

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DE NÍVEIS FREÁTICOS EM AQUÍFEROS NO SEMI-ÁRIDO

HENRIQUE SANCHEZ FRANZ¹; BRUNA BOHM MOURA²; DANIELLE DE ALMEIDA BRESSIANI²; JULIANA PERTILLE DA SILVA³

¹Universidade Federal de Pelotas – franzhenrique@yahoo.com.br

²Universidade Federal de Pelotas – bruna_bmoura@hotmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – daniebressiani@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – juliana.pertill@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

As águas subterrâneas são recursos estratégicos para a segurança hídrica, sobretudo em regiões semiáridas, onde a irregularidade pluviométrica e a elevada evapotranspiração limitam a disponibilidade de água superficial. Nesses contextos, os aquíferos constituem a principal fonte de abastecimento humano e suporte a atividades econômicas, reforçando a importância de análises que investiguem a dinâmica de seus níveis freáticos ao longo do tempo.

O Vale do Cariri, no sul do Ceará, caracteriza-se pela ocorrência de aquíferos altamente produtivos, mas também pela vulnerabilidade associada à recorrência de estiagens prolongadas, que intensificam a pressão sobre os recursos subterrâneos (MENDONÇA et al., 2005; MELATI et al., 2019). Nesse cenário, compreender a evolução temporal dos níveis freáticos torna-se fundamental para subsidiar práticas de gestão sustentável. Assim, este trabalho tem como objetivo analisar a tendência dos níveis freáticos da região, utilizando o teste de Mann-Kendall e o estimador Sen's slope, amplamente empregados em estudos hidrológicos para detectar tendências em séries temporais.

2. METODOLOGIA

A área de estudo, apresentada na Figura 1, localiza-se no sul do estado do Ceará e possui mais de 500.000 habitantes englobando a segunda maior região metropolitana do estado. Conhecida como Vale do Cariri esta região possui aquíferos muito produtivos divididos em sistema aquífero superior (formação Exu e aquífero Santana), sistema aquífero médio (formação Barbalha e formação Missão Velha) e sistema aquífero inferior (formação Mauriti e aquífero Brejo Santo) (MENDONÇA et al., 2005; MELATI et al., 2019). No total, 20 poços de monitoramento de nível freático foram analisados (SGB, 2025).

A metodologia empregada baseou-se no teste não-paramétrico de Mann-Kendall para avaliar a existência de tendência nos níveis freáticos dos poços analisados, permitindo identificar se tais tendências eram estatisticamente significativas e de natureza crescente ou decrescente. Complementarmente, foi calculado o coeficiente de Kendall's Tau e o estimador Sen's slope, a fim de quantificar a magnitude e direção das variações ao longo da série temporal, técnica amplamente aplicada em estudos hidrológicos em regiões semiáridas (WOJAHN et al., 2024). Para a aplicação de tais testes estatísticos, o estimador Sen's slope foi calculado com as médias anuais dos níveis freáticos. Considerando a marcante sazonalidade da região, o coeficiente de Kendall Tau foi calculado com a média mensal dos níveis freáticos para os meses que marcam o período chuvoso (Janeiro

a Junho), e para o período seco (Julho a Dezembro). Para ambos o período analisado foi de 2011 a 2023.

