

## AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO DE CORPOS HÍDRICOS NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO APODI- MOSSORÓ/RN, BRASIL

**Wédina Rodrigues de Lima**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

E-mail: [wedinalima@hotmail.com](mailto:wedinalima@hotmail.com)

**Kívia Soares de Oliveira**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

E-mail: [kiviaoliv@yahoo.com.br](mailto:kiviaoliv@yahoo.com.br)

**Jean Leite Tavares**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

E-mail: [jean.tavares.ifrn@gmail.com](mailto:jean.tavares.ifrn@gmail.com)

### Resumo

Nas últimas décadas, o uso dos recursos hídricos de forma desordenada, sobretudo devido ao acelerado crescimento demográfico e à intensificação de atividades antrópicas, tem levado ao desequilíbrio na sua disponibilidade e ao aumento da preocupação com a qualidade das águas. Nesse contexto, objetivou-se com este estudo avaliar a qualidade da água dos corpos aquáticos da Bacia Hidrográfica Apodi-Mossoró, com a finalidade de classificá-los em diferentes graus de trofia, através do Índice de Estado Trófico (IET). As informações sobre o IET nos reservatórios foram obtidas através de dados secundários, disponibilizados pelo Programa QUALIÁGUA, que realizou o monitoramento das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró, no período de 2018 a 2019. Os dados do monitoramento demonstraram que o Açude Passagem de Pedras foi o que apresentou o maior IET, categorizado com média Hipereutrófico, enquanto o Açude Rodeador e a Barragem do Gênésio foram categorizados com índices Eutrófico e os demais apresentaram índice Mesotrófico. Portanto, ressalta-se a importância de um monitoramento sistemático para preservar, promover uma recuperação do corpo hídrico, como também para as mitigações que auxiliem nas intervenções apropriadas.

**Palavras-chave:** Monitoramento; Corpo hídrico; Qualidade da água.

## EVALUATION OF THE TROPHIC STATE INDEX OF WATER BODIES IN THE APODI-MOSSORÓ/RN RIVER BASIN, BRAZIL

### Abstract

In the last decades, the uncontrolled use of water resources, mainly due to the accelerated demographic growth and the intensification of anthropic activities, has led to an imbalance in their availability and to an increase in the concern about water quality. In this context, the aim of this study was to evaluate the water quality of water bodies in the Apodi-Mossoró Hydrographic Basin, to classify water bodies in different trophic degrees, by means of the Trophic State Index (TSI). The information about the TSI in the reservoirs was obtained by means of secondary data, surveyed by made available by the QUALIÁGUA Program, which conducted the monitoring of surface waters in the Apodi-Mossoró River Basin, in the period from 2018 to 2019. The monitoring data showed that the Barragem Passagem de Pedras presented the highest EIT, categorized as an Hypereutrophic mean, while the Açude Rodeador and Barragem do Gênésio were categorized as Eutrophic index and the others presented a Mesotrophic index. Therefore, we emphasize the importance of systematic monitoring to prevent and promote the recovery of the water body, as well as for mitigations to assist in appropriate interventions.

**Key words:** Monitoring; Water body; Water quality.

## **EVALUACIÓN DEL ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO DE LAS MASAS DE AGUA EN LA CUENCA DEL RÍO APODI-MOSSORÓ/RN, BRASIL**

### **Resumen**

En las últimas décadas, el uso incontrolado de los recursos hídricos, especialmente debido al crecimiento demográfico acelerado y a la intensificación de las actividades antrópicas, ha provocado un desequilibrio en su disponibilidad y una mayor preocupación con la calidad del agua. En este contexto, el objetivo de este estudio fue evaluar la calidad del agua de las masas de agua de la cuenca hidrográfica de Apodi-Mossoró, con el fin de clasificarlas en diferentes grados tróficos, por medio del Índice de Estado Trófico (IET). La información sobre los IET en los embalses fue obtenida a través de datos secundarios, puestos a disposición por el Programa QUALIÁGUA, que realizó el monitoreo de las aguas superficiales de la Cuenca Hidrográfica del Rio Apodi Mossoró en el período de 2018 a 2019. Los datos del monitoreo mostraron que la presa de Passagem de Pedras presentó el mayor IET, categorizada con una media hipereutrófica, mientras que la presa de Rodeador y la de Genésio fueron categorizadas con índices eutróficos y las demás presentaron un índice mesotrófico. Por lo tanto, se enfatiza la importancia de un monitoreo sistemático para prevenir, promover una recuperación del cuerpo de agua, así como para mitigaciones que ayuden en intervenciones apropiadas.

**Palabras-clave:** Monitoreo; Cuerpo hídrico; Calidad del agua.

### **Introdução**

Nas últimas décadas, os recursos hídricos têm sido subjugados ao aumento de atividades antrópicas (ATTIQUE et al., 2019), que têm contribuído para deteriorar a qualidade da água devido à rápida industrialização, expansão populacional e à pressão global reforçada, aumentando assim a degradação ambiental (IQBAL et al., 2017). Essas ações interferem diretamente na qualidade do ambiente, afetando tanto os organismos aquáticos quanto a saúde humana.

Um dos principais problemas que afetam a qualidade das águas em mananciais de todo o mundo e que tem sido intensificado pelas atividades humanas é a eutrofização (SILVA et al., 2018). Esse fenômeno é causado pelo aumento de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, provenientes de lançamentos de efluentes domésticos ou industriais, e que são transportados para os reservatórios em grandes quantidades (VIDAL; CAPELO NETO, 2014; SILVA et al., 2018). Esse cenário favorece o crescimento excessivo das algas ou de macrófitas aquáticas nos corpos hídricos, tornando essas águas com baixo padrão de qualidade (VIDAL; CAPELO NETO, 2014; SILVA et al., 2017).

Em ecossistemas aquáticos, o aumento no grau de trófia é um processo que pode ocorrer naturalmente (SILVA et al. 2018). Todavia, o enriquecimento da biomassa de organismos fotossintéticos, algas e plantas aquáticas, em decorrência do aumento de nutrientes faz com que a luz do sol não penetre na água, o que leva à morte de grande parte da biomassa fotossintética, e sua decomposição favorece a proliferação de bactérias

aeróbias que consomem o oxigênio dissolvido na água (KOHATSU et al., 2020). Como consequência, ocorre a perda da biodiversidade e da qualidade da água, resultando em altos custos para o seu tratamento (SCHINDLER et al., 2016; JEPPESEN et al., 2017).

