



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

MAKS RENAN RODRIGUES MAIA

**AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO DO SISTEMA DE
RESERVATÓRIOS EM CASCATA QUE ABASTECE A BACIA METROPOLITANA
DE FORTALEZA, CE**

FORTALEZA
2021

MAKS RENAN RODRIGUES MAIA

AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO DO SISTEMA DE
RESERVATÓRIOS EM CASCATA QUE ABASTECE A BACIA METROPOLITANA DE
FORTALEZA, CE

Trabalho de Conclusão de Curso referente ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Ana Bárbara de Araújo Nunes

FORTALEZA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- M187 Maia, Maks Renan Rodrigues.
Avaliação do índice de estado trófico do sistema de reservatórios em cascata que abastece a bacia metropolitana de Fortaleza, CE / Maks Renan Rodrigues Maia. – 2021.
48 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2021.
Orientação: Profa. Dra. Ana Bárbara de Araújo Nunes.
1. Reservatório. 2. Transferência de água. 3. Abastecimento de água. I. Título.

CDD 628

MAKS RENAN RODRIGUES MAIA

AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO DO SISTEMA DE
RESERVATÓRIOS EM CASCATA QUE ABASTECE A BACIA METROPOLITANA DE
FORTALEZA, CE

Trabalho de Conclusão de Curso referente ao curso de graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Ana Bárbara de Araújo Nunes (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Iran Eduardo Lima Neto
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Hosineide de Oliveira Rolim dos Santos
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

A Deus, que me fortaleceu nos momentos de adversidade até o final desta jornada. À minha mãe, mulher guerreira e dedicada, que sempre me deu apoio e incentivo para seguir nos estudos. Aos meus amigos e às minhas amigas, que me acompanharam e me ajudaram nos momentos difíceis da universidade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, inicialmente, a Deus por ter me guiado nos momentos de indecisões e por me dado forças para lutar nos momentos mais impossíveis.

Agradeço aos meus familiares, sobretudo, à minha mãe, Sueli Azevedo, que sempre me deu apoio e incentivo para buscar uma vida mais digna através da educação. Obrigado pelas orações e pela força, pois, minha querida mãe, sabemos que não seria possível eu chegar aonde eu cheguei hoje, se não fosse o seu empenho e dedicação em me ajudar a buscar e aproveitar as boas oportunidades que surgiram no meu caminho.

Agradeço à Universidade Federal do Ceará (UFC), em especial, à Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis (PRAE) pela seriedade e boa condução dos programas de assistência aos estudantes que se encontram em situação de vulnerabilidade socioeconômica. Hoje, mais um pobre se forma em uma universidade pública e de qualidade. Lutemos para que o ensino gratuito e adequado transforme a vida de muitos outros estudantes como eu.

Agradeço à minha orientadora, professora Dra. Ana Bárbara, que eu tive a oportunidade de conhecer, em um primeiro momento, por meio do Programa de Educação Tutorial (PET) da Engenharia Ambiental, no qual vivenciei grandes aprendizados, que foram fundamentais para a minha formação. Obrigado, professora, pela paciência e dedicação em todos os momentos de aprendizados tanto do PET, como na elaboração da nossa pesquisa.

Agradeço aos meus amigos e às minhas amigas por todos os momentos de alegria e de ajuda nas horas difíceis. Acredito que cada um de vocês foram imprescindíveis em diferentes etapas da minha jornada, e torço para que os laços de afeto e união se perpetuem na eternidade da existência do espírito.

Agradeço, inclusive, aos demais amigos e amigas da Universidade Federal do Ceará, por estar com vocês em diversos momentos da minha graduação e pelas boas experiências compartilhadas com cada um.

“E guardemos a certeza pelas próprias
dificuldades já superadas que não há mal
que dure para sempre”

- Chico Xavier

RESUMO

A contaminação dos ecossistemas aquáticos resultante das atividades humanas tem levantado uma série de preocupações ecológicas nos últimos anos. O uso e ocupação inadequados do solo associado ao crescimento das populações, bem como à rápida expansão industrial observada nos últimos anos, são considerados os principais responsáveis pela alteração na qualidade das águas de rios, reservatórios e lagos, possibilitando a ocorrência de um fenômeno cada vez mais frequente, a eutrofização, que afeta, principalmente, os mananciais localizados em regiões semiáridas. Tal fenômeno ocorre devido ao incremento de nutrientes, como fósforo e nitrogênio, oriundos da ação antrópica, representando um sério risco à saúde dos seres vivos e reduzindo drasticamente a qualidade da água. Em vista desse problema tão comum no Nordeste, que sofre com a escassez de água, a eutrofização também representa uma séria ameaça aos mananciais, sobretudo, quando se trata dos sistemas de transferência de água entre reservatórios, como o Sistema em Cascata da Região Metropolitana de Fortaleza (SCRMF), composto por 6 reservatórios (Castanhão, Curral Velho, Pacajus, Pacoti, Riachão e Gavião). Com isso, é evidente que os sistemas em cascata geram uma série de efeitos nas condições da qualidade de água, em especial, devido à variação do tempo de residência e da ressuspensão de nutrientes. Tendo em vista este problema, é imprescindível realizar uma análise qualitativa da água, já que é essencial para o consumo humano e animal. Nesse sentido, o Índice de Estado Trófico (IET) surge como um importante instrumento para avaliar o quão eutrofizado está um reservatório. Portanto, o presente trabalho trata de uma compilação bibliográfica a fim de determinar o IET dos reservatórios em cascata que abastecem a região metropolitana de Fortaleza, Ceará, a partir dos métodos de Carlson (1977), Toledo *et al.* (1984), Lamparelli (2004), Cunha (2012) e Rolim (2016), objetivando não somente o cálculo do IET, mas também classificar o corpo hídrico segundo o seu estado trófico. Para esta análise, coletou-se inicialmente os dados de fósforo total, clorofila-a e transparência junto à COGERH, referentes ao período de 2017 a 2021. Após estimar o IET, concluiu-se que a maioria dos métodos classificou o nível trófico dos mananciais do SCRMG entre eutrófico, hipereutrófico e supereutrófico, observando, ainda, algumas ocorrências de estado oligotrófico e mesotrófico, sobretudo, nos métodos de Toledo *et al.* (1984) e Rolim (2016).

Palavras-chave: reservatório; transferência de água; eutrofização; abastecimento de água.

ABSTRACT

The contamination of aquatic ecosystems resulting from human activities has raised a number of ecological concerns in recent years. The inadequate use and occupation of land associated with population growth, as well as the rapid industrial expansion observed in recent years, are considered to be the main responsible for the change in the quality of water in rivers, reservoirs and lakes, allowing the occurrence of an increasingly frequent phenomenon, eutrophication, which mainly affects springs located in semiarid regions. This phenomenon occurs due to the increase of nutrients, such as phosphorus and nitrogen, arising from human action, representing a serious risk to the health of living beings and drastically reducing water quality. In view of this problem so common in the Northeast, which suffers from water scarcity, eutrophication also represents a serious threat to water sources, especially when it comes to water transfer systems between reservoirs, such as the Cascade System in the Metropolitan Region of Fortaleza (SCRMF), comprising 6 reservoirs (Castanhão, Curral Velho, Pacajus, Pacoti, Riachão and Gavião). Thus, it is evident that cascade systems generate a series of effects on water quality conditions, in particular, due to variation in residence time and nutrient resuspension. In view of this problem, it is essential to carry out a qualitative analysis of water, as it is essential for human and animal consumption. In this sense, the Trophic State Index (TEI) appears as an important instrument to assess how eutrophic a reservoir is. Therefore, the present work deals with a bibliographic compilation in order to determine the EIT of the cascading reservoirs that supply the metropolitan region of Fortaleza, Ceará, based on the methods of Carlson (1977), Toledo et al. (1984), Lamparelli (2004), Cunha (2012) and Rolim (2016), aiming not only to calculate the EIT, but also to classify the water body according to its trophic state. For this analysis, data on total phosphorus, chlorophyll-a and transparency were initially collected from COGERH, for the period 2017 to 2021. After estimating the IET, it was concluded that most methods classified the trophic level of the water sources of the SCRMG between eutrophic, hypereutrophic and supereutrophic, also observing some occurrences of an oligotrophic and mesotrophic state, especially in the methods of Toledo et al. (1984) and Rolim (2016).

Keywords: reservoir; water transfer; eutrophication; water supply.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

IET	Índice de Estado Trófico
COGERH	Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos
SCRMF	Sistema em Cascata da Região Metropolitana de Fortaleza
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
APP	Área de Preservação Permanente
SRH	Secretaria de Recursos Hídricos

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação do Índice de Estado Trófico de Carlson (1977)	12
Tabela 2 – Classificação do Índice de Estado Trófico de Toledo <i>et al.</i> (1984).....	13
Tabela 3 – Classificação do Índice de Estado Trófico modificado por Lamparelli (2004).....	13
Tabela 4- Classificação segundo o Índice de Estado Trófico proposto por Cunha (2012)	14
Tabela 5 – Matriz do IETSA e equivalência com medidas de fósforo, clorofila-a e transparência em reservatórios segundo Rolim (2016).....	15

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Resumo dos Métodos de IET	15
Quadro 2 – Municípios, capacidade de armazenamento e localização dos açudes do SCRMF	19
Quadro 3 – Resultados dos métodos aplicados aos açudes Castanhão e Curral Velho.....	24
Quadro 4 – Resultados dos métodos aplicados aos açudes Pacajus e Pacoti	25
Quadro 5 – Resultados dos métodos aplicados aos açudes Richão e Gavião	27

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Quantidade de açudes classificados por estado trófico e por campanha	5
Figura 2 – Reservatórios por estado de trofia em fevereiro de 2021	6
Figura 3 – Evolução trimestral da classificação do estado trófico a partir de fev/2008 a fev/2021	8
Figura 4 – Histórico da classe trófica dos açudes nos últimos 10 anos (fev/2010 a fev/2021) ..	9
Figura 5 – Localização do Sistema em Cascata da Região Metropolitana de Fortaleza	18

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Objetivo Geral	2
1.2 Objetivos Específicos.....	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Fenômeno da Eutrofização	3
2.2. Panorama do Estado Trófico dos Açudes do Ceará.....	4
2.3. O impacto do uso e ocupação do solo na Eutrofização	9
2.4. Métodos de Avaliação do Estado Trófico	11
3. METODOLOGIA.....	17
3.1. Área de Estudo.....	17
3.2. Métodos de IET e análise dos dados	19
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	20
5. CONCLUSÃO.....	29

1. INTRODUÇÃO

Segundo a ONU (Organização das Nações Unidas, 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 cada vez mais ameaçada à medida que as populações humanas crescem, atividades agrícolas e industriais se expandem e as mudanças climáticas ameaçam alterar o ciclo hidrológico global.

