

VARIABILIDADE TEMPORAL E ESPACIAL DA QUALIDADE DE ÁGUA EM RESERVATÓRIOS DO SEMIÁRIDO

Bruno Gabriel Monteiro da Costa Bezerra¹, Ray dos Santos Ferreira², Elisa Maria Duarte³, Francisco Josivan de Oliveira Lima⁴, Fernando Bezerra Lopes⁵, Isabel Cristina da Silva Araujo⁶

RESUMO: Diante da essencialidade da água na Terra, de sua finitude e da necessidade de seu uso em sistemas agrícolas, o ciclo hidrológico característico de regiões semiáridas torna esse cenário ainda mais preocupante, levando os reservatórios artificiais a serem adotados como a principal estratégia de contenção hídrica no nordeste brasileiro. Nesse contexto, objetivou-se avaliar a qualidade das águas nos reservatórios da bacia do rio Curu, localizados no Estado do Ceará, Brasil. Para isso, foram consideradas as variáveis limnológicas de condutividade elétrica da água (CEa), potencial hidrogeniônico (pH) e a concentração de cloretos (Cl) com o intuito de identificar limitações no uso para irrigação e consumo humano. Com o aporte de água devido ao período chuvoso de dezembro (2021) a maio (2022), as águas dos reservatórios Caxitoré, General Sampaio e Pereira de Miranda tiveram diluição dos sais, demonstrado pelas quedas nos valores de CEa. Apesar do aumento nos teores de Cl e do nível de pH, suas águas se mantiveram aptas tanto para uso na irrigação quanto para consumo humano em relação a esses atributos.

PALAVRAS-CHAVE: águas superficiais, salinidade, sazonalidade.

TEMPORAL AND SPATIAL VARIABILITY OF WATER QUALITY IN SEMI-ARID RESERVOIRS

ABSTRACT: Given the essentiality of water on Earth, its finitude, and the need for its use in agricultural systems, the hydrological cycle characteristic of semi-arid regions makes this

¹ Engenheiro Agrônomo, Mestrando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, 60455365, Fortaleza, CE. Fone (85) 998120242. E-mail: brunog768@gmail.com

² Estudante de Graduação em Agronomia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE

³ Estudante de Graduação em Economia Ecológica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará

⁴ Tecnólogo em Saneamento Ambiental, Doutorando em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE

⁵ Professor Doutor, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE

⁶ Professora Doutora, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE

scenario even more concerning, leading to the adoption of artificial reservoirs as the main water containment strategy in the Brazilian Northeast. In this context, the objective was to evaluate the water quality in the reservoirs of the Curu River basin, located in the state of Ceará, Brazil. For this purpose, limnological variables including electrical conductivity of water (ECa), hydrogen ion potential (pH), and chloride concentration (Cl) were considered to identify limitations in their use for irrigation and human consumption. With the water influx resulting from the rainy period from December (2021) to May (2022), the waters of the Caxitoré, General Sampaio, and Pereira de Miranda reservoirs experienced salt dilution, as demonstrated by the decreases in ECa values. Despite the increase in Cl levels and pH, the waters remained suitable for both irrigation and human consumption.

KEYWORDS: surface water, salinity, seasonality.

INTRODUÇÃO

A água é um dos recursos essenciais à vida e, por conta disso, a escassez hídrica é um tema que está frequentemente associado ao semiárido nordestino devido às suas características climáticas de escassez hídrica (SILVA, 2020). Diante disso, destaca-se a importância do monitoramento contínuo de bacias hidrográficas e seus reservatórios. Com isso, a determinação da qualidade dessas águas a partir de variáveis limnológicas é crucial, sendo alguns delas a condutividade elétrica da água (CEa), potencial hidrogeniônico (pH) e concentração de cloretos (Cl) (FERREIRA et al., 2015). Essas variáveis são enfatizadas devido à sua intrínseca relação com os íons dissolvidos na água (PRESTON et al., 2022). A CEa, por exemplo, reflete a capacidade da água de conduzir eletricidade por meio dos íons dissolvidos, enquanto o pH pode ser interpretado como o logaritmo negativo das concentrações de íons de hidrogênio (MENDONÇA et al., 2023). Por sua vez, os cloretos, além de contribuírem para o aumento da salinidade, afetam a potabilidade da água (FERREIRA et al., 2015; GONÇALVES, 2015). Diante do exposto, objetivou-se quantificar os valores de CEa, pH e Cl a fim de avaliar limitações para o uso na irrigação e consumo humano das águas de reservatórios superficiais da região semiárida.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo corresponde aos três reservatórios localizados na bacia hidrográfica do rio Curu, Ceará, sendo eles o Pereira de Miranda, com 5 pontos de coleta, General Sampaio, com 4 pontos, e Caxitoré, com 3 pontos (Figura 1).

