

XV SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

ESTABILIDADE TEMPORAL DOS NÍVEIS POTENCIOMÉTRICOS E DA SALINIDADE EM AQUÍFERO ALUVIAL NO SEMIÁRIDO PERNAMBUCANO

Beatriz Gomes de Araújo¹ ; Thayná Alice Brito Almeida¹; Abelardo Antônio de Assunção Montenegro¹ & Agnes Heloísa Silva Ramos¹

RESUMO – As águas subterrâneas são frequentemente consideradas a única fonte de água disponível no semiárido. Entretanto, as crescentes extrações e a escassez hídrica da região, acentuada pelas mudanças climáticas, ameaçam a disponibilidade qualitativa e quantitativa deste recurso. Nesse aspecto, a estabilidade temporal é uma técnica que vem sendo muito empregada na hidrologia por facilitar o monitoramento necessário para essas regiões, possibilitando a obtenção de locais representativos acerca da área em estudo. O objetivo deste estudo consistiu em avaliar a estabilidade temporal do nível potenciométrico e a salinidade das águas subterrâneas em aquífero aluvial no semiárido Pernambucano. O monitoramento do nível e da condutividade elétrica (CE) foi realizado de janeiro de 2018 a dezembro de 2019, em 66 pontos dispostos ao longo vale aluvial da Bacia do Riacho Mimoso, Agreste Pernambucano. Para a identificação dos pontos estáveis representativos foi utilizado o método das diferenças relativas e a validação por correlação entre a média do piezômetro estável e a média dos demais piezômetros, ao longo do tempo. Verificou-se quanto ao nível potenciométrico a ocorrência de estabilidade temporal do aquífero aluvial, sendo possível identificar piezômetros com adequada representatividade da média do nível freático do aluvião em questão, resultados semelhantes foram obtidos para condutividade elétrica.

ABSTRACT – Groundwater is often considered the only source of water available in the semiarid. However, the growing extractions and water scarcity in the region, accentuated by climate change, threaten the qualitative and quantitative availability of this resource. In this aspect, temporal stability is a technique that has been widely used in hydrology because it facilitates the necessary monitoring for these regions, enabling the obtaining of representative locations about the area under study. The objective of this study was to evaluate the temporal stability of the potentiometric level and the salinity of groundwater in an alluvial aquifer in the semiarid Pernambucano. The monitoring of the electrical conductivity and level (CE) was carried out from January 2018 to December 2019, at 66 points located along the alluvial valley of the Riacho Mimoso Basin, Agreste Pernambucano. For the identification of representative stable points, the method of relative differences was used and validation by correlation between the mean of the stable piezometer and the mean of the other piezometers, over time. Regarding the potentiometric level, the occurrence of temporal stability of the alluvial aquifer was verified, being possible to identify piezometers with adequate

representativeness of the mean water level of the alluvium in question, similar results were obtained for electrical conductivity.

Palavras-Chave – água subterrânea, dinâmica espaço-temporal, bacia hidrográfica

1 INTRODUÇÃO

A região semiárida brasileira é caracterizada por apresentar alta variabilidade de precipitação no espaço-tempo, e pela ocorrência de eventos extremos de precipitação, bem como secas prolongadas, apresentando na maior parte do ano um déficit hídrico que ameaça a disponibilidade dos recursos hídricos (Fontes Júnior e Montenegro, 2019). Nesse contexto os recursos hídricos subterrâneos aluviais são estratégicos para as populações rurais no semiárido brasileiro, desempenhando um papel importante no abastecimento de famílias, e manutenção da agricultura familiar, nos períodos de seca (Coelho et al. 2017). Entretanto, as restrições no uso e na disponibilidade das águas subterrâneas nos aluviões estão diretamente ligadas a sazonalidade e à variabilidade espacial de seus níveis e salinidade, requerendo monitoramento sistemático de sua quantidade e qualidade (Fontes Júnior et al., 2012). Além disso, Montenegro et al. (2013) destacam que as condições de semiárido, juntamente com o elevado déficit hídrico, contribui significativamente para o aumento da salinidade da água e dos solos nas áreas irrigadas.