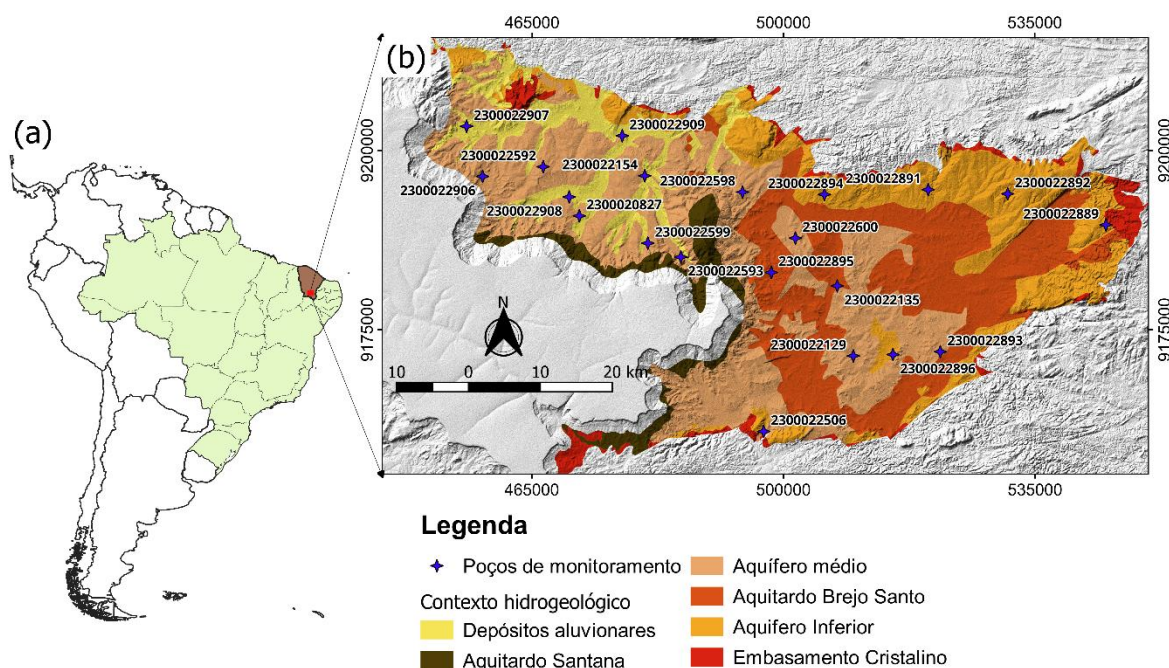


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. (a) Localização da América do sul, Brasil e estado do Ceará. (b) Localização do Vale do Cariri e seu contexto hidrogeológico.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do teste do coeficiente Kendall demonstrou que o nível de todos os poços analisados possui tendência. Analisando a média anual dos níveis freáticos, apenas 4 poços resultaram no coeficiente de Kendall's Tau negativo, ou seja, indicando a redução do nível freático em relação a superfície, e, portanto, aumento do armazenamento subterrâneo. No total 16 poços apresentaram tendência positiva, isto é, aumento do nível freático, e, logo, a redução do armazenamento subterrâneo.

Analisando o estimador Sen Slope, os poços que apresentam maior magnitude na tendência com valores entre 0,00111 e 0,00304 m/ano localizam-se nos depósitos aluvionares (3 poços) e no sistema aquífero inferior (4 poços). Tais resultados justificam-se, pois o contexto hidrogeológico caracteristicamente a recarga é mais sensível a sazonalidade (MELATI et al., 2019).

No que diz respeito a sazonalidade, a média mensal do nível freático dos meses considerados secos, 17 poços apresentaram tendência positiva, indicando a redução do armazenamento subterrâneo e apenas 3 localizados no sistema aquífero Médio apresentam tendência negativa. Para o período chuvoso 14 poços apresentaram tendência positiva e 6 poços apresentaram tendência negativa.

Os poços que apresentaram a tendência negativa, localizam-se próximos a chapada do Araripe, e possuem a sua recarga favorece devido a maior quantidade de chuva proporcionado pelo efeito orográfico da chapada (DE LIMA et al., 2021). Portanto, para estes poços pode ser esperado um aumento no armazenamento subterrâneo. Entretanto, a maioria dos poços resultou em tendência positiva, o que sugere a redução do armazenamento subterrâneo. Tal resultado pode estar

relacionado com o período extremo de estiagem entre 2012 e 2017 (MARENGO et al., 2022).

