

ATUAÇÃO DA SAZONALIDADE E AÇÃO ANTRÓPICA NA SALINIDADE DA ÁGUA EM TRECHO DO RIO APODI-MOSSORÓ

João Luiz Lima¹, Rafael Oliveira Batista², Antônio Gustavo de Luna Souto³, Lyandra Maria de Oliveira⁴, Pedro Victor Tavares Firmino da Silva⁵, Caetano Alves de Lima Neto⁶

RESUMO: Além da escassez hídrica, os níveis de salinidade na água também representam obstáculos aos moradores da região semiárida potiguar, que podem ser potencializados pela sazonalidade e ação antrópica. Assim, objetivou-se com esse trabalho estudar os indicadores de salinidade da água em um trecho do rio Apodi-Mossoró. Foram realizadas coletas de amostras de água em seis pontos desse corpo hídrico em Governador Dix-Sept Rosado/RN, nos períodos seco e chuvoso, e analisou-se os parâmetros CE, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, CO₃²⁻, HCO₃³⁻, Cl⁻ e SO₄²⁻. No período seco e em locais de maior antropização, os pontos apresentaram maiores teores de Na⁺, e, conseqüentemente maior risco de salinização, com a maioria dos pontos sendo classificada como de água salobra. Conclui-se que há interferência direta da sazonalidade e das ações antrópicas na salinidade da água do referido trecho do rio Apodi-Mossoró, representado também por altos teores de cloro, em especial no período chuvoso.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade hídrica. Antropização. Sódio. Cloro. Semiárido potiguar.

EFFECT OF SEASONALITY AND ANTHROPIC ACTION ON WATER SALINITY IN A SECTION OF THE APODI-MOSSORÓ RIVER

ABSTRACT: In addition to water scarcity, salinity levels in water also present obstacles to residents of the semi-arid region of Rio Grande do Norte, which can be exacerbated by seasonality and anthropogenic action. Thus, the objective of this study was to examine water salinity indicators in a section of the Apodi-Mossoró River. Water samples were collected at six points of this water body in Governador Dix-Sept Rosado/RN, during the dry and rainy

¹ Doutorando em Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caixa Postal 137, CEP: 59625-900, Mossoró/RN, Fone: (88) 98130-3538, E-mail: joao.lima29937@alunos.ufersa.edu.br

² Professor do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró/RN

³ Professor Visitante do Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró/RN

⁴ Mestranda em Manejo de Solo e Água, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró/RN

⁵ Ecólogo, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró/RN

⁶ Graduando em Agronomia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró/RN

seasons, and the parameters EC, Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, CO₃²⁻, HCO₃³⁻, Cl⁻ e SO₄²⁻ were analyzed. In the dry season and in places with greater human action, the points presented higher Na⁺ levels, and consequently a higher risk of salinization, with the majority being classified as brackish water. It can be concluded that there is direct interference from seasonality and anthropogenic actions on the salinity of the water in the aforementioned section of the Apodi-Mossoró River, also represented by high chlorine levels, especially during the rainy season.

KEYWORDS: Water quality. Anthropization. Sodium. Chlorine. Potiguar Semi-arid.

INTRODUÇÃO

As limitações da região semiárida como alta evapotranspiração, baixa precipitação pluvial e secas frequentes, juntamente com as mudanças climáticas e sazonalidade, tornam a preocupação quanto aos níveis de salinidade da água, mais importantes nesta região. Os problemas de salinidade afetam cerca de 1 bilhão de hectares de terra em escala global, causando problemas para os produtores das regiões afetadas (Puy et al., 2021; Sundha et al., 2023). Portanto, o estudo sobre os efeitos da salinidade no solo, e como manejá-los, se torna de extrema importância e estão relacionados ao manejo da água de irrigação e de sua qualidade.

Além disso, atividades agropecuárias e extração de minerais como calcário realizadas à margem dos rios tendem a aumentar esse problema, deixando a água com qualidade inferior. Em locais onde a extração de calcário é uma atividade rotineira, é comum encontrar elementos químicos contaminando os rios, seja de forma direta ou por carreamento através da chuva (Haq & Muhammad, 2023; He et al., 2021).