Atender à demanda por recursos hídricos na região semiárida requer o gerenciamento e planejamento permanentes das bacias hidrográficas de forma sustentável de modo que conserve o ecossistema da bacia (Essaid e Cadwell 2017). O monitoramento e a interpretação da potenciometria bem como da salinidade da água nessas regiões, contribuem para o desenvolvimento da irrigação sendo relevantes para sustentabilidade local (Mackay et al. 2006). Entretanto, o monitoramento contínuo é um procedimento dispendioso, justificando a investigação e a aplicação de técnicas que possibilitem a identificação de locais representativos da área de interesse (Fontes Júnior et al., 2012).

Visando reduzir esforços e custos de monitoramento, Vachaud et al. (1985) propuseram uma metodologia que associa a estabilidade no tempo de medições em locais estratégicos, em relação ao comportamento médio de um domínio em estudo. A estabilidade temporal, é baseada na suposição de que os padrões espaciais de medições experimentais tendem a persistir ao longo do tempo em um domínio. Ran et al. (2015) aplicaram a técnica da estabilidade temporal em aquífero da China, com o objetivo de otimizar rede de monitoramento de níveis potenciométricos e contataram a importância da ferramenta para a gestão dos recursos hídricos subterrâneos.

Deste modo o objetivo deste estudo foi avaliar a estabilidade temporal do nível potenciométrico e da salinidade da água subterrânea em aquífero aluvial no semiárido, buscando-se identificar áreas representativas do comportamento médio do aquífero.,

2 METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido no vale aluvial da Bacia do Riacho Mimoso, sub-bacia do Alto Ipanema localizada no município de Pesqueira, em sua porção ocidental mais a montante, Região do Agreste Pernambucano (Figura 1). O aquífero estudado apresenta profundidade média de 10 m e 15 km de extensão (Fontes Júnior et al. 2012). O clima é do tipo BSh (extremamente quente, semiárido) de acordo com a classificação de Köppen, com pluviometria média anual de 607 mm (Santos et al., 2012).

A classificação pedológica do vale aluvial (Figura 1), é distribuída em: RR1 – Neossolo Regolítico (Eutrófico léptico + Neossolo Litólico Eutrófico típico, ambos fase suave ondulado); RR2 Neossolo Regolítico (Eutrófico solódico textura média fase relevo plano e suave ondulado); RUI Neossolo Flúvico Tb (Eutrófico típico textura arenosa ou média / média ou arenosa moderadamente drenado); RU2 Neossolo Flúvico Tb (Eutrófico típico textura média / média ou arenosa moderadamente drenado); RU3 Neossolo Flúvico (Sódico típico textura média / média ou arenosa moderadamente drenado); RU4 Neossolo Flúvico (Sódico típico textura média / média ou arenosa moderadamente drenado); RU5 Neossolo Flúvico (Sódico salino textura média / média ou média imperfeitamente drenado); RU5 Neossolo Flúvico (Sódico salino textura média imperfeitamente drenado), segundo Correa e Ribeiro (2001).