A qualidade da água é uma das questões mais críticas na gestão dos reservatórios devido aos seus fortes efeitos sobre o meio ambiente natural e à vida humana, o que reforça a necessidade de desenvolver planos de gestão de recursos hídricos que revertam ou minimizem esses impactos (CHOU et al., 2018). Através do monitoramento da qualidade da água é possível avaliar as condições dos recursos hídricos disponíveis capazes de atender a demanda e a oferta, com base em critérios que assegurem a manutenção do bem-estar para as gerações atuais e futuras (BARRETO et al., 2014).

Nesse aspecto, a avaliação da qualidade da água propicia um amplo diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica estudada, permitindo analisar o comportamento dos ambientes aquáticos resultantes dos impactos antrópicos na sua área de drenagem ou de influência (CUNHA; CALIJURI, 2010). Logo, o uso de estratégias que visem ao equilíbrio na disponibilidade hídrica é um subsídio para a sustentabilidade, pois é uma forma de assegurar a oferta e a preservação da água para os múltiplos usos (SANTOS et al., 2011).

A classificação do corpo hídrico em diferentes graus de trofia para determinar a qualidade da água pode ser feita através do Índice de Estado Trófico (IET), que é um meio adequado para mensurar a relação entre as alterações nas concentrações de nutrientes (fósforo, nitrogênio) e a biomassa algal (mensurada pela clorofila “a”) (PEREIRA; RODRIGUES, 2006; SILVA et al., 2017). Segundo Lamparelli (2004), o fósforo atua como nutriente limitante para processos biológicos e a clorofila “a” como indicadora da biomassa fitoplanctônica presente no reservatório. Logo, devido à facilidade e à pequena quantidade de variáveis necessárias para sua obtenção, pode ser utilizado como um instrumento eficaz e econômico para a avaliação dos efeitos da sazonalidade da eutrofização sobre os reservatórios (SILVA et al., 2018).

Diversos autores destacam a importância dos estudos de estado trófico, já que podem ajudar a entender as alterações no estado de qualidade das águas nos corpos hídricos (LIU et al., 2016; PINHO et al., 2018; OLIVEIRA et al., 2020). Ademais, esses estudos são capazes de evidenciar dados valiosos sobre a variação dos indicadores de qualidade das águas e dos estados tróficos desses locais (SILVA et al., 2018).

Nesse contexto, o presente estudo objetivou avaliar a qualidade da água dos corpos aquáticos da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró, com a finalidade de

classificar corpos d'água em diferentes graus de trofia, por meio do Índice de Estado Trófico (IET).

## **Material e métodos**

### ***Área de estudo***

As amostragens das águas superficiais foram realizadas trimestralmente entre o período de março de 2018 a setembro de 2019, em corpos d'água na Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró, localizada na região oeste do estado do Rio Grande do Norte. A bacia abrange uma área de 14.276 km<sup>2</sup>, equivalente a 26,8% da área do estado (SILVA et al., 2020). É considerada a segunda maior bacia hidrográfica potiguar, com a concentração de 618 açudes, totalizando um volume de 469.714.600 km<sup>3</sup> de água, equivalentes a 27,4% do total de açudes e 10,7% dos volumes de água acumulados no Estado (IGARN, 2017). Logo, é responsável por drenar uma área de cerca de 15.500 km<sup>2</sup>, o que confere uma grande importância econômica, sobretudo pelas atividades de extração de petróleo, produção de sal marinho, utilização dos solos para agricultura e fruticultura irrigada, pecuária extensiva, mineração de calcário, entre outras atividades socioeconômicas (CARVALHO et al., 2011).

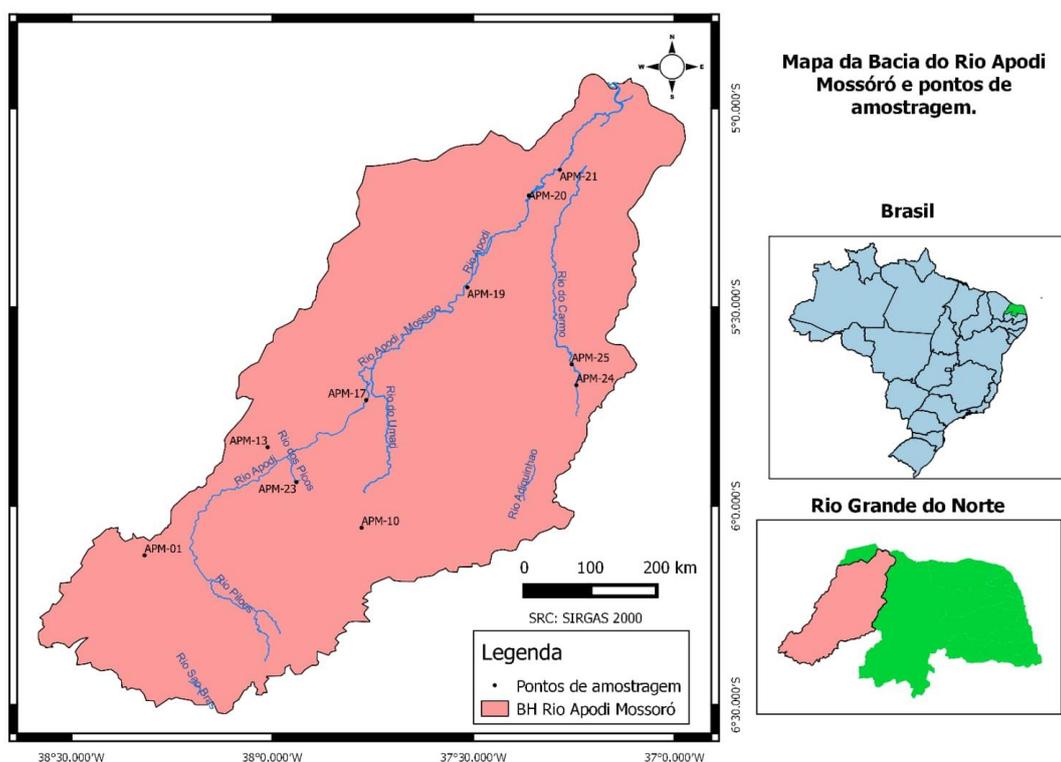
A vazão do Rio Apodi-Mossoró é de cerca de 360 milhões de m<sup>3</sup>/ano, com o escoamento começando no mês de fevereiro e reduzindo, drasticamente, a partir do mês de junho, tornando-se praticamente nulo nos meses de novembro e dezembro (OLIVEIRA et al., 2009). Isto se deve ao fato de estar inserida em uma região de clima semiárido, com regimes pluviométricos irregulares, que favorecem os altos índices de evaporação e a escassez de água, conforme levantamento pluviométrico de alguns municípios distribuídos ao longo da bacia (OLIVEIRA et al., 2009).