A contaminação dos ecossistemas aquáticos resultante das atividades antropogênicas constitui uma das grandes preocupações ecológicas dos últimos anos. Particularmente, a má gestão do uso do solo, aliada ao crescimento da população e à expansão industrial observada nas últimas décadas, tem provocado o decréscimo da qualidade da água de rios, lagos e reservatórios (MENEZES *et al.*, 2016). Nesse sentido, para se avaliar esses problemas, usa-se o Índice de Estado Trófico (IET), que de acordo com a Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), tem por objetivo classificar os corpos d'água em diferentes níveis tróficos, isto é, avalia 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.

Tendo em vista o fenômeno da eutrofização, o qual é bastante comum nos reservatórios do semiárido, pode-se afirmar que representa um grande risco à qualidade de água 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. Silva *et al.* (2017) afirma que as conexões de tempo-espaço geradas por esses sistemas geram a necessidade de rever a gestão dos recursos hídricos, visto que os impactos a nível local não estão mais associados a apenas fatores locais, mas também podem sofrer influência do uso e ocupação do solo das bacias hidrográficas que estão localizadas mais distantes.

1.1 Objetivo Geral

- Avaliar o estado trófico do sistema de reservatórios em cascata que abastece a bacia metropolitana de Fortaleza, CE.

1.2 Objetivos Específicos

- Apresentar o uso e ocupação do solo no entorno dos reservatórios em cascata;
- Selecionar os métodos de IET e compará-los;
- Avaliar o estado trófico dos açudes a partir da classificação obtida.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Fenômeno da Eutrofização

Costa *et al.* (2018) afirmam que a eutrofização é possibilitada pelo incremento de nutrientes, principalmente, fósforo e nitrogênio, oriundos da ação antrópica. Rocha Junior *et al.* (2018) elucidam que a presença desses nutrientes favorece o aumento da produtividade primária e, conseqüentemente, fomenta a floração de cianobactérias, degradando os corpos d'água e causando desequilíbrios no ecossistema aquático.

Moraes (2009) cita que além do aumento da contaminação dos corpos hídricos pela entrada de metais e substâncias tóxicas (liberadas por algas), há também a depleção do oxigênio dissolvido, a redução do espelho d'água e a morte de plantas e animais aquáticos. A literatura destaca que esse “Bloom” (Florescimento) está associado à produção de espumas artificiais, colmatação de filtros de Estações de Tratamento de Água (ETAs), problemas de odor e de sabor, mortandade de peixes durante o verão, envenenamento de criações e de animais domésticos (NASCIMENTO *et al.*, 2014).

Von Sperling (2005) menciona que as conseqüências da eutrofização podem ainda dificultar e propiciar altos custos no tratamento de água, bem como reduzir a navegabilidade dos corpos d'água e da capacidade de transporte. Trindade e Mendonça (2014) ressaltam que esse processo é frequente em ambientes lênticos, como lagos e reservatórios ao passo de que em ambientes lóticos, as condições de turbidez e velocidades elevadas propiciam a menor ocorrência do fenômeno.

Em vista disso, a nível mundial e no Brasil se têm registros de uma série de relatos envolvendo o fenômeno da eutrofização, especialmente, devido à ocorrência de florações de cianobactérias com potencial toxicidade (FEITOSA, BASTOS, 2015; FONSECA *et al.*, 2015; MARIA *et al.*, 2017), uma vez que a liberação de cianotoxinas representa sérios riscos à saúde, inclusive, podendo levar à morte (GRADÍSSIMO; MOURÃO; SANTOS, 2020; LIMA, 2017; URIZA; MARTÍNEZ; SANJURJO, 2017).

O primeiro caso de morte de animais no mundo, por meio da ação de cianotoxinas, data de 1878, na região Sul da Austrália, especificamente, no lago Alexandria, onde se relata a ocorrência incomum de uma espuma ao longo de todo o reservatório, o que resultou na morte de vários animais, como ovelhas, porcos, cães, patos e cavalos (FRANCIS, 1878).

Na literatura, inclusive para rios, encontram-se ocorrências de eventos de intoxicação causada por cianotoxinas, a exemplo, o caso de Ohio, nos Estados Unidos, no ano

de 1931, em houve um surto de gastroenterite em seres humanos, através de uma cianobactéria não identificada (TISDALE, 1931). Um surto semelhante ocorreu em 1966, no Zimbábue, atingindo, principalmente crianças, depois da ingestão de água de um reservatório (ZILBERG, 1966).

Em 1983, na Austrália, na cidade de Armidale, registrou-se a presença de casos de intoxicação humana, após o consumo de água de um reservatório, durante o qual a população consumidora apresentou um quadro de lesão hepática, advindo da contaminação por uma cianotoxina desconhecida (FALCONER; BERESFORD; RUNNEGAR, 1983).

Na China, no distrito de Nantong, associou-se ao aumento significativo de câncer de fígado primário o consumo de água oriunda de poças e fossos da região, os quais durante o estudo apresentaram concentrações relevantes de microcistina (UENO *et al.*, 1996), uma hepatoxina (GUERRA *et al.*, 2015).

Já em relação ao Brasil, sobretudo, no Nordeste, por se tratar de uma região constantemente afetada pela ausência de chuvas, é comum a ocorrência de florações de cianobactérias (OLIVER; RIBEIRO, 2020). À vista disso, a literatura relata, por exemplo, que, em 1988, na Bahia, 2000 pessoas apresentaram gastroenterite após consumir água do reservatório de Itaparica, atingido por uma ocorrência de floração de cianobactérias que ocasionou a morte de 88 pessoas, sendo a maioria crianças (TEIXEIRA *et al.*, 1993).

De forma análoga, no ano de 1996, em Caruaru, no estado de Pernambuco, tem-se uns dos casos mais marcantes de mortes humanas relacionadas diretamente à intoxicação por cianobactérias (AZEVEDO *et al.*, 2002; YUAN; CARMICHAEL; HILBORN, 2006), que culminou na morte 72 pacientes em uma clínica de hemodiálise (NETO, 2011). Quanto às cianotoxinas responsáveis pelo ocorrido, constatou-se a presença das hepatotoxinas microcistina e cilindrospermopsina, as quais estavam presentes na água do açude Tabocas, que atendia o reservatório da clínica de hemodiálise (CORAL *et al.*, 2014). Tal tragédia contribuiu para que as cianotoxinas passassem a ser incluídas no padrão de potabilidade brasileiro, inicialmente, através da Portaria n° 1.469/2000, do Ministério da Saúde (MELO, 2006), e, atualmente, através da Portaria n° 888, de 04 de maio de 2021.

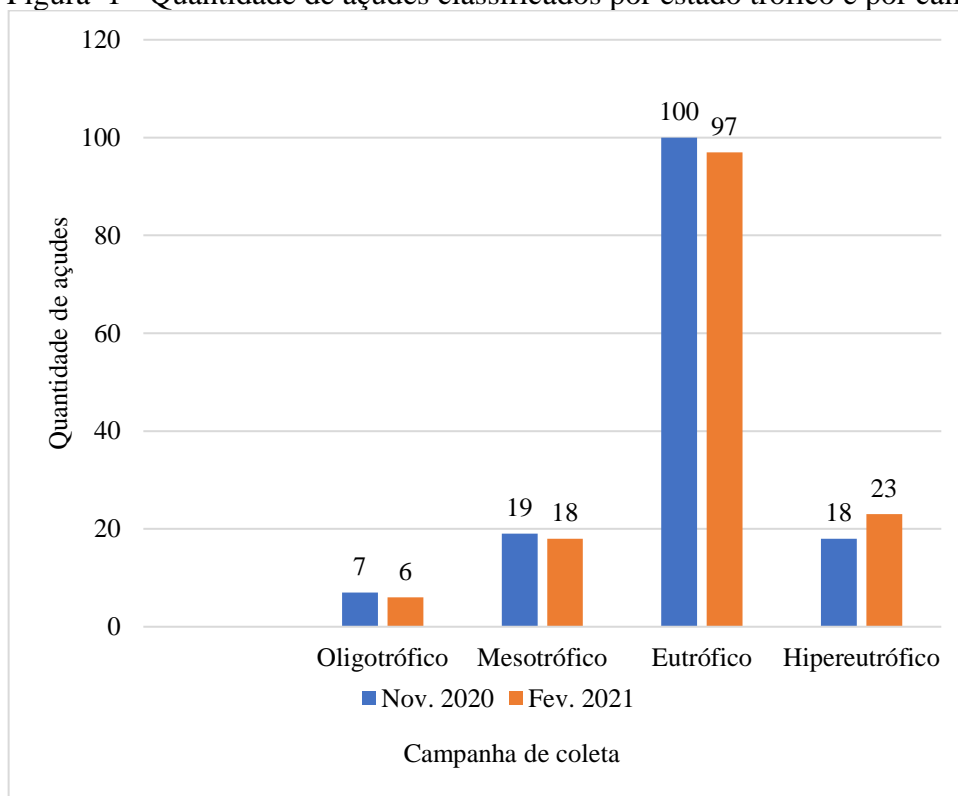
2.2. Panorama do Estado Trófico dos Açudes do Ceará

Em fevereiro de 2021, no último relatório sobre a qualidade das águas dos açudes monitorados pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (COGERH), foi avaliado o estado de trofia de 144 reservatórios de um total de 155 no estado do Ceará. É válido citar que

em 11 reservatórios não houve coleta de água, visto que estavam secos ou com o espelho de água coberto por macrófitas, o que impediu a realização da coleta.

Logo, de acordo com a Figura 1, observa-se que na última campanha realizada, constatou-se que 6 reservatórios (4,17%) foram classificados como oligotróficos, 18 (12,50%) como mesotróficos, 97 (67,36%) como eutróficos e por fim, 23 (15,97%) como hipereutróficos. É importante destacar que a avaliação do IET realizada pela COGERH é feita através do método de Toledo *et al.* (1983), uma adaptação do índice de Carlson (1977) para o sudeste brasileiro.

