

MODELAGEM APLICADA NA ESTIMATIVA DA SALINIDADE DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS PARA FINS DE IRRIGAÇÃO UTILIZANDO GEOPROCESSAMENTO

GEORGE DO NASCIMENTO RIBEIRO¹, PAULO ROBERTO MEGNA FRANCISCO², JOSÉ HUGO SIMPLICIO DE SOUSA³, JOSÉ NILTON SILVA⁴, LUCIANO MARCELO FALLÉ SABOYA⁵

¹Eng. Agron. Dr. Prof., UFCG, Campina Grande-PB, george.nascimento@professor.ufcg.edu.br

²Eng. Agrícola Dr., UFCG, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com

³Mestrando em Eng. Agrícola, UFCG, Campina Grande-PB, hugosimplicio123@gmail.com

⁴Eng. Químico, Dr. Prof., UFCG, Campina Grande-PB, nilton@eq.ufcg.edu.br

⁵Eng. Agric., Dr. Prof., UFCG, Campina Grande-PB, lsaboya@hotmail.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
6 a 9 de outubro de 2025

RESUMO: Este trabalho objetivou estimar e mapear a salinidade das águas subterrâneas, para fins de irrigação para o Estado da Paraíba. Foram obtidos dados de Condutividade Elétrica e os parâmetros de Cálcio, Magnésio e Sódio de 460 poços no SIAGAS[®] e utilizando o QGIS[®] foram geoespacializados utilizando a interpolação B-Spline Multinível através do plugin SAGA[®]. No software QUALIGRAF[®] foi realizada a classificação da água subterrânea para fins de irrigação. Os resultados demonstraram que o uso do geoprocessamento se mostrou uma ferramenta eficiente e rápida juntamente com o uso da interpolação que apresentou resultados satisfatórios no uso da modelagem por B-Spline Multinível. Os resultados demonstraram a variabilidade da Condutividade Elétrica, da Razão de Adsorção e do Risco de Salinidade das águas subterrâneas. Em 87,35% do território apresentou classes de risco a salinidade alta, muito alta e excepcionalmente alta. A salinidade das águas subterrâneas apresentara a variabilidade entre as classes de risco médio à excepcionalmente alto (C₂S₁ a C₅S₄).

PALAVRAS-CHAVE: Poços, B-Spline Multinível, mapeamento.

MODELING AND GEOSPACIALIZATION OF SURFACE WATER SALINITY FOR IRRIGATION PURPOSES

ABSTRACT: This study aimed to estimate and map the salinity of groundwater for irrigation purposes in the state of Paraíba. Electrical Conductivity data and the parameters of Calcium, Magnesium and Sodium from 460 wells were obtained in SIAGAS[®] and using QGIS[®] they were geospatialized using Multilevel B-Spline interpolation through the SAGA[®] plugin. The groundwater classification for irrigation purposes was performed in the QUALIGRAF[®] software. The results demonstrated that the use of geoprocessing proved to be an efficient and fast tool together with the use of interpolation that presented satisfactory results in the use of Multilevel B-Spline modeling. The results demonstrated the variability of Electrical Conductivity, Adsorption Ratio and Salinity Risk of groundwater. In 87.35% of the territory, high, very high and exceptionally high salinity risk classes were presented. Groundwater salinity showed variability between medium and exceptionally high risk classes (C₂S₁ to C₅S₄).

KEYWORDS: Wells, multilevel b-spline, mapping.

INTRODUÇÃO

Para fins de uso na agricultura irrigada, os parâmetros físico-químicos e a salinidade são muito importantes na avaliação da qualidade da água (Holanda et al., 2016; Souza & Ribeiro, 2019). Dentre os principais fatores que causam a salinização, a água utilizada na irrigação pode contribuir para elevar o teor de sais na solução do solo. Assim, a avaliação da qualidade da água utilizada na irrigação é imprescindível, principalmente em regiões áridas e semiáridas, caracterizadas por baixos índices pluviométricos, distribuição irregular das chuvas ao longo do ano e intensa evapotranspiração, que favorecem o processo de salinização e sodificação (Gheyi et al., 2004).

