

# Utilização de métodos para a avaliação do índice de estado trófico de um açude no semiárido cearense

*Use of methods for the evaluation of the trophic state index of a reservoir in the semi- arid region of Ceará*

- **Data de entrada:** 26/10/2021
- **Data de aprovação:** 02/10/2023

Maks Renan Rodrigues Maia<sup>1</sup> | Ana Bárbara de Araújo Nunes<sup>1\*</sup>

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2024.052>

## Orcid ID

Maia MRR  <https://orcid.org/0000-0003-0681-9810>

Nunes ABA  <https://orcid.org/0000-0001-5845-6252>

## Resumo

A deficiência na gestão do uso e ocupação do solo, aliada ao crescimento da população e à expansão da indústria, tem provocado um decréscimo na qualidade dos recursos hídricos, propiciando o fenômeno da eutrofização, que representa um risco à saúde e reduz a qualidade da água em seus diversos usos. O índice de estado trófico (IET) surge como uma ferramenta para avaliar o estado de trofia de um reservatório. Este trabalho utilizou diferentes métodos para determinar o IET do Açude Banabuiú a partir dos métodos de Carlson, Toledo *et al.*, Lamparelli, Cunha e Rolim, tendo como objetivo classificar o corpo hídrico. Para esta análise, coletaram-se os dados de qualidade de água da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), referentes ao período de novembro de 2014 a abril de 2019. Segundo os métodos escolhidos, o Reservatório do Banabuiú foi classificado, respectivamente, como hipereutrófico, eutrófico, hipereutrófico, hipereutrófico e eutrófico.

**Palavras-chave:** Reservatório. Eutrofização. Qualidade de água.

## Abstract

*The deficiency in the management of the use and occupation of the soil, allied to the growth of the population and the expansion of industry, have caused a decrease in the quality of the hydric resources, propitiating the eutrophication phenomenon, which represents a risk to the health and reduces the water quality in its several uses. The trophic state index (TSI) is a tool to evaluate the trophic state of a reservoir. This work used different methods to determine the TSI of the Banabuiú Weir from the methods of Carlson, Toledo *et al.*, Lamparelli, Cunha, and Rolim, aiming to classify the water body. For this analysis, water quality data was collected from the Water Resources Management Company (COGERH), referring to the period from November 2014 to April 2019. Based on the chosen methods, the Banabuiú Reservoir was classified, respectively, as hypereutrophic, eutrophic, hypereutrophic, hypereutrophic, and eutrophic.*

**Keywords:** Reservoir. Eutrophication. Water quality.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Ceará – Fortaleza – Ceará – Brasil

\* **Autor correspondente:** [abarbara@ufc.br](mailto:abarbara@ufc.br)

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2010), a água potável limpa, segura e adequada é vital para a sobrevivência de todos os organismos vivos e para o funcionamento dos ecossistemas, comunidades e economias. Contudo, a qualidade da água em todo o mundo é ameaçada à medida que as populações humanas crescem, atividades agrícolas e industriais se expandem e as mudanças climáticas ameaçam alterar o ciclo hidrológico global.

De acordo com Menezes *et al.* (2016), o decréscimo da qualidade de água dos rios, lagos e reservatórios constituem uma grande preocupação ecológica nos últimos anos, sobretudo por conta da má gestão do solo, paralela ao crescimento da população e do setor industrial nas últimas décadas.

A Eutrofização é resultado de diversos lançamentos no corpo d'água, tais como esgotos não tratados – sejam estes domésticos, industriais ou agrícolas – que têm como consequência o crescimento excessivo de cianobactérias (Tundisi, 2006).

Pode-se afirmar que o fenômeno da eutrofização, que é bastante comum nos reservatórios do semiárido, representa um grande risco à qualidade dos sistemas que transportam água de um manancial para outro, já que pode haver o aumento da concentração de nutrientes. Com isso, de acordo Wang *et al.* (2016), os sistemas de transferência de água entre reservatórios em cascata ocasionam diversos efeitos nas condições hidrológicas, na estrutura aquática e na qualidade da água, sobretudo em consequência da variação do tempo de residência e do processo de recirculação de nutrientes.

As principais fontes de nutrientes observadas e relatadas pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Ceará (COGERH) são as descargas de esgotos domésticos e industriais; partículas de solos contendo nutrientes, em decorrência de erosão hídrica; presença de animais em torno do açude, como o gado e a exploração de piscicultura intensiva.