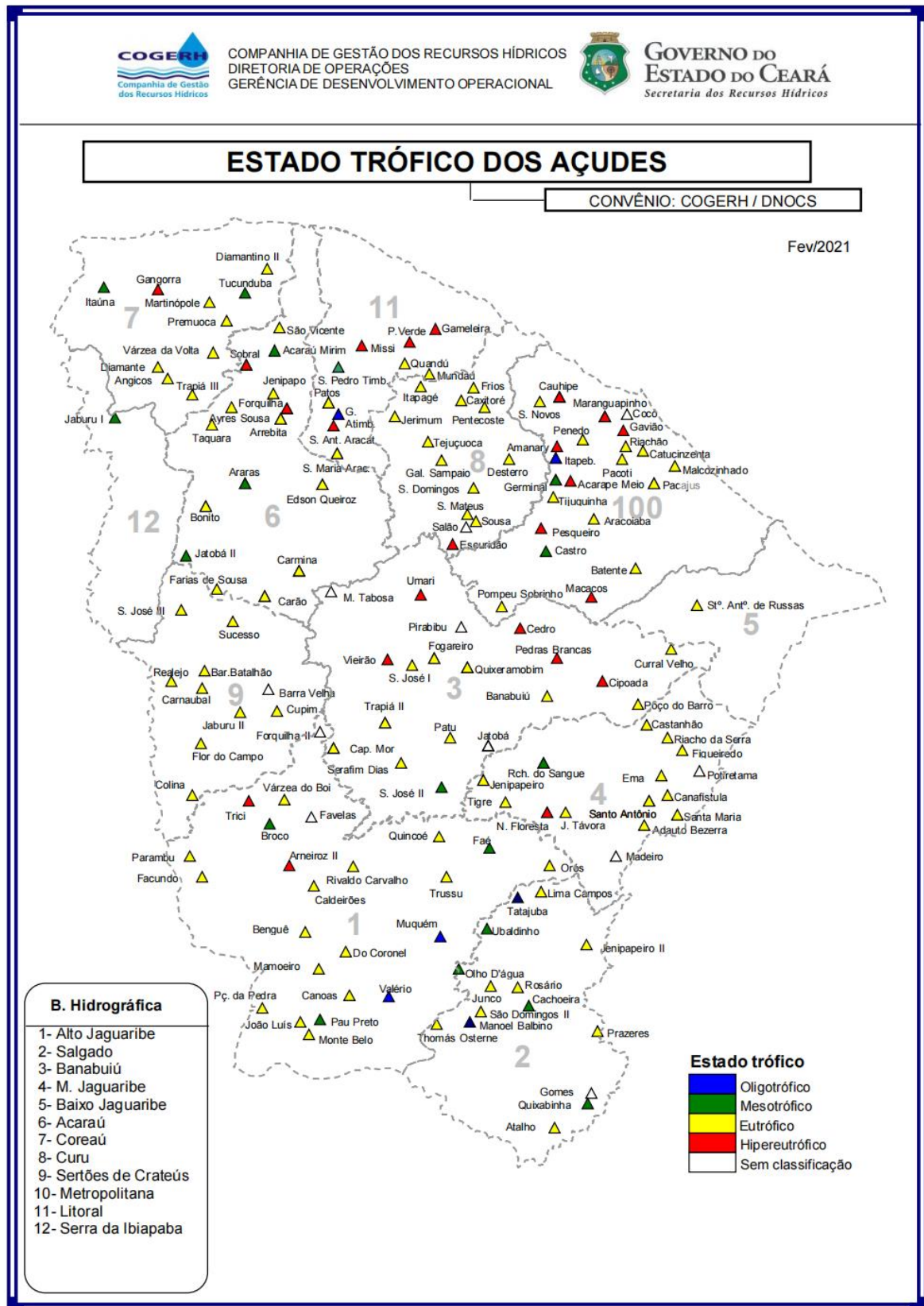
Figura 1 - Quantidade de açudes classificados por estado trófico e por campanha



Fonte: COGERH (2021)

Consoante a isso, a Figura 2 mostra a localização dos reservatórios do Ceará, bem como o estado trófico dos reservatórios para a campanha de fevereiro de 2021.

Figura 2 – Reservatórios por estado de trofia em fevereiro de 2021



Fonte: COGERH (2021)

A Figura 3 apresenta a evolução histórica das campanhas realizadas trimestralmente pela COGERH em função do estado trófico dos açudes no período de 2008 a 2021. Dessa forma, observa-se que, conforme já mencionado no relatório da campanha de fev/2021, esta apresentou classificação predominantemente eutrófica, o que caracteriza a ocorrência de alta produtividade de algas nesses corpos d'água, sobretudo, em decorrência das atividades antrópicas, possibilitando a ocorrência de alterações indesejáveis na qualidade da água e interferindo nos usos múltiplos.

Além disso, ao se observar o comportamento da classificação do estado trófico, é possível relacionar essas variações ao longo da série histórica com o regime pluviométrico. Segundo Macedo e Sipaúba-Tavares (2018), devido ao escoamento superficial gerado pela ocorrência de chuvas, a entrada de nutrientes como nitrogênio e fósforo impacta diretamente no processo de eutrofização. Os autores destacam que o uso e ocupação do solo, por exemplo, ligado a prática da agropecuária e da agricultura são grandes causadores associadas ao enriquecimento de nutrientes no entorno de reservatórios.

Da Silva Pereira *et al.* (2020) destaca que com a ocorrência de chuvas nos primeiros meses da estação chuvosa, há a tendência de elevação dos valores de nutrientes na água dos reservatórios. Nesse sentido, ao se analisar a Figura 3, observa-se que os meses de fevereiro de 2015, 2016 e 2017 registram os piores estados tróficos do período compreendido entre fevereiro de 2008 e fevereiro de 2021.

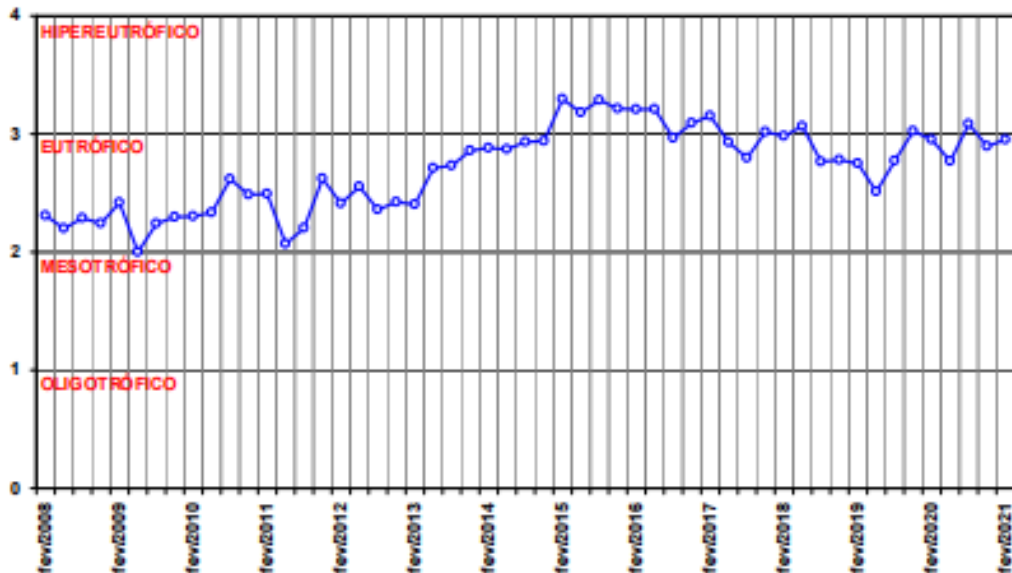
De acordo com a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme), em 2015, o mês de janeiro apresentou volumes muito baixos de precipitação com máximas de 50 mm para a maioria dos municípios, enquanto o mês de fevereiro, as chuvas, para a maior parcela do Ceará, ficaram entre 100 e 200 mm. Em 2016, ao contrário de 2015, no mês de janeiro as ocorrências predominantes máximas mensais de chuvas variaram de 100 a 300 mm. Entretanto, o mês de fevereiro foi bastante afetado pela escassez de chuva, com a prevalência de precipitações compreendidas entre 0,1 e 50 mm e de 50,1 a 100 mm mensais. Logo, constata-se que nos períodos com baixo regime de precipitação ocorre a piora do nível de trofia dos mananciais.

Quanto a 2017, o mês de janeiro apresentou certa aridez, já que as ocorrências de chuvas ficaram, na maior parte dos registros, entre 0,1 e 50 mm, 50,1 e 100mm e em alguns pontos entre 100,1 e 200 mm. Em vista das informações apresentadas, observa-se a presença de irregularidades no regime de chuvas do estado do Ceará, o que favorece, em ambos os registros apresentados acima, o fenômeno da eutrofização.

A Figura 4 representa o histórico do número de açudes por classe trófica a partir de fevereiro de 2010 a 2021, evidenciando que a quantidade de açudes classificados como eutróficos e hipereutróficos predomina ao longo do tempo, em especial, nos períodos de estiagem do ano, principalmente no segundo semestre, já que com a diminuição do nível do reservatório, a tendência é de que haja a redução do volume de água disponível, dificultando a diluição dos nutrientes que entram no reservatório por meio das fontes difusas e pontuais.

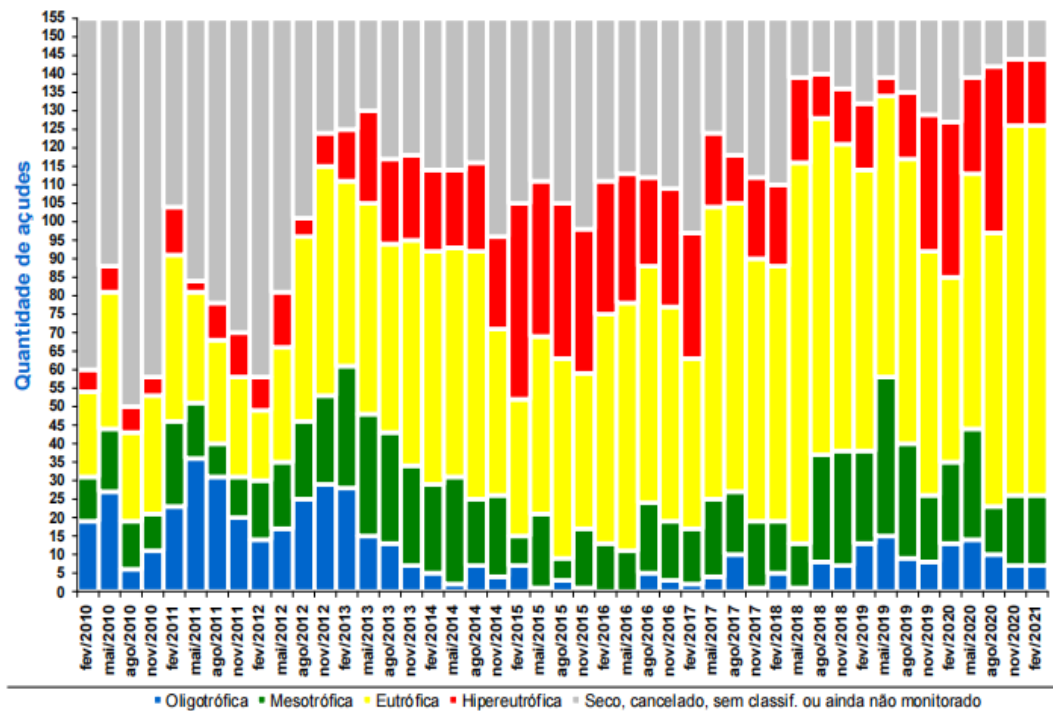
Segundo a COGERH (2021), a bacia hidrográfica do salgado demonstrou os melhores resultados, para os quais 42,09% dos açudes foram classificados como oligotróficos ou mesotróficos, enquanto a bacia hidrográfica do Curu e a bacia hidrográfica do Sertão de Crateús apresentaram 100% dos reservatórios como eutróficos e hipereutróficos.