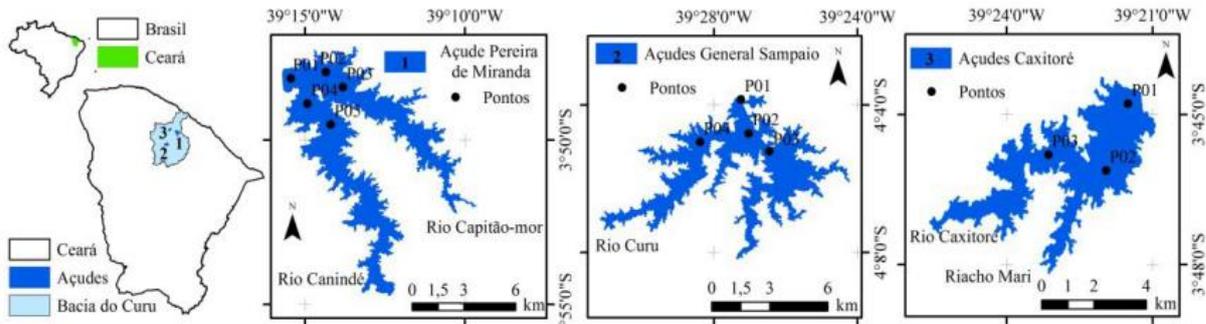


Figura 1. Distribuição dos pontos de coleta ao longo de reservatórios da bacia do Curu, Ceará. Fonte: Sena (2020).

As amostras foram coletadas in loco a 30 cm da superfície utilizando garrafas plásticas de 1,5 L, que foram armazenadas em caixa térmica com gelo para evitar possíveis interferências nos resultados, nos meses de dezembro de 2021 e maio de 2022. As análises de CEa, pH e Cl foram realizadas no Laboratório de Relações Solo-Água-Planta da UFC. Para determinação da CEa foi utilizado o condutivímetro portátil de modelo ECTestr high de fabricação da Oakton®. Já para obtenção do pH, foi utilizado o pHmetro portátil, modelo pHTestr basic, também da Oakton®. Por fim, para determinação de cloreto foi utilizado a técnica da volumetria de precipitação, utilizando como indicador o dicromato de potássio (K_2CrO_4) e como solução titulante o nitrato de prata ($AgNO_3$). Os resultados foram avaliados levando-se em consideração os valores estabelecidos pela portaria nº 888/2021 (BRASIL, 2021) que altera o Anexo XX da portaria de consolidação nº 5/2017 (BRASIL, 2017); e Ayers & Westcot (1985) para os parâmetros de qualidade para irrigação com três graus de restrição, como descrito na Tabela 1. Para conversão da medição de CE para sólidos dissolvidos totais (SDT), foi a seguinte equação: $SDT (mg L^{-1}) = CE (dS m^{-1}) * 640,0$.

Tabela 1. Diretrizes para interpretar a qualidade da água para irrigação por superfície.

Atributos	Unidade	Grau de restrição para uso		
		Nenhuma	Ligeira a moderada	Severa
CEa	$dS m^{-1}$	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
Cloretos	$mg L^{-1}$	< 4	4,0 – 10,0	> 10,0
pH		Amplitude normal: 6 a 9		

Fonte: Adaptado de Ayers & Westcot (1985); Brasil (2021).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A CEa média das águas de Caxitoré (Figura 2) reduziram de 0,77 para 0,49 dS m⁻¹, apresentando maior redução do que a de General Sampaio, de 0,47 para 0,42 dS m⁻¹, e Pereira de Miranda, de 0,54 para 0,46 dS m⁻¹. Esses valores de CE permaneceram aceitáveis tanto para consumo humano, cujo limite máximo estimado é de 0,78 dS m⁻¹, equivalente a 500 mg L⁻¹ de SDT (BRASIL, 2021); como para irrigação, cujo limite é de 0,7 dS m⁻¹. Essa leve diluição está associada a recarga de água no reservatório devido ao volume precipitado médio acumulado de 917,9, 578,2 e 882,7 mm nos três reservatórios citados, respectivamente (Figura 3).