Para avaliar o estado trófico dos açudes, são utilizados Índices de Estado Trófico. Dentre os mais difundidos no Brasil têm-se o Índice de Estado Trófico (IET) da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), que classifica os corpos d'água em diferentes níveis tróficos, ou seja, analisa a qualidade da água em termos de enriquecimento pela entrada de nutrientes e o seu efeito relacionado ao crescimento excessivo de algas ou ao aumento da proliferação de macrófitas aquáticas.

## 2 OBJETIVOS

Apresentar, comparar e avaliar diferentes métodos de IET, bem como relacionar uso e ocupação do solo no entorno do reservatório Banabuiú com o fenômeno da eutrofização.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Açude Banabuiú

O açude Banabuiú está localizado no município de Banabuiú (Figura 1), no estado do Ceará, a cerca de 227 km de Fortaleza –via BR-122 e BR-116–, gerido pela Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH). O açude possui uma bacia hidrográfica de 13.500 km<sup>2</sup> e apresenta capacidade de armazenamento de 1,6 bilhões de metros cúbicos.

De acordo com as estimativas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em 2019, a população do município de Banabuiú era de 18.197 habitantes. Além disso, conforme dados de 2005 da Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará (SRH), em termos de demanda hídrica no âmbito estadual, o consumo na bacia do Banabuiú associado às necessidades humanas era de 3 %, às atividades industriais 3 % e à irrigação 94 %. A COGERH (2011) destaca que no município os usos múltiplos estão voltados, principalmente, ao abastecimento público, à irrigação, agricultura e piscicultura intensiva.



Figura 1 – Localização do Açude Banabuiú

Fonte: COGERH, 2019

### 3.2 Caracterização do uso e ocupação do solo

A área de estudo demonstra predominância da vegetação do bioma caatinga e um clima tropical quente semiárido. Conforme dados do IPECE (2018), a estimativa populacional dos municípios que fazem parte da bacia do Banabuiú é de 395.388 habitantes, o que resulta em uma densidade demográfica de 24,69 hab./km<sup>2</sup>. De acordo com o Departamento Nacional de Obras Contra as Secas (DNOCS), o açude foi construído com finalidade de irrigar as terras do Baixo Jaguaribe, onde se destaca o Projeto de Irrigação de Morada Nova, com cerca de 10.000 hectares irrigáveis, controle das cheias do rio Banabuiú, piscicultura e aproveitamento das áreas de montante.

Além disso, para Silva (2019) a ocorrência da caatinga ao longo do açude está associada, muitas vezes, às atividades antrópicas agrícolas, tais

como a agricultura, pecuária e silvicultura, que são responsáveis pelo uso intensivo dessas áreas, propiciando a ocorrência de processos erosivos e perda de solo. O autor ainda cita que os cultivos mais comuns na região durante o ano são castanha de caju, mamona, mandioca, feijão e milho, sendo estes dois últimos os mais representativos e comuns na região.

Com relação ao saneamento básico no município de Banabuiú, o Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE), em levantamento no ano de 2017, mostrou que a taxa de abastecimento urbano era de 91,33 %, ao passo que a cobertura de esgoto em termos estatísticos, conforme o IPECE e o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), em 2017, foi dada como inexistente. No ano de 2013, em uma vistoria realizada pelo Ministério Público do Ceará (MPCE), constatou-se que o município não

dispõe de sistema de coleta regular de esgotos domiciliares e que o tratamento é realizado predominantemente por fossas sépticas, o que facilita a disposição irregular de resíduos nos corpos hídricos do entorno, eutrofizando o meio e tornando necessária a aplicação de técnicas de tratamento específicas para a potabilização da água nos casos em que isso seja possível.

Resende (2002) afirma que a pecuária, a presença de fossas sépticas e a aplicação excessiva de fertilizantes podem levar à contaminação das águas pela entrada de nitrato, o que se intensifica em áreas de solos altamente permeáveis, possibilitando que o contaminante percole e chegue ao lençol freático. Rolim (2016), em seu trabalho sobre o açude do Banabuiú, aponta que o fósforo é um grande impactante no processo de eutrofização, podendo entrar no corpo hídrico por meio de fontes difusas e pontuais, sendo as difusas oriundas das contribuições advindas da agricultura, pecuária e do processo de lixiviação do solo, em decorrência da ação das chuvas, e as cargas pontuais aquelas associadas à falta ou deficiência de operação de tratamento dos resíduos.

Em 2011, através do Inventário Ambiental levantado pela COGERH, constatou-se que o local da bacia enfrenta grandes problemas com a disposição irregular de resíduos sólidos, a exemplo da presença do lixão municipal localizado no distrito de Laranjeiras. Paralelamente, na maior parte dos distritos visitados durante o levantamento do inventário, foi constatado que as casas não possuíam sistema de esgotamento sanitário ou banheiros, e que as vias de trânsito pavimentadas com calhas de drenagem conduziam os efluentes ao açude.

