

POTENCIALIDADES E LIMITAÇÕES DO REÚSO AGRÍCOLA DE EFLUENTE RESIDENCIAL DE ESTAÇÃO COMPACTA NO SEMIÁRIDO POTIGUAR

Erlen Kaline Ávila do Nascimento¹, Rafael Oliveira Batista², Maria Elidayane da Cunha³, Ayslan do Nascimento Fernandes⁴, Caetano Alves de Lima Neto⁴, Pedro Victor Tavares Firmino da Silva⁵

RESUMO: Devido à escassez hídrica no semiárido potiguar, o reúso da água surge como alternativa promissora para a agricultura. Assim, objetivou-se com esse trabalho avaliar a qualidade de efluente domiciliar tratado para fins de reúso agrícola no semiárido potiguar. Para isso, realizou-se o monitoramento de uma estação compacta de tratamento de água residuária domiciliar, instalada na Universidade Federal Rural do Semi-Árido, em Mossoró–RN. Foram coletadas amostras de efluente no tanque de equalização e a jusante do reator ultravioleta para determinação dos parâmetros físico-químicos condutividade elétrica (CE), K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- e P. Os resultados indicaram que, com exceção do K^+ e CO_3^{2-} , os parâmetros químicos estavam dentro dos limites recomendados para irrigação. A estação de tratamento de água residuária domiciliar apresentou remoções dos elementos químicos K^+ (4%), Ca^{2+} (6%), HCO_3^{2-} (14%), Cl^- (20%), Mg^{2+} (59%) e P (76%). Esta gerou efluente compatível com os padrões nacionais de reúso agrícola, exceto o K^+ e CO_3^{2-} . O diagrama do U.S.S.L. demonstrou que os dispositivos de tratamento não foram eficientes na redução de Na^+ , sendo importante monitorá-lo no solo e escolher culturas que não tenham toxicidade a este íon.

PALAVRAS-CHAVE: Escassez Hídrica, Água Residuária, Monitoramento.

¹ Prof. Me, Escola de Ensino Fundamental, CEP 62806-899, Aracati, CE. Fone (84) 99190-4207. E-mail: erlen.kaline@gmail.com.

² Prof. Doutor, Depto de Engenharia e Ciências Ambientais, UFERSA, Mossoró, RN.

³ Doutora em Manejo Solo e Água.

⁴ Estudante do Curso de Agronomia, Dep de Ciências Agrárias, UFERSA, Mossoró, RN.

⁵ Ecólogo.

POTENTIAL AND LIMITATIONS OF AGRICULTURAL REUSE OF RESIDENTIAL EFFLUENT FROM A COMPACT TREATMENT IN THE POTIGUAR SEMIARID REGION

ABSTRACT: Due to water scarcity in the semi-arid region of Potiguar, water reuse emerges as a promising alternative for agriculture. Thus, the aim of this study was to evaluate the quality of treated domestic effluent for agricultural reuse in the semi-arid region of Potiguar. For this purpose, monitoring was carried out at a compact domestic wastewater treatment plant installed at the Federal Rural University of the Semi-Arid, in Mossoró–RN, Brazil. Effluent samples were collected from the equalization tank and downstream of the ultraviolet reactor to determine the physicochemical parameters: electrical conductivity (EC), K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , and P. The results indicated that, except for K^+ and CO_3^{2-} , the chemical parameters were within the recommended limits for irrigation. The domestic wastewater treatment plant achieved removal efficiencies for the chemical elements K^+ (4%), Ca^{2+} (6%), HCO_3^- (14%), Cl^- (20%), Mg^{2+} (59%), and P (76%). The plant produced effluent that met the national standards for agricultural reuse, except for K^+ and CO_3^{2-} . The U.S.S.L. diagram showed that the treatment devices were not effective in reducing Na^+ , making it important to monitor this ion in the soil and select crops that are not sensitive to its toxicity.

KEYWORDS: Water scarcity, wastewater, monitoring.

INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas e a escassez de recursos hídricos configuram desafios significativos para a sustentabilidade ambiental e a produção agrícola, sobretudo em regiões semiáridas. Esses fenômenos afetam amplamente o meio ambiente, qualidade de vida, segurança alimentar, atividades agrícolas, economia e recursos naturais (Tilleard et al., 2023; Karimi et al., 2024). Além disso, nas regiões semiáridas, as baixas taxas de recarga tornam os aquíferos vulneráveis, podendo causar esgotamento, degradação da qualidade da água e rebaixamento de rios (Singh et al., 2024).

Isto tem implicações profundas na produtividade agrícola, potencialmente limitando a diversidade e os rendimentos das culturas (Gelu et al., 2025). Essa situação tem incentivado a adoção de alternativas como o reúso da água, que contribui não apenas para a melhoria da qualidade de vida das comunidades locais, mas também para o fortalecimento da produção

agrícola (Silva, 2025). Os sistemas de uso agrícola de água cinza no meio rural representam uma alternativa eficaz para apoiar a agricultura, especialmente em regiões com escassez hídrica. Além de aumentar a disponibilidade de água para irrigação, esses sistemas podem melhorar a fertilidade do solo por meio do aporte de macro e micronutrientes e contribuir para a gestão sustentável da água, reduzindo o escoamento superficial e seu potencial contaminante para corpos hídricos receptores (Brito et al., 2025).

Esse benefício do reúso da água com possível presença de macro e micronutrientes, podem favorecer o desenvolvimento das culturas, além de reduzir a necessidade de fertilizantes comerciais, gerando economia para o produtor (Santos, et al., 2017). No semiárido, pesquisas têm explorado o uso e o monitoramento de sistemas simples e de baixo custo, como tanques sépticos, filtros anaeróbios de fluxo ascendente e reatores com radiação ultravioleta artificial, visando o uso agrícola de águas residuárias domésticas (Cunha, 2018). A reflexão sobre o reúso da água na produção agrícola está alinhada ao Objetivo 2 – Fome Zero e Agricultura Sustentável (meta 2.4) e ao Objetivo 6 – Água Potável e Saneamento da ONU (2021), integrando-se a temas essenciais como saneamento ambiental, saúde e bem-estar. Este estudo adota uma abordagem original e aplicada na avaliação da qualidade físico-química de águas cinzas utilizadas para irrigação em região semiárida, com foco na avaliação da qualidade da água e dos riscos de salinização e sodicidade. Ao integrar a classificação hidroquímica e a análise de parâmetros críticos, a pesquisa busca oferecer um diagnóstico inédito e aprofundado, capaz de subsidiar práticas de manejo sustentável e auxiliar na prevenção da degradação do solo em ambientes vulneráveis à escassez hídrica.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da Área de Estudo

A pesquisa, deu-se instalando um sistema de tratamento e reúso agrícola de água cinza em uma residência, com quatro habitantes, localizada no Centro de Multiplicação de Animais Silvestres (CEMAS), situado na Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró/RN, entre as coordenadas geográficas 5°12'45,68" S, 37°18'36,47" O e 40 m de altitude (Figura 1).

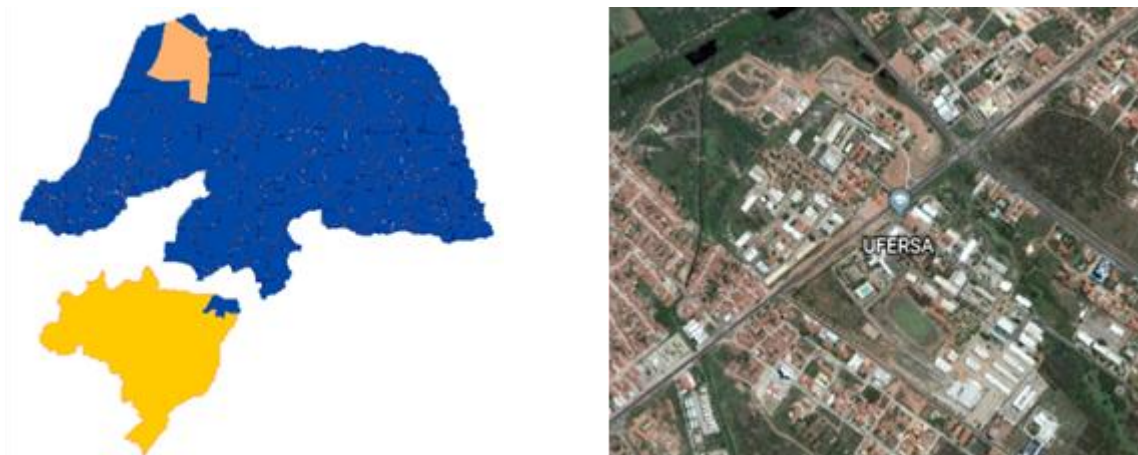


Figura 1. Mapa de localização do CEMA-UFERSA, Mossoró no Estado do Rio Grande do Norte. (Fonte Cunha, 2018).

O clima da região é classificado como BSh segundo Köppen, caracterizando-se como semiárido, quente e seco, com predomínio da Caatinga, média anual de chuvas inferior a 794 mm e temperatura superior a 26,5 °C (Alvares et al., 2013).

Nas proximidades da residência do CEMAS foram instaladas uma estação compacta de tratamento e aproveitamento agrícola da água cinzas, equipada com tubulações que captam as águas provenientes do chuveiro, das pias do banheiro e da cozinha, além do tanque de lavar roupas.

A pesquisa é interdisciplinar, integrando aspectos da economia agrícola, ecologia e saúde pública ao avaliar os impactos da qualidade da água cinzas. O estudo tem aplicação prática na gestão hídrica do Rio Grande do Norte, oferecendo subsídios para recomendações a produtores, além de propor alternativas de manejo sustentável. Alinha-se ainda aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 2 e 6), ao abordar a qualidade da água cinza, e a produção agrícola.

Amostragem e Análise de Água

O sistema foi dimensionado segundo as normas NBR 7.229 (ABNT, 1993) e NBR 13.969 (ABNT, 1997), composto por tanque de equalização, tanque séptico, filtro anaeróbio de fluxo ascendente, reator ultravioleta, vala de infiltração e área destinada ao reúso agrícola. Para monitoramento do sistema foram coletadas amostras em triplicata em frascos esterilizados de 1 L, no período de outubro a novembro de 2017. No processo de coleta, as amostras foram preservadas em caixas isotérmicas com gelo, à temperatura de 4 °C, até sua entrada nos laboratórios para posterior realização das análises físico-químicas (Rice; Baird & Clesceri, 2012). Ao todo, foram coletadas seis amostras de água cinza para caracterização físico-química,

sendo três delas sem e as outras três com tratamento para permitir a avaliação do desempenho da estação compacta.

Foram avaliados parâmetros físico-químicos (condutividade elétricas, K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- e P). As análises foram conduzidas no Laboratório de Análise de Solo, Água e Planta (LASAP) da UFERSA, seguindo os protocolos do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005). Calculou-se a relação de adsorção de sódio (RAS) com teores de Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} utilizando a seguinte equação:

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

As amostras de água residuárias foram classificadas quanto à restrição de uso para irrigação com base nos valores de RAS e CE, conforme Ayers e Westcot (1994) e Almeida (2010). O risco de salinidade e sodicidade foram avaliados pelo Diagrama do U.S.S.L, processado com o software Qualigraf v1.17 (FUNCEME, 2023). O desempenho do sistema foi avaliado pela eficiência de remoção dos parâmetros físico-químicos, conforme a Equação 1, proposto por Cunha et al. (2024).

$$RE = \{[1-(ERU / ETE)] * 100\} \quad (1)$$

Em que,

RE - Remoção dos atributos físico-químicos ocorridas na estação de tratamento, em %;

ERU - Valores dos atributos físico-químicos das amostras coletadas no reator ultravioleta, em $mmolc L^{-1}$ ou $(mmolc L^{-1})0,5$ ou $dS m^{-1}$; e

ETE - Valores dos atributos físico-químicos das amostras coletadas no tanque de equalização, em $mmolc L^{-1}$ ou $dS m^{-1}$.

O experimento seguiu delineamento inteiramente casualizado, com três repetições no tempo. Para os parâmetros químicos aplicou-se estatística descritiva, utilizando média e desvio padrão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta as médias das concentrações dos elementos químicos nas amostras de água residuária domiciliar coletada no tanque de equalização (ETE) e no reator de radiação ultravioleta artificial (ERU) ao longo do período experimental.

Tabela 1. Médias e desvios padrão das concentrações de elementos químicos em amostras de água cinza coletadas no tanque de equalização da estação de tratamento (ETE) e no reator de radiação ultravioleta artificial (ERU).

Atributos	Características químicas					
	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	CE
Unidade	mmolc L ⁻¹					
ETE	0,82 ± 0,04	6,05 ± 0,46	1,75 ± 0,83	1,13 ± 0,53	4,93 ± 1,01	1,19 ± 0,05
ERU	0,78 ± 0,08	6,88 ± 1,16	1,65 ± 0,40	0,46 ± 0,30	3,93 ± 0,42	1,16 ± 0,00
Padrões	0,05⁽⁵⁾	40,0⁽¹⁾	20,0	5,0	30,0⁽¹⁾	3,0⁽¹⁾
Remoção	4%	-	6%	59%	20%	2%
Atributos	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ²⁻	RAS	P		
Unidade	mmolc L ⁻¹		mmolc L ^{-1(0,5)}	mg L ⁻¹		
ETE	0,37 ± 0,55	6,03 ± 1,50	5,33 ± 1,45	4,18 ± 2,62		
ERU	0,43 ± 0,15	5,20 ± 1,31	6,97 ± 2,01	1,00 ± 0,06		
Padrões	0,1⁽¹⁾	10,0⁽¹⁾	15,0⁽¹⁾	2,0⁽¹⁾		
Remoção	-	14%	-	76%		

Comparando os resultados dos atributos físico-químicos analisados, com os limites apresentados por Almeida (2010), percebeu-se que todas as variáveis, com exceção do K⁺ e CO₃²⁻, apresentaram enquadramento para utilização na irrigação de cultivos agrícola, podendo ser usada com cautela, apesar da maioria dos elementos químicos estarem dentro do padrão, não oferecendo risco para à saúde das plantas, do solo e meio ambiente, o excesso de K⁺ e CO₃²⁻, podem representar eventuais riscos no uso da água, pois afetam a absorção de nutrientes pelas plantas (Franca et al., 2022). Em relação a condutividade elétrica a média da água cinza tratada foi de 1,16 dS m⁻¹, valor enquadrado nos limites estabelecidos pela Resolução CONEMA nº 2/2017, Art. 39, inciso II (Ceará, 2017), que admite até 3,0 dS m⁻¹. Observou-se, contudo, uma remoção pouco expressiva, em torno de 2%. Esse resultado contrasta com o obtido por Batista et al. (2012) em estudo com biofiltros operando com esgoto sanitário, no qual foram registradas reduções na condutividade elétrica de até 59%.

As maiores concentrações em ordem crescente encontradas nas análises foram as de Cl⁻, Na⁺ e HCO₃²⁻, sendo o último com maior quantitativo. A predominância de bicarbonato é comum em efluentes domésticos devido à degradação da matéria orgânica e à alcalinidade conferida por carbonatos, o que já foi relatado por Cavalcante et al. (2022) em sistemas de tratamento biológico. Em relação a remoção de elementos químicos, observou-se que a combinação no uso da ETE com a ERU no sistema, possibilitou a maior remoção dos íons P, Mg²⁺ e Cl.