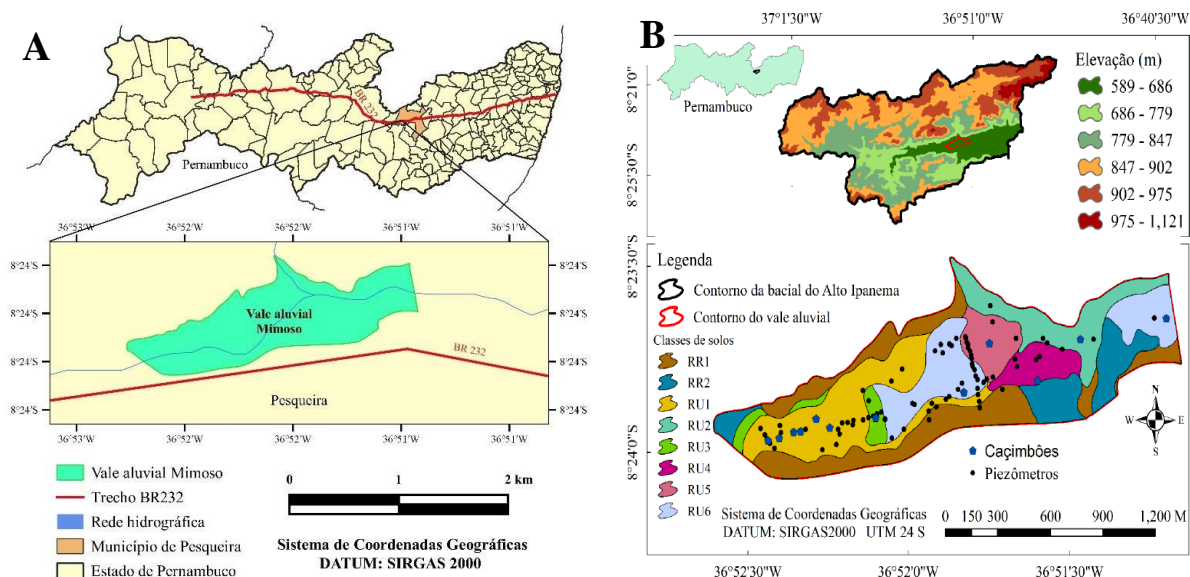


Figura 1. Localização do vale aluvial (A). Mapa da distribuição espacial dos piezômetros, da elevação da bacia do Alto Ipanema e da classe de solo do Vale Aluvial localizado no Município de Pesqueira-PE (B) (Adaptada de CARVALHO et al. 2018).

A área de estudo possui uma malha cerca de 50 piezômetros georreferenciados, 4 poços comunitários e 12 cacimbões particulares. Os piezômetros instalados possuem cerca de 6 m de profundidade e 75 mm de diâmetro. O monitoramento tem sido conduzido mensalmente através de leituras do nível da água nos piezômetros e coleta de amostra da água utilizada para a caracterização da dinâmica hidro-salina do aquífero desde 1995 (Montenegro, 1997). As variáveis meteorológica foram monitoradas através de uma estação agroclimatológica localizada na porção central do vale.

Para a análise de estabilidade temporal do nível de água no período analisado, foi determinada usado a técnica desenvolvida por Vachaud et al. (1985). Baseada no cálculo da diferença relativa, esta técnica permite a análise dos desvios entre os valores observados individualmente no espaço e a média entre eles. Calculou-se a diferença relativa para todos os pontos monitorados dentro do período estudado, conforme a Equação 1:

$$DR_{ij}(\theta) = \frac{\theta_{ij} - \bar{\theta}_j}{\bar{\theta}_j} \cdot 100 \quad (1)$$

Onde, DR_{ij} é a diferença relativa entre a determinação individual para um local i no tempo j ; θ_{ij} é o índice de umidade no local i e no tempo j ; $\bar{\theta}_j$ é o índice de umidade média para todas as posições no tempo j N posições. no momento j . A média para a diferença relativa é calculada pela seguinte equação 2:

$$\overline{DR}(\theta) = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^n DR(\theta) \quad (2)$$

O desempenho da estabilidade foi avaliado através do índice c , proposto por Camargo & Sentelhas (1997) e utilizado por Fontes Júnior et al. (2012) na avaliação da estabilidade temporal nesta mesma rede de piezômetros.

3 RESULTADO E DESCUSSÕES

A distribuição temporal do nível médio do lençol freático e da precipitação no período de janeiro de 2018 a dezembro de 2019, estão representadas abaixo (Figura 2). Nota-se um regime de precipitação acumulando aproximadamente 524 mm e 634 mm nos anos de 2018 e 2019, respectivamente. Proporcionando uma recarga de aproximadamente 1,20 m de recarga para o ano de 2018. Tais resultados corroboram com o encontrado por Almeida et al. (2019) em seu trabalho desenvolvido na mesma área de estudo, onde para um valor de 615 mm de precipitação acumulado proporcionou recarga no aquífero.