O documento ainda destacou a presença de animais que viviam no entorno da bacia, o que pode fomentar a entrada de nutrientes pelas fezes e urinas – que contribuem com a eutrofização – ou mesmo introduzir no corpo hídrico verminoses e

microrganismos patogênicos. Verificou-se ainda um grande impacto por parte do desmatamento, das escavações e queimadas no entorno do açude, motivados por construções habitacionais, pecuária e produção de carvão.

A COGERH menciona ainda que existia nas proximidades do açude Banabuiú cemitérios que não possuíam sistema de drenagem e tratamento de necrochorume, uma solução aquosa gerada durante a degradação dos corpos, rica em nutrientes e com um certo grau de patogenicidade.

#### 4 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO ESTADO TRÓFICO

Para a determinação do Índice de Estado Trófico, resalta-se os trabalhos de Galvez- Cloutier e Sanchez (2007) e Liu, Pan e Chen (2016) aplicados aos climas temperados. Por outro lado, para climas tropicais, têm-se Lamparelli (2004), Hennemann e Petrucui (2011), Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013) e Ganguly (2015). Além destes, cabe salientar os estudos de Carlson (1977), Toledo *et al.* (1984), Wetzel (1993), Salas e Martino (2001), Cunha (2012) e Rolim (2016).

Para esta pesquisa foram selecionados os métodos de Carlson (1977), Toledo *et al.* (1984), Lamparelli (2004), Cunha (2012) e Rolim (2016).

##### 4.1 Método de Carlson (1977)

O método de Carlson (1977) foi desenvolvido para climas temperados e consiste na determinação do IET a partir do cálculo de fósforo total, clorofila-a, transparência da água e do IET médio, conforme as equações 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

$$\text{IET (PT)} = 10 \times \left[ 6 - \left( \frac{\ln 48}{\frac{\text{PT}}{\ln 2}} \right) \right] \quad (1)$$

$$\text{IET (Cla)} = 10 \times \left[ 6 - \left( \frac{2,04 - 0,68 \times \ln \text{Cla}}{\ln 2} \right) \right] \quad (2)$$

$$\text{IET (DS)} = 10 \times \left[ 6 - \left( \frac{\ln \text{DS}}{\ln 2} \right) \right] \quad (3)$$

$$\text{IET (Médio)} = \frac{\text{IET(PT)} + \text{IET(Cla)} + \text{IET (DS)}}{3} \quad (4)$$

Onde:

ln PT é o logaritmo neperiano de fósforo total ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ); ln Cla é o logaritmo neperiano da clorofila-a ( $\text{mg}/\text{m}^3$ );

ln DS é o logaritmo neperiano da transparência da água medida através de disco de Secchi (m); IET médio é a média entre o IET dos três parâmetros avaliados.

A partir do IET médio calculado, é possível, por meio da Tabela 1, classificar o estado trófico do reservatório.

**Tabela 1** – Classificação do Índice de Estado Trófico de Carlson

Estado Trófico	Critério
Ultraoligotrófico	$\text{IET} < 20$
Oligotrófico	$21 < \text{IET} \leq 40$
Mesotrófico	$41 < \text{IET} \leq 50$
Eutrófico	$51 < \text{IET} \leq 60$
Hipereutrófico	$\text{IET} > 61$

Fonte: Adaptado de Carlson (1977)

#### 4. 2 Método de Toledo *et al.* (1984)

O método de Toledo *et al.* (1984), que é uma adaptação do índice de Carlson (1977) para clima climas tropicais, baseia-se na avaliação do IET por meio das mesmas variáveis analisadas por Carlson (1977), de acordo as equações 5, 6, 7 e 8, respectivamente.

$$\text{IET (P)} = 10 \times \left\{ 6 - \left[ \frac{\ln \left( \frac{80,32}{\text{PT}} \right)}{\ln 2} \right] \right\} \quad (5)$$

$$\text{IET (Cl)} = 10 \times \left[ 6 - \left( \frac{2,04 - 0,695 \times \ln \text{Cl}}{\ln 2} \right) \right] \quad (6)$$

$$\text{IET (S)} = 10 \times \left[ 6 - \left( \frac{0,64 + \ln \text{S}}{\ln 2} \right) \right] \quad (7)$$

$$\text{IET (Médio)} = \frac{\text{IET(S)} + \text{IET(Cl)} + \text{IET (P)}}{3} \quad (8)$$

Onde:

P é a concentração de fósforo total medida à superfície da água ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ); Cl é a concentração de clorofila-a medida à superfície da água ( $\mu\text{g}/\text{L}$ ); S é a transparência medida por meio de disco de Secchi (m);

IET médio é o índice de estado trófico médio a partir dos parâmetros de fósforo, clorofila-a e transparência.