Figura 3 – Evolução trimestral da classificação do estado trófico a partir de fev/2008 a fev/2021



Fonte: COGERH (2021)

Figura 4 – Histórico da classe trófica dos açudes nos últimos 10 anos (fev/2010 a fev/2021)



Fonte: COGERH (2021)

2.3. O impacto do uso e ocupação do solo na Eutrofização

Compreender a forma como o uso e ocupação do solo interferem na dinâmica da eutrofização é parte fundamental da análise desse fenômeno, na maioria das vezes, de origem artificial. Portanto, para elucidar de forma prática o impacto causado pelo uso e ocupação inadequados do solo, abaixo são apresentados os exemplos dos açudes Banabuiú, Orós e Quixeramobim.

Resende (2002) afirma que a pecuária, a presença de fossas sépticas e a aplicação vultuosa de fertilizantes podem levar, ainda, 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. De forma paralela, Rolim (2016) também destaca a influência do fósforo, oriundo de fontes difusas e pontuais.

No caso das fontes difusas, têm-se as contribuições advindas da agricultura, pecuária e do processo de lixiviação do solo em decorrência da ação das chuvas. Em termos de fontes pontuais, sobressaem-se aquelas associadas à falta ou deficiência da operação de tratamento dos efluentes e de resíduos.

No município de Banabuiú, no estado do Ceará, de acordo com o Inventário Ambiental do açude, realizado em 2011, apontou a presença de irregularidades associadas à disposição irregular de resíduos sólidos no lixão municipal localizado na comunidade de Laranjeira, se tornando um importante fator gerador de doenças, bem como a existência de cemitério nas proximidades do açude, que pode contaminar os afluentes existentes, por meio da liberação de necrochorume em virtude da decomposição dos cadáveres.

A agricultura e a ocupação de animais soltos às margens do reservatório também contribuem diretamente para a ocorrência da eutrofização, através do escoamento de fertilizantes e da presença de fezes e urinas dos animais, que além de fornecerem os nutrientes necessários da eutrofização podem, ainda, estar contaminados com agentes patogênicos. Vale lembrar, que não há sistema de esgotamento sanitário adequado, sendo o uso de fossa séptica a única solução para os dejetos produzidos nas residências do município, conforme informações à luz da época do levantamento.

No caso do Açude Orós, de acordo com Inventário Ambiental de 2011, o reservatório é impactado, principalmente, pela prática do desmatamento e da piscicultura, além da influência de resíduos ligados à criação de suínos em pocilgas na região, bem como a criação de outros animais, como equinos e bovinos às margens do açude. A presença de cemitério, da mesma maneira que os demais fatores, também significa um sério risco aos afluentes do açude Orós.

Apontou-se, também, que a prática do desmatamento no entorno do açude, especificamente nas áreas particulares, está associada à agricultura e à produção de carvão, principalmente, destinado ao consumo das comunidades, facilitando o processo de assoreamento e reduzindo o nível de água do reservatório.

Em última análise, tem-se o Açude Quixeramobim, para o qual, segundo o Inventário Ambiental de 2011, foi constatada uma série de irregularidades nas proximidades do reservatório, a saber: a existência de depósitos de resíduos sólidos às margens do açude, bem como a presença de residências e balneário em Área de Proteção Permanente (APP). Além disso, devido à inexistência de sistema de esgotamento sanitário adequado, os efluentes gerados pela população são lançados “*in natura*” nos afluentes do açude e/ou diretamente no manancial principal.

Assim como nos demais reservatórios mencionados, apontou-se a influência de um cemitério nas proximidades, causando uma séria preocupação acerca do carreamento de necrochorume para os afluentes do açude. Por fim, por se tratar de um hábito comum no interior do Ceará, notou-se a existência da criação de animais às margens do reservatório e, do mesmo

modo que em Orós, a prática do desmatamento relacionado a usos agrícolas e à produção de carvão, como já foi mencionado, corrobora para o assoreamento do reservatório.

2.4. Métodos de Avaliação do Estado Trófico

Para a determinação do Índice de Estado Trófico, pode-se adotar uma série de métodos, tais como o de Carlson (1977), Toledo *et al.* (1984), Salas e Martino (1991), Lamparelli (2004), Cunha (2012), Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013) e Rolim (2016).

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 (mg/m³);

ln Cla é o logaritmo neperiano da clorofila-a (mg/m³);

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 grau trófico do reservatório.

Tabela 1 - Classificação do Índice de Estado Trófico de Carlson (1977)

Estado Trófico	Critério
Ultraoligotrófico	IET < 20
Oligotrófico	21 < IET ≤ 40
Mesotrófico	41 < IET ≤ 50
Eutrófico	51 < IET ≤ 60
Hipereutrófico	IET > 61

Fonte: Adaptado Carlson (1977)

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

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

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

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

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

Onde:

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

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

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.

Desse modo, a Tabela 2, representa a classificação do grau de trofia do reservatório a partir do IET médio de Toledo *et al.* (1984).

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

IET	Faixa
Ultraoligotrófico	$IET \leq 24$
Oligotrófico	$24 < IET \leq 44$
Mesotrófico	$44 < IET \leq 54$
Eutrófico	$54 < IET \leq 74$
Hipereutrófico	$IET > 74$

Fonte: Toledo *et al.* (1984)

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, da transparência da água 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 ($\mu\text{g/L}$);

Cla é a clorofila total ($\mu\text{g/L}$);

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 ($\mu\text{g. L}^{-1}$)	Clorofila-a ($\mu\text{g. L}^{-1}$)	S (m)
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$	$P \leq 8$	$Cla \leq 1,17$	$S \geq 2,4$
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$	$8 < P \leq 19$	$1,17 < Cla \leq 3,24$	$1,7 \leq S < 2,4$

Estado trófico	IET	Fósforo total ($\mu\text{g. L}^{-1}$)	Clorofila-a ($\mu\text{g. L}^{-1}$)	S (m)
Mesotrófico	$52 < \text{IET} \leq 59$	$19 < P \leq 52$	$3,24 < \text{Cla} \leq 11,03$	$1,1 \leq S < 1,7$
Eutrófico	$59 < \text{IET} \leq 63$	$52 < P \leq 120$	$11,03 < \text{Cla} \leq 30,55$	$0,8 \leq S < 1,1$
Supereutrófico	$63 < \text{IET} \leq 67$	$120 < P \leq 233$	$30,55 < \text{Cla} \leq 69,05$	$0,6 \leq S < 0,8$
Hipereutrófico	$\text{IET} > 67$	$233 < P$	$69,05 < \text{Cla}$	$S < 0,6$

Fonte: Lamparelli (2004, p. 168)

O método de Cunha (2012) foi desenvolvido para climas subtropicais e assim como o de Lamparelli (2004), avalia a clorofila-a e fósforo, por meio dos quais é possível determinar o IET geral, como apresentado nas Equações 12, 13 e 14.

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

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

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

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 ($\mu\text{g/L}$);

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

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)

Por fim, tem-se o método de Rolim (2016), a qual aplicou a técnica de análise multivariada empregada aos dados dos 18 reservatórios da Bacia do Banabuiú, portanto, sendo 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.

$$IET_{SA} = q_{Pt}^{0,330} \times q_{Cla}^{0,332} \times q_{Transp}^{0,338} \quad (15)$$

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 (mg/L);

Cla 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.

Tabela 5 – Matriz do IET_{SA} e equivalência com medidas de fósforo, clorofila-a e transparência em reservatórios segundo Rolim (2016)

Níveis tróficos	Fósforo (mg. L^{-1})	Clorofila-a ($\mu\text{g. L}^{-1}$)	Transp. (m)	IET_{as}
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)

Com a finalidade de facilitar a compreensão dos métodos mencionados acima, o Quadro 1 mostra os principais parâmetros analisados por cada metodologia apresentada, bem como apresenta os tipos de climas para os quais foram desenvolvidas as equações de cada autor.

Quadro 1 - Resumo dos Métodos de IET

Autor	Parâmetros analisados			Clima
	Clorofila-a	Fósforo	Transparência	
Carlson (1977)	x	x	x	Temperado

Autor	Parâmetros analisados			Clima
	Clorofila-a	Fósforo	Transparência	
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

