Scientia Plena, [S. l.], v. 20, n. 08, p. 1-10, 2024. DOI 10.14808/sci.plena.2024.089909. Disponível em: https://www.scientiaplena.org.br.

SANTOS, M. B. et al. Hidrodinâmica e recarga subterrânea em Aquífero Costeiro Quaternário em Sergipe: análise sazonal (2023-2024) do SEHRES. Scientia Plena, [S. l.], v. 21, n. 11, p. 1-14, 2025. DOI 10.14808/sci.plena.2025.119913. Disponível em: https://www.scientiaplena.org.br.

NISTOR, Margarit Mircea; RAHARDJO, Harianto; SATYANAGA, Alfrendo; *et al*. Investigation of groundwater table distribution using borehole piezometer data interpolation: Case study of Singapore. Engineering Geology n2020, v. 271, p. 105590, 2020.

Scanlon BR, Healy RW, Cook PG. "Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge". Hydrogeol J. 2002;10(1):18-39.doi: 10.1007/s10040-001-0176-2

Zhang, H.; Rui, X.; Zhou, Y.; Sun, W.; Xie, W.; Gao, C.; Ren, Y. Analysis of the Response of Shallow Groundwater Levels to Precipitation Based on Different Wavelet Scales—A Case Study of the Datong Basin, Shanxi. *Water* 2024, *16*, 2920. https://doi.org/10.3390/w16202920