A Tabela 2 representa a classificação do estado de trofia do reservatório a partir do IET médio.

**Tabela 2** – Classificação do Índice de Estado Trófico de Toledo *et al.* (1984)

IET	Faixa
Ultraoligotrófico	IET ≤ 24
Oligotrófico	24 < IET ≤ 44
Mesotrófico	44 < IET ≤ 54
Eutrófico	54 < IET ≤ 74
Hipereutrófico	IET > 74

Fonte: Toledo *et al.* (1984).

### 4. 3 Método de Lamparelli (2004)

O índice de Lamparelli (2004), assim como o de Toledo *et al.* (1984), se aplica às regiões de climas tropicais, mas analisa apenas as variáveis de fósforo total e clorofila-a. As equações 9, 10 e 11 representam, respectivamente, o IET do fósforo total, da clorofila-a e do IET médio.

$$IET (PT) = 10 \times \left\{ 6 - \left[ 1,77 - 0,42 \times \left( \frac{\ln PT}{\ln 2} \right) \right] \right\} \quad (9)$$

$$IET (Cla) = 10 \times \left\{ 6 - \left[ 0,92 - 0,34 \times \left( \frac{\ln Cla}{\ln 2} \right) \right] \right\} \quad (10)$$

$$IET (\text{Médio}) = \frac{IET(PT) + IET(Cla)}{2} \quad (11)$$

Onde:

PT é o fósforo total (µg/L);

Cla é a clorofila total (µg/L);

IET médio é o índice de estado trófico médio a partir dos parâmetros de fósforo e clorofila-a.

A Tabela 3, mostra a categoria de estado trófico a partir do IET de Lamparelli (2004).

**Tabela 3** – Classificação do Índice de Estado Trófico modificado por Lamparelli (2004)

Estado trófico	IET	Fósforo total (mg.L <sup>-1</sup> )	Clorofila-a (µg.L <sup>-1</sup> )	S (m)
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47	P ≤ 8	Cla ≤ 1,17	S ≥ 2,4
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52	8 < P ≤ 19	1,17 < Cla ≤ 3,24	1,7 ≤ S < 2,4
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59	19 < P ≤ 52	3,24 < Cla ≤ 11,03	1,1 ≤ S < 1,7
Eutrófico	59 < IET ≤ 63	52 < P ≤ 120	11,03 < Cla ≤ 30,55	0,8 ≤ S < 1,1
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67	120 < P ≤ 233	30,55 < Cla ≤ 69,05	0,6 ≤ S < 0,8
Hipereutrófico	IET > 67	233 < P	69,05 < Cla	S < 0,6

Fonte: Lamparelli (2004, p. 168).

### 4. 4 Método de Cunha (2012)

O método de Cunha (2012) foi desenvolvido para climas subtropicais, e assim como o de Lamparelli (2004), avalia o fósforo total e a clorofila-a,

por meio dos quais é possível determinar o IET médio. As equações 12, 13, 14 representam respectivamente, o IET do fósforo total, da clorofila-a e o IET médio.

$$IET (PT)rs = 10 \times \left[ 6 - \left( \frac{-0,27637 \times \ln PT + 1,329766}{\ln 2} \right) \right] \quad (12)$$

$$IET (Cla)rs = 10 \times \left[ 6 - \left( \frac{-0,2512 \times \ln Cla + 0,842257}{\ln 2} \right) \right] \quad (13)$$

$$\text{IET (Médio)} = \frac{\text{IET(PT)rs} + \text{IET(Cla)rs}}{2} \quad (14)$$

Onde:

P é concentração de fósforo total medida à superfície da água ( $\mu\text{g/L}$ );

CLA é concentração de clorofila-a medida à superfície da água em ( $\mu\text{g/L}$ );

IET médio é o índice de estado trófico médio a partir dos parâmetros fósforo e clorofila-a em ( $\mu\text{g/L}$ ).

Com isso, a partir do IET geral obtido, pode-se determinar a classe do reservatório conforme a Tabela 4 proposta por Cunha (2012).

**Tabela 4** – Classificação segundo o Índice de Estado Trófico proposto por Cunha (2012)

Classe	IET
Ultraoligotrófico	$\leq 51,1$
Oligotrófico	51,2 – 53,1
Mesotrófico	53,2 – 55,7
Eutrófico	55,8 – 58,1
Supereutrófico	$\geq 58,2$

Fonte: Cunha (2012, p. 203).