Carneiro et al. (2012) afirmam que, a qualidade da água para fins agrícolas é um termo utilizado para indicar a conveniência ou limitação de seu uso para fins de irrigação onde, faz-se necessário à sua avaliação para posterior planejamento e manejo. Medeiros (1992) afirma que, a água subterrânea, o teor de sais dependera da origem da água e do curso sobre a qual ela flui, e sua salinização estará de conformidade com a lei de dissolução, com base no contato entre a água e o substrato que armazena a referida água. Conforme Cichota et al. (2003), pesquisas que enfocam a variabilidade espacial de propriedades físicas, químicas e hidráulicas de solos têm grande relevância na literatura, principalmente como subsídio para o manejo racional de água e solo em perímetros irrigados.

Portanto, este trabalho objetiva estimar e mapear a salinidade das águas subterrâneas, para fins de irrigação para o Estado da Paraíba utilizando modelagem por interpolação B-Spline Multinível.

MATERIAL E MÉTODOS

O Estado da Paraíba, localizado na região Nordeste do Brasil, apresenta uma área de 56.467,24 km². Seu posicionamento encontra-se entre os paralelos 6°02'12" e 8°19'18"S, e entre os meridianos de 34°45'54" e 38°45'45"W. Ao Norte, limita-se com o Estado do Rio Grande do Norte; ao Leste, com o Oceano Atlântico; a Oeste, com o Estado do Ceará; e ao Sul, com o Estado de Pernambuco (Francisco, 2010). De acordo com dados da Agência Estadual de Gestão de Águas da Paraíba (AESPA, 2024), o Estado apresenta 14.521 fontes de abastecimento registrados no órgão, dos quais 5.892 são poços de abastecimento rural (2.174), para a agroindústria (155), aquicultura (73), e para irrigação (3.490) dos quais, 2.237 unidades são do tipo amazonas e tipo tubular de 1.272 poços. Das outorgas fornecidas para irrigação, estas são para os sistemas de aspersão autopropelido e convencional, pivô central, localizada por gotejamento e microaspersão, superficial por inundação e por sulco.

Na metodologia deste trabalho foram utilizados dados obtidos no SIAGAS[®] (2024), entre 1962 a 2004 totalizando 460 poços distribuídos por todo Estado, dados estes de Condutividade Elétrica (CE) em $\mu\text{mhos/cm}$, os parâmetros de Cálcio (Ca^{2+}), Magnésio (Mg^{2+}) e Sódio (Na^+) em meqL^{-1} . Utilizando planilha Excel[®] foram inseridos os dados obtidos e após, utilizando o QGIS[®] 3.34, os dados foram importados e geoespacializados utilizando a interpolação B-Spline Multinível através do plugin SAGA[®] gerando imagens no formato *raster* com células de 1 km². Em seguida foram classificados de acordo com a Tabela 1, mapeados e recortados utilizando os limites do Estado (IBGE, 2021). Utilizando a calculadora *raster* do QGIS[®], onde por modelagem foi determinado a Razão de Adsorção de Sódio (RAS), de acordo com a Equação 1.

$$\text{RAS} = \text{Na}^+ / [(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})/2]^{0,5} \text{ (Eq.1)}$$

Após, utilizando o software QUALIGRAF[®] (Möbüs, 2003), foi realizada a classificação da água subterrânea para fins de irrigação utilizando-se a classificação proposta pelo Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos, que leva em consideração a CE e a RAS, para os riscos de salinização e/ou sodificação da água (Richards, 1954) (Tabela 1). Para a Relação de Adsorção de Sódio (RAS) utiliza este parâmetro numa combinação de intervalos de valores de RAS com CE da água, sendo dado o grau de restrição de uso da água para irrigação, quanto ao risco de sodificação do solo (Ayers & Westcot, 1999). Quanto ao risco de salinidade, as águas são classificadas em C₁ - águas com baixa salinidade, C₂ - águas com salinidade média, C₃ - águas com salinidade alta e C₄ - águas com salinidade muito alta. Quanto ao risco de sodicidade as águas são divididas em quatro classes segundo a RAS: S₁ - águas com baixa concentração de sódio, S₂ - águas com concentração média de sódio, S₃ - águas com alta concentração de sódio e S₄ - águas com muito alta concentração de sódio (Bernardo, 1995). Os valores de classificação obtido para os pontos foram geoespacializados utilizando-se a interpolação B-Spline Multinível através do plugin SAGA[®] do QGIS[®] 3.34. Em seguida as imagens *raster* foram transformados em formato vetorial, classificada e recortado em seus limites conforme Tabela 1.

Tabela 1. Classificação do risco de salinização das águas para irrigação

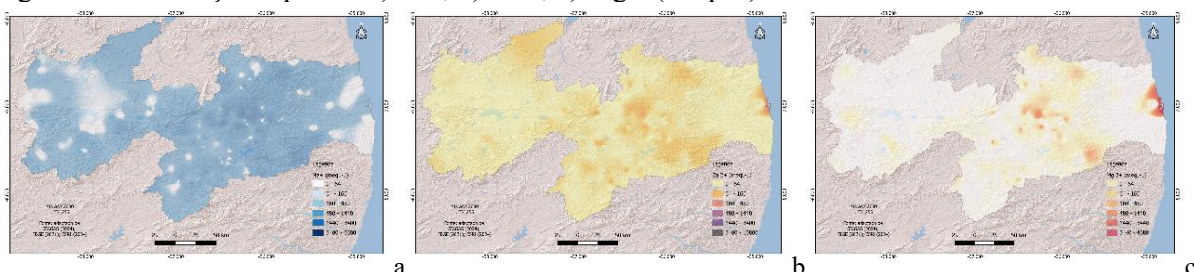
Condutividade Elétrica CE (µmohs/cm)			Razão de Adsorção de Sódio RAS			Risco de Sódio	Risco de Salinização (mg/L)	
Classe	Tipo de Água com Salinidade	Valor	Classe	Concentração de Sódio	Valor	Classe	Classe	Valor
							Nulo	0-64
C1	Baixa	100-250	S1	Baixa	0-10	Baixo	Baixo	64-160
			S2	Média	10-18	Médio		
			S3	Alta	18-26	Forte		
			S4	Muito Alta	> 26	Muito Forte		
C2	Média	250-750	S1	Baixa	0-8	Baixo	Médio	160-480
			S2	Média	8-15	Médio		
			S3	Alta	15-22	Forte		
			S4	Muito Alta	> 22	Muito Forte		
C3	Alta	750-2.250	S1	Baixa	0-7	Baixo	Alto	480-1.440
			S2	Média	7-13	Médio		
			S3	Alta	13-19	Forte		
			S4	Muito Alta	> 19	Muito Forte		
C4	Muito Alta	2.250-5.000	S1	Baixa	0-5	Baixo	Muito Alto	1.440-3.400
			S2	Média	5-10	Médio		
			S3	Alta	10-15	Forte		
			S4	Muito Alta	> 15	Muito Forte		
C5	Excepcionalmente Alta	5.000-20.000	S1	Baixa	0-3	Baixo	Excepcionalmente e Alto	3.400-12.800
			S2	Média	3-8	Médio		
			S3	Alta	8-12	Forte		
			S4	Muito Alta	> 12	Muito Forte		

Fonte: adaptado de Ayers e Westcot (1999).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1a observa-se a espacialização do Na^+ de origem subterrânea, onde os menores valores apresentam-se na região do Litoral e no Sertão com pequenas áreas de influência no centro do Estado onde apresentam-se também maiores valores. Na Figura 1b referente ao Ca^{2+} pode-se verificar que os maiores valores observados estão na região central do Litoral, ocorrendo também na região do Curimataú e na drenagem do rio Paraíba, ao sul do Estado, e na região norte do Sertão. Quanto ao Mg^{2+} , este ocorre os maiores valores sob o Planalto da Borborema e na região central do Litoral.

Figura 1. Distribuição espacial. a) Na^+ , b) Ca^{2+} , c) Mg^{2+} (meqL^{-1}).



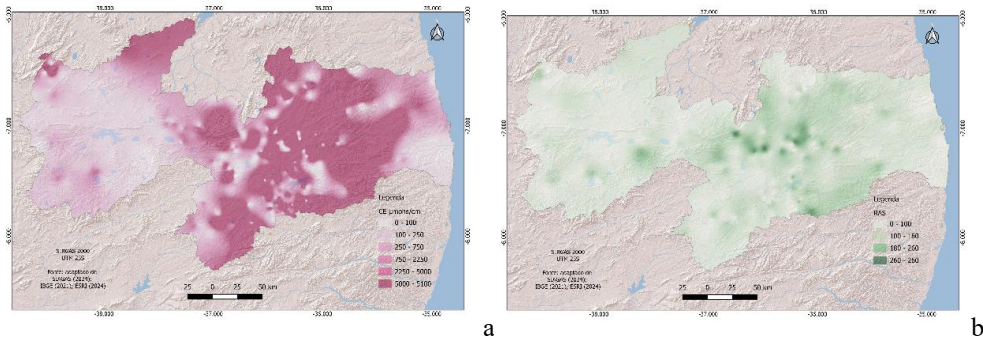
Fonte: adaptado de SIAGAS (2024); IBGE (2021); ESRI (2024).

Quanto ao CE (Figura 2a), os dados das amostras dos poços apresentam-se com os menores valores na região do Litoral sul do Estado e em quase todo o Sertão e os menores valores na região central do Estado sob o Planalto da Borborema. O RAS (Figura 2b) apresenta-se maior concentração de valores médios na região central do Estado sob a Planalto da Borborema.

No mapa de distribuição espacial do risco de salinidade das águas subterrâneas para fins de irrigação (Figura 3), pode-se observar que a região do Litoral, como a do Sertão apresentam maiores áreas com risco de salinidade médio da classe C_2 variando entre C_2S_1 a C_2S_4 com média concentração de sódio. Sob todo o Planalto da Borborema ocorrem pequenas áreas desta mesma classe.

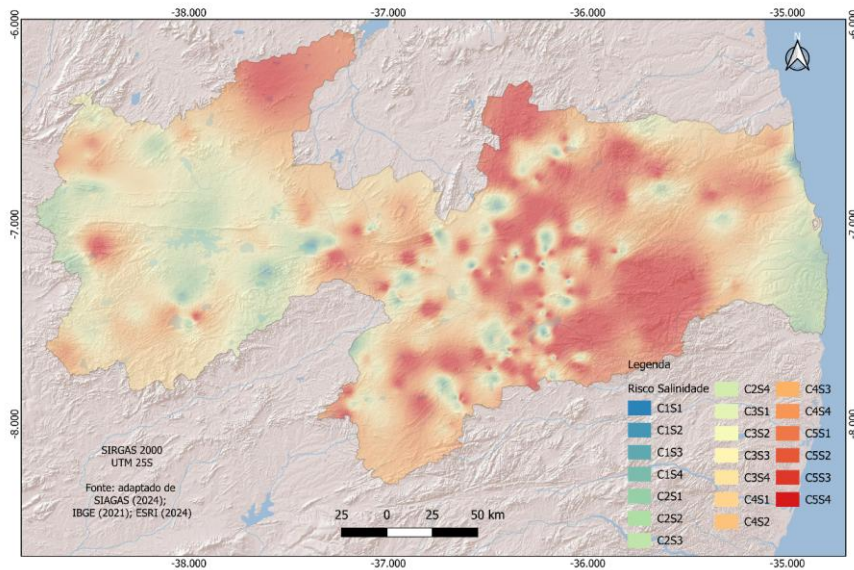
Na região do Sertão ao norte divisa com o Rio Grande do Norte, no Curimataú, localizado ao centro norte do Estado, e parte do Agreste Acaatingado ao sul, as classes de risco a salinidade variam entre C_4S_3 e C_5S_4 , de muito alto a excepcionalmente alto risco de salinidade.

Figura 2. Distribuição espacial. a) CE (µmohs/cm), b) RAS (adimensional).



Fonte: adaptado de SIAGAS (2024); IBGE (2021); ESRI (2024).

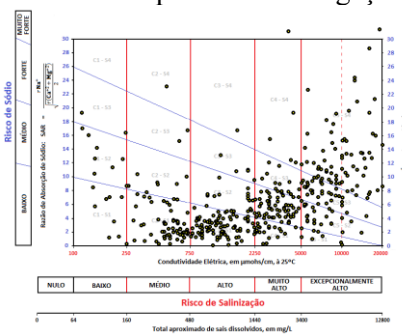
Figura 3. Distribuição espacial do risco de salinidade das águas subterrâneas para fins de irrigação.



Fonte: adaptado de SIAGAS (2024); IBGE (2021); ESRI (2024).

Na Figura 5 da classificação das águas subterrâneas, verifica-se que, os valores das amostras se distribuem em todas as classes, com somente 18 amostras com risco de salinização baixo, e as demais acima de risco médio, demonstrando o maior risco a salinização dos solos pela água subterrânea dos poços amostrados.