O clima predominante da região é do tipo BSw'h, segundo a classificação climática de Köppen, caracterizado por um clima muito quente e semiárido, com a estação chuvosa se atrasando para o outono (IDEMA, 2008). Já no extremo sudoeste da bacia, onde estão suas nascentes, ocorre o tipo Aw', caracterizado por um clima tropical chuvoso com verão seco e estação chuvosa se adiantando para o outono (ALVARES et al., 2013). Na região predomina os solos Podzólico Vermelho-Amarelo Eutrófico (28%) e Cambissolo Eutrófico (19%), com distribuições na superfície da bacia (IGARN, 2014). Além disso,

apresenta solos rasos com pouca cobertura vegetal, devido à vegetação esparsa e de pequeno porte do bioma caatinga (OYAMA; NOBRE, 2004).

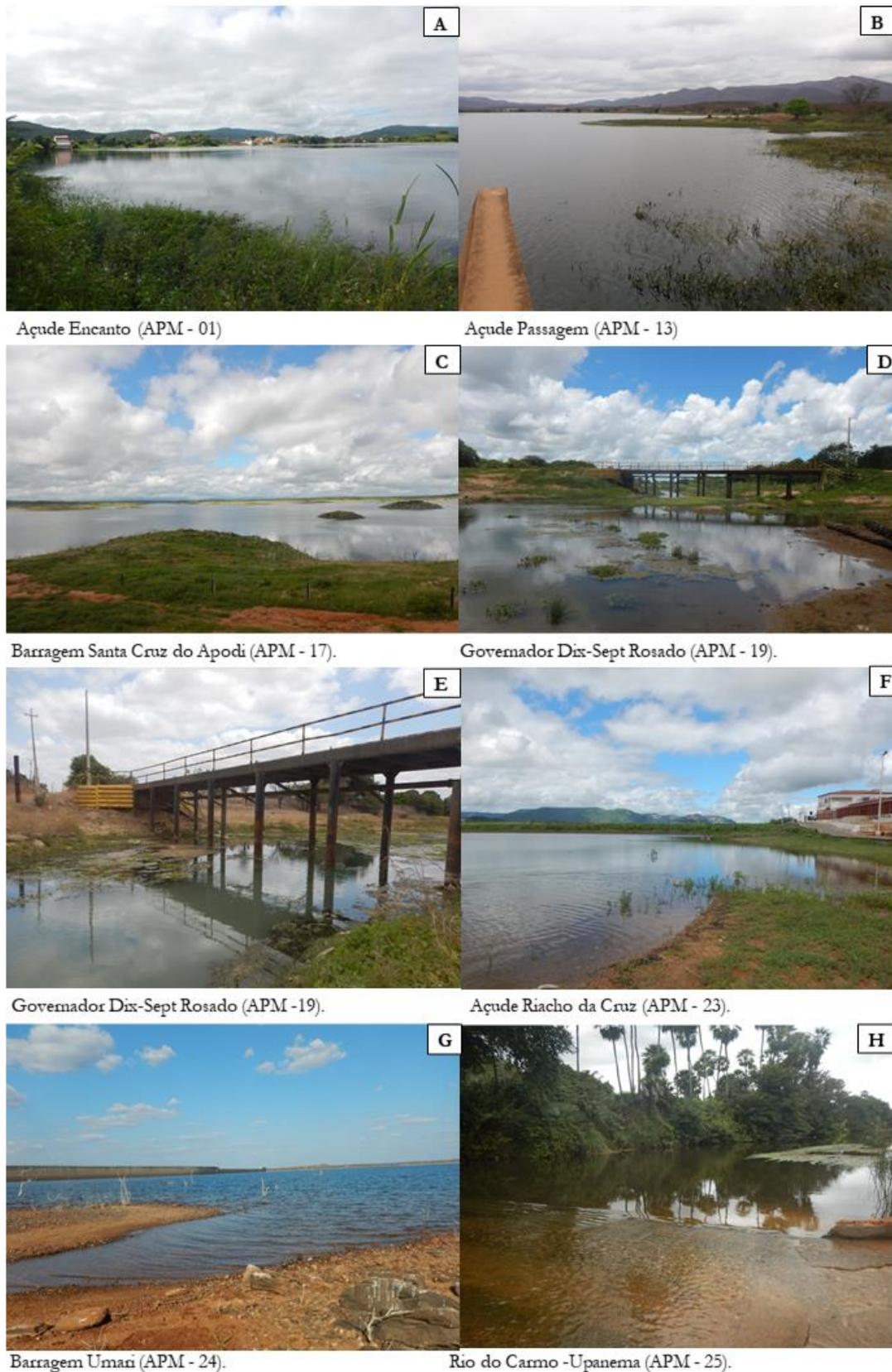
Para este estudo foram selecionados 10 (dez) pontos de coleta ao longo da área de estudo: Açude Encanto (APM - 01), Açude Rodeador (APM - 10), Açude Passagem (APM -13), Barragem Santa Cruz do Apodi (APM - 17), Rio Apodi-Mossoró - Governador Dix-Sept Rosado (APM - 19), Barragem do Genésio (APM - 20), Rio Apodi-Mossoró - Passagem de Pedras (APM - 21) Açude Riacho da Cruz (APM - 23), Barragem Umari (APM - 24) e Rio do Carmo – Upanema (APM - 25) (Figura 1; Figura 2A-J).

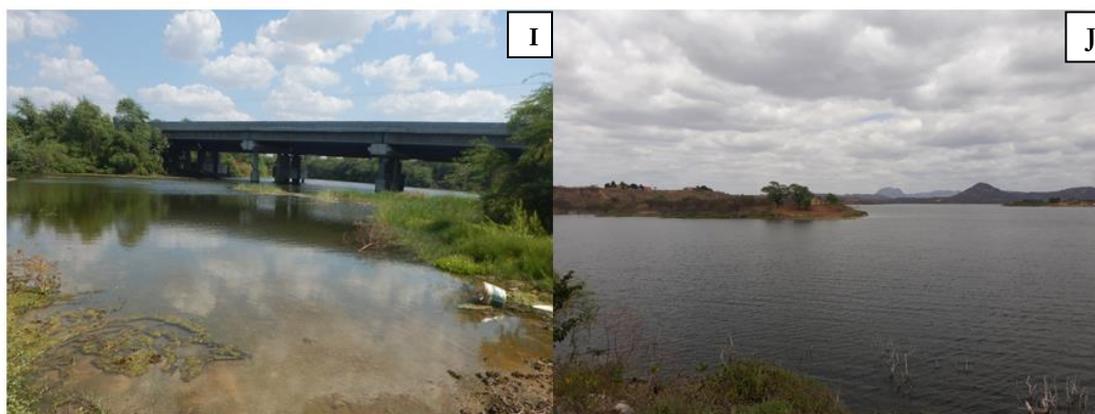
**Figura 1.** Localização dos pontos de amostragem distribuídos na Bacia Hidrográfica Apodi-Mossoró, Rio Grande do Norte, Brasil.



Elaboração: Cunha, J. A. Fonte: IGARN (2023).

**Figura 2.** Pontos de coleta na Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró/RN, em monitoramento realizado no período de 2018 a 2019.





Barragem do Gênésio - (APM - 20)

Açude Rodeador (APM – 10).

Fonte: IGARN (2019).

### ***Amostragem***

Este estudo resultou de um levantamento de dados secundários oriundos dos relatórios do Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água – QUALIÁGUA, com convênio entre: Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte (IGARN) e Agência Nacional das Águas (ANA), com o objetivo de obter informações relacionadas à qualidade das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi -Mossoró.

Para o recolhimento da água superficial nos respectivos locais e obtenção destes dados, foram utilizados: vidros de âmbar (capacidade de 1L) e frascos de polietileno (capacidade de 500 mL), empregando os métodos Colorimétrico e Espectrofotométrico (acetona 90%) para as análises dos parâmetros do fósforo total ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) e da clorofila “a” ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ), respectivamente, seguindo as instruções do *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005), com os procedimentos analíticos realizados no laboratório da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado do Rio Grande do Norte (EMPARN).

### ***Aplicação do Índice de Estado Trófico (IET)***

Tem por finalidade classificar corpos d’água em diferentes graus de trofia, ou seja, avalia a qualidade da água quanto ao enriquecimento por nutrientes e seu efeito relacionado ao crescimento excessivo das algas ou ao aumento da infestação de macrófitas aquáticas, aplicando-se duas variáveis: clorofila “a” e fósforo total (CETESB, 2016).

O Índice de Estado Trófico (IET) é calculado através do Índice do Estado Trófico para o fósforo – IET(PT) e o Índice do Estado Trófico para a clorofila “a” – IET(CL), sendo estabelecidos para ambientes lóticos (rios) e lênticos (reservatórios), respectivamente, segundo as equações a seguir:

- Rios

$$IET_{CL} = 10 * (6 - ((-0,7 - 0,6 * (\ln CL)) / \ln 2)) - 20 \text{ (Eq. 1)}$$

$$IET_{PT} = 10 * (6 - ((0,42 - 0,36 * (\ln PT)) / \ln 2)) - 20 \text{ (Eq. 2)}$$

- Reservatórios (açudes e barragens)

$$IET_{CL} = 10 * (6 - ((0,92 - 0,34 * (\ln CL)) / \ln 2)) \text{ (Eq. 3)}$$

$$IET_{PT} = 10 * (6 - ((1,77 - 0,42 * (\ln PT)) / \ln 2)) \text{ (Eq. 4)}$$

em que:

PT: concentração de fósforo total medida à superfície da água, em  $\mu\text{g. L}^{-1}$ ;

CL: concentração de clorofila “a” medida à superfície da água, em  $\mu\text{g. L}^{-1}$ ;

ln: logaritmo natural.

Logo, após os resultados apresentados nos índices relativos ao fósforo total e à clorofila “a”, efetuou-se uma média aritmética simples nos índices, de acordo com a equação abaixo:

$$IET = [IET_{PT} + IET_{CL}] / 2 \text{ (Eq. 5)}$$

Os valores do IET são classificados segundo classes de estado tróficos, e os seus limites estabelecidos de acordo com a Tabela 1. As características principais de cada estado trófico estão descritas na Tabela 2.

**Tabela 1.** Limites estabelecidos para diferentes classes de trofia para rios

<b>Categoria do estado trófico</b>	<b>Ponderação</b>	<b>Fósforo total (mg. L<sup>-1</sup>)</b>	<b>Clorofila "a" (µg. L<sup>-1</sup>)</b>
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$	$P \leq 13$	$CL \leq 0,74$
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	$13 < P \leq 35$	$0,74 < CL \leq 1,31$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$	$35 < P \leq 137$	$1,31 < CL \leq 2,96$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$	$137 < P \leq 296$	$2,96 < CL \leq 4,70$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$	$296 < P \leq 640$	$4,70 < CL \leq 7,46$
Hipertrófico	$IET > 67$	$P > 640$	$CL > 7,46$

Fonte: CETESB (2016).

**Tabela 2.** Classe de estado trófico e suas características principais.

<b>Classes de estado trófico</b>	<b>Características</b>
Ultraoligotrófico	Corpos d'água limpos, de produtividade muito baixa e concentrações insignificantes de nutrientes que não acarretam prejuízos aos usos da água.
Oligotrófico	Corpos d'água limpos, de baixa produtividade, em que não ocorrem interferências indesejáveis sobre os usos da água, decorrentes da presença de nutrientes.
Mesotrófico	Corpos d'água com produtividade intermediária, com possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis, na maioria dos casos.
Eutrófico	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, com redução da transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem alterações indesejáveis na qualidade da água decorrentes do aumento da concentração de nutrientes e interferências nos seus múltiplos usos.
Supereutrófico	Corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, nos quais ocorrem com frequência alterações indesejáveis na qualidade da água, como a ocorrência de episódios de florações de algas, e interferências nos seus múltiplos usos.
Hipereutrófico	Corpos d'água afetados significativamente pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, com comprometimento acentuado nos seus usos, associado a episódios florações de algas ou mortandades de peixes, com consequências indesejáveis para seus múltiplos usos.

**Fonte:** CETESB (2007); LAMPARELLI (2004).

### **Análises dos dados**

Para verificar os parâmetros fósforo total e clorofila “a”, na representação das médias e desvio padrão, utilizou-se o programa IBM SPSS versão 20.0. O cálculo referente ao Índice do Estado Trófico (IET) foi feito através do aplicativo disponibilizado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo – CETESB.

### **Resultados e Discussão**

Com base nos valores dos parâmetros fósforo total e clorofila “a”, foi possível determinar o estado trófico dos mananciais superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró (Tabela 3). Os dados do monitoramento demonstraram que o Açude Passagem de Pedras (APM - 21) foi o que apresentou o maior IET, categorizado como

índice Hipereutrófico, enquanto o Açude Rodeador (APM - 10) e a Barragem do Genésio (APM - 20) foram categorizados com índice Eutrófico (Tabela 3). Já a Barragem Santa Cruz do Apodi (APM - 17), Açude Encanto (APM - 01), Rio do Carmo (APM - 25), Açude Passagem (APM - 13), Rio Governador Dix-Sept Rosado (APM - 19), Açude Riacho da Cruz (APM - 23), Barragem Umari (APM - 24) e Rio do Carmo (APM - 25) foram caracterizados com índice Mesotrófico (Tabela 3).

**Tabela 3.** Valores médios (média e desvio padrão) dos parâmetros fósforo total e clorofila “a” e Índice de Estado Trófico (IET) dos pontos de coleta da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró, obtidos através do monitoramento realizado no período de 2018 a 2019.

Nome do ponto de coleta	Fósforo total ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Clorofila “a” ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	IET
Açude Encanto (APM - 01)	45,93 $\pm$ 42,02	4,26 $\pm$ 2,93	57,99 $\pm$ 2,55
Açude Rodeador (APM - 10)	45,71 $\pm$ 26,99	8,51 $\pm$ 10,14	60,32 $\pm$ 3,91
Açude Passagem (APM - 13)	51,43 $\pm$ 33,38	1,33 $\pm$ 0,80	55,96 $\pm$ 2,40
Barragem Santa Cruz do Apodi (APM - 17)	41,43 $\pm$ 30,24	1,09 $\pm$ 1,11	53,15 $\pm$ 3,49
Rio Apodi-Mossoró - Gov. Dix-Sept Rosado (APM - 19)	58,57 $\pm$ 35,79	2,07 $\pm$ 2,79	54,72 $\pm$ 3,19
Barragem do Genésio - (APM - 20)	105,7 $\pm$ 176,81	23,79 $\pm$ 44,90	61,88 $\pm$ 6,19
Rio Apodi-Mossoró - Passagem de Pedras (APM - 21)	116,29 $\pm$ 88,19	22,21 $\pm$ 18,92	71,85 $\pm$ 3,73
Açude Riacho da Cruz (APM - 23)	54,29 $\pm$ 36,90	1,55 $\pm$ 0,80	56,27 $\pm$ 2,67
Barragem Umari (APM - 24)	55,71 $\pm$ 12,72	1,47 $\pm$ 1,24	56,16 $\pm$ 2,69
Rio do Carmo -Upanema (APM - 25)	60,00 $\pm$ 32,15	0,43 $\pm$ 0,34	53,70 $\pm$ 2,85

**Fonte:** Autores (2021).

De acordo com o levantamento realizado no açude Passagem de Pedras, localizado na zona rural do município, foi observado elevado índice de eutrofização, representado pela média IET resultante em Hipereutrófico, durante todo o período do monitoramento (Figura 3). Isso pode estar relacionado ao nível de exposição deste corpo hídrico à entrada de fontes difusas, como lançamento de esgoto doméstico, despejo de resíduos sólidos, agricultura e criação de animais (boi, galinha e porco) observadas na região. Tais fatores podem aumentar as concentrações de nutrientes no meio aquático, influenciando diretamente na qualidade da água. Além disso, o fato de não haver a diluição de nutrientes

devido à escassez de chuvas, acaba provocando o aumento considerável na concentração de fósforo na água, levando a um estado hipereutrófico (PINHO et al., 2018).

**Figura 3.** Rio Apodi-Mossoró - Passagem de Pedras (APM - 21).



**Fonte:** IGARN (2019).

Já os reservatórios Barragem Santa Cruz do Apodi, Barragem Umari, Açude Encanto, Rio do Carmo, Açude Passagem, Rio Governador Dix-Sept Rosado, Açude Riacho da Cruz e Rio do Carmo foram caracterizadas como ambientes mesotróficos, sugerindo que esses corpos d'água apresentaram produtividade intermediária de nutrientes, ou seja, com possíveis implicações na qualidade da água, mas em níveis aceitáveis que permite serem utilizados para os seus usos múltiplos.

No açude Encanto, por exemplo, Chaves et al. (2020) destacam que os impactos negativos no ambiente estão associados à supressão da vegetação nativa, às constantes queimadas e aos usos inadequados do solo, seja para cultivos agrícolas ou criação extensiva de rebanhos bovinos e caprinos. Conforme os autores, tais práticas vêm promovendo alterações nas propriedades físico-químicas dos solos, gerando processos erosivos, desregulando o fluxo hídrico da rede de drenagem, além de comprometer a qualidade das águas dos reservatórios e alterar a biodiversidade local, já que os limites exploratórios de suas unidades ambientais não são respeitados.

Por outro lado, Silva et al. (2021) apontam que a Barragem Santa Cruz do Apodi constitui uma área em expansão urbana com predomínio da exploração em meio rural, em que ocorrem as atividades antrópicas de agropecuária e prestação de serviços. Portanto, é uma área que vem sofrendo constantes impactos ambientais oriundos das atividades

antrópicas em seu entorno, provenientes das constantes descargas de esgotos domésticos e industriais lançados em toda sua extensão (SILVA et al., 2020).

O Açude Rodeador e a Barragem do Genésio, por sua vez, foram classificados como eutróficos, sugerindo que esses corpos d'água apresentaram alta produtividade de nutrientes em relação às condições naturais, ou seja, com possíveis implicações na qualidade da água, como redução da transparência e alterações indesejáveis, que comprometem os seus múltiplos usos. Em estudos realizados por Oliveira et al. (2020), no período de 2008 a 2016, o Índice de Estado Trófico no Açude Rodeador resultou em uma média Supereutrófico, indicando elevado grau de eutrofização neste corpo hídrico. Conforme os autores, esse nível de trofia pode ter sido intensificado pela atividade agropastoril que influencia na contaminação. Esse tipo de atividade é frequente no semiárido do nordeste brasileiro em áreas de agricultura familiar e pecuária, resultando em um cenário de intensa exploração (COELHO et al., 2014).

Souza et al. (2018), em estudos realizados no açude Pentecoste/CE, observaram maior probabilidade de ocorrência para o IET com o nível de classificação eutrófico, apresentando uma forte correlação negativa entre a fração de volume de água disponível anual e o IET, o que evidencia a elevação do grau de trofia em consonância com a redução do volume disponível do açude. Os autores relataram ainda que as altas taxas de evaporação aliadas às precipitações irregulares ao longo do ano contribuem para a redução do volume dos reservatórios, que favorece a concentração de solutos e nutrientes na água, promovendo assim mudanças no estado trófico do reservatório. Além disso, a elevação do grau de trofia com a redução do volume do reservatório, evidencia a influência das características climáticas próprias da região sobre a produtividade primária do reservatório.