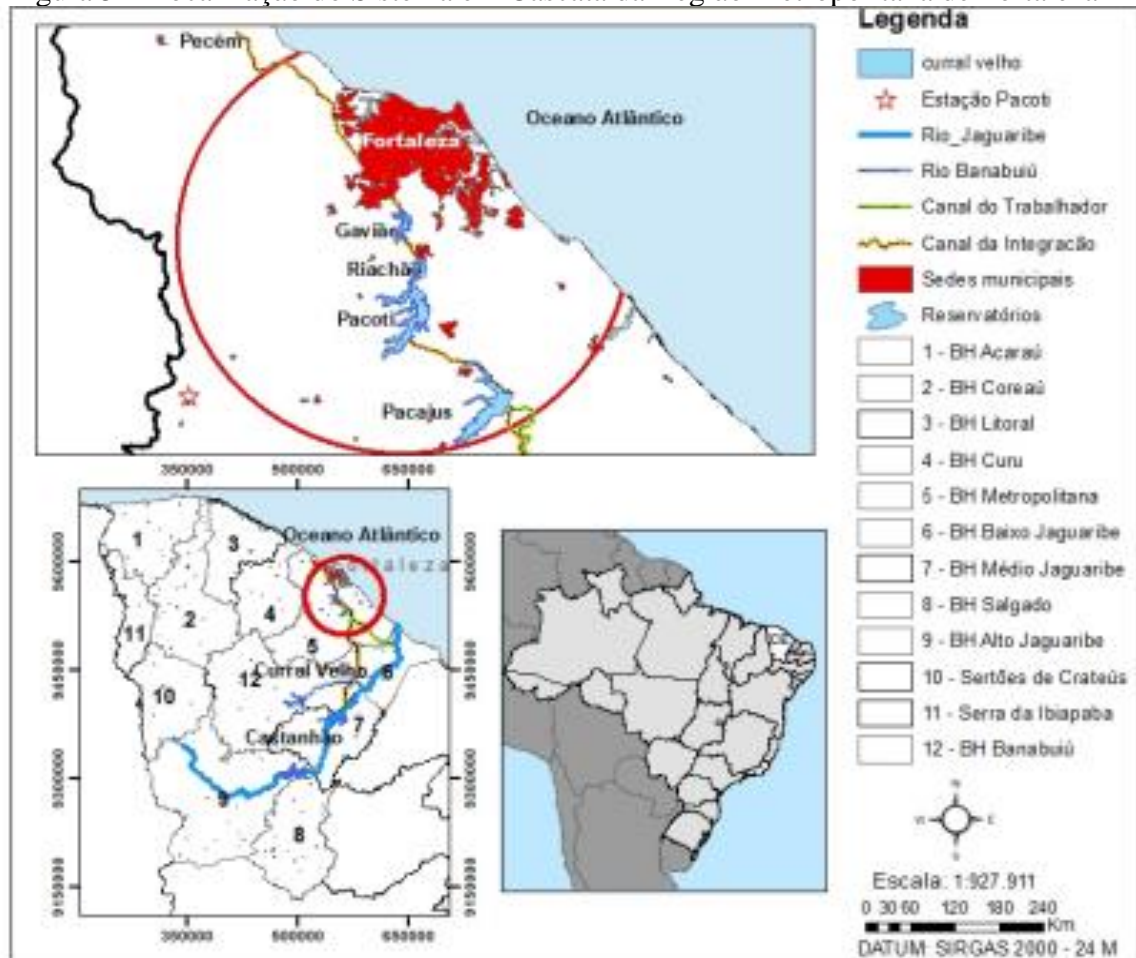
Fonte: Elaborado pelo autor

3. METODOLOGIA

3.1. Área de Estudo

Para a área de estudo foi escolhido o Sistema em Cascata da Região Metropolitana de Fortaleza (SCRMF) formado por 6 reservatórios localizados em diferentes Bacias Hidrográficas (BHs). A Figura 5 mostra a divisão das macrorregiões de planejamento da Política Estadual de Recursos Hídricos do Ceará, nas quais estão inseridos os reservatórios: BH Banabuiú (Reservatório Curral Velho), BH Médio Jaguaribe (Reservatório Castanhão) e BH Metropolitana (Reservatórios Pacajus, Pacoti, Riachão e Gavião). De acordo com a COGERH, o também chamado de “Eixão das Águas” possui início imediatamente a jusante da barragem do reservatório Castanhão e possui 255 km de extensão, incluindo o prolongamento do sistema adutor entre o açude Gavião e o Complexo Industrial e Portuário do Pecém. Conforme a Secretaria de Recursos Hídricos (SRH), o “Eixão das Águas” tem vazão regularizada de projeto entre 19 m³/s e 22 m³/s.

Figura 5 – Localização do Sistema em Cascata da Região Metropolitana de Fortaleza



Fonte: França (2021)

De acordo com França (2021) o SCRMF atende o município de Fortaleza, com 2.452.185 de habitantes (IBGE, 2010), incluindo polos industriais (Maracanaú, Pecém e Eusébio), além de outros municípios, como Chorozinho, Caucaia, Pacatuba, Pacajus, Itaitinga, Aquiraz, Guaiúba, Maranguape e São Gonçalo do Amarante.

O sistema é constituído pelos 6 reservatórios mencionados, os quais apresentam diferentes capacidades de armazenamento, sendo compostos por estações de bombeamento, adutoras, sifões, canais e túneis que realizam a transposição da água bruta até o açude Gavião, que está situado na BH metropolitana. Quanto à capacidade dos reservatórios, o açude Castanhão é o que apresenta a maior capacidade de armazenamento de água, seguido de Pacoti e Pacajus. O Quadro 2 mostra as coordenadas dos açudes, bem como os dados relativos à bacia a qual eles pertencem, segundo os seus respectivos municípios.

Quadro 2 – Municípios, capacidade de armazenamento e localização dos açudes do SCRMF

Município	Reservatório	Capacidade (m ³)	Bacia	Coordenadas	
				E	N
Alto Santo	Castanhão	6.700.000.000	Médio Jaguaribe	560.930	9.392.711
Horizonte	Pacoti	380.000.000	Metropolitana	551.985	9.553.752
Pacajus	Pacajus	240.000.000	Metropolitana	568.400	9.533.300
Itaitinga	Riachão	46.950.000	Metropolitana	552.918	9.557.930
Pacatuba	Gavião	32.900.000	Metropolitana	549.266	9.568.234
Morada Nova	Curral Velho	12.165.745	Banabuiú	576.907	9.438.009

Fonte: Secretaria de Recursos Hídricos do Ceará

3.2. Métodos de IET e análise dos dados

As informações foram obtidas através de ofício enviado por meio do portal da ouvidoria do Ceará à Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH). Os dados solicitados à COGERH são relativos à transparência, clorofila-a e fósforo, e compreendem o período de janeiro de 2017 a fevereiro de 2021. É válido mencionar que, em decorrência da disponibilidade de dados foi possível analisar apenas os dados relativos a 14 coletas para os açudes Castanhão e Curral Velho, enquanto para os da BH metropolitana avaliaram-se as informações relativas a 28 coletas.

Para a análise do IET, empregou-se os métodos de Carlson (1977), Toledo *et al.* (1984), Lamparelli (2004), Cunha (2012) e Rolim (2016).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para os açudes Castanhão e Curral Velho (Quadro 3), observa-se para todos os métodos a piora da qualidade de água do açude Curral Velho em relação ao açude Castanhão, isto pode se resultado, principalmente, das cargas de nutrientes provenientes do entorno do açude Curral Velho, para o qual o inventário (COGERH, 2012) aponta uma série de irregularidades no uso e ocupação das áreas próximas ao manancial na época da realização do inventário. A criação de animais em APP (Área de Preservação Permanente), a realização do cultivo de pastagens, seguida do aporte de esgoto proveniente de bairros próximos (Varzantes, Prourb, Populares e Bento Pereira) para dentro do reservatório podem ser considerados como fontes impactantes no processo de eutrofização.

Destacou-se, inclusive, a disposição de lixo oriundo dos quintais das residências próximas ao açude, além do desmatamento para construção de áreas de lazer, como barracas de banho e campos de futebol, assim como a instalação de tanques redes, para a criação de tilápia, representando um grave problema de degradação da qualidade de água, especialmente, em virtude da liberação de amônia e da disposição irregular de vísceras e escamas do beneficiamento dos peixes para consumo.

No açude Castanhão, a classificação do IET variou de eutrófico a hipereutrófico na maioria dos métodos. COGERH (2011), à época do inventário, ressalta que a presença de currais nas áreas de preservação permanente, além da realização de queimadas, ausência de sistema de coleta e tratamento de efluentes e de resíduos, bem como a presença da intensa prática da piscicultura, podem ser vistos como fatores determinantes para o aumento no aporte de nitrogênio e fósforo no açude.

Em vista disso, é válido salientar que tais cenários associados ao baixo volume dos reservatórios em épocas de seca, dificultam a diluição dos nutrientes oriundos das fontes de poluição (SILVA, 2020), de modo que tais problemas podem, ainda, serem agravados, uma vez que a ação dos ventos pode facilitar a recirculação dos nutrientes que estão depositados no fundo do reservatório (VEIGA, 2010; FREITAS *et al.*, 2011; ZHU *et al.*, 2015). Já na fase chuvosa, diante do baixo volume inicial do açude, também ocorre o aumento da carga de nutrientes por causa do escoamento superficial (LOPES *et al.*, 2014; ARAÚJO, 2017), sendo a erosão um grande facilitador do transporte de nutrientes, como fósforo (REKOLAINEN *et al.*, 2006; EKHOLM e LEHTORANTA (2012)).

Quanto aos reservatórios da BH metropolitana, observou-se que, de modo geral, o açude Pacajus (Quadro 4) encontra-se, na maioria das ocorrências, tendendo do estado

mesotrófico a eutrófico. De acordo com os levantamentos realizados pela COGERH (2011), no açude Pacajus, à época do inventário realizado, havia forte influência dos efluentes oriundos da zona urbana do município, assim como do lixão municipal, o qual ainda recebe, atualmente, lixo doméstico, urbano e até hospitalar.

Processo semelhante ocorre no açude Pacoti (Quadro 4), localizado em Horizonte, com nível de trofia, na maioria dos resultados, variando de eutrófico a Supereutrófico. Isto pode ser consequência das contribuições de esgoto do município, assim como pela prática ilegal de queimadas, que prejudicam drasticamente o solo no entorno do manancial, diminuindo a cobertura de vegetação e favorecendo o escoamento superficial. Segundo a COGERH (2011), o açude Pacoti também é considerado um dos maiores responsáveis pelo aumento de aporte de nutrientes no açude Riachão.

De forma paralela, o açude Riachão (Quadro 5) apresentou comportamento análogo ao manancial do Pacoti. COGERH (2011) salienta que a ausência de esgotamento sanitário é o principal componente responsável pela eutrofização artificial do reservatório, causada, principalmente, pelas contribuições da cidade de Itaitinga, já que o atendimento de esgotamento sanitário é precário na região, em especial, nas áreas mais humildes.

Quanto ao açude Gavião (Quadro 5), nota-se que, para a maioria dos resultados obtidos a partir dos métodos avaliados, o nível trófico ficou no intervalo de eutrófico a hipereutrófico. COGERH (2017) cita há contribuição de efluentes domésticos de comunidades carentes situadas no entorno, o que possibilita o escoamento das cargas poluidoras diretamente para o açude. Segundo o inventário, há fortes indicativos de que as ações antrópicas das proximidades do reservatório estão intimamente ligadas às problemáticas da qualidade de água, já que na bacia hidrográfica do açude está inserida a zona urbana do município de Pacatuba, onde 37,7% da cidade não possui sistema de esgotamento sanitário, ou seja, aumenta a possibilidade de repercussão de impactos negativos na qualidade de água do reservatório. Entretanto, espera-se que esse cenário deficitário do esgotamento sanitário seja revertido futuramente através da Lei 14.026/2020, que trata do novo marco regulatório do saneamento básico, na qual através do Art. 11-B destaca que 90% da população deverá ser atendida com coleta e tratamento de esgoto, com prazo máximo de atingimento da meta até 31 de dezembro de 2033. Nesse sentido, espera-se que haja uma diminuição acentuada no lançamento de esgotos nos reservatórios, bem como a melhoria da qualidade da água e, por conseguinte, o decaimento do Índice de Estado Trófico.

Cabe ressaltar que, mesmo que as datas de algumas coletas possuam diferença entre si, nota-se um fenômeno semelhante ao observado nos açudes Castanhão e Curral Velho para a

maioria dos métodos, por exemplo, verifica-se através do índice de Lamparelli (2004) que ao se avaliar as variações da qualidade da água ao longo de todo o sistema em cascata, constata-se a prevalência do estado de trofia hipereutrófico. Além disso, tem-se, também, a exemplo, os resultados relativos ao método de Toledo *et al.* (1984), para o qual, por exemplo, em janeiro de 2019, tem-se a predominância do estado eutrófico para todos os açudes, exceto no açude Pacajus. Tal divergência pode ser devido, principalmente, às condições de turbidez, velocidade e baixo tempo de residência da água, as quais dificultam a ocorrência da eutrofização (CUNHA *et al.*, 2008; ANDRIETTI, 2016), já que a água percorre 45,9 km do Curral Velho até a Serra do Felix, distrito de Beberibe, seguindo por 66,3 km até o açude Pacajus. Além disso, o volume disponível do reservatório, como já mencionado, também impacta diretamente na capacidade de diluição dos nutrientes presentes na água.