#### 4. 5 Método de Rolim (2016)

Por fim tem-se o método de Rolim (2016), que aplicou a técnica de análise multivariada aos dados dos 18 reservatórios da Bacia do Banabuiú tornando possível identificar os fatores fundamentais que governam o estado trófico das águas dos reservatórios da bacia. De acordo com a autora, o IET é calculado a partir do produtório ponderado dos parâmetros seguindo a equação 15.

$$\text{IET}_{SA} = q^{0,330} \times q^{0,332} \times q^{0,338} \quad (15)$$

Onde:

q é a qualidade da água em relação à variável, cujo valor varia de 0 a 100, sendo determinado através da concentração ou medida do parâmetro;

Pt é o fósforo total ( $\text{mg/L}$ );

Cl a é a clorofila-a ( $\mu\text{g/L}$ );

Transp. é a transparência da água (m).

A Tabela 5 mostra a matriz do IET e a equivalência dos parâmetros analisados.

Vale destacar que o método de Rolim (2016) utilizou dados dos açudes do Ceará para a construção do seu Índice, estando mais próximo da realidade local.

Na Tabela 6, apresenta-se um resumo com os parâmetros e clima considerado para cada método.

**Tabela 5** – Matriz do e equivalência com medidas de fósforo, clorofila-a e transparência em reservatórios

Níveis tróficos	Fósforo ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	Clorofila-a ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )	Transp. (m)	IET <sub>as</sub>
Oligotrófico	0,01 – 0,013	0,02 – 3,36	2,80 – 1,2	0 – 40
Mesotrófico	0,013 – 0,036	3,36 – 11,01	1,2 – 0,7	40 – 60
Eutrófico	0,036 – 0,064	11,01 – 31,31	0,7 – 0,5	60 – 80
Hipereutrófico	0,064 – 0,29	31,31 – 98,79	0,5 – 0,3	80 – 100

Para a transparência, como a relação é inversamente proporcional, é calculada a distribuição com o valor de (-1) (ROLIM, 2016).

Fonte: Rolim (2016).

**Tabela 6** – Parâmetros e Clima dos Métodos de IET

Autor	Parâmetros analisados			Clima
	Clorofila-a	Fósforo	Transparência	
Carlson (1977)	x	x	x	Temperado
Toledo <i>et al.</i> (1984)	x	x	x	Tropical
Lamparelli (2004)	x	x		Tropical
Cunha (2012)	x	x		Subtropical
Rolim (2016)	x	x	x	Semiárido

## 5 RESULTADOS

A partir dos métodos de Carlson (1977), Toledo *et al.* (1984), Lamparelli (2004), Cunha (2012) e Rolim (2016), calculou-se o IET para o açude Banabuiú, do mês de novembro de 2014 a abril de 2019. Desse modo, obteve-se o quadro 1 representado abaixo.

Nota-se, pelo método de Carlson (1977) que o açude do Banabuiú foi classificado, do primeiro semestre de 2014 ao primeiro de 2018, como hipereutrófico. Isso pode ser justificável pelo aumento da reprodução de algas, que de acordo com Von Sperling (2005), consomem o fósforo disponível e, conseqüentemente, elevam a concentração de clorofila-a. Entretanto, a partir do segundo semestre de 2018 até o primeiro de 2019, classificou-se o açude como eutrófico, pois nesse período houve uma redução significativa das concentrações de clorofila-a, resultado da baixa disponibilidade de fósforo um importante nutriente limitante no processo de eutrofização (Ferragut; Bicudo, 2009; Oliveira *et al.*, 2010).

Por outro lado, tendo em vista que o método de Carlson (1977) foi desenvolvido considerando ambientes temperados, os resultados podem ser superestimados, como em outros trabalhos realizados em ambientes tropicais (Trindade; Mendonça, 2014), uma vez que Lamparelli (2004), Barros (2013) e Trindade e Mendonça (2014) afirmam que os lagos de climas temperados possuem características bastante distintas dos existentes no semiárido brasileiro e que para tal se faz necessária uma adequação do modelo de Carlson (1977). A partir disso, formulou-se o modelo de Toledo *et al.* (1984) e observou-se que até o primeiro semestre de 2018 o reservatório

foi classificado como eutrófico, considerando que a partir do segundo semestre de 2018 ao primeiro de 2019 dado como mesotrófico.