Quanto às concentrações de fósforo total, todos os pontos apresentaram valores elevados, descaracterizando o corpo hídrico (Tabela 3). Os resultados foram semelhantes aos encontrados por Araújo et al. (2018), os quais mantiveram-se superiores a 0,030 mg. L<sup>-1</sup> (30 µg. L<sup>-1</sup>), limite máximo preconizado pela Resolução CONAMA n° 357/2005 (BRASIL, 2005) para as águas doces de classe 2 em ambientes lênticos. De acordo com Neff et al. (2000), este resultado é preocupante já que o fósforo e o nitrogênio juntos estão associados à proliferação excessiva de algas, floração de algas indesejáveis e a uma redução na vegetação aquática submersa.

Em relação à clorofila “a”, os valores obtidos indicam que a maioria dos corpos aquáticos apresentou baixa biomassa fitoplanctônica, com exceção do Açude Passagem de Pedras e a Barragem do Genésio que apresentaram maiores níveis de clorofila “a” (Tabela

3). Todavia, os valores obtidos para todos os pontos de coleta, durante o período do monitoramento, estiveram dentro do que é recomendado pela resolução CONAMA 357/2005, que é de 30 µg/L Cl “a” para as águas doces de classe 2.

Verificou-se ainda que os valores de fósforo total foram bastante elevados quando comparados às concentrações de clorofila “a”. Isso pode estar associado ao lançamento de esgoto doméstico e uso de fertilizantes na agricultura, práticas bastante comuns na região. Logo, pode-se inferir que o aumento nas concentrações desse nutriente contribuiu para elevar o IET, e conseqüentemente, desencadeou o processo da eutrofização, já que o fósforo é um nutriente limitante para os processos biológicos. Por outro lado, Praxedes et al. (2016) ao estudarem o IET do Reservatório Pedras Brancas/CE, observaram que as concentrações de clorofila “a” em comparação ao fósforo total foram bastante elevadas, o que leva a inferir que grande parte do fósforo total foi consumido pela biomassa produzida já que as concentrações de clorofila “a” foram superiores em relação às do fósforo total.

De forma geral, os dados obtidos nos pontos de coleta na Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró podem ser justificados pelo fato de os corpos hídricos nessa região se encontrarem em estresse hídrico, devido aos baixos índices pluviométricos. Segundo Rocha Junior et al. (2018), a redução do volume de água aumenta as concentrações de fósforo total, nitrogênio total e clorofila “a” nos reservatórios, mas a eutrofização é ampliada com a redução da precipitação, já que a redução do nível da água afeta o estado trófico do corpo hídrico.

Nessa perspectiva, pode-se inferir que o grau de trofia dos reservatórios da região do semiárido do Rio Grande do Norte está associado à redução volumétrica do nível d’água do corpo hídrico no decorrer do ano e também a influência das ações antópicas desenvolvidas na região. Por ser uma região que passa por longos períodos sem chuva, isso acaba prejudicando fatores relacionados à disponibilidade de nutrientes e interferindo diretamente na qualidade da água, e, conseqüentemente, ocasionando mudanças nos meios bióticos e abióticos do corpo aquático.

Outro fator que interfere na qualidade da água da bacia do Rio Apodi-Mossoró é o fato do reservatório apresentar solo do tipo Argissolo Vermelho-Amarelo, que confere uma redução significativa na capacidade de drenagem devido ao acúmulo de argila iluvial (o horizonte Bt). Com isso, pode haver escoamento lateral que chega até os corpos hídricos, transportando nutrientes, além de aumentar a suscetibilidade desses solos à erosão. Logo, a capacidade drenante do solo é prejudicada devido ao aumento de áreas impermeáveis com o solo exposto e, conseqüentemente, promovendo maior intensidade de

escoamento superficial ao longo de corpos hídricos, o que favorece a lixiviação em áreas de atividades antrópicas, como áreas de agricultura e pecuária, e aumenta os níveis de nitrogênio total e fósforo total nos reservatórios (MORAIS NETO, 2018).

Vale ressaltar que as bacias hidrográficas da região semiárida do Brasil possuem algumas particularidades que intensificam o aporte de nutrientes aos reservatórios da região (OYAMA; NOBRE, 2004). A presença de solos rasos com pouca cobertura vegetal, devido à vegetação esparsa e de pequeno porte do bioma caatinga, associados a eventos chuvosos concentrados em poucos dias do ano, favorecem a lixiviação dos solos da região fazendo com que os nutrientes sejam carregados em grande escala para os corpos d'água superficiais, durante o período chuvoso (OYAMA; NOBRE, 2004).

Tendo em vista que a qualidade da água é determinada por fatores como uso da terra, condições hidrológicas e atividades antropogênicas (ZHOU et al., 2017), os diversos usos do corpo hídrico dificultam seu manejo e aceleram o processo de eutrofização, causando a perda da qualidade da água e a redução significativa de seu valor econômico e ambiental (HEO; KIM, 2004). Nesse aspecto, é imperativa a necessidade de aprender a conviver quantitativamente e qualitativamente com a água que se tem disponível, visto que o cenário climático de escassez hídrica inviabiliza um grande armazenamento e compromete a qualidade da água disponível (PRAXEDES et al., 2016).

Diante disso, é recomendável a realização de estudos contínuos nos reservatórios da região semiárida para a observação de padrões de redução ou aumento das cargas de nutrientes recebidas pelos reservatórios, tendo em vista a intensificação do processo de eutrofização e a perda da qualidade de água para o abastecimento dos municípios (BEZERRA et al., 2014). Logo, estudos adicionais são necessários para compreender as mudanças provocadas nos reservatórios da região do semiárido, que poderão servir como subsídio para a recuperação e conservação dos corpos hídricos. Além disso, é necessário monitorar e intervir sobre o uso do solo, os usos múltiplos e as fontes de poluição dos corpos hídricos. Ressalta-se que o planejamento agrícola e ambiental associado a gestão eficiente dos recursos hídricos são instrumentos importantes na melhoria da qualidade das águas desses reservatórios, tão úteis para o enfrentamento da seca no semiárido nordestino.

