



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

LEVI CARNEIRO DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DA SECA PROLONGADA NOS RESERVATÓRIOS
ACARAPE DO MEIO E GAVIÃO**

**FORTALEZA
2018**

LEVI CARNEIRO DA SILVA

**AVALIAÇÃO DO EFEITO DA SECA PROLONGADA NOS RESERVATÓRIOS
ACARAPE DO MEIO E GAVIÃO**

Monografia apresentada ao Curso Bacharelado em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Ceará (UFC) - Campus Pici, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientadora Pedagógica: Prof.^a Dra. Ruth Vidal
Orientadora Profissional: Dra. Helena Becker

FORTALEZA

2018

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)

S581a Silva, Levi Carneiro da.
Avaliação do efeito da seca prolongada nos reservatórios Acarape do Meio e Gavião / Levi Carneiro da Silva. – 2020.
57 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Ambiental, Fortaleza, 2020.

Orientação: Profa. Dra. Ruth Maria Bonfim Vidal.

Coorientação: Profa. Dra. Helena Becker.

1. Eutrofização. 2. Estiagem. 3. Índice de estado trófico. I. Título.

CDD 628

LEVI CARNEIRO DA SILVA

AVALIAÇÃO DO EFEITO DA SECA PROLONGADA NOS RESERVATÓRIOS ACARAPE
DO MEIO E GAVIÃO

Monografia apresentada ao Curso Bacharelado em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Ceará (UFC) - Campus Pici, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof.^a Dra. Ruth Vidal (Orientadora Pedagógica)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof.^a Dra. Helena Becker (Orientadora Profissional)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

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

Dedico este trabalho à Deus.

À minha mãe, Zeneida, minha irmã, Priscila,
família, professores e amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me concedido sabedoria, inteligência e paciência nos momentos mais difíceis da minha carreira acadêmica.

A Prof.^a Dra. Helena Becker, por ser essa pessoa incrível, sempre dando total suporte aos alunos, oportunidades e exercendo a profissão de docente com muito amor, ética e excelência, transformando a Universidade e as pessoas ao seu redor com suas atitudes e projetos exemplares.

A Prof.^a Dra. Ruth Vidal por ter aceitado ser minha orientadora pedagógica, pela disponibilidade de avaliar meu trabalho e por ser uma referência de pesquisadora e professora.

Ao Prof. Dr. Iran Eduardo Lima Neto por ter aceitado meu convite para integrar a banca examinadora e pela disponibilidade de avaliar meu trabalho, por ser um profissional que contribui muito para evolução dos alunos, repassando um pouco do seu vasto conhecimento em engenharia.

A ASTEF, pelo suporte e pