

## MODELAGEM E GEOESPACIALIZAÇÃO DA SALINIDADE DA ÁGUA SUPERFICIAL PARA FINS DE IRRIGAÇÃO

GEORGE DO NASCIMENTO RIBEIRO<sup>1</sup>, PAULO ROBERTO MEGNA FRANCISCO<sup>2</sup>, JOSÉ HUGO SIMPLICIO DE SOUSA<sup>3</sup>, JOSÉ NILTON SILVA<sup>4</sup>, LUCIANO MARCELO FALLÉ SABOYA<sup>5</sup>

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

<sup>2</sup>Eng. Agrícola Dr., UFCG, Campina Grande-PB, paulomegna@gmail.com

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

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

<sup>5</sup>Eng. Agric., Dr. Prof., UFCG, Campina Grande-PB, lsaboaya@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 superficiais de região semiárida para fins de irrigação. Foram obtidos dados de Condutividade Elétrica e os parâmetros de Cálcio, Magnésio e Sódio de 83 amostras de análises de água de açudes e rios de diversas fontes e utilizando o QGIS<sup>®</sup> foram geoespacializados utilizando a interpolação B-Spline Multinível através do plugin SAGA<sup>®</sup>. No software QUALIGRAF<sup>®</sup> foi realizada a classificação da água superficial para fins de irrigação. A interpolação apresentou resultados satisfatórios na modelagem por B-Spline Multinível. Os resultados demonstraram maior variabilidade do Na<sup>+</sup> e da Condutividade Elétrica das águas superficiais. Em 81,69% do território apresentou classes de risco a salinidade baixa a média. A salinidade das águas superficiais para fins de irrigação apresentou classes de risco muito alto a excepcionalmente alto na região das sub-bacias e bacias hidrográficas do Seridó Oriental e no médio curso do rio Piranhas, seguida da região do médio curso do rio Paraíba.

**PALAVRAS-CHAVE:** Condutividade elétrica, razão de adsorção de sódio, geoprocessamento, distribuição espacial.

### MODELING AND GEOSPACIALIZATION OF SURFACE WATER SALINITY FOR IRRIGATION PURPOSES

**ABSTRACT:** This study aimed to estimate and map the salinity of surface waters in a semiarid region for irrigation purposes. Electrical Conductivity data and the parameters of Calcium, Magnesium and Sodium were obtained from 83 water analysis samples from dams and rivers from various sources and using QGIS<sup>®</sup> were geospatialized using Multilevel B-Spline interpolation through the SAGA<sup>®</sup> plugin. The surface water was classified for irrigation purposes using the QUALIGRAF<sup>®</sup> software. The interpolation presented satisfactory results in the Multilevel B-Spline modeling. The results demonstrated greater variability of Na<sup>+</sup> and Electrical Conductivity of surface waters. In 81.69% of the territory, low to medium salinity risk classes were presented. The salinity of surface waters for irrigation purposes presented very high to exceptionally high-risk classes in the region of the sub-basins and hydrographic basins of the Eastern Seridó and in the middle course of the Piranhas River, followed by the region of the middle course of the Paraíba River.

**KEYWORDS:** Electrical conductivity, sodium adsorption ratio, geoprocessing, spatial distribution.

### INTRODUÇÃO

A produção mundial de alimentos, depende da agricultura irrigada, porque embora ocupe somente 16% da área produtiva, é responsável por 40% da produção total de alimentos (Setti et al., 2001). Além de água em quantidade, a qualidade é outro aspecto muito importante a se considerar na irrigação, pois a adequação da água não depende unicamente do teor total, mas, também, de seus tipos (Ayers & Wescott, 1999). 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).

A classificação proposta pelos técnicos do Laboratório de Salinidade dos Estados Unidos é baseada na condutividade elétrica (CE) como indicadora do risco de salinização do solo e na RAS como indicadora do perigo de sodicidade do solo (Bernardo, 1995).

Dentre os procedimentos geoestatísticos se destaca como a técnica do algoritmo B-spline multinível para interpolação espacial de dados dispersos (Lee et al., 1997). O algoritmo faz uso de uma hierarquia grosseira à fina de redes de controle para gerar uma sequência de funções B-spline bicúbicas, cuja soma se aproxima da função de interpolação desejada em que, grandes ganhos de desempenho são obtidos usando o refinamento do B-spline para reduzir a soma dessas funções em uma função B-spline equivalente.

Portanto, este trabalho objetiva estimar e mapear a salinidade das águas superficiais de região semiárida para fins de irrigação utilizando modelagem por interpolação através de técnicas de geoprocessamento.

## MATERIAL E MÉTODOS

O Estado da Paraíba, localizado na região Nordeste do Brasil, apresenta uma área de 56.467,24 km<sup>2</sup>. 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).

Neste trabalho foram utilizados dados obtidos em diversas pesquisas entre 1984 a 2019 totalizando 83 amostras de análises de águas superficiais de açudes e rios distribuídos por todo Estado, dados estes de Condutividade Elétrica (CE) em  $\mu\text{mhos/cm}$ , os parâmetros de Cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), Magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) e Sódio ( $\text{Na}^+$ ) em  $\text{meqL}^{-1}$ .

Utilizando planilha Excel<sup>®</sup> foram inseridos os dados obtidos e após, utilizando o QGIS<sup>®</sup> 3.34, os dados foram importados e geoespacializados utilizando a interpolação B-Spline Multinível através do plugin SAGA<sup>®</sup> gerando imagens no formato *raster* com células de 1 km<sup>2</sup>. Em seguida foram classificados de acordo com a Tabela 1, mapeados e recortados utilizando os limites do Estado. Utilizando a calculadora *raster* do QGIS<sup>®</sup>, 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<sup>®</sup> (Möbüs, 2003), foi realizada a classificação da água superficial 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 C<sub>1</sub> - águas com baixa salinidade, C<sub>2</sub> - águas com salinidade média, C<sub>3</sub> - águas com salinidade alta e C<sub>4</sub> - águas com salinidade muito alta. Quanto ao risco de sodicidade as águas são divididas em quatro classes segundo a RAS: S<sub>1</sub> - águas com baixa concentração de sódio, S<sub>2</sub> - águas com concentração média de sódio, S<sub>3</sub> - águas com alta concentração de sódio e S<sub>4</sub> - 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 (MBS) através do plugin SAGA<sup>®</sup> do QGIS<sup>®</sup> 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

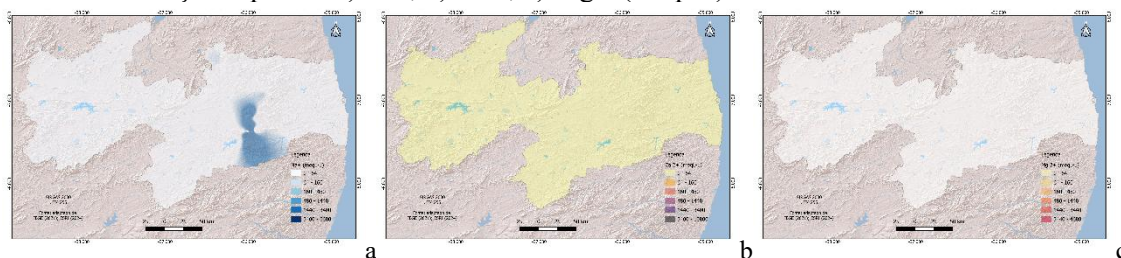
Condutividade Elétrica CE (µmhos/cm)			Razão de Adsorção de Sódio RAS			Risco de Sódio	Risco de Salinização (mg/L)	
Classe	Tipo de Água com Salinidade	Valor	Classe	Concentração de Sódio	Valor	Classe	Classe	Valor
							Nulo	0-64
C1	Baixa	100-250	S1	Baixa	0-10	Baixo	Baixo	64-160
			S2	Média	10-18	Médio		
			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 espacialização do  $\text{Na}^+$  de origem superficial (Figura 1a) pode-se observar que valores maiores acima de  $64 \text{ meqL}^{-1}$  se localizam na sub-bacia da região do médio curso do rio Paraíba. Na Figura 1b referente ao  $\text{Ca}^{2+}$  pode-se verificar que sua distribuição ocorre na classe baixa por todo o Estado. Quanto ao  $\text{Mg}^{2+}$  (Figura 1c), este ocorre abaixo de  $64 \text{ meqL}^{-1}$  por todo o Estado.

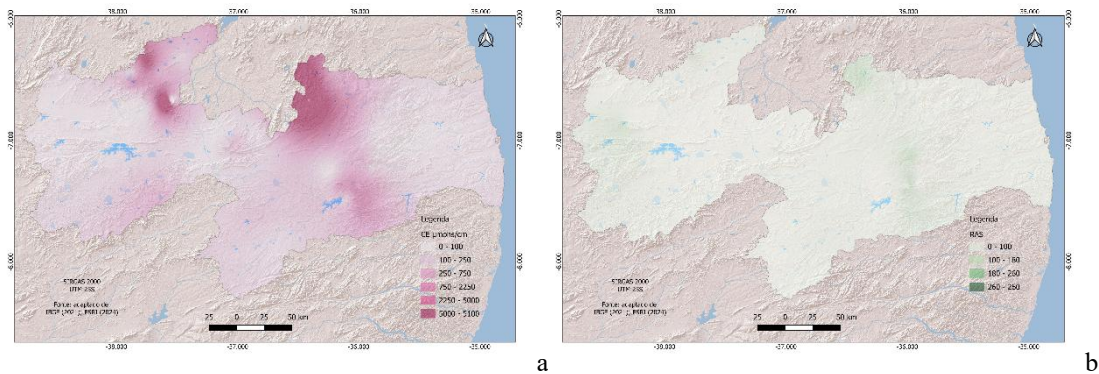
Figura 1. Distribuição espacial. a)  $\text{Na}^+$ , b)  $\text{Ca}^{2+}$ , c)  $\text{Mg}^{2+}$  ( $\text{meqL}^{-1}$ ).



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

Na Figura 2a observa-se a CE e sua distribuição, onde os dados das amostras apresentam-se com os menores valores até  $750 \text{ µmhos/cm}$  na região do Sertão, Cariri e Litoral do Estado, valores mais altos até  $3.000 \text{ µmhos/cm}$  estão localizados na sub-bacia hidrográfica da região do médio curso do rio Paraíba, seguida da bacia do Seridó Oriental com valores de CE de  $6.000 \text{ µmhos/cm}$  seguida da sub-bacia do médio curso do rio Piranhas de  $7.000 \text{ µmhos/cm}$ . Os valores de RAS (Figura 2b) apresentam-se valores até 100 distribuídos por todo o Estado com pequena variação na região do médio curso do rio Paraíba, Seridó Oriental, Rio do Peixe e alto curso do rio Piranhas.

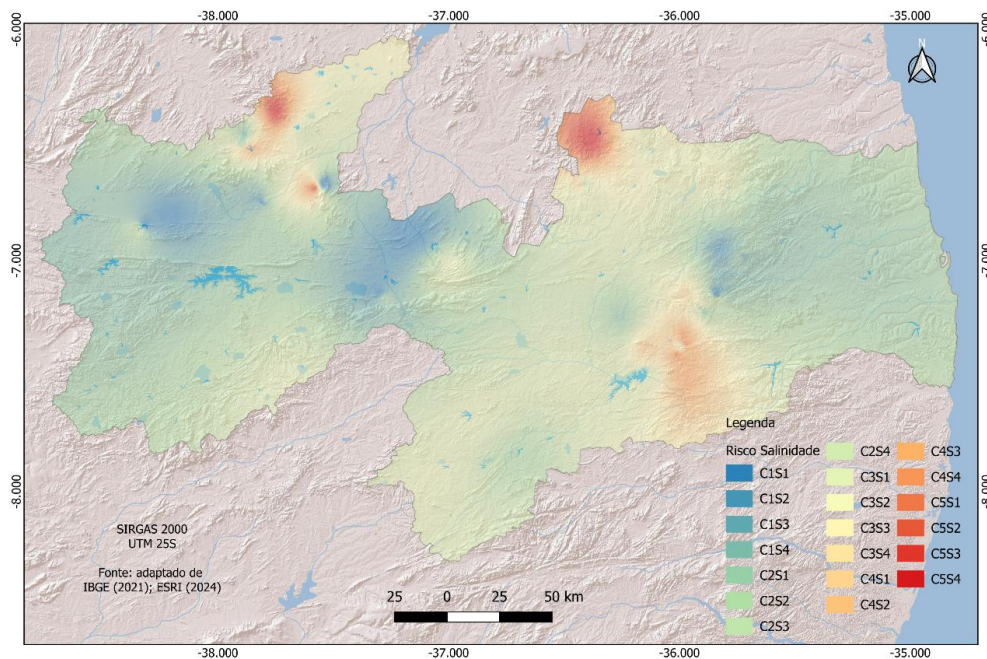
Figura 2. Distribuição espacial. a) CE ( $\mu\text{mhos/cm}$ ), b) RAS (adimensional).



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

No mapa de distribuição espacial do risco de salinidade das águas superficiais para fins de irrigação (Figura 3), pode-se observar que maiores valores estão localizados na bacia do Seridó Oriental e no médio curso do rio Piranhas entre C<sub>4</sub>S<sub>1</sub> a C<sub>5</sub>S<sub>4</sub> (muito alto a excepcionalmente alto), seguida da classe C<sub>3</sub>S<sub>1</sub> a C<sub>3</sub>S<sub>4</sub> (alto) na região do médio curso do rio Paraíba. Este resultado está diretamente ligado aos observados nas Figuras 1 e 2.

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

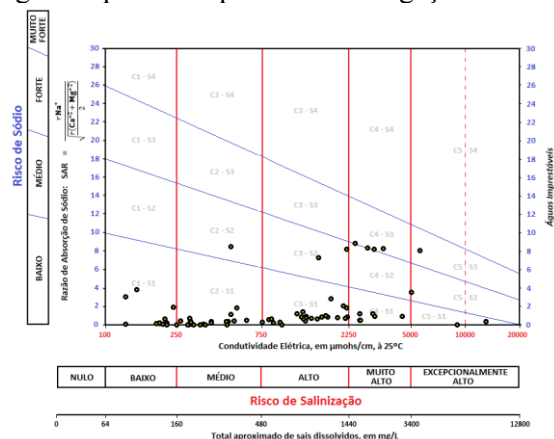


Fonte: adaptado de IBGE (2021); ESRI (2024).

A classe de risco médio (C<sub>2</sub>S<sub>1</sub> a C<sub>2</sub>S<sub>4</sub>) apresenta-se na região do Litoral nas bacias de Guaju, Camaratuba, Mamanguape, Miriri, Baixo curso do rio Paraíba, Gramame e Abiaí, como também sob o Planalto da Borborema no Alto curso do rio Paraíba e na região do Sertão na bacia do rio Piancó. O risco baixo de salinidade (C<sub>1</sub>S<sub>1</sub> a C<sub>1</sub>S<sub>4</sub>), ocorre na região do Brejo, a oeste da bacia do rio Mamanguape, no Sertão, esta classe ocorre nas bacias do rio do Peixe, alto curso do rio Piranhas, Espinharas e no Seridó Ocidental.

Na classificação das águas superficiais (Figura 4), verifica-se que, os valores das amostras estão concentrados na sua maioria nas classes baixo a muito alto risco (C<sub>1</sub>S<sub>1</sub>, C<sub>2</sub>S<sub>1</sub>, C<sub>3</sub>S<sub>1</sub>, C<sub>4</sub>S<sub>1</sub> e C<sub>5</sub>S<sub>1</sub>) predominantemente no risco de sódio S<sub>1</sub>, demonstrando menor risco de salinização pelas águas.

Figura 4. Classificação das águas superficiais para fins de irrigação.



## CONCLUSÃO

A interpolação apresentou resultados satisfatórios na modelagem por b-spline multinível. Os resultados demonstraram maior variabilidade do  $\text{Na}^+$  e da Condutividade Elétrica das águas superficiais. Em 81,69% do território apresentou classes de risco a salinidade baixa a média. A salinidade das águas superficiais para fins de irrigação apresentou classes de risco muito alto a excepcionalmente alto ( $\text{C}_4\text{S}_1$  a  $\text{C}_5\text{S}_4$ ) na região das sub-bacias e bacias hidrográficas do Seridó Oriental e no médio curso do rio Piranhas, seguida da região do médio curso do rio Paraíba.

## REFERÊNCIAS

- 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.
- ESRI. Mapa Topográfico Mundial. Disponível em: <http://www.arcgis.com/home/item.html?id=30e5fe3149c34df1ba922e6f5bbf808f>. Acesso em: dezembro de 2024.
- 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.
- 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.
- Lee, S.; Wolberg, G.; Shin, S. Scattered data interpolation with multilevel bsplines. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, v.3, n.3, p.228–244, 1997.
- Möbus, 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.
- Setti, A. A.; Lima, J. E. F. W.; Chaves, A. G. de M.; Pereira, I. de C. Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos. Brasília: ANAEE; ANA. 2001. 328p.