Já em relação à adequabilidade dos métodos ao clima em que os reservatórios do SCRMF estão inseridos, é preciso fazer algumas considerações. É possível que os resultados obtidos pelo método de Carlson (1977), que foi desenvolvido para ambientes temperados, estejam superestimados, como apontado em outros trabalhos em ambientes tropicais (TRINDADE e MENDONÇA, 2014), já que de acordo com Lamparelli (2004) e Barros (2013) os lagos de climas temperados possuem características bastante distintas dos existentes no semiárido brasileiro e que para tal, faz-se necessária uma adequação do modelo de Carlson (1977). É provável que em virtude da baixa temperatura dos mananciais de clima temperado a produtividade primária seja prejudicada, assim como a sedimentação dos nutrientes, visto que a viscosidade da água é afetada em decorrência das variações de temperatura, permitindo inferir que em temperaturas menores, o nutriente sedimenta de forma mais lenta.

Em vista disso, nos resultados de Toledo *et al.* (1984) e Lamparelli (2004), ambas adaptações de Carlson (1977) para climas tropicais, nota-se grande ocorrência do estado eutrófico para Toledo *et al.* (1984) e do estado hipereutrófico para Lamparelli (2004). Isto pode ser justificado pelo fato de que no IET Médio de Lamparelli (2004) a autora considerou somente os índices de fósforo total e clorofila-a, visto que os valores de transparência podem frequentemente não ser representativos para o estado de trofia, visto que a transparência pode ser afetada pela elevada turbidez de material suspenso e não apenas pela densidade de organismos planctônicos (MAIA *et al.*, 2015; SENA *et al.*, 2020).

Já para o modelo de Cunha (2012), observa-se a prevalência do grau de trofia supereutrófico. Cabe citar que, o índice proposto pelo autor foi desenvolvido para ambientes subtropicais, e que, assim como Lamparelli (2004) considerou apenas no IET Médio dos índices de PT e Cla. Entretanto, em um trabalho subsequente, Cunha, Calijuri e Lamparelli (2013)

revisaram e atualizaram os critérios propostos por Cunha (2012), para que dessa forma fosse possível compreender e distinguir de maneira mais adequada os sistemas de alta produtividade, introduzindo mais uma classe de estado trófico, a hipereutrófica.

Por fim, em relação a Rolim (2016), o modelo da autora apresentou uma certa variabilidade do estado trófico do reservatório em comparação aos demais métodos, evidenciando, possivelmente, de forma mais real as condições do açude no decorrer das diferentes fases do ano, já que o índice de Rolim (2016) foi desenvolvido para o clima semiárido, o que é inédito em relação aos outros modelos discutidos. No entanto, Rolim *et al.* (2019) ressaltam que ainda 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.

No método da autora, verifica-se um fenômeno oposto ao apresentado pelos outros métodos, no decorrer dos quais há a elevação do grau de trofia à medida que a água do sistema em cascata se aproxima do açude Gavião. Em vista disso, há várias ocorrências do estado oligotrófico para os reservatórios do sistema em cascata, isto ocorre, por exemplo, devido à transparência, a qual em diversas ocasiões apresentou valor elevado, logo, equivalendo a 0 na matriz de equivalências, anulando o produtório do IET final, portanto, obtendo a classificação para o estado oligotrófico.

É válido ressaltar, que pelo fato de ser atribuído a cada parâmetro um peso, em algumas situações a clorofila apresentou concentrações elevadas, enquanto o fósforo demonstrou valores bastante inferiores, o que interfere no IET final. Embora estudos realizados em lagos e reservatórios, como o de Toledo *et al.* (1984), Garcia *et al.* (2007) e Cunha *et al.* (2011) apontem o fósforo como principal causador da eutrofização, há na literatura estudos que indicam que o nitrogênio possa atuar como nutriente limitante (LEWIS *et al.*, 2011; XU *et al.*, 2015; WIEGAND *et al.*, 2020). Entretanto, há do mesmo modo, trabalhos como o de Bracken *et al.* (2015) que destacam a possibilidade de colimitação da produtividade primária através do enriquecimento tanto de fósforo quanto de nitrogênio.

Quadro 3 – Resultados dos métodos aplicados aos açúes Castanhão e Curral Velho

Período	Castanhão					Curral Velho				
	Carlson (1977)	Toledo <i>et al.</i> (1984)	Lamparelli (2004)	Cunha (2012)	Rolim (2016)	Carlson (1977)	Toledo <i>et al.</i> (1984)	Lamparelli (2004)	Cunha (2012)	Rolim (2016)
jan-17	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO
abr-17	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	HIPER
jul-17	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	HIPER
out-17	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO
jan-18	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	HIPER
abr-18	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO
jul-18	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO
out-18	HIPER	EUTRO	SUPER	EUTRO	EUTRO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	HIPER
jan-19	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	HIPER	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	HIPER
abr-19	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	HIPER	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	HIPER
out-19	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	HIPER
mai-20	HIPER	MESO	HIPER	SUPER	MESO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	HIPER
ago-20	EUTRO	MESO	SUPER	EUTRO	MESO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	HIPER
nov-20	EUTRO	MESO	SUPER	EUTRO	OLIGO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	HIPER

Quadro 4 – Resultados dos métodos aplicados aos açudes Pacajus e Pacoti

Período	Pacajus					Pacoti				
	Carlson (1977)	Toledo <i>et al.</i> (1984)	Lamparelli (2004)	Cunha (2012)	Rolim (2016)	Carlson (1977)	Toledo <i>et al.</i> (1984)	Lamparelli (2004)	Cunha (2012)	Rolim (2016)
jan-17	EUTRO	MESO	HIPER	SUPER	OLIGO	EUTRO	MESO	HIPER	SUPER	OLIGO
fev-17	EUTRO	MESO	HIPER	SUPER	OLIGO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	OLIGO
mar-17	HIPER	MESO	SUPER	EUTRO	MESO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO
abr-17	HIPER	MESO	SUPER	EUTRO	MESO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	MESO
mai-17	EUTRO	OLIGO	EUTRO	MESO	OLIGO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	MESO
out-17	EUTRO	MESO	SUPER	EUTRO	MESO	EUTRO	MESO	HIPER	SUPER	OLIGO
nov-17	EUTRO	MESO	SUPER	EUTRO	OLIGO	EUTRO	MESO	HIPER	SUPER	OLIGO
dez-17	EUTRO	MESO	SUPER	EUTRO	OLIGO	EUTRO	MESO	HIPER	SUPER	OLIGO
jan-18	EUTRO	MESO	SUPER	EUTRO	OLIGO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO
fev-18	HIPER	MESO	SUPER	EUTRO	MESO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	MESO
mar-18	EUTRO	MESO	SUPER	EUTRO	MESO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO
abr-18	EUTRO	MESO	SUPER	EUTRO	MESO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	OLIGO
mai-18	EUTRO	MESO	SUPER	EUTRO	OLIGO	HIPER	MESO	HIPER	SUPER	OLIGO
out-18	MESO	OLIGO	EUTRO	MESO	OLIGO	EUTRO	MESO	HIPER	SUPER	OLIGO
nov-18	MESO	OLIGO	SUPER	EUTRO	OLIGO	EUTRO	MESO	SUPER	SUPER	OLIGO
dez-18	EUTRO	MESO	SUPER	EUTRO	OLIGO	EUTRO	MESO	HIPER	SUPER	OLIGO
jan-19	EUTRO	MESO	SUPER	MESO	OLIGO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	MESO
fev-19	EUTRO	MESO	SUPER	EUTRO	OLIGO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	HIPER
mar-19	EUTRO	MESO	SUPER	EUTRO	MESO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	MESO
mai-19	EUTRO	MESO	SUPER	EUTRO	MESO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO
out-19	EUTRO	MESO	EUTRO	MESO	OLIGO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	MESO
nov-19	EUTRO	MESO	EUTRO	MESO	OLIGO	EUTRO	MESO	HIPER	SUPER	OLIGO
dez-19	EUTRO	MESO	SUPER	EUTRO	OLIGO	EUTRO	MESO	HIPER	SUPER	OLIGO
jan-20	EUTRO	MESO	SUPER	EUTRO	MESO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	MESO
fev-20	HIPER	EUTRO	SUPER	EUTRO	EUTRO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO

Período	Pacajus					Pacoti				
	Carlson (1977)	Toledo <i>et al.</i> (1984)	Lamparelli (2004)	Cunha (2012)	Rolim (2016)	Carlson (1977)	Toledo <i>et al.</i> (1984)	Lamparelli (2004)	Cunha (2012)	Rolim (2016)
mar-20	EUTRO	MESO	EUTRO	MESO	MESO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO
nov-20	EUTRO	MESO	SUPER	MESO	OLIGO	EUTRO	MESO	HIPER	SUPER	OLIGO
fev-21	EUTRO	MESO	EUTRO	MESO	MESO	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO

Quadro 5 – Resultados dos métodos aplicados aos açúdes Richão e Gavião

Período	Riachão					Período	Gavião				
	Carlson (1977)	Toledo et al. (1984)	Lamparelli (2004)	Cunha (2012)	Rolim (2016)		Carlson (1977)	Toledo et al. (1984)	Lamparelli (2004)	Cunha (2012)	Rolim (2016)
jan-17	EUTRO	MESO	HIPER	SUPER	OLIGO	jan-17	EUTRO	MESO	SUPER	EUTRO	MESO
fev-17	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	OLIGO	fev-17	EUTRO	EUTRO	SUPER	EUTRO	OLIGO
mar-17	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO	mar-17	EUTRO	EUTRO	EUTRO	MESO	MESO
abr-17	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	MESO	mai-17	HIPER	MESO	HIPER	SUPER	OLIGO
mai-17	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	MESO	out-17	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	OLIGO
nov-17	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	OLIGO	nov-17	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	OLIGO
dez-17	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	OLIGO	dez-17	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	OLIGO
jan-18	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO	jan-18	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	OLIGO
fev-18	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	MESO	fev-18	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	MESO
mar-18	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	MESO	mar-18	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	MESO
abr-18	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	MESO	abr-18	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	OLIGO
mai-18	EUTRO	MESO	HIPER	SUPER	OLIGO	mai-18	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	OLIGO
out-18	EUTRO	MESO	HIPER	SUPER	OLIGO	out-18	EUTRO	MESO	HIPER	SUPER	OLIGO
nov-18	EUTRO	EUTRO	SUPER	SUPER	MESO	nov-18	EUTRO	EUTRO	HIPER	SUPER	OLIGO
dez-18	EUTRO	EUTRO	HIPER	SUPER	MESO	dez-18	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	MESO
jan-19	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	MESO	jan-19	EUTRO	EUTRO	HIPER	SUPER	OLIGO
fev-19	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO	fev-19	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	MESO
mar-19	EUTRO	MESO	HIPER	SUPER	OLIGO	mar-19	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO
abr-19	EUTRO	MESO	SUPER	SUPER	MESO	abr-19	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO
mai-19	HIPER	EUTRO	SUPER	EUTRO	MESO	mai-19	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	MESO
out-19	EUTRO	MESO	SUPER	EUTRO	OLIGO	nov-19	EUTRO	MESO	HIPER	SUPER	OLIGO
nov-19	EUTRO	MESO	HIPER	SUPER	OLIGO	dez-19	MESO	MESO	EUTRO	MESO	OLIGO
dez-19	EUTRO	MESO	HIPER	SUPER	OLIGO	jan-20	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO
jan-20	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO	mar-20	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO
fev-20	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO	mai-20	EUTRO	EUTRO	HIPER	SUPER	MESO