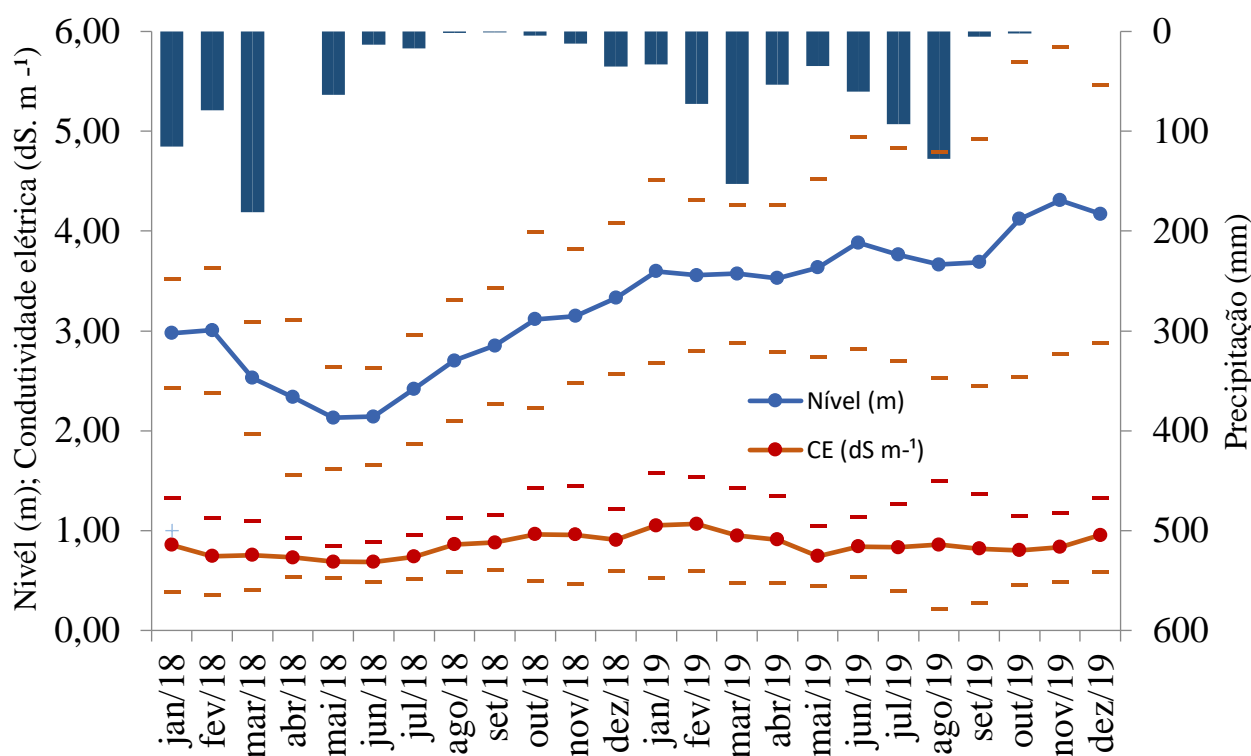


Figura 2. Variação do nível médio do lençol freático, da condutividade elétrica CE e da precipitação no vale aluvial do Alto Ipanema, Pesqueira-PE.

Entretanto, não foi possível observar uma ascensão do nível freático em 2019, o elevado regime precipitação acumulada no período de fevereiro a agosto não foi suficiente para gerar recarga significativa no ano de 2019. O que está provavelmente relacionado ao baixo índice de precipitação no período de agosto a novembro de 2018 e as extrações excessivas de água dos poços para a

irrigação. Que de acordo com questionários realizados com agricultores que trabalham nos lotes do vale aluvial, a irrigação das cultas é realizada até duas vezes ao dia, a depender da cultura e das condições climáticas.

Ainda na Figura 2 observa-se o comportamento temporal dos níveis de salinidade e da precipitação no período de janeiro 2018 a dezembro 2019. Verificou-se que os valores de condutividade elétrica se não ultrapassaram 1 dS m⁻¹. Sendo assim, o uso das águas do vale aluvial relacionados a salinidade apresentam restrição ligeiramente moderada para o uso na irrigação de acordo com Ayers e Westcot (1994), sendo assim é aconselhado a implantação de culturas com moderada resistência à salinidade.

A identificação do ponto estável foi feita com base no gráfico de estabilidade temporal, onde o ponto estável é identificado no gráfico pelo ponto que apresenta menor desvio padrão associado a menor diferença relativa, os piezômetros com diferenças relativas positivas superestimam os valores médios e os negativos subestimam. A Figura 3A apresenta a diferença média intertemporal relativa (RD) e desvio padrão dos níveis potenciométricos e da condutividade elétrica dos pontos classificados como mais estáveis