Sendo o Rio Apodi-Mossoró uma fonte de água para irrigação de muitos produtores, além de usado também para abastecimento humano e dessedentação animal, estudos em sua extensão são muito importantes. Diante do exposto, objetivou com esse trabalho estudar a contribuição da sazonalidade e das ações antrópicas na alteração da salinidade da água em um trecho do Rio Apodi-Mossoró no semiárido potiguar.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na Bacia Hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, a maior do estado do Rio Grande do Norte, ocupando 26,8% do território. No trecho estudado, está inserido o município de Governador Dix-Sept Rosado, pertencente ao bioma caatinga, de clima semiárido (BSh) (Dubreuil et al., 2018). Utilizando como critério locais onde houve

antropização, como extração de calcário, foram selecionados seis pontos na zona rural e urbana do município (Figura 1).

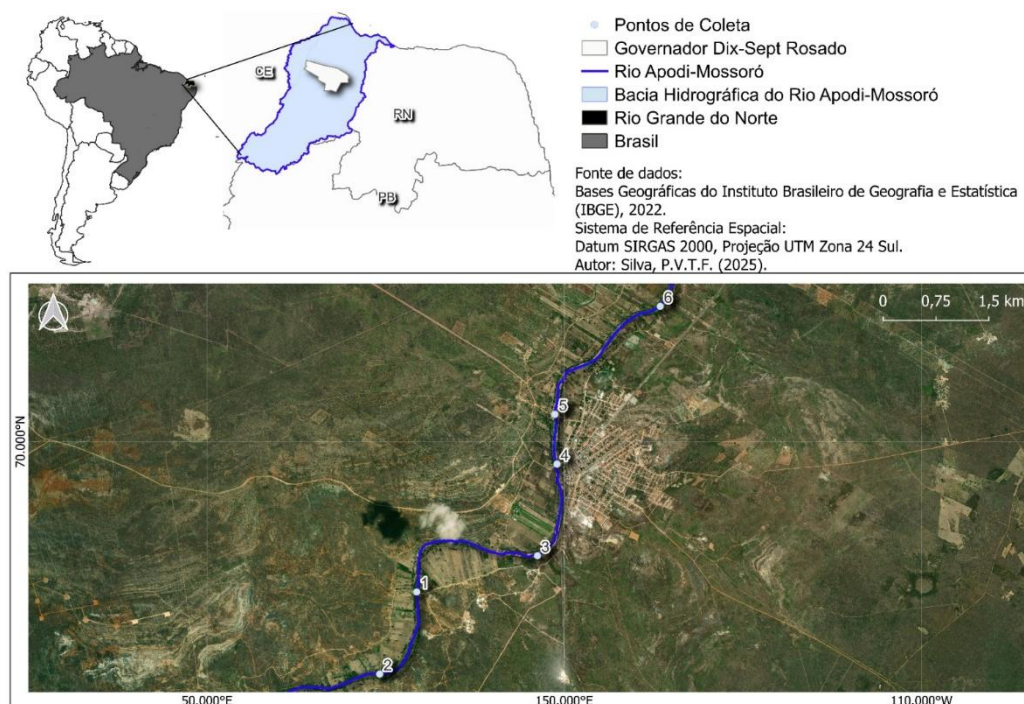


Figura 1. Mapa da área de estudo, destacando o trecho da Bacia Hidrográfica do rio Apodi-Mossoró e os pontos localizados no município de Governador Dix-Sept Rosado.

A amostragem das águas no trecho do rio Apodi-Mossoró aconteceu em dois períodos, seco (dezembro de 2023) e chuvoso (maio de 2024). Em cada período, foram coletadas seis amostras de água para as análises físico-químicas, totalizando 12 amostras durante o período de monitoramento. Após a coleta, as amostras foram transportadas ao Laboratório de Solo, Água e Planta (LASAPSA) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA) campus Mossoró-RN, Brasil, para realização das análises.