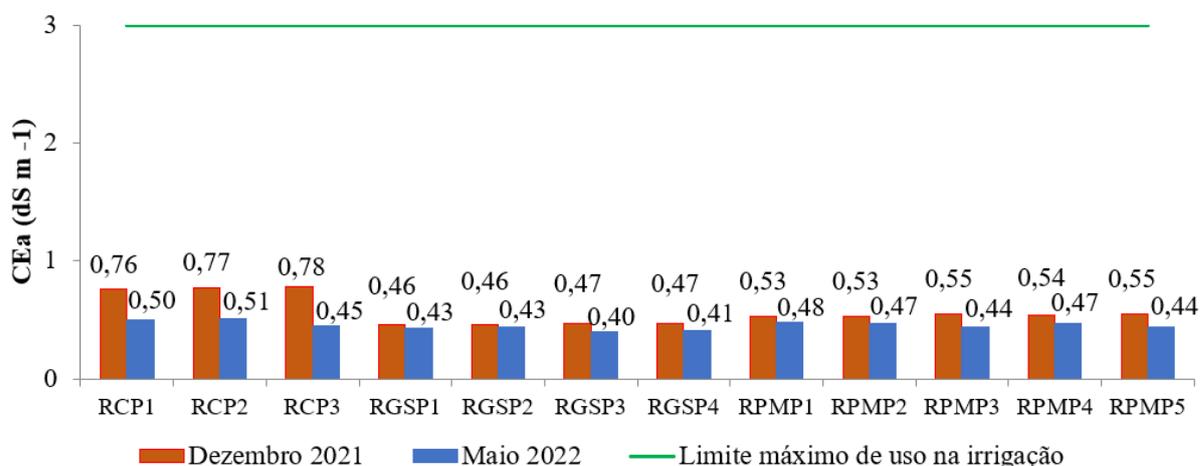


Figura 2. Valores de condutividade elétrica da água (CEa) de reservatórios na bacia hidrográfica do Curu, Ceará, nos períodos de dezembro de 2021 e maio de 2022, e seus respectivos limites para uso em irrigação e para consumo humano. R = reservatório; P = ponto de coleta; C = Caxitoré; GS = General Sampaio; PM = Pereira de Miranda.

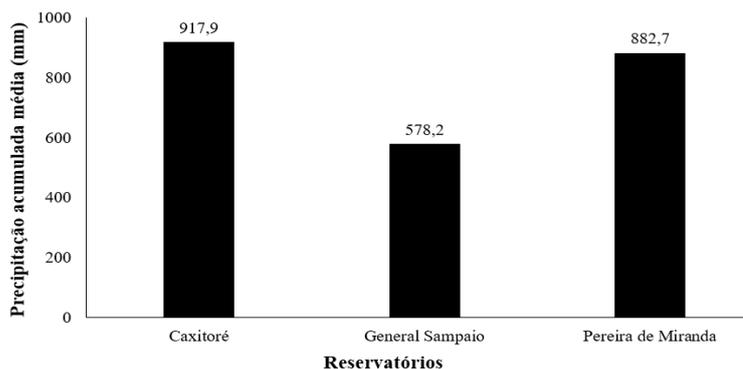


Figura 3. Precipitação média acumulada no período de dezembro de 2021 a março de 2022 na região hidrográfica dos reservatórios Caxitoré, General Sampaio e Pereira de Miranda, localizados no Ceará. Fonte: FUNCEME (2023).

As chuvas ocorridas no período de 12/2021 a 05/2022, promoveram ainda um aumento no volume dos reservatórios, Tabela 2. Quando se compara com o mesmo período no ano anterior (março de 2021), houve um aumento de 7% no volume do Caxitoré e de 5% no volume do General Sampaio e Pereira de Miranda (Figura 4).

Tabela 2. Volume e capacidade máxima de reservatórios da bacia hidrográfica do Curu, Ceará.

Período de coleta	Volume (%)		
	Caxitoré	General Sampaio	Pereira de Miranda
Dezembro (2021)	24,11	6,62	7,98
Maio (2022)	39,73	11,34	12,52
Capacidade max (m ³)	202.000.000	322.200.000	360.000.000

Fonte: Portal Hidrológico do Ceará (2023).