Por meio do método de Lamparelli (2004), método utilizado pela CETESB para o monitoramento das águas no estado de São Paulo, classificou-se o reservatório como sendo hipereutrófico. Além disso, mesmo o modelo de Carlson (1977) sendo adequado para regiões de clima temperado, pode-se observar que houve uma grande semelhança entre os resultados de Carlson (1977) e Lamparelli (2004), fato também apontado por Trindade e Mendonça (2014) em seu trabalho. Diferentemente de Toledo *et al.* (1984) e Carlson (1977), Lamparelli (2004) aplicou em seu cálculo do IET apenas os valores de fósforo total e clorofila-a, visto que os valores de transparência podem frequentemente não ser representativos para o estado de trofia, uma vez que a transparência pode ser afetada pela elevada turbidez do material suspenso e não apenas pela densidade dos organismos planctônicos (Maia *et al.*, 2015).

Para o modelo de Cunha (2012), a classe obtida do reservatório foi a Supereutrófica. Assim, pôde-se observar que os resultados foram análogos aos obtidos por Lamparelli (2004), visto que Cunha (2012), em suas equações, considerou apenas as concentrações de fósforo total e clorofila-a, demonstrando o grau de hipertrofia do açude de Banabuiú. Essa representatividade pode ser fruto da entrada de nutrientes advindos da urbanização e agropecuária, que podem ser carregados para dentro do reservatório no decorrer da fase chuvosa, conforme discorre Figueirêdo *et al.* (2007).

Tabela 7 – Resultados dos métodos aplicados

Data	Carlson (1977)	Toledo <i>et al.</i> (1984)	Lamparelli (2004)	Cunha (2012)	Rolim (2016)
Nov. 2014	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO
Jan. 2015	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	HIPER
Abr. 2015	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO
Ago. 2015	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO
Fev. 2016	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO
Jul. 2016	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO
Out. 2016	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	HIPER
Jan. 2017	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	HIPER
Abr. 2017	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO
Jul. 2017	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO
Nov. 2017	HIPER	EUTRO	SUPER	EUTRO	EUTRO
Jan. 2018	HIPER	EUTRO	SUPER	EUTRO	EUTRO
Abr. 2018	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	HIPER
Jul. 2018	EUTRO	MESO	EUTRO	MESO	MESO
Out. 2019	EUTRO	MESO	EUTRO	MESO	OLIGO
Jan. 2019	EUTRO	MESO	SUPER	EUTRO	MESO
Abr. 2019	EUTRO	MESO	SUPER	EUTRO	MESO

Por fim, avaliou-se o método de Rolim (2016), sendo este o único que apresentou resultados semelhantes aos de Toledo *et al.* (1984), haja visto que Rolim (2016), do mesmo modo que Toledo *et al.* (1984), considerou em seus cálculos os três parâmetros para o IET, no caso, clorofila-a, fósforo total e transparência. Vale lembrar que ambos os métodos mencionados acima são destinados a climas tropicais. Observa-se que, mesmo considerando a influência da transparência em seus índices, Carlson (1977) apresenta uma superestimação em relação aos dois métodos citados anteriormente. Isso ocorre porque o método de Carlson (1977), conforme mencionado, foi desenvolvido para climas temperados.

Por meio do modelo de Rolim (2016), observou-se que a classe predominante foi a eutrófica, com alguns períodos classificados como hipereutrófico, mesotrófico e oligotrófico. Desse modo, o método de Rolim (2016) apresentou uma certa variabilidade do estado de trofia do reservatório em comparação aos outros métodos, elucidando de forma mais real as condições do açude no decorrer das diferentes fases do ano. No entanto, é necessário aprofundar os estudos sobre o estado trófico e a influência de fatores climáticos,

hidrológicos e morfológicos dos açudes da região semiárida do Ceará (Rolim *et al.*, 2019).

## 6 CONCLUSÕES

Nota-se que grande parte dos métodos classificou o reservatório Banabuiú como hipereutrófico, até mesmo Carlson (1977), que poderia superestimar o valor do IET para o reservatório. Contudo, Rolim (2016) apresentou uma distribuição de classes mais sensível, acompanhando a variabilidade das estações chuvosas e secas e propiciando um grau de sensibilidade mais acurado em relação ao aporte de nutrientes, às implicações da produção algal e à interferência da transparência, atribuindo a cada variável um peso específico, de maneira diferente dos demais métodos.

Destaca-se que o método de Rolim (2016) foi desenvolvido para considerar as peculiaridades dos corpos hídricos artificiais do semiárido, minimizando, assim, a possível ocorrência de erros na obtenção da classe do açude. Desse modo, o método poderá ser referência como um importante indicativo para estudos mais aprofundados acerca do assunto.