Foram avaliados parâmetros os seguintes parâmetros físico-químicos CE , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- e SO_4^{2-} (Eaton, 1950). Após as análises, os dados foram usados para estimar os índices relacionados ao uso da água para fins de irrigação, tais como Razão de Adsorção de Sódio (Richards et al., 1954) (eq. 1), Carbonato de Sódio Residual (Eaton, 1950) (eq. 2), e Porcentagem de Sódio na Água (Wilcox, 1955) (eq. 3). Por fim, os dados submetidos ao software Qualigraf v. 1.17 (FUNCEME, 2023) para avaliação dos riscos de salinidade e sodicidade pelo Diagrama da U.S.S.L (Richards et al., 1954), e a classificação brasileira dos parâmetros e padrões para corpos hídricos superficiais que constam na Resolução nº 357/2005 do CONAMA (Brasil, 2005).

$$\text{RAS} = (\text{Na}^+) / \sqrt{((\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) / 2)} \quad (1)$$

$$\text{CSR} = (\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) - (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \quad (2)$$

$$\text{Na}\% = (\text{Na}^+) / (\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+) \times 100 \quad (3)$$

Em que:

RAS - Razão de adsorção de sódio;

Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , CO_3^{2-} e HCO_3^- - Concentrações de sódio, cálcio, magnésio, carbonato e bicarbonato na água, em mmolc L⁻¹;

CSR - Carbonato de sódio residual;

Na% - Porcentagem de sódio na água.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, são apresentados os valores dos parâmetros físico-químicos utilizados para avaliação dos teores de salinidade. No período seco, há um aumento nos teores de sódio, potássio, cálcio, magnésio, enquanto o carbonato aumentou no chuvoso.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos dos pontos estudados em trecho do Rio Apodi-Mossoró nos períodos seco e chuvoso

Parâmetros	CE	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻
Unidade	μS/cm	mg/L							
Amostra	Seco								
P1	697,1	35,42	4,29	72,60	43,80	154,0	2,10	266,0	15,47
P2	716,2	34,50	4,29	58,60	52,68	140,0	4,20	254,4	12,61
P3	827,1	36,34	5,07	87,40	43,68	175,0	6,00	273,3	17,41
P4	817,6	37,26	5,07	75,80	42,24	147,0	4,20	331,2	19,22
P5	814,0	38,41	5,46	78,40	49,20	175,0	11,1	263,5	19,70
P6	905,7	57,50	3,90	68,80	41,64	224,0	9,90	225,1	26,98
Amostra	Chuvoso								
P1	589,5	32,43	4,29	60,80	35,52	245,0	14,70	205,0	1,10
P2	608,0	30,59	5,07	74,80	25,56	203,0	3,60	196,4	2,82
P3	603,0	32,43	4,29	72,20	32,15	196,0	27,0	187,9	9,30
P4	590,7	32,43	4,29	75,00	23,40	182,0	8,40	227,5	16,63
P5	604,8	33,58	3,90	82,40	20,52	217,0	3,00	231,2	20,85
P6	596,8	41,17	4,68	75,80	28,68	238,0	8,10	221,4	23,33

Nota: Condutividade elétrica (CE); Sódio (Na⁺); Potássio (K⁺); Cálcio (Ca²⁺); Magnésio (Mg²⁺);

A classificação hidroquímica, baseada na Resolução nº 357 do CONAMA (Brasil, 2005), mostrou o efeito da sazonalidade nos teores de salinidade da água (Tabela 2). No período seco, quatro dos pontos avaliados (P3, P4, P5 e P6) foram classificados como de água salobra, cujo teor de sólidos totais dissolvidos se encontra entre 500 e 30.000 mg L⁻¹ equivalente as CE de 781,2 e 46,9 µS/cm,

No período chuvoso, todos os seis pontos foram classificados como de água doce (CE < 781,2 µS/cm). Isso ocorre, porque neste período, com a maior quantidade de água nos rios, os sais ficam diluídos na água, diminuindo seus teores, que se elevam no período seco, devido a evaporação e ausência de escoamento superficial acarretado pelas chuvas.