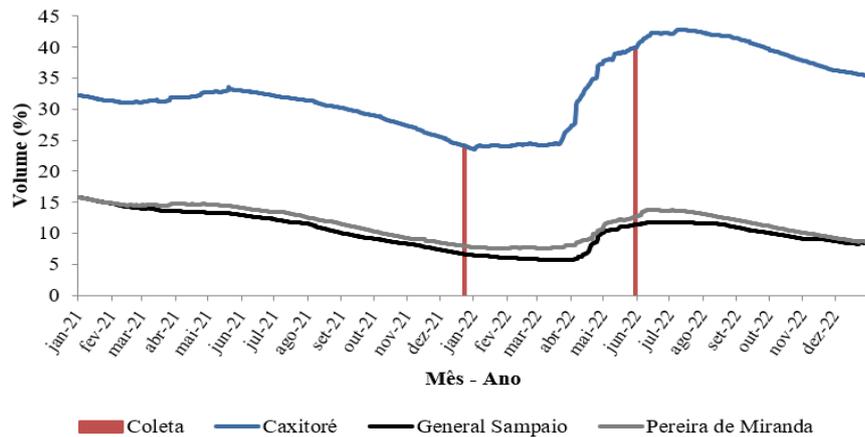


Figura 4. Evolução do volume dos reservatórios Caxitoré, General Sampaio e Pereira de Miranda no período de maio de 2021 a dezembro de 2022. Fonte: Portal Hidrológico do Ceará (2023).

Apesar dos maiores valores de precipitação média acumulada nas regiões hidrográficas dos reservatórios do Caxitoré e Pereira de Miranda, apenas o primeiro expressou maior aporte de volume, de 15%, enquanto o segundo aumentou 4,7%. Essa diferença de recarga do volume de água armazenada ocorre porque não depende apenas do total precipitado, mas também pela variação temporal e espacial dos eventos pluviométricos, de sua intensidade de ocorrência e da dinâmica de escoamento superficial para cada reservatório (PONTE et al., 2020; PRAXEDES et al., 2023).

Com relação a análise de cloretos, em todos os pontos dos três reservatórios ela se manteve dentro do limite para consumo humano como para irrigação (Figura 5), como de acordo com a Tabela 1. Com relação a portaria nº 5/2017 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017), os valores estão bem abaixo do limite máximo de 250 mg L⁻¹, permanecendo adequada para consumo humano a partir do tratamento prévio descrito na portaria. O aumento dos valores de cloreto após a precipitação acumulada pode estar relacionado a ações antrópicas, como pelo despejo de esgotos domésticos, adubação com cloreto de potássio e irrigação, podendo ainda estar associado aos sais dissolvidos pelo intemperismo de rochas pelas chuvas (JARDIM & MIRANDA, 2017; NOLASCO et al., 2020).

De acordo com Filho (2018), os açúdes localizados na bacia do Curu são utilizados principalmente para dessedentação animal, pesca artesanal, usos domésticos locais, piscicultura

intensiva, recreação de contato primário e secundário, indústria, balneário, irrigação, usos públicos (empresas concessionárias) e agricultura de vazante.