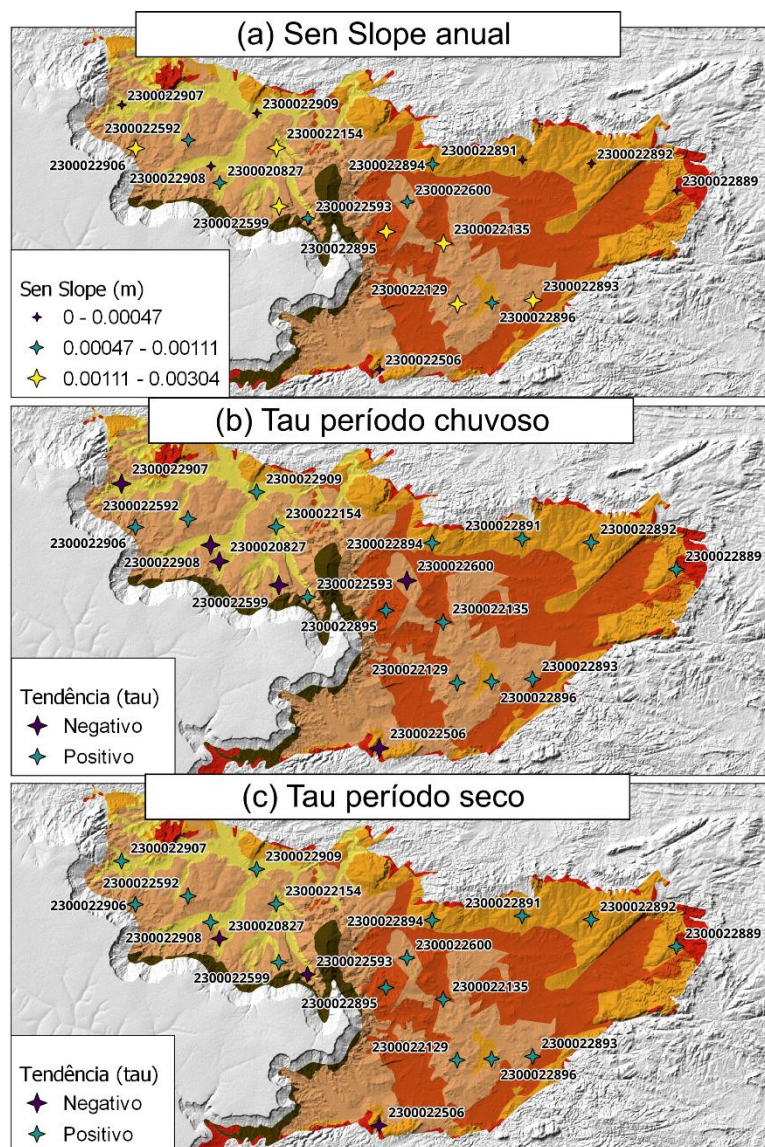


Figura 2 - Resultados da análise de tendência. (a) Sen slope para a média anual (2011 - 2023). (b) Kendall Tau para o período chuvoso. (c) Kendall Tau para o período seco.

4. CONCLUSÕES

A partir da análise de tendência de Mann Kendall e Sen Slope é possível melhor entender a dinâmica da hidrologia subterrânea, bem como, inferir sobre a tendência de redução ou aumento do armazenamento subterrâneo. Os resultados deste estudo, através dos poços de monitoramento, demonstraram que há uma tendência, para a maioria dos poços, de redução do armazenamento subterrâneo. Além disso, os resultados demonstram a importância de proteger as nascentes da chapada do Araripe, uma vez que são as únicas regiões onde os poços indicam a tendência de aumento do armazenamento subterrâneo.

Considerando que a tendência para a maioria dos poços indica a redução do armazenamento subterrâneo, políticas públicas relacionadas a uso alternado e

conjuntivo de mananciais (superficiais e subterrâneos), e políticas de realocação de poços são necessárias para o desenvolvimento sustentável da região.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DE LIMA, Geislam Gomes; DOS SANTOS MARÇAL, Mônica; DE BARROS CORREA, Antonio Carlos. Conectividade fluvial no Planalto Sedimentar do Araripe, semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 22, n. 3, 2021. <https://doi.org/10.20502/rbg.v22i3.1935>.

MARENGO, Jose A. et al. Drought in Northeast Brazil: A review of agricultural and policy adaptation options for food security. **Climate Resilience and Sustainability**, v. 1, n. 1, p. e17, 2022. <https://doi.org/10.1002/cli2.17>

MELATI, Maurício D. et al. Estimates of groundwater depletion under extreme drought in the Brazilian semi-arid region using GRACE satellite data: application for a small-scale aquifer. **Hydrogeology Journal**, v. 27, n. 8, p. 2789-2802, 2019. <https://doi.org/10.1007/s10040-019-02065-1>

MENDONÇA, Luis. Alberto. Ribeiro. et al. Isotope measurements and ground water flow modeling using MODFLOW for understanding environmental changes caused by a well field in semiarid Brazil. **Environmental Geology**, v. 47, p. 1045-1053, 2005. <https://doi.org/10.1007/s00254-005-1230-5>.

SBG. **Serviço Geológico Brasileiro. RIMAS – Rede Integrada de Monitoramento de Águas Subterrâneas**. Disponível em: <https://rimasweb.sgb.gov.br/> Acesso em: 4 ago. 2025

WOJAHN, Victoria S. et al. Groundwater storage trend in headwater basins in different Brazilian regions. **Sustainable Water Resources Management**, v. 10, n. 6, p. 197, 2024.