Com base no diagrama U.S.S.L. (Figura 1), utilizado para a classificação da água destinada à irrigação, as amostras provenientes da ETE foram enquadradas como S1, o que

indica um risco baixo de sodicidade, enquanto as da ERU classificaram-se como S2 com médio risco sodicidade. Em relação a salinidade, segundo o diagrama U.S.S.L., as amostras foram classificadas como C3, indicando alto risco de salinização da ETE e ERU. Verifica-se que as águas da ERU apresentaram índices de sodicidade superiores aos da ETE, o que indica a inexistência de um efeito benéfico do reator de radiação ultravioleta artificial na redução da concentração de sódio. Ressalta-se que a radiação UV é empregada principalmente para a desinfecção e degradação de matéria orgânica ou micropoluentes, não atuando diretamente na remoção de sais inorgânicos dissolvidos (Fennel, et al., 2022). Destaca-se, que águas classificadas como C3 requerem práticas de manejo específicas para evitar acúmulo de sais no solo, como aumento da fração de lixiviação, mistura com águas de menor salinidade e uso de culturas tolerantes (Ayers; Westcot, 1999).

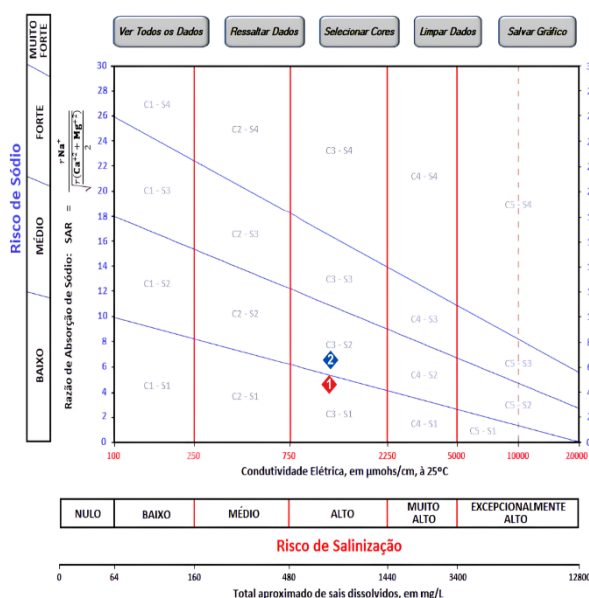


Figura 2. Classificação da água coletada no tanque de equalização (ETE) e no reator de radiação ultravioleta artificial (ERU) da estação compacta de tratamento para reúso de água cinza do CEMAS/UFERSA, entre outubro a novembro de 2017, quanto ao risco de salinidade e sodicidade de acordo com o Diagrama da U.S.S.L.

Legenda: 1 - Tanque de equalização (ETE); 2 - Reator de radiação ultravioleta artificial (ERU).

CONCLUSÕES

A estação de tratamento de água residuária domiciliar apresentou remoções dos elementos químicos K^+ (4%), Ca^{2+} (6%), HCO_3^{2-} (14%), Cl^- (20%), Mg^{2+} (59%) e P (76%). Esta gerou efluente compatível com os padrões nacionais de reúso agrícola, exceto o K^+ e CO_3^{2-} . O diagrama da U.S.S.L. demonstrou que os dispositivos de tratamento não foram eficientes na redução de sódio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229**: Projeto, Construção e Operação de Sistemas de Tanques Sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993. 15p.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.969**: Tanques Sépticos - Unidades de Tratamento Complementar e Disposição Final dos Efluentes Líquidos - Projeto, Construção e Operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 60p.
- ALMEIDA, O. A. **Qualidade da Água de Irrigação**. 1 Ed. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010. 227p.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L. DE M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013.
- APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed. Washington, 2005.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. Water quality for agriculture. **Irrigation and Drainage Paper**, 29. p. 174. 1994.
- Batista, R. O.; Barreto, H. B. F.; Alves, S. M. C.; Santos, W. O.; Freire, F. G. C. Remoção de nitrato e condutividade elétrica em biofiltros operando com esgoto doméstico primário. **Global Science and Technology**, v. 5, p.59-69, 2012.
- BRITO, I.A; NUNES, E.M; ARAÚJO, E.M.N; SILVA, O.R. Irrigação com reuso de água cinza em sistemas agroecológicos: uma revisão da literatura. **Contribuciones a las Ciencias Sociales**, v.18, n.3, 2025.
- CAVALCANTE, R.P; MALVESTITI, J.A; DIOGO JÚNIOR, J.P; DANTAS, R.F. Modeling carbonate/bicarbonate and nitrate disturbance during secondary effluent disinfection by UV/H₂O₂ and UV/ozone. **Water Science & Technology**, v.86, n.11, 2022.
- Ceará. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE nº 151, de 21 de fevereiro de 2017. **Resolução COEMA N° 2 de 2 de fevereiro de 2017**