## **Conclusões**

Neste estudo, a qualidade da água dos corpos aquáticos da Bacia Hidrográfica do Rio Apodi-Mossoró apresentou diferentes graus de trofia. O açude Passagem de Pedras

apresentou elevado grau de trofia, caracterizando-se como hipereutrófico, ou seja, extremamente poluído, em decorrência das fontes difusas de poluição (esgoto doméstico, despejo de lixo, criação de animais e agricultura) e de longos períodos de estiagem. Já o Açude Rodeador e a Barragem do Genésio apresentaram estado eutrófico, ou seja, com alta produtividade, intensificada pelas atividades antrópicas. Tais aspectos comprometem a qualidade da água e sua utilização para usos múltiplos pela região semiárida. Logo, isso indica a necessidade de medidas preventivas/corretivas para evitar que sejam utilizadas medidas reparadoras com custos mais elevados ao tratamento desses corpos hídricos.

Apesar dessa problemática na região, os reservatórios Barragem Santa Cruz do Apodi, Barragem Umari, Açude Riacho da Cruz, Açude Encanto, Rio do Carmo, Açude Passagem e Rio Governador Dix-Sept Rosado foram caracterizados como ambientes mesotróficos, ou seja, com produtividade intermediária e possíveis implicações sobre a qualidade da água, mas em níveis aceitáveis que permitem serem utilizados para os seus usos múltiplos.

Por fim, ressalta-se a importância de um monitoramento sistemático para preservar os recursos hídricos e a necessidade de proporcionar ações corretivas para recuperação da qualidade ambiental nestes ecossistemas aquáticos degradados.

## **Agradecimentos**

Os autores agradecem ao Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte – IGARN e ao Programa QUALIÁGUA pela cessão dos dados para realização desta pesquisa.

## **Referências**

ALVARES C. A.; STAPE J. L.; SENTELHAS P. C.; GONÇALVES J. L. M.; SPAROVEK G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, n. 22, p. 711-728, 2013. 10.1127/0941-2948/2013/0507

APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed. Washington: APHA, 2005. 1268 p.

ARAÚJO, D.R.; MENDONÇA, A.S.F; REIS J.A.T. Análise de variação e comparação de índices de estado trófico: reservatórios dos aproveitamentos hidrelétricos de Rio Bonito e Suíça. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 1, p. 55-62, 2018.

ATIQUÉ, U.; KWANG-GUK, A. Reservoir Water Quality Assessment Based on Chemical Parameters and the Chlorophyll Dynamics in Relation to Nutrient Regime. **Polish Journal of Environmental Studies**, v. 28, n. 3, p. 1043-1061, 2019.

BARRETO, L.V.; FRAGA, M.D.S.; BARROS, F.M.; ROCHA, F.A.; AMORIM, J.D.S.; CARVALHO, S.R.D.; SILVA, D.P.D. Relação entre vazão e qualidade da água em uma seção de rio. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 9, n. 1, p. 118-129, 2014.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, Cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o Inciso XIX do Art. 21 da Constituição Federal, e Altera o Art. 1º da Lei Nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei Nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989: Constituição Federal. Brasília, p. 1-20. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/Leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9433.htm). Acesso em: 28 fev. 2020.

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. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 18 mar. 2005. seção 1, p. 58-63. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br/diarios/501408/pg-58-secao-1-diario-oficial-da-uniao-dou-de-18-03-2005>>. Acesso em: 29 fev. 2020.

BEZERRA, A.F.M.; BECKER, V.; MATTOS, A. Balanço de Massa de Fósforo Total e o Estado Trófico em Reservatórios do Semiárido Brasileiro. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 12, n. 2, p. 67-76, 2014.

CARVALHO, R. G.; KELTING, F. M. S.; SILVA, E. V. Indicadores socioeconômicos e gestão ambiental nos municípios da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, RN. **Revista Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v. 23, n. 1, p. 143-155, 2011.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2007. 23p (Série Relatórios). Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/04.pdf>> Acesso em: 22 fev. 2020.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2016. **IET - Índice do Estado Trófico**. São Paulo: Editora, 2016. p.3 Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/04.pdf>> Acesso em: 22 fev. 2020.

CHAVES, J. I.; PINTO FILHO, J. L. O. Ordenamento territorial no semiárido brasileiro: análise do uso e cobertura das terras da sub-bacia hidrográfica do riacho Encanto/RN. **Revista Equador**, Teresina, v. 9, n. 4, p. 253 – 274, 2020.

CHOU, J.S.; HO, C.C.; HOANG, H.S. Determining quality of water in reservoir using machine learning. **Ecological Informatics**, v. 44, p. 57–75, 2018.

COELHO, V.H.R.; MONTENEGRO, S.M.G.L.; ALMEIDA, C.N.; LIMA, V.E.R.; RIBEIRO NETO, A.; MOURA GSS. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 1, p. 64-72, 2014.

CUNHA, D.G.F.; CALIJURI, M.C. Análise probabilística de ocorrência de incompatibilidade da qualidade da água com o enquadramento legal de sistemas aquáticos – estudo de caso do rio Pariquera-Açu (SP). **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 43, p. 37-346, 2010.

CUNHA, A. **Área da Bacia Hidrográfica do Rio Pitimbu**. Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte – IGARN, Natal/RN, 2016.

GASTALDINI, M.C.C.; SOUZA, M.D.S.; THOMAS FILHO, D.F.; SILVA, G. Diagnóstico do Reservatório do Vacacaí-Mirim através de Índices de Qualidade da Água. In: MARQUES, D. M. (Org.). **Qualidade das Águas Continentais do Mercosul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 1994. p. 279-294.

HEO, W.; KIM, B. The Effect of Artificial Destratification on Phytoplankton in a Reservoir. **Hydrobiologia**, v. 524, n. 229-239, 2004.

IDEMA. Instituto de Desenvolvimento Econômico e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte. **Perfil do seu Município** 2008. Natal, 2008. Disponível em: <http://www.idema.rn.gov.br>. Acesso em: 01 de out. 2023.

IGARN. Instituto de Gestão das Águas do Rio Grande do Norte. **Bacia Apodi/Mossoró**. p. 29, 2014. Disponível em: <http://adcon.rn.gov.br/ACERVO/IGARN/DOC/DOC000000000029746.HTML>. Acesso em: 01 out. 2023.

IGARN. Instituto de Gestão das Águas do Estado do Rio Grande do Norte. **Dados oficiais 2017**. Disponível em: <http://www.igarn.rn.gov.br/>. Acesso em: 15 ago. 2021.

IQBAL, S.; ATIQUE, U.; MUGHAL, M.S.; KHAN, N.; HAIDER, M.S.; IQBAL, K.J.; AKMAL, M. Effect of Selenium Incorporated in Feed on the Hematological Profile of Tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Journal of Aquaculture Research and Development**, v. 8, p. 1-6, 2017.

JEPPESEN E, SONDERGAARD M, LIU Z. Lake Restoration and Management in a Climate Change Perspective: An Introduction. **Water**, v. 9, n. 2, p. 1-8, 2017.