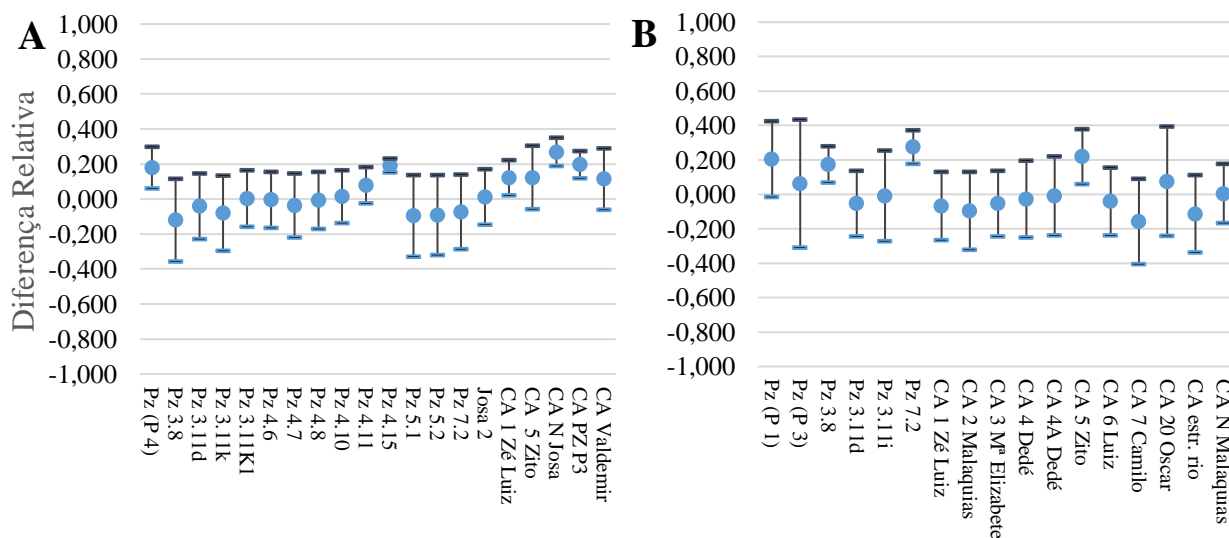


Figura 3. Diferença relativa média e desvio-padrão do nível de água (A) e da salinidade (B) nos piezômetros e cacimbões mais estáveis.

Dentre o conjunto de piezômetros analisados para o nível potenciométrico (figura 3A), os que se apresentaram mais representativos foram Pz 4.11, Pz 4.15 e CA 1, apresentando diferenças relativas médias, em valor absoluto, de 0,077, 0,190, 0,120 e desvios de 10,5%, 4% e 10%, respectivamente.

Segundo Montenegro et al. (2003) e Fontes Júnior et al. (2012), a estabilidade do nível esta associado à localização dos piezômetros, os sutores constatara em seus estudos que ao longo do eixo longitudinal do vale aluvial, os piezômetros exibem aproximadamente a mesma dinâmica de flutuação do nível da água ao longo do tempo. O ponto CA 1, embora seja um poço e esteja sujeito a extrações e pressões antrópicas está em desuso há cerca de 3 anos, o que explica o comportamento estável do mesmo.

Para a condutividade elétrica os piezômetros representativos para o valor médio da diferença relativa foram Pz 7.2, Pz 3.8 e CA N Malaquias (Figura 3B), que apresentaram diferenças relativas médias, em valor absoluto, de 0,27, 0,17 e 0,002, respectivamente, e desvios de 9,80, 10,50 e 17,10%, respectivamente. Observa-se que o Pz 7.2 foi o de menor desvio e o CA N Malaquias foi o com diferença relativa mais próxima de zero, já o Pz 3.8 foi o de valor intermediário tanto para o desvio, como para diferença relativa. Embora o CA N Malaquias tenha apresentado diferencia relativa mais próximas a zero, seu desvio superior a 10% é considerado elevado, segundo Martinez-Fernandez & Ceballos (2003). Este elevado desvio padrão temporal é indicativo da influência de processos localizados na variabilidade da condutividade elétrica podendo-se citar o cultivo irrigado em lotes de pequenas dimensões, dispersos no perímetro.

A estabilidade temporal para o nível é pode ser confirmada no gráfico (Figura 4) onde é possível observar comportamento das médias com baixas variações entre os piezômetros estáveis mais representativos e a média dos demais.