Tabela 2. Classificação hidroquímica da água dos pontos estudados em trecho do Rio Apodi-Mossoró nos períodos seco e chuvoso

Parâmetro	Seco			Chuvoso		
	CE	STD	Classificação	CE	STD	Classificação
Unidade	dS/m	mg/ L		dS/m	mg/ L	
P1	0,70	453,1	Água doce	0,59	383,2	Água doce
P2	0,72	465,5	Água doce	0,61	395,2	Água doce
P3	0,73	537,6	Água salobra	0,60	392,0	Água doce
P4	0,82	531,4	Água salobra	0,59	384,0	Água doce
P5	0,81	529,1	Água salobra	0,61	393,1	Água doce
P6	0,91	588,7	Água salobra	0,60	387,9	Água doce

Nota: Condutividade elétrica (CE); Sólidos totais dissolvidos (STD).

A razão de adsorção de sódio (RAS) variou de 0,79 a 1,35 no período seco e de 0,78 a 1,02 no período chuvoso sendo considerada de baixo risco (<10) (Tabela 3). Entre os teores de carbonato de sódio residual (CSR), todos os pontos tiveram valores negativos, porém melhores no período seco, variando de -3,33 a -1,74, enquanto no período chuvoso, os valores variaram de -2,53 a -1,69.

Mesmo que normalmente o sódio seja o principal responsável pelo aumento da salinidade nos corpos hídricos (Sousa et al., 2022), quando há cálcio e magnésio em grandes concentrações, eles podem mitigar os efeitos negativos do sódio, isso acontece quando o CSR é negativo (Rawat, Singh & Gautam, 2023). De acordo com Eaton (1950), teores de CSR abaixo de 1,25 são considerados ideais para irrigação, se enquadrando todos os pontos estudados, visto que todos os pontos são negativos, sem risco de depositar carbonato de sódio no solo e tornando-os inférteis (Murtaza et al., 2021).

Quanto a porcentagem de sódio na água, apenas o P6, o ponto mais antropizado, em ambos os períodos ficou com valores acima de 20%, por ser o ponto mais antropizado. Porém,

ainda assim foi considerada uma água boa pela classificação de Richards (1954), com valores entre 20 e 40.

Tabela 3. Índices para irrigação da água dos pontos estudados em trecho do Rio Apodi-Mossoró nos períodos seco e chuvoso

Amostra	RAS	CSR	Na%	RAS	CSR	Na%
	Seco			Chuvoso		
P1	0,81	-2,85	17,4%	0,81	-2,15	19,0%
P2	0,79	-3,01	17,0%	0,78	-2,53	18,5%
P3	0,79	-3,33	16,5%	0,80	-2,31	18,3%
P4	0,85	-1,74	18,1%	0,84	-1,69	19,8%
P5	0,83	-3,33	17,2%	0,85	-1,94	20,0%
P6	1,35	-2,89	26,6%	1,02	-2,28	22,5%

Nota: Razão de adsorção de sódio (RAS); Carbonato de sódio residual (CSR); Porcentagem de sódio na água (Na%).

A influência da sazonalidade nos teores de salinidade da água pode ser vista pelo diagrama da U.S.S.L, para uso na irrigação (Figura 2). No período seco, quatro pontos (P3, P4, P5 e P6) foram classificados como C3-S1, apresentando alto risco de salinização e baixo risco de sodicidade, já os demais pontos tiveram classificação C2-S1, com baixo risco de salinização e sodicidade.