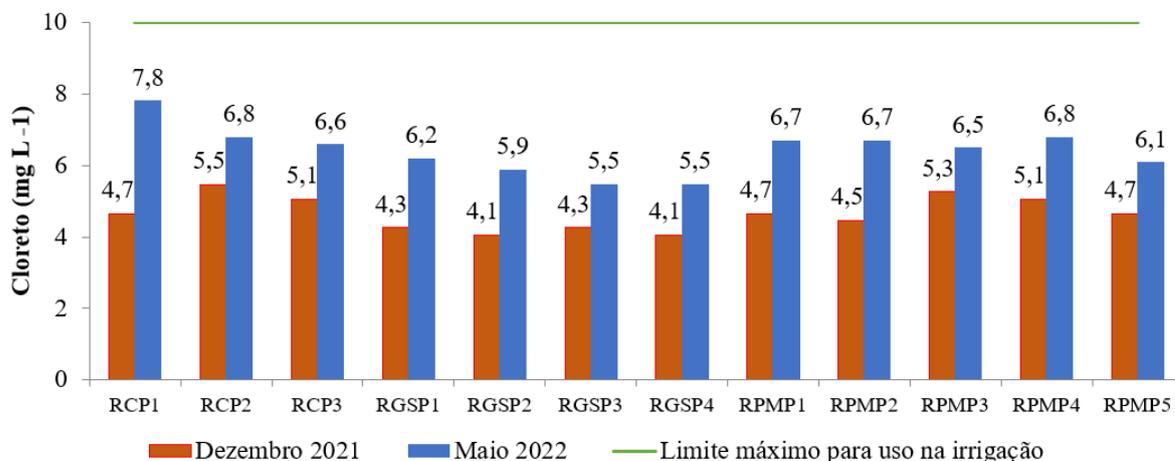


Figura 5. Valores de Cloreto na água de reservatórios na bacia hidrográfica do Curu, Ceará, nos períodos de dezembro de 2021 e maio de 2022, e seus respectivos limites para uso em irrigação e para consumo humano. R = reservatório; P = ponto de coleta; C = Caxitoré; GS = General Sampaio; PM = Pereira de Miranda.

Devido à ampla variedade de tipos de rochas encontrados na região, os solos na bacia do Curu exibem uma notável diversidade. Na região central, onde os três reservatórios estão localizados, existem rochas do embasamento cristalino Pré-Cambriano, onde predominam solos do tipo luvisolos. Esses solos caracterizam-se por serem medianamente profundos, pedregosos, com presença de argila logo abaixo do horizonte superficial e susceptíveis à erosão (INESP, 2009; EMBRAPA, 2018). Quando esses fatores estão associados a chuvas intensas, ocorre uma alta vulnerabilidade à erosão, arrastando sais minerais à rede de drenagem em direção aos reservatórios.

Com relação ao pH das águas, o reservatório Caxitoré teve maior aumento, de 7,4 para 7,8, enquanto o de General Sampaio foi de 7,4 para 7,5 e o de Pereira de Miranda de 7,5 para 7,6 (Figura 6). A recarga ocorrida dentro do período entre coletas promoveu um aumento da alcalinidade, podendo estar relacionado com o intemperismo de rochas calcínicas, liberando carbonatos de cálcio, contribuindo com a elevação do pH (NOLASCO et al., 2020). Porém, não houve prejuízo na qualidade para práticas de irrigação e nem para consumo humano.

Lacerda et al. (2018) demonstram preocupação com os longos períodos de seca, visto que suas consequências são perceptíveis na redução volumétrica dos reservatórios, impactando negativamente na qualidade das águas, como constataram Chaves et al. (2019), Silva et al. (2019a). O baixo nível dos reservatórios aumenta a quantidade de sais dissolvidos, proporcionando a acumulação de nutrientes, prejudicando a qualidade das águas (JUNIOR et al., 2018). Por isso que a recarga por meio das chuvas é tão essencial para diluição dos sais, como apontado por Sena et al. (2015) em um trabalho envolvendo os mesmos reservatórios.