KOHATSU, M.Y.; JESUS, T.A.; MACHADO, G.; HARADA, J. Emprego da nanoargila na remoção de ortofosfato em ensaios de bancada: contribuição para a mitigação do processo de eutrofização. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, Uberaba, v. 5, n. 1, p. 46-56, 2020.

LAMPARELLI, M.C. **Grau de Trofia em Corpos d'água do Estado de São Paulo: Avaliação dos Métodos de Monitoramento**. 2004. 235f. Tese (Doutorado em Ecologia), Universidade de São Paulo - USP, São Paulo/SP, 2004.

LIU, H.B.; PAN, D.; CHEN, P. A two-year field study and evaluation of water quality and trophic state of a large shallow drinking water reservoir in Shanghai, China. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 20, p. 13829-13838, 2016.

MORAIS NETO, J.V. **Áreas de solo exposto intensificam o processo de eutrofização no semiárido brasileiro**. 2018. 29 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, 2018.

NEFF, R.; CHANG, H.; KNIGHT, C.G.; NAJJAR, R.G.; YARNAL, B.; WALKER, H.A. Impact of climate variation and change on mid-Atlantic Region hydrology and water resources. **Climate Research**, v. 14, n. 3, p. 207-218, 2000.

OLIVEIRA, T. M. B. F.; SOUZA, L. S.; CASTRO, S. S. L. Dinâmica da série nitrogenada nas águas da bacia hidrográfica Apodi/Mossoró - RN - Brasil. **Revista Eclética Química**, São Paulo, v. 34, n. 3, p. 17-26, 2009.

OLIVEIRA, C.S.P.; FONSECA, A.S.; DÍAZ, C.A.; SANTOS, W.P. Reflexões sobre o desafio ambiental: níveis de eutrofização e floração de cianobactérias na Bacia Apodi-Mossoró. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, Aracaju, v. 11, n. 5, p. 519-530, 2020.

OYAMA, M. D.; NOBRE, C. A. Climatic consequences of a large-scale desertification in Northeastern Brazil: a GCM Simulation study. **Journal of Climate**, v. 17, p. 3203–3213, 2004.

PEREIRA, L.A.M, RODRIGUES M.A.R. **Estudo sobre a aplicabilidade do índice do estudo trófico de Carlson (1977) na região Lisboa e Vale do Tejo**. Lisboa: Centro de Documentação e Informação / CCDR-LVT, 2006.

PINHO, E.S.; ROSANOVA, C.; MATOS, F.T.; HONDA, R.T.; BUENO, G.W.; AKAMA, A. Avaliação do Índice de Estado Trófico como ferramenta para monitoramento de atividades aquícolas em reservatórios continentais. **Biotemas**, Florianópolis, v. 31, n. 4, p. 23-34, 2018.

PRAXEDES, C.F.; SILVA, L.; CAVALCANTE, R.F. Índice de Estado Trófico do Reservatório Pedras Brancas – CE. In: I CONGRESSO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO (I CONIDIS), Campina Grande, p.1-7, 2016.

ROCHA JUNIOR, C.A.N.; COSTA, M.R.A.; MENEZES, R. F.; ATTAYDE, J. L.; BECKER, V. Water volume reduction increases eutrophication risk in tropical semi-arid reservoirs. Thematic Section: Limnology in Brazilian Semi-arid Region. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, v. 30, p. 101-106, 2018.

SANTOS, V.S.; CURI, W.F.; CURI, R.C.; VIEIRA, A.S. Um Modelo de Otimização Multiobjetivo para Análise de Sistema de Recursos Hídricos I: Metodologia. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 49-60, 2011.

SCHINDLER, D.W.; CARPENTER, S.R.; CHAPRA, S.C.; HECKY, R.E.; ORIHIEL, D.M. Reducing phosphorus to curb lake eutrophication is a success. **Environmental Science & Technology**, v. 50, n. 17, p. 8923–8929, 2016.

SILVA, I.S.; MENDONÇA, M.C.S.; SILVA, A.F.; GARCIA, C.A.B.; GARCIA, H.L. Variabilidade do Índice de Estado Trófico do Reservatório da Marcela em Sergipe. In: XXII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS – SBRH. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Florianópolis/SC. p.1-8, 2017.

SILVA, D.C.V.R.; QUEIROZ, L.G.; ALAMINO, D.A.; FERNANDES, J.G.; SILVA, S.C. da; PAIVA, T.C.B.; POMPEO, M.L.M. Avaliação da eficiência de um índice de estado trófico na determinação da qualidade da água de reservatórios para abastecimento público. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 4, p. 627-635, 2018.

SILVA, W. B.; BEZERRA, J. M.; FEITOSA, A. P.; SILVA, P. C. M.; REGO, A. T. A. Uso e Ocupação do Solo na Bacia Hidrográfica do Açude Santa Cruz do Apodi/RN. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 43, p. 397-407, 2020.

SILVA, B. K. N.; SILVA, M. T.; BARBOSA, E.; SILVA, F. D.S.; ROCHA JÚNIOR, R. L.; SERRÃO, E. A.O.; SILVA, V. P. R.; SILVA, C. M. S. Avaliação de Extremos de Erosividade Causados pela Precipitação na Bacia do Rio Apodi/Mossoró-RN. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. Especial, 871-879, 2020.

SILVA, W. B.; BEZERRA, J. M.; RÊGO, A. T. A. do. Qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Açude Santa Cruz do Apodi, Rio Grande do Norte. **Revista Verde**, Pombal, v. 16 n. 2, p. 164-173, 2021.

SOUZA, S.O.; LIMA, G.R.R.; ALENCAR, F.K.M.; SILVA, F.J.A. Avaliação da relação entre o Índice de Qualidade da Água e o Índice de Estado Trófico em Reservatório do Semiárido. **In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL**. São Bernardo do Campo/SP, p.1-6, 2018.

VIDAL, T.F.; CAPELO NETO, J. Evolução temporal da qualidade da água do Açude Gavião/CE e sua correlação com outros fenômenos. **In: X Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 10, n. 12, p. 124-133, 2014.

ZHOU, Y.; JIANRONG, M.A.; ZHANG, Y.; QIN, B.; JEPPESEN, E.; SHI, K.; BROOKES, J.D.; SPENCER, R.G.M.; ZHU, G.; GAO, G. Improving water quality in China: Environmental investment pays Dividends. **Water Research**, [s.l.], v. 118, p 152-159, 2017.

Recebido em: fevereiro de 2022

Aceito em: dezembro de 2023