Período	Riachão					Período	Gavião				
	Carlson (1977)	Toledo et al. (1984)	Lamparelli (2004)	Cunha (2012)	Rolim (2016)		Carlson (1977)	Toledo et al. (1984)	Lamparelli (2004)	Cunha (2012)	Rolim (2016)
mar-20	HIPER	EUTRO	HIPER	SUPER	EUTRO	ago-20	EUTRO	MESO	HIPER	SUPER	OLIGO
nov-20	EUTRO	MESO	HIPER	SUPER	OLIGO	nov-20	EUTRO	MESO	HIPER	SUPER	OLIGO
fev-21	HIPER	EUTRO	SUPER	SUPER	MESO	fev-21	EUTRO	EUTRO	HIPER	SUPER	MESO

5. CONCLUSÃO

A partir dos resultados discutidos, constata-se que a grande maioria dos métodos classificou o nível trófico dos reservatórios entre eutrófico, hipereutrófico e supereutrófico, notou-se, inclusive, algumas ocorrências de estado oligotrófico e mesotrófico, sobretudo, nos métodos de Toledo *et al.* (1984) e Rolim (2016). Em termos da avaliação espaço-temporal do IET no sistema em cascata, nota-se a piora do IET em alguns períodos. Entretanto, estudos mais aprofundados são necessários para validar a real situação do estado trófico dos mananciais levantados. Quanto aos métodos destacados, verificou-se que o de Rolim (2016) demonstrou uma certa sensibilidade na distribuição de classes, atribuindo a cada variável um peso específico. Além disso, o modelo proposto foi desenvolvido para considerar as peculiaridades dos corpos hídricos do clima semiárido, o que diminui possíveis erros na obtenção do nível trófico dos reservatórios. Em vista disso, o método de Rolim (2016) passa a ser um importante indicativo para estudos futuros acerca da adequabilidade dos métodos de IET, especialmente, ao se considerar o clima como fator impactante na determinação dos resultados.

Contudo, é preciso ressaltar que, pelo fato de que as datas das coletas realizadas pela COGERH divergem em determinados períodos, há a dificuldade de mensurar com exatidão o estado trófico ao longo do SCRMF para o período de 2017 a 2021. No entanto, mesmo diante dessa limitação, foi possível apresentar um recorte dos impactos negativos causados pela ação antrópica no sistema em cascata, mostrando que é preciso se aprofundar nos estudos relativos, principalmente, aos sistemas de transferência de água do semiárido.

Quanto aos danos causados pelo uso e ocupação do solo, são necessárias ações que reduzam os impactos gerados no entorno dos reservatórios, como implantar, adequar ou ampliar os sistemas de esgotamento sanitário, principalmente, nas áreas onde se concentram os maiores contribuintes, o que pode diminuir a concentração de nutrientes nos corpos receptores. Eliminar a presença de lixões ou a disposição irregular de resíduos sólidos é imprescindível para a conservação das bacias dos reservatórios, sendo a educação ambiental um importante instrumento de controle e conscientização. Já em relação à prática da agropecuária, deve-se intensificar a fiscalização com a finalidade de remanejamento dos animais para outras áreas, para que haja a limitação do incremento de nutrientes presentes nas fezes e urina que podem, ainda, conter microrganismos patogênicos.

REFERÊNCIAS

ANDRIETTI, Graciane et al. Índices de qualidade da água e de estado trófico do rio Caiabi, MT. **Revista Ambiente & Água**, v. 11, p. 162-175, 2016.

ARAÚJO, Isabel Cristina da Silva. Perda de solo e aporte de nutrientes e metais em reservatórios do Semiárido Brasileiro. 2017.

AZEVEDO, Sandra M. F. ...; CARMICHAEL, Wayne W.; JOCHIMSEN, Elise M.; RINEHART, Kenneth L.; LAU, Sharon; SHAW, Glen R.; EAGLESHAM, Geoff K. Human intoxication by microcystins during renal dialysis treatment in Caruaru - Brazil. **Toxicology**, [S. l.], v. 182, p. 441–446, 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0300-483X\(02\)00491-2](https://doi.org/10.1016/S0300-483X(02)00491-2). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0300483X02004912>. Acesso em: 06 jul. 2021.

BRACKEN, Matthew ES et al. Signatures of nutrient limitation and co-limitation: responses of autotroph internal nutrient concentrations to nitrogen and phosphorus additions. **Oikos**, v. 124, n. 2, p. 113-121, 2015.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021**. Brasília, 2021.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de Julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico, e dá outras providências. Disponível em: < <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>>. Acesso em: 30 ago. 2021.

BARROS, Lilian Rodolfo. O Índice do Estado Trófico e sua Adaptação para os Sistemas Lênticos do Semiárido Cearense. 2013. 85 f. Tese (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Gestão de Recursos Hídricos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

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 (2011)**. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/pdf/inventarios/2011/Inventario%20Ambiental%20do%20Acude%20Banabuiu%202011.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2021.

CEARÁ. Companhia de Gestão de Recursos Hídricos. **Inventário Ambiental do Açude Orós (2011)**. Disponível em: < http://cdn.funceme.br/hidro-ce/data/arquivos/inventarios_synced_201605/Inventario%20Ambiental%20do%20Acude%20Oros%202011.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2021.

CEARÁ. Companhia de Gestão de Recursos Hídricos. **Inventário Ambiental do Açude Quixeramobim (2011)**. Disponível em: < http://cdn.funceme.br/hidro-ce/data/arquivos/inventarios_synced_201605/Inventario%20Ambiental%20do%20Acude%20Quixeramobim%202011.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2021.

CEARÁ. Companhia de Gestão de Recursos Hídricos. **Inventário Ambiental do Açude Curral Velho (2012)**. Disponível em: <http://cdn.funceme.br/hidro-ce/data/arquivos/inventarios_synced_201605/Inventario%20Ambiental%20do%20acude%20Curral%20Velho.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2021.

CEARÁ. Companhia de Gestão de Recursos Hídricos. **Inventário Ambiental do Açude Castanhão (2011)**. Disponível em: <<http://cdn.funceme.br/hidro-ce/data/arquivos/invetarios/CASTANH%C3%83O.pdf#page=59&zoom=100,129,920>>. Acesso em: 23 ago. 2021.

CEARÁ. Companhia de Gestão de Recursos Hídricos. **Inventário Ambiental do Açude Pacajus (2011)**. Disponível em: <http://cdn.funceme.br/hidro-ce/data/arquivos/inventarios_synced_201605/Inventario%20Ambiental%20do%20Acude%20Pacajus%202011.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2021.

CEARÁ. Companhia de Gestão de Recursos Hídricos. **Inventário Ambiental do Açude Riachão (2011)**. Disponível em: <http://cdn.funceme.br/hidro-ce/data/arquivos/inventarios_synced_201605/Inventario%20Ambiental%20do%20Acude%20Riachao%202011.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2021.

CEARÁ. Companhia de Gestão de Recursos Hídricos. **Inventário Ambiental do Açude Gavião (2017)**. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2018/01/IVA-Gavi%C3%A3o_PSH.pdf>. Acesso em: 23 ago. 2021.

CORAL, L.A.; LAPOLLI, F.R.; RECIO, L.A.M. Cianobactérias em Mananciais de Abastecimento – Problemática e Métodos de Remoção. **DAE**. 2014.

COSTA, Jéssica Alves da et al. Eutrophication in aquatic ecosystems: a scientometric study. *Acta Limnologica Brasiliensia*, v. 30, 2018.

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) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

CUNHA, Davi Gasparini Fernandes; DE FALCO, Patrícia Bortoletto; DO CALIJURI, Maria. Densidade fitoplanctônica e estado trófico dos rios Canha e Pariquera-Açu, bacia hidrográfica do rio Ribeira de Iguape, SP, Brasil. **Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 3, n. 2, p. 90-105, 2008.

CUNHA, Davi GF; DODDS, Walter K.; DO CARMO CALIJURI, Maria. Defining nutrient and biochemical oxygen demand baselines for tropical rivers and streams in São Paulo State (Brazil): a comparison between reference and impacted sites. **Environmental Management**, v. 48, n. 5, p. 945-956, 2011.

DA SILVA PEREIRA, Edilene et al. Eutrofização e mudanças no regime hidrológico: um risco na bacia do Rio Urupá, Amazônia brasileira. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 7, p. 557-568, 2020.

EKHOLM, Petri; LEHTORANTA, Jouni. Does control of soil erosion inhibit aquatic eutrophication?. **Journal of environmental management**, v. 93, n. 1, p. 140-146, 2012.
FALCONER, Ian R.; RUNNEGAR, Maria T.C; BERESFORD, Arthur M. Evidence of liver damage by toxin from a bloom of the blue-green alga, *Microcystis aeruginosa*. **Medical Journal of Australia**, v. 1, n. 11, p. 511-514, 1983.

FEITOSA, Ivan Brito; BASTOS, Wanderley Rodrigues. Caracterização da microbiota e perfil sanitário dos mananciais de abastecimento público da cidade Porto Velho, RO (Amazônia Ocidental). **Scientia Amazonia**, [s. l.], v. 4, p. 69–83, 2015. Disponível em: <http://scientia-amazonia.org/wp-content/uploads/2016/06/v4-n3-69-83-2015.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2021.

FONSECA, Jessica Roberts; CYNARA, Priscila; VIEIRA, Soares; KUJBIDA, Paula; ALVES, Ivaneide. Cyanobacterial occurrence and detection of microcystins and saxitoxins in reservoirs of the Brazilian semi-arid. **Acta Limnologica Brasiliensia**, [S. l.], v. 27, n. 1, p. 78–92, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S2179-975X2814>. Acesso em: 05 jul. 2021.

FRANCIS, George. Poisonous australian lake. **Nature**, v. 18, n. 444, p. 11-12, 1878.

GRADÍSSIMO, D. G.; MOURÃO, M. M.; SANTOS, A. V. Importância do Monitoramento de Cianobactérias e Suas Toxinas em Águas Para Consumo Humano. **Revista Brasileira Criminalística**, [S. l.], v. 9, n. 15, p. 15–21, 2020. DOI: <http://rbc.org.br/ojs/index.php/rbc/article/view/276>. Acesso em: 06 jul. 2021.