CUNHA, M.E. **Monitoramento e Avaliação Socioambiental de Sistema Compacto para Tratamento e Uso Agrícola de Água Cinza**. Dissertação (Mestrado). UFERSA-Mossoró. 2018.

CUNHA, M.E.; BATISTA, R.O.; MATOS, G.X.; SOUSA, A.L.V.; REGES, L.B.L.; PAIVA, L.A.L.; MARQUES, B.C.D; MESQUITA, F.O. Monitoring and evaluation of a compact system for gray water treatment and agricultural use. **Observatório de La Economía Latinoamericana**, v. 22, n. 2, 2024.

FENNELL, B.D; MEZYK, S.P; MCKAY, G. Critical Review of UV-Advanced Reduction Processes for the Treatment of Chemical Contaminants in Water. **ACS Environmental**, v.2, n.3, 2022.

FRANCA, C.L.E., AMORIM, M.C.C., OLSZEWSKI, N.; BELÉM, C.D.S. Uso de água cinza tratada na irrigação de frutícola no semiárido: aspectos legais e qualidade do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 17, n. 3, p. 167-177, 2022.

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

GELU, G.; KOMAI, K.; DANE, C.; AYZA, A.; AYELE, T. Ivenstigating the salinity distribution using field measurements in the semi-ari region of Southern Ethiopia. **Environmental Monitoring and Assessment**. Vol 197, 2025.

KARIMI, M., TABIEE, M., KARAMI, S., KARIMI, V., & Karamidehkordi, E. Climate change and water scarcity impacts on sustainability in semi-arid areas: Lessons from the South of Iran. **Groundwater for Sustainable Development**, 24, 101075. 2024.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável**. Nova York: ONU, 2015. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 5 mai, 2025.

RICE, E. W.; BAIRD, R. B.; CLESCERI, A. D. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22. ed. Washington: APHA, AWWA, WPCR, 2012. 1496p.

SANTOS, S.R; RIBEIRO, D.P; MATOS, A.T; KONDO, M. K; ARAÚJO, E.D. Alterações nas Propriedades Químicas do Solo Promovidas pela Fertirrigação com Águas Residuais Sanitárias Tratadas. **Eng. agríc.** v.37, n.2, 2017.

SILVA JUNIOR, F.S.S; NOGUEIRA, E.M.S; COCOZZA, F. D. M; SANTOS, F.G.B. **Revista Observatorio De La Economia Latinoamericana**, Curitiba, v.22, n.2, p. 01-19. 2024.

SINGH, G.; SINGH, J., WANI, O.A., EGBUERI, J.C., & AGBASI, J.C. Assessment of groundwater suitability for sustainable irrigation: a comprehensive study using indexical, statistical, and machine learning approaches. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 24, 2024.

TILLEARD, S., TURRAL, H., KETELSEN, T., WHITING, L. Climate change, water scarcity and agriculture: lessons from the countries of the lower Mekong Climate Risks to Water Security: Framing Effective Response in Asia and the Pacific, Springer. **International Publishing**, Cham, pp. 215-238, 2023.