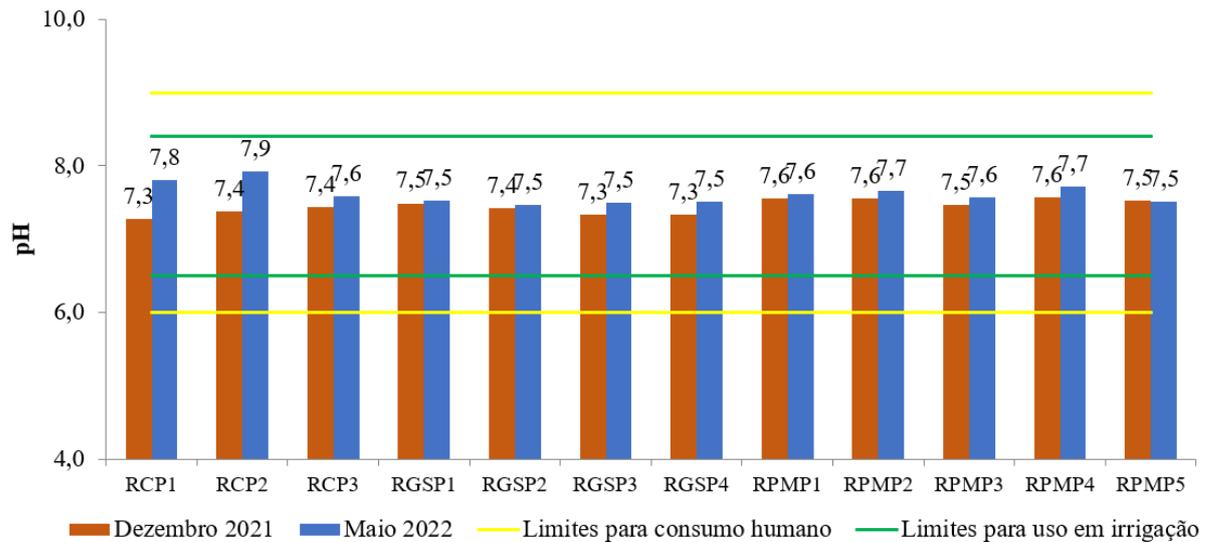


Figura 6. Valores de pH da água de reservatórios da bacia hidrográfica do Curu, Ceará, nos períodos de dezembro de 2021 e maio de 2022, e seus respectivos limites para uso em irrigação e para consumo humano. R = reservatório; P = ponto de coleta; C = Caxitoré; GS = General Sampaio; PM = Pereira de Miranda.

Mesmo que o aumento dos valores de pH não tenha comprometido a aptidão das águas, é importante ressaltar que a qualidade da água doce vem diminuindo no mundo. Conforme apontado por Silva et al. (2019b), a realização de estudos sobre a qualidade da água desempenha um papel crucial na garantia da disponibilidade hídrica e no aprimoramento da gestão dos recursos hídricos. Essa realidade se torna mais importante para os Estados do nordeste, onde a escassez de informações sobre a qualidade das águas estaduais e os eventos de seca se fazem presentes (ANA, 2019).

CONCLUSÕES

O aporte de água devido ao período chuvoso promoveu o aumento da concentração de Cl, porém não o suficiente para aumentar a CEa nos três reservatórios. Os níveis de pH das águas se mantiveram próximos a neutralidade em ambos os períodos. Ademais, os atributos permaneceram adequados tanto para uso na irrigação quanto para consumo humano.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Agência de Desenvolvimento do Estado do Ceará - ADECE, processo n. 09/2017, e o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico -

CNPq, processo n. 439.304/2018-0, pelo apoio financeiro desta pesquisa. Agradecimentos também à CNPq pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, V. E. S. A.; ROCHA, E. J. P.; JÚNIOR, A. D.; CARNEIRO, B. S. Análise de Parâmetros de Qualidade da Água em Decorência de Efeitos da Precipitação na Baía de Guajará - Belém - PA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 2, p. 661-680, 2019.

ANA - Agência Nacional das águas. **Sistema de Acompanhamento de Reservatórios**. Brasília: ANA, 2019. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/sar/>>. Acesso em: mai. 2023.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. FAO Irrigation and Grainage Paper, 29, revisão 1, 186p, 1985.

BRASIL. **Portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017**. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Diário Oficial da União. Brasília, DF, n. 409477, 2019. Brasília, 2017. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017_comp.html>. Acesso em: jul. 2023.

BRASIL. **Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_24_05_2021_rep.html>. Acesso em: jul. 2023.

CHAVES, L. C. G.; LOPES, F. B.; MAIA, A. R. S.; MEIRELES, A. C. M.; ANDRADE, E. M. Water quality and anthropogenic impact in the watersheds of service reservoirs in the Brazilian semi-arid region. **Revista Ciência Agronômica**, v. 50, n. 2, p. 223-233, 2019.

EMBRAPA-Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 5 ed. Brasília, DF, 2018.

FERREIRA, K. C. D.; LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; MEIRELES, A. C. M.; SILVA, G. S. Adaptação do índice de qualidade de água da National Sanitation Foundation ao semiárido brasileiro. **Revista Ciência Agronômica**, 2015. v. 46, n. 2, p. 277-286.

FILHO, R. R. M. **Uso e ocupação do solo nas margens e entorno do açude Pereira de Miranda, e suas consequências para o reservatório**. 2018. 74 f. Monografia (Graduação em Engenharia Civil). Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, UFC, 2018.

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Postos pluviométricos**. Disponível em: <http://www.funceme.br/?page_id=2694>. Acesso em: mai. 2023.

INESP - Instituto de Estudos e Pesquisas para o Desenvolvimento do Estado do Ceará. **Caderno regional da Bacia do Curu**, v. 4, 116 p., INESP: Fortaleza, 2009.

JARDIM, P. B.; MIRANDA, V. L. G. Mata ciliar e qualidade de água em nascentes do município de Ouro Branco, Minas Gerais. Além dos Muros da Universidade: **Revista da Cátedra AMDE**, 2 (2), 2017.