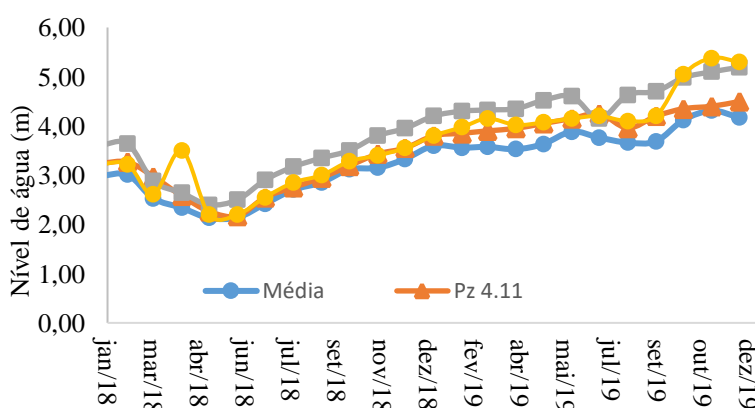


Figura 4. Comparação entre o nível de água médio do aquífero nas posições com estabilidade temporal ao longo do tempo

Observa-se na Figura 4 que tanto a CA 1, Pz 4.15 como o Pz 4.11 apresentaram comportamento semelhante à média dos demais pontos monitorados. Embora alguns pontos não correspondam exatamente ao valor médio, as diferenças foram mínimas. O Pz 4.11 configura-se como o mais próximo da variação média, variando pouco na escala. A CA 1 no mês de abril de 2018 apresenta

uma elevação do nível, não observado nos dados médios. Enquanto, o Pz 4.15 apresenta uma escala de variação superior à média geral do aquífero, destoando um pouco durante os meses.

Observa-se na Figura 5 o comportamento do nível médio da condutividade e dos piezômetros estáveis mais representativos. No tocante a condutividade elétrica, a estabilidade é confirmada no gráfico da Figura 5, onde o comportamento dos pontos Pz 3.8, Pz e o Pz 4.11 apresentou baixas variações entre os piezômetros estáveis e a média dos demais

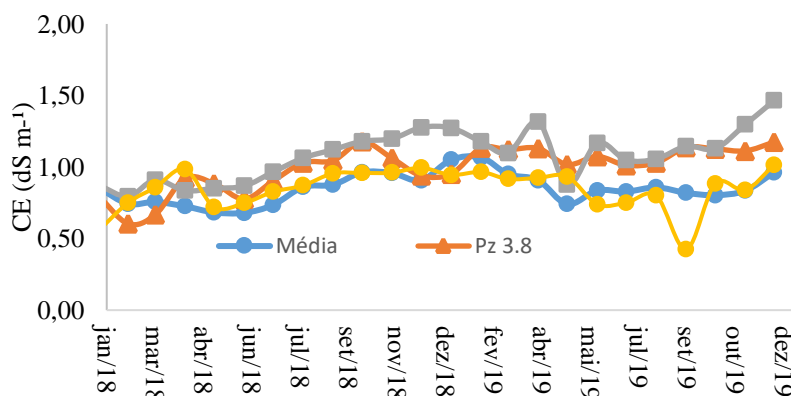


Figura 5. Comparação entre a CE média do aquífero nas posições com estabilidade temporal ao longo do tempo.

O desempenho da estabilidade entre os piezômetros selecionados e os demais piezômetros, avaliado é apresentado na Tabela 1. Os desempenhos obtidos para os níveis e para condutividade elétrica foram de muito bom a ótimo. A metodologia de Willmott possibilitou validar os piezômetros de menor desvio para a condutividade elétrica e nível, corroborando com os resultados encontrados por Fontes Júnior et al. (2012).

Tabela 1. Desempenho da estabilidade dos piezômetros e índice c.

Estáveis nível	c	Desempenho
CA 1	0.90	Ótimo
Pz 4.15	0.83	Muito Bom
Pz 4.11	0.87	Ótimo
Estáveis CE	c	Desempenho
Pz 3.8	0,86	Ótimo
Pz 7.2	0,84	Muito Bom
CA N Malaquias	0,87	Ótimo

c- índice de desempenho proposto por Camargo & Sentelhas (1997)

4 CONCLUSÕES

Verificou-se ocorrência de estabilidade temporal do nível potenciométrico e da salinidade no aquífero aluvial do Riacho Mimoso, sendo possível identificar piezômetros que representam adequadamente a média ao longo do tempo.

5 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), pelo apoio no desenvolvimento deste estudo.

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, T.A.B.; MONTENEGRO, A.A.A.; ARAÚJO, B.G; LIMA, A.F; CARVALHO, A.A. “*Monitoramento da dinâmica espaço-temporal da quantidade e qualidade das águas subterrâneas de bacia experimental do Semiárido de Pernambuco*”. In: XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Novembro, 2019.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. Food, agriculture organization of the United Nations (FAO). (1994). “*Water quality for agriculture*”. FAO Irrigation and Drainage Paper v. 29, Rome.