FREITAS, Francisco Rafael Sousa; RIGHETTO, Antônio Marozzi; ATTAYDE, José Luiz. Cargas de fósforo total e material em suspensão em um reservatório do semi-árido brasileiro. **Oecologia Australis**, v. 15, n. 3, p. 655-665, 2011.

FRANÇA, Josefa Marciana Barbosa de. Estudo da qualidade dos recursos hídricos no estado do Ceará: uma abordagem inovadora. 2021. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021.

GARCIA, C. Z.; GARCIA, D. C. O.; LEITE, M. A. Comparação entre dois índices de estado trófico para o reservatório de Ilha Solteira. In: **CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL**. 2007. p. 1-2.

GUERRA, A. B.; TONUCCI, M. C.; CEBALLOS, B. S. O.; GUIMARÃES, H. R. C.; LOPES, W. S.; AQUINO, S. F.; LIBÂNIO, M. Remoção de microcistina-LR de águas eutrofizadas por clarificação e filtração seguidas de adsorção em carvão ativado granular. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S. l.], v. 20, n. 4, p. 603–612, 2015. DOI: 10.1590/S1413-41522015020040108649.

LAMPARELLI, M.C. Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: avaliação dos métodos de monitoramento. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LEWIS JR, William M.; WURTSBAUGH, Wayne A.; PAERL, Hans W. Rationale for control of anthropogenic nitrogen and phosphorus to reduce eutrophication of inland waters. **Environmental science & technology**, v. 45, n. 24, p. 10300-10305, 2011.

LIMA, V. H. M. Cianobactérias em Reservatórios do Estado de Pernambuco: ocorrência e

toxicidade. **Holos**, [S. l.], v. 4, p. 111–124, 2017. DOI: <https://10.15628/holos.2017.4470>. Acesso em: 06 jul. 2021.

LOPES, Fernando B. et al. Assessment of the water quality in a large reservoir in semiarid region of Brazil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 437-445, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000400012>>. Acesso em: 22 ago. 2021.

MENEZES, João Paulo Cunha et al. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, p. 519-534, 2016.

MAIA, Amanda Alves Domingos; CARVALHO, Sérgio Luís de; CARVALHO, Fernando Tadeu 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**, v. 20, p. 613-622, 2015.

MACEDO, Carla Fernandes; SIPAÚBA-TAVARES, Lúcia Helena. Eutrophication and water quality in pisciculture: consequences and recommendations. *Boletim do Instituto de Pesca*, [S.l.], v. 36, n. 2, p. 149 - 163, nov. 2018. ISSN 1678-2305. Disponível em: <<https://www.pesca.agricultura.sp.gov.br/boletim/index.php/bip/article/view/911>>. Acesso em: 04 ago. 2021.

MARIA, Ana et al. Dinâmica de protozoários patogênicos e cianobactérias em um reservatório de abastecimento público de água no sudeste do Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S. l.], v. 22, n. 1, p. 25–43, 2017. DOI: 10.1590/S1413-41522016143529. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016143529>. Acesso em: 05 jul. 2021.

MELO, Ana Elisa Silva de. Avaliação da filtração lenta na remoção de células de *Cylindrospermopsis raciborskii* e saxitoxinas. 2006. 197 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

MORAES, L. A. F. A visão integrada da ecologia para o manejo sustentável dos ecossistemas aquáticos. **Oecologia Brasiliensis**, v. 13, n. 4, p. 676–687, 2009.

NASCIMENTO, Luciano; AGOSTINHO, Lourdes Cristina Lucena; CAVALCANTI, Bernadete F. Estudo da mitigação da eutrofização do Açude Velho pela eletrólise. **Eclética Química Journal**, v. 39, n. 1, p. 107-119, 2014.

NETO, Henrique Fernandes da Câmara. **A “Tragédia da Hemodiálise” 12 anos depois: poderia ela ser evitada?**. 2011. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Centro de Pesquisas Aggeu Magalhães, Fundação Oswaldo Cruz, Recife, 2011.

OLIVER, Sofia Lizarralde; RIBEIRO, Helena. Zika virus syndrome, lack of environmental policies and risks of worsening by cyanobacteria proliferation in a climate change scenario. **Revista de Saúde Pública**, v. 54, 2020.

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**, v.11, n.5, p.519-530, 2020.

DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0047>.

REKOLAINEN, Seppo; EKHOLM, Petri; HEATHWAITE, Louise; LEHTORANTA, Jouni; UUSITALO, Risto. Off-site impacts of erosion: eutrophication as an example. **Soil erosion in Europe**, p.775-789, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1002/0470859202.ch55>.

RESENDE, A.V. Agricultura e Qualidade da Água: Contaminação da Água por Nitrato. **Embrapa**, Distrito Federal, p. 1-28, dez. 2002.

ROCHA, Carlos Alberto Nascimento da et al. Water volume reduction increases eutrophication risk in tropical semi-arid reservoirs. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 30, 2018.

ROLIM, H. O.;NUNES, A. B. A.; NASCIMENTO, F. J. S. C.; CHAVES, J. R. . Proposal of a trophic state index in semiarid reservoirs using data of the Banabuiú Basin, state of Ceará, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia (Online)**, v. 31, p. 1-10, 2019.

ROLIM, Hosineide de Oliveira. Proposta de índice de estado trófico em reservatórios do semiárido a partir de dados da bacia do Banabuiú, estado do Ceará. 2016. p. 90. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

SALAS, Henry J.; MARTINO, Paloma. A simplified phosphorus trophic state model for warm-water tropical lakes. **Water research**, v. 25, n. 3, p. 341-350, 1991.

SENA, Ivane Marclely Nascimento; MONTEIRO, Adnivia Santos Costa; ALVES, José do Patrocínio Hora. Variações na qualidade da água e no estado trófico do Reservatório Macela no período de 2004 a 2014. **Poisson**, p. 34-47, 2020.

SILVA, S. M. O.; SOUZA FILHO, F. A. de.; CID, D. A. C.; AQUINO, S. H. S. Avaliação do risco da alocação de água em período de escassez hídrica: o caso do Sistema Jaguaribe–Metropolitano. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.22, n.4, jul/ago 2017, p. 749-760. 2017.

SILVA, Caio O. et al. Baixa riqueza zooplanctônica indicando condições adversas de seca e eutrofização em um reservatório no Nordeste do Brasil. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 110, 2020.

TEIXEIRA, Maria da Glória Lima Cruz; COSTA, Maria da Conceição Nascimento; PIRES DE CARVALHO, Vera Lúcia; PEREIRA, Manuel dos Santos; HAGE, Eduardo. Gastroenteritis epidemic in the area of the Itaparica Dam, Bahia. **Bulletin of the Pan American Health Organization**, [S. l.], v. 27, n. 3, p. 502–512, 1993. Disponível em: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/16355>. Acesso em: 06 jul. 2021.

TISDALE, E. S. Epidemic of intestinal disorders in Charleston, W. VA., occurring simultaneously with unprecedented water supply conditions. **Public Health Engineering**, [S. l.], v. 21, p. 198–200, 1931. DOI: <https://ajph.aphapublications.org/doi/abs/10.2105/AJPH.21.2.198>.

TRINDADE, Priscilla Basilio Cardoso Barros; MENDONÇA, Antônio Sérgio Ferreira. Eutrofização em reservatórios–Estudo de caso: reservatório de Rio Bonito (ES). **Engenharia**

Sanitaria e Ambiental, v. 19, p. 275-282, 2014.

TOLEDO, A. P. et al. A aplicação de modelos simplificados para a avaliação do processo da eutrofização em lagos e reservatórios tropicais. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**. 1983. p. 1-34.

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; Anais do XIX Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental – AIDIS, Santiago do Chile, 1984.

Ueno, Y.; Nagata, S.; Tsutsumi, T.; Hasegawa, A.; Watanabe, M. F.; Park, H.-D.; Chen, G.-C.; Chen, G.; Yu, S.-Z. Detection of microcystins, a blue-green algal hepatotoxin, in drinking water sampled in Haimen and Fusui, endemic areas of primary liver cancer in China, by highly sensitive immunoassay. **Carcinogenesis**, v. 17, p. 1317 – 1321, 1996.

URIZA, Enrique Arturo Cantoral; MARTÍNEZ, Antonia Dolores Asencio; SANJURJO, Marina Aboal. Cianotoxinas: efectos ambientales y sanitarios. Medidas de prevención Cyanotoxins: environmental and health effects. Prevention measures. **Hidrobiológica**, [S. l.], v. 27, n. 2, p. 241–251, 2017. Disponível em: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972017000200241&lng=es&nrm=iso. Acesso em: 05 jul. 2021.

VEIGA, Bruno Victor. **Fatores intervenientes na dinâmica do fósforo em ambientes lênticos - investigação sobre o Reservatório de Alagados no Estado do Paraná**. 2010. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Vol 1. 3 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais. 452 p, 2005.

YUAN, Moucun; CARMICHAEL, Wayne W.; HILBORN, Elizabeth D. Microcystin analysis in human sera and liver from human fatalities in Caruaru, Brazil 1996. **Toxicon**, [S. l.], v. 48, p. 627–640, 2006. DOI: 10.1016/j.toxicon.2006.07.031. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0041010106002728>. Acesso em: 06 jul. 2021.

WANG, Yonggui 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**, v. 541, p. 1348-1362, 2016.

WIEGAND, M. C.; NASCIMENTO, A. T. P.; COSTA, A. C.; LIMA NETO, I. E. Avaliação de nutriente limitante da produção algal em reservatórios do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, v. 55, p. 456-478, 2020.

XU, H.; PAERL, H. W.; QIN, B.; ZHU, G.; HALL, N. S.; WU, Y. Determining critical nutrient thresholds needed to control harmful cyanobacterial blooms in eutrophic Lake Taihu, China. **Environmental Science Technology**, v. 49, n. 2, p. 1051-1059, 2015.

ZHU, Mengyuan; ZHU, Guangwei; NURMINEN, Leena; WU, Tingfeng; DENG, Jianming; ZHANG, Yunlin; QIN, Boqiang; VENTELÄ, Anne-Mari. The Influence of Macrophytes on Sediment Resuspension and the Effect of Associated Nutrients in a Shallow and Large Lake (Lake Taihu, China). **Plos One**, [S. l.], v. 10, n. 6, p. e0127915, 2015. DOI: 10.1371/journal.pone.0127915. Disponível em: <https://dx.plos.org/10.1371/journal.pone.0127915>. Acesso em: 23 ago. 2021.

ZILBERG, B. Gastroenteritis in Salisbury European children-a five-year study. **The Central African Journal of Medicine**, [S. l.], v. 12, n. 9, p. 164–168, 1966. Disponível em: <http://zdrh.uz.ac.zw/xmlui/handle/123456789/1510>. Acesso em: 11 jul. 2021.