Por fim, são necessárias medidas de curto, médio e longo prazo que minimizem os impactos ambien-

tais no açude. Em relação às medidas mitigadoras de curto e médio prazo, pode-se destacar a execução de políticas de saneamento mais eficazes, como a retirada dos animais (bovinos, caprinos e suínos) que vivem às margens do Banabuiú, a retirada do excesso de macrófitas do açude e que seja interrompido o uso de agrotóxicos no entorno do açude (Ceará, 2011).

Ao longo prazo, sugere-se políticas de incentivo aos agricultores com fins de implantar sistemas de agricultura orgânica, a recuperação da vegetação ciliar na Área de Preservação Permanente (APP), para promover a inibição do processo de assoreamento e revitalização da fauna, a fiscalização do lançamento inadequado de efluentes e resíduos sólidos no açude Banabuiú e suas aflúências, e educar a população local por meio de reuniões comunitárias e encartes educativos, com o intuito de criar uma consciência ambiental que esclareça a importância da contribuição da comunidade para a conservação do açude Banabuiú (Ceará, 2011).

## 7 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

**Conceitualização:** Maia, MRR; **Metodologia:** Maia, MRR e Nunes, AB de A; **Investigação:** Maia, MRR; **Redação – Primeira versão,** Maia, MRR; **Redação – Revisão & Edição:** Nunes, A B de A.

## 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, L. R. **O índice do estado trófico e sua adaptação para os sistemas lênticos do semiárido cearense.** 2013. 85 f. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Hídricos) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

BRASIL. Ministério Público do Ceará. **Relatório técnico de vistoria.** Banabuiú, CE, 2013. Disponível em: <http://tmp.mpce.mp.br/orgaos/CAOMACE/cordenadorias/material.apoio/rel.vistoria.municipios/Relatorio.de.Vistoria751.2013-Saneamento.Ambiental.de.Banabuiu.pdf>. Acesso em 10 dez. 2019.

CARLSON, R. E.. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, v. 22, n. 2, p. 361-369, 1977.

CEARÁ. Companhia de Gestão de Recursos Hídricos. **Inventário Ambiental do Açude Banabuiú.** Fortaleza, CE, 2011. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/pdf/inventarios/2011/Inventario%20Ambiental%20do%20Acude%20Banabuiu%202011.pdf>. Acesso em 18 mar. 2020.

CEARÁ. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil municipal 2017:** Banabuiú, CE, 2017. Disponível em: [https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Banabuiu\\_2017.pdf](https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Banabuiu_2017.pdf). Acesso em: 10 dez. 2019.

CEARÁ. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil Regional 2018:** Banabuiú, CE, 2018. Disponível em: <http://ipecedata.ipece.ce.gov.br/ipece-data-web/module/perfil-regional.xhtml>. Acesso em: 2 mar. 2020.

CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Índice de Estado Trófico.** São Paulo, 2013. Disponível em: [http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/04.pdf&ved=2ahUKEwi3quC409TpAhX7GbkGHRvVBZcQFjAAegQIARAC&usg=AOvVaw3ar5sEf2wJelUk3CqHJ\\_93](http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2013/11/04.pdf&ved=2ahUKEwi3quC409TpAhX7GbkGHRvVBZcQFjAAegQIARAC&usg=AOvVaw3ar5sEf2wJelUk3CqHJ_93). Acesso em: 5 dez. 2019.

COGERH – COMPANHIA DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS. **Relatório preliminar da qualidade das águas dos açudes monitorados pela COGERH – campanha de maio/2023.** Fortaleza: COGERH, 2011.

COGERH – COMPANHIA DE GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS. **Mapa da bacia do Banabuiú.** Fortaleza: COGERH, 2019. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2019/08/Banabui%C3%BA.jpg>. Acesso em: 25 mar. 2024.

CUNHA, D.G.F. **Heterogeneidade espacial e variabilidade temporal do reservatório de Itupararanga: uma contribuição ao manejo sustentável dos recursos hídricos da bacia do Rio Sorocaba (SP).** 2012. 235 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

CUNHA, D. G. F.; CALIJURI, M. C.; LAMPARELLI, M. C. A Trophic State Index for Tropical/Subtropical Reservoirs. **Ecological Engineering**, Amsterdam, ano 2013, v. 60, p. 126-134, 2013. 10.1016/j.ecoleng.2013.07.058. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2013.07.058>

FERRAGUT, C.; BICUDO, D. C. Efeito de diferentes níveis de enriquecimento por fósforo sobre a estrutura da comunidade perifítica em represa oligotrófica tropical. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, ano 2009, v. 32, n. 3, p. 571-585, 2013.