CAMARGO, F. J. A.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.5, p.89-97, 1997.

CARVALHO, A.A.; MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, H.G.L.A.; LINS, F.A. (2018) “*Avaliação de estoques hídricos e da variabilidade da cobertura vegetal em vale aluvial do semiárido brasileiro através de métodos experimentais e de geoprocessamento*”. In: xiv simpósio de recursos hídricos do nordeste. Anais XIV SRHNE. Maceió, 2018. Disponível em: <<http://anais.abrhidro.org.br/works/4467>>. Acesso em: 12 jan. 2020.

COELHO, V. H. R. ; MONTENEGRO, Suzana M G L ; ALMEIDA, C. N. ; SILVA, B. B. ; OLIVEIRA, L. M. M. ; GUSMAO, A. C. V. ; FREITAS, E. S. ; MONTENEGRO, A.A.A. (2017). “*Alluvial groundwater recharge estimation in semi-arid environment using remotely sensed data*”. Journal of Hydrology, v. 548, pp. 1-15.

CORREA, M. M; RIBEIRO, M. R. Levantamento detalhado de solos da Fazenda Nossa Senhora do Rosário (Pesqueira-PE). Recife: UFRPE/UFPE/CNPq/BNB. 2001. 35p.

ESSAID, H. I.; CALDWELL, R. R. (2017). “Evaluating the impact of irrigation on surface water – groundwater interaction and stream temperature in an agricultural watershed”. Science of the Total Environment, v.599, p.581–596, 2017.

FONTES JUNIOR, R. V.; MONTENEGRO, A.A.A. (2019). “*Impact of land use change on the water balance in a representative watershed in the semiarid of the state of pernambuco using the swat model*”. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal , v. 39, n. 1, p. 110-117, Feb. 2019. Available from <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010069162019000100110&lng=en&nr_m=iso>. access on 5 Feb. 2020.

FONTES JÚNIOR, R.V.; MONTENEGRO, A.A.A.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; SANTOS, T.E.M. (2012) “*Estabilidade temporal da potenciometria e da salinidade em vale aluvial no semiárido de Pernambuco*”. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, n. 11, pp. 1188-1197.

MACKAY, R.; MONTENEGRO A. A. A.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; WONDEREN, J. V. (2006) “*Alluvial aquifer indicators for small-scale irrigation in northeast Brazil*”. In: Sustainability of groundwater resources and its indicators, Symposium S3 IAHS Scientific Assembly, Proceedings... v.302, pp.117-125.

MARTÍNEZ-FERNANDEZ, J.; CEBALLOS, A. (2003) “*Temporal stability of soil moisture in a large-field experiment in Spain*”. Soil Science Society of America Journal, v.67, p.1647-1656.

MONTENEGRO AAA, RAGAB R (2010) “*Resposta hidrológica de uma bacia semi-árida brasileira a diferentes cenários de uso da terra e mudanças climáticas: um estudo de modelagem*”. Hydrological Processes 24: 2705-2723. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.7825>.

MONTENEGRO, S. G. L.; MONTENEGRO, A. A. A.; MACKAY, R.; OLIVEIRA, A. S. C. (2003). “*Dinâmica hidro-salina em aquífero aluvial utilizado para agricultura irrigada familiar em região semiárida*”. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v.8, pp.85-92.

MONTENEGRO, S. G. L.; SILVA JUNIOR, J. G.; MONTENEGRO, A.A.A.; CARVALHO, J. F.; FILHO, J. A. C. A. (2013). “*Experimentação e modelagem do avanço de sais no perfil do solo em área cultivada com repolho sob alternativas de manejo de irrigação, no semiárido de Pernambuco*”. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v. 8, n.1,p. 148-155.

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, v.16, p.828-835.

VACHAUD, G.; SILANS, A. P.; BALABANIS, P.; VAUCLIN, M. (1985) “*Temporal stability of spatially measured soil water probability density function*”. Soil Science Society of America Journal, v.49, pp. 822- 827.

Ran, Y.; Li, X.; Ge, Y.; Lu, X.; Lian, Y. (2015) “*Optimal selection of groundwater-level monitoring sites in the Zhangye Basin, Northwest China*”. Journal of Hydrology, v.525, p.209–215. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2015.03.059