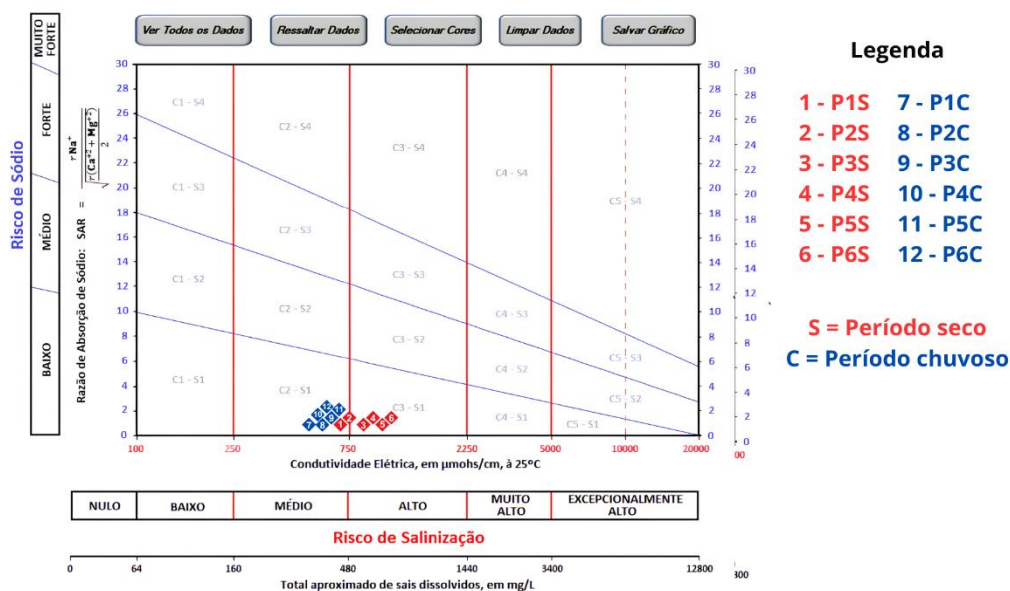


Figura 2. Classificação da água dos pontos estudados em trecho do Rio Apodi-Mossoró nos períodos seco e chuvoso quanto ao risco de salinidade e sodicidade pelo Diagrama da U.S.S.L.

Os pontos avaliados no período seco, com exceção de P1 e P2, apresentaram maior risco de salinidade, isso se deve à evaporação da água superficial que ocorre no período seco, quando

há maior temperatura e menores precipitações pluviárias, aumentando a concentração de sais dissolvidos na água (Hallouz, Meddi & Rahmani, 2022).

Portanto, as águas dos pontos P3S, P4S, P5S e P6S, que foram classificadas como C3-S1, não são recomendadas para uso na irrigação, com exceção de locais onde há drenagem eficiente no solo. Porém, mesmo assim se torna necessário a seleção de cultivares com alta tolerância à salinidade, afim de evitar maiores problemas. Já nos demais pontos, que foram classificadas como C2-S1, o uso é liberado em locais onde há um grau moderado de lixiviação, podendo ser cultivadas plantas com tolerância moderada a salinidade, sem que haja um manejo para controle da ação dos sais (Almeida, 2010).

Porém, quanto ao risco de sodicidade, como todas as amostras foram classificadas como S1, há pouca probabilidade de atingir níveis perigosos de sódio trocável. De acordo com Almeida (2010), teores de RAS acima de 10 são considerados inadequados para uso na irrigação, porém no presente estudo, o maior valor foi encontrado no P9S (1,35), ficando longe de apresentar riscos, porém em cultivos mais sensíveis ao sódio, como algumas fruteiras, pode necessitar de manejo.

A sazonalidade também mostrou efeito nas concentrações de cátions e ânions nas amostras estudadas, que pode ser percebido através do Diagrama de Piper (Figura 3).