FIGUEIRÊDO, M. C. B.; TEIXEIRA, A. S.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; PAULINO, W. D.; MOTA, S.; ARAÚJO, J. C. Avaliação da vulnerabilidade ambiental de reservatórios à eutrofização. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, ano 2009, v. 12, n. 4, p. 399-409, 2007.

GALVEZ-CLOUTIER, R.; SANCHEZ, M. Trophic Status Evaluation for 154 Lakes in Quebec, Canada: Monitoring and Recommendations. **Water Quality Research Journal of Canada**, London, v. 42, p. 252-268, 2007.

- GANGULY, D.; PATRA, S.; MUDULI, P.R.; VARDHAN, K.V.; R., A.K.; ROBIN, R.S.; SUBRAMANIAN, B.R. Influence of Nutrient Input on the Trophic State of a Tropical Brackish Water Lagoon. **Journal of Earth System Science**, v. 124, p. 1005-1017, 2015. <https://doi.org/10.1007/s12040-015-0582-9>
- HENNEMANN, M.C.; PETRUCUI, M.M. Spatial and Temporal Dynamic of Trophic Relevant Parameters in a Subtropical Coastal Lagoon in Brazil. **Environmental Monitoring Assessment**, v. 181, p.347-361, 2011. <https://doi.org/10.1007/s10661-010-1833-5>
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Banabuiú. IBGE, Rio de Janeiro, [2019]. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/banabuiu/panorama>. Acesso em: 11 dez. 2019.
- LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo**: avaliação dos métodos de monitoramento. 2004. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004
- LIU, H.; 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**, London, v. 57, n. 29, p. 13829-13838, 2016.
- MAIA, A. A. D.; CARVALHO, S. L.; CARVALHO, F. T. de. Comparação de dois índices de determinação do grau de trofia nas águas do Baixo Rio São José dos Dourados, São Paulo, Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 20, p. 613-622, 2015.
- MENEZES, J. P. C. et al. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 21, p. 519-534, 2016.
- OLIVEIRA, M. F. M. et al. Estimativa do potencial de perda de fósforo através da metodologia "P Index". **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 267-273, 2010.
- ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **A ONU e a água**. ONU, Brasília, DF, [2019]. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/agua/>. Acesso em: 13 set. 2019.
- RESENDE, A.V. Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato. **Embrapa**, Brasília, DF, n. 57, p. 1-28, dez. 2002.
- ROLIM, H. O.; NUNES, A. B. A.; NASCIMENTO, F. J. S. C.; CHAVES, J. R. Proposal of a Trophic State Index in Semi-arid Reservoirs Using Data of the Banabuiú Basin, State of Ceará, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, SP, v. 31, 2019. <https://doi.org/10.1590/s2179-975x12517>
- ROLIM, H. de O. **Proposta de índice de estado trófico em reservatórios do semiárido a partir de dados da bacia do Banabuiú, estado do Ceará**. 2016. 90 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.
- SALAS, H. J.; MARTINO, P. A Simplified Phosphorus Trophic State Model for Warm-Water Tropical Lakes. **Water Research**, Amsterdam, v. 25, n. 3, p. 341-350, 1991.
- SILVA, Í. Compartimentação morfológica aplicada ao potencial de erosão laminar: uma análise da Bacia Hidrográfica do Alto Banabuiú, Ceará. **Journal of Chemical Information and Modeling**, Washington, DC, v. 53, n. 9, p. 1689-1699, 2019.
- SNIS – SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Conheça o SNIS**. SNIS, Banabuiú, 2019. Disponível em: <http://app4.cidades.gov.br/serieHistorica/#>. Acesso em: 10 dez. 2019.
- TOLEDO, A. P.; AGUDO, E. G.; TOLARICO, M.; CHINEZ, S. J. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo de eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – AIDIS, 19., 1984. Santiago. **Anais [...]**. Santiago: AIDIS, 1984.
- TRINDADE, P. B. C. B.; MENDONÇA, A. S. F. Eutrofização em reservatórios: estudo de caso: reservatório de Rio Bonito (ES). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 19, p. 275-282, 2014.
- TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **Revista USP**, São Paulo, n. 70, p. 24-35, 2006.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. v. 1, 452 p.
- WANG, Y. et al. Modelling Water Quality and Quantity with the Influence of Inter-Basin Water Diversion Projects and Cascade Reservoirs in the Middle-Lower Hanjiang River. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 541, p. 1348-1362, 2016.
- WETZEL, R.G. **Limnologia**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1993.