JUNIOR, C. A. N. R.; COSTA, M. R. A.; MENEZES, R. F.; ATTAYDE, J. L.; BECKER, V. Water volume reduction increases eutrophication risk in tropical semi-arid reservoirs. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 30, e106, 2018.

LACERDA, L. D.; SANTOS, J. A.; MARINS, R. V.; SILVA, F. A. T. F. Limnology of the largest multi-use artificial reservoir in NE Brazil: The Castanhão Reservoir, Ceará State. **Anais da Academia Brasileira de Ciência**, vol. 90, 2018.

LIMA, L. C.; OLIVEIRA, J. F. D.; SIQUEIRA, J. C.; FIA, R.; MATOS, M. P. **Determinação da concentração de sólidos dissolvidos totais por meio da medição da condutividade elétrica**. XLVI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA, ed. 46, 2017.

MACHADO, T. T. V.; DIAS, J. T.; FILHO, A. C. A.; GADELHA, C. L. M.; SILVA, T. C. Avaliação da qualidade de águas de chuva armazenadas em cisternas de placas e de polietileno em um município do semiárido do estado da Paraíba. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 1, p. 151-158, jan/fev, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220180003>.

MENDONÇA, J. C.; LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; PRAXEDES, C. F.; LIMA, F. J. O.; SILVA, F. H. O. Qualitative vulnerability of the waters of a surface reservoir subjected to drought in a tropical semi-arid region. **Revista Ciência Agronômica**, v. 54, p. 1-11, 2023.

NOLASCO, G. M.; GAMA, E. M.; REIS, B. M.; REIS, A. C. P.; GOMES, F. J. S.; MATOS R. P. Análise da alcalinidade, cloretos, dureza, temperatura e condutividade em amostras de água do município de Almenara/MG. **Revista de Educação Ciência e Tecnologia de Almenara/MG**, v. 2, n. 2, mai./ago. 2020.

PONTE, N. S. C.; NORONHA, V. S.; SILVA, F. H. O.; AMARAL, J. B. C.; LOPES, F. B. Estimating concentrations of chlorophyll-a and suspended sediments in a continental aquatic ecosystem using remote sensing. **Agro@ambiente on-line**, v. 14, p. 1-13, 2020.

PRAXEDES, C. F.; LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M. SILVA, T. T.; SILVA, B. H. Evaluation of nitrogen and phosphorus in surface reservoirs of the semi-arid region of Brazil using mass balance. **Revista Ciência Agronômica**, v. 14, p. 1-16, 2023.

PRESTON, W.; TAVARES, J. L.; ROSADO, A. K. H. B.; LUCENA, S. V.; SANTOS, H. D. C.; VIEIRA, M. D. **Influência das alterações no uso do solo sobre a qualidade da água no trecho urbano do rio mossoró no semiárido brasileiro**. 19º Congresso Nacional de Meio Ambiente. 14 n.1, 2022.

REGINATO, P. A. R.; SANFERARI, A.; ATHAYDE, G. B.; BORTOLIN, T. A.; LEÃO, M. I.; SCHWANCK, F.; KLEIN, M. A. Análise da influência de fraturas, da precipitação e da produção de poços no pH e na condutividade elétrica (CE) das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral (SASG), na região nordeste do estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisas em Geociências**, v. 48, n. 2, 2021.

SENA, M. G. T.; LOPES, F. B.; ANDRADE, E. M.; OLIVEIRA, C. M. B.; LIMA, F. J. O. Variabilidade da condutividade elétrica e do pH nas águas superficiais da região semiárida. III Inovagri Internetonal Meeting, Fortaleza, Ceará, Brasil, 2015.

SILVA, A. M. C.; CUNHA, M. C. C., LOPES, D. V. Qualidade da água como reflexo de atividades antrópicas em bacias hidrográficas do Nordeste, Brasil. **Geosul**, Florianópolis, v. 34, n. 72, p. 102-123, 2019a.

SILVA, C. O. F.; GOVEIA, D. Avaliação da qualidade ambiental de corpos hídricos urbanos utilizando análise multivariada. **Interações**, Campo Grande, v. 20, n. 3, 2019b.

SILVA, J. P.; BEZERRA, C. E.; RIBEIRO, A. A. Avaliação da qualidade da água armazenada em cisternas no semiárido cearense. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, 2020. v. 14, n. 1, p. 27-35.