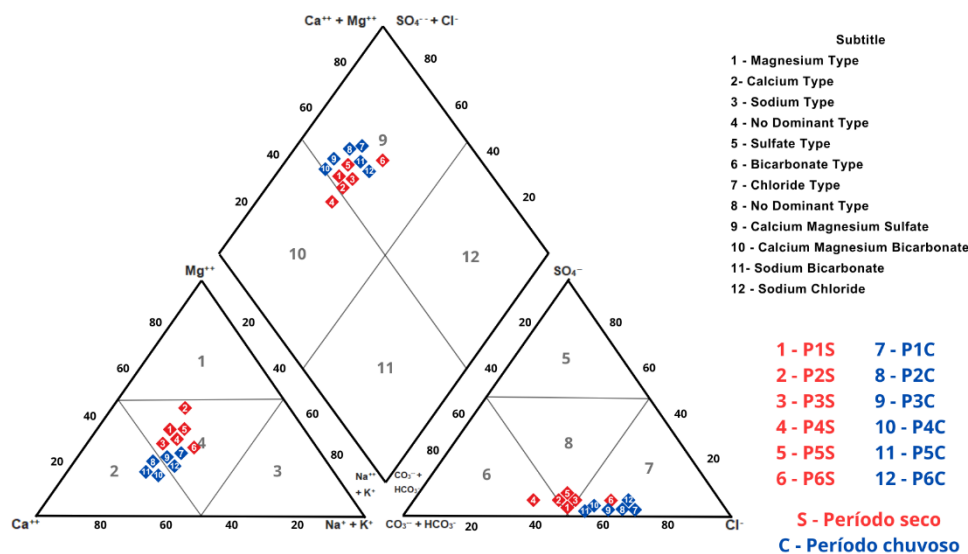


Figura 3. Classificação hidroquímica da água via Diagrama de Piper dos pontos estudados em trecho do Rio Apodi-Mossoró nos períodos seco e chuvoso.

Quanto aos cátions, a maioria das amostras foram classificadas como mistas, sendo todas as seis amostras do período seco, e três no chuvoso, as demais foram classificadas como cálcicas. Já quanto aos teores de ânions, houve uma predominância de águas cloretadas, sendo

todas do período chuvoso e uma amostra no período seco. As demais amostras do seco foram classificadas como bicarbonatadas (2 amostras) e mistas (3 amostras).

Na classificação geral, houve uma predominância de 33% (4 pontos – P6S, P1C, P5C e P9C) de águas mistas cloretadas, seguido de 25% (3 pontos – P2C, P4C e P5C) de cálcicas cloretadas, 25% (3 pontos – P1S, P5S e P2C) de mistas, e por fim, 17% (2 pontos – P2S e P4S) de mistas bicarbonatadas.

Observa-se, portanto, uma predominância de cloro entre os ânions avaliados, em especial no período chuvoso, o que pode estar relacionado ao escoamento de fertilizantes e esgotos domésticos causados pela chuva, em especial em P5C, que está localizado em uma área onde há plantios próximos ao local de coleta (Araújo Neto et al., 2010). Porém no período seco, mesmo em menores concentrações, os teores de carbonato e bicarbonato prevaleceram na classificação, por isso a alta concentração de águas mistas, com exceção dos pontos P2S e P5S.

Os dados corroboram com o afirmado por Li et al. (2021) e Xu et al. (2023) que verificaram teores de cloro maiores em relação aos de carbonato e bicarbonato em região semiárida. Teores de cloro em excesso na água servem como um forte indicador de poluição gerada por ações antrópicas, como efluentes industriais e esgotos residenciais (Minet et al., 2017; Zhu et al., 2019).

CONCLUSÕES

A sazonalidade afetou diretamente os teores de salinidade das águas avaliadas, aumentando durante o período seco e podendo causar riscos quando utilizada para irrigação. A antropização também influenciou os resultados, com pontos em locais mais próximos a locais antropizados tendo valores mais altos de salinidade. Altos teores de cloro foram encontrados nas águas, em especial no período chuvoso, provavelmente pelo escoamento de água causada pela alta quantidade de chuvas no período.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 234 p.

ARAÚJO NETO, S. E. D.; GALVÃO, R. D. O.; FERREIRA, R. L. F.; PARMEJANI, R. S.; NEGREIROS, J. R. D. S. Plantio direto de cebolinha sobre cobertura vegetal com efeito residual da aplicação de composto orgânico. **Ciência Rural**, v. 40, p. 1206-1209.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Conselho Nacional de Meio Ambiente. **Diário Oficial da União**, Brasília-DF, 2005.

DUBREUIL, V.; FANTE, K. P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J. L. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. *Confins. Revue Franco-Brésilienne de Géographie/Revista Franco-Brasileira de Geografia*, v. 37, 2018.

EATON, F. M. Significance of carbonation in irrigation waters. *Soil Science*, v. 69, n. 2, p. 123–134, 1950.

FUNCEME. **Qualigraf**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://qualigraf.funceme.br/>. Acesso em: 25 abril. 2025.

HAQ, A. U.; MUHAMMAD, S.; AHMAD, A. Spatial distribution, risk assessment, and provenance of heavy metals contamination in the sediments of the Gilgit River Basin, Northern Pakistan. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, v. 33, n. 8, p. 1365–1381, 2024.

HALLOUZ, F.; MEDDI, M.; ALI RAHMANI, S. Multivariate analysis to assess the quality of irrigation water in a semi-arid region of north west of Algeria: case of Ghrib reservoir. *Environmental Earth Sciences*, [s. l.], v. 81, n. 5, p. 158, 2022.

HE, C.; LIU, Z.; WU, J.; PAN, X.; FANG, Z.; LI, J.; BRYAN, B. Future global urban water scarcity and potential solutions. *Nature communications*, v. 12, 2021.

LI, H.; XIE, X.; LI, Y.; CHEN, M.; XUE, L.; WANG, J.; WU, Q. *Pediococcus pentosaceus* IM96 exerts protective effects against enterohemorrhagic *Escherichia coli* O157: H7 infection in vivo. *Foods*, v. 10, p. 2945.

MINET, E. P.; GOODHUE, R.; MEIER-AUGENSTEIN, W.; KALIN, R. M.; FENTON, O.; RICHARDS, K. G.; COXON, C. E. Combining stable isotopes with contamination indicators: A method for improved investigation of nitrate sources and dynamics in aquifers with mixed nitrogen inputs. *Water Research*, v. 124, p. 85–96, 2017.

MURTAZA, G.; REHMAN, M. Z.; QADIR, M.; SHEHZAD, M. T.; ZEESHAN, N.; AHMAD, H. R.; NAIDU, R. High residual sodium carbonate water in the Indian subcontinent: concerns, challenges and remediation. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 18, p. 3257-3272, 2021.

PUY, A.; BORGONOVO, E.; LO PIANO, S.; LEVIN, S. A.; SALTELLI, A. Irrigated areas drive irrigation water withdrawals. **Nature Communications**, v. 12, n. 1, p. 4525, 2021.

RAWAT, K. S.; SINGH, S. K.; GAUTAM, S. K. Assessment of groundwater quality for irrigation use: a peninsular case study. **Applied Water Science**, v. 8, p. 1-24, 2018.

RICHARDS, L. A. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. **US Government Printing Office**, n. 60, 1954.

SOUSA, C. J. S.; BORGES, W. R.; PINHEIRO, K. S. F. Hydrochemical characterization of the Barreiras-Itapecuru Aquifer System groundwater in the Maranhão Island, North Coast of Brazil. **Geosciences Geociências**, v. 41, n. 2, p. 437-450, 2022.

SUNDHA, P.; BASAK, N.; RAI, A. K.; YADAV, R. K.; SHARMA, P. C. Irrigation water quality, gypsum, and city waste compost addition affect P dynamics in saline-sodic soils. **Environmental Research**, v. 216, p. 114559, 2023.

WILCOX, L. V. **Classification and use of irrigation waters**. [s. l.], p. 26, 1955.

XU, F., LI, P., DU, Q., YANG, Y., & YUE, B. Seasonal hydrochemical characteristics, geochemical evolution, and pollution sources of Lake Sha in an arid and semiarid region of northwest China. **Exposure and Health**, v. 15, p. 231-244, 2023.

ZHU, S.; ZHANG, F.; ZHANG, Z.; KUNG, H. T.; YUSHANJIANG, A. Hydrogen and Oxygen Isotope Composition and Water Quality Evaluation for Different Water Bodies in the Ebinur Lake Watershed, Northwestern China. **Water**, [s. l.], v. 11, n. 10, p. 2067, 2019.