Figura 5. Classificação das águas subterrâneas para fins de irrigação.



CONCLUSÃO

O uso do geoprocessamento demonstrou ser uma ferramenta eficiente e rápida juntamente com o uso da interpolação que apresentou resultados satisfatórios no uso da modelagem por b-spline multinível. Os resultados demonstraram a variabilidade da Condutividade Elétrica, da Razão de Adsorção e do Risco de Salinidade das águas subterrâneas do Estado da Paraíba. Em 87,35% do

território apresentou classes de risco a salinidade alta, muito alta e excepcionalmente alta, devendo-se neste caso adotar medidas de cautela quanto a irrigação utilizando águas subterrâneas. A salinidade das águas subterrâneas para fins de irrigação, apresentaram variabilidade entre as classes de risco médio à excepcionalmente alto (C₂S₁ a C₅S₄).

REFERÊNCIAS

- AESA. Agência de Águas do Estado da Paraíba. 2024. Disponível em: <http://geoserver.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/shapes.html>. Acesso em: 4 de janeiro de 2024.
- Ayers, R.; Westcot, D. W. Water Quality for Agriculture. FAO. (Trad.) Gheyi, H.R.; Medeiros, J.F. de. Campina Grande: UFPB. 1999. 217p.
- Bernardo, S. Manual de Irrigação. 6.a ed. Viçosa: UFV. 1995.
- Carneiro, M. D. F.; Ingá, M. A. M.; Silva Filho, H. A.; Santos, E. V. M.; Rolim, H. O.; Chaves, J. R. Avaliação da qualidade da água para irrigação no Perímetro Irrigado Jaguaribe Apodi no município de Limoeiro do Norte-CE. In: Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação, 7, 2012, Palmas. Anais...Palmas, 2012.
- Cichota, R.; Van Lier, Q. J.; Leguizamón Rojas, C. A. Variabilidade espacial da taxa de infiltração em Argissolo Vermelho. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.27, n.5, p.789-798, 2003.
- ESRI. Mapa Topográfico Mundial. 2023. Disponível em: <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=30e5fe3149c34df1ba922e6f5bbf808f>. Acesso em: dezembro de 2023.
- Francisco, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2010.
- Gheyi, H. R.; Luz, M. J. S.; Barreto, A. N.; Silva, A. A. G. Qualidade da água para irrigação. In: Barreto, A.N.; Silva, A.A.G.; Bolfe, E.L. Irrigação e drenagem na empresa agrícola: impacto ambiental versus sustentabilidade. 1.ed. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros; Campina Grande: Embrapa Algodão. 2004.
- Holanda, J. S.; Amorim, J. R. A.; Ferreira Neto, M.; Holanda, A. C.; Sá, F. V. S. Qualidade da água para irrigação. In: Gheyi, H.R.; Dias, N.S.; Lacerda, C.F.; Gomes Filho, E. (org.). Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. 2. ed. Fortaleza: INCTSal, p.43-62. 2016.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malhas territoriais. 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>. Acesso em: 10 de dezembro de 2023.
- Medeiros, J. F. de. Qualidade da água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo "GAT" nos Estados do RN, PB e CE. 173f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande, 1992.
- Möbüs, G. QUALIGRAF. Programa para análise da qualidade de água. Fortaleza: Fundação Cearense Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME). 2003.
- QGIS. Development Team. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. 2022. Disponível em: <http://qgis.osgeo.org>.
- Richards, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Washington: United States Salinity Laboratory. 1954. (USDA: Agriculture Handbook, 60).
- SAGA. System for Automated Geoscientific Analyses. 2024. Disponível em: <https://saga-gis.sourceforge.io/en/index.html>. Acesso em: 24 de janeiro de 2024.
- SGB. Serviço Geológico do Brasil. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais-CPRM. Sistema de Informações de Águas Subterrâneas. SIAGAS WEB. Disponível em: <https://siagasweb.sgb.gov.br/layout/>. Acesso em: 14 de janeiro de 2024.
- Souza, M.; Ribeiro, A. A. Qualidade da água para fins de irrigação em regiões áridas e semiáridas. Brazilian Journal of Biosystems Engineering, v.13, n.4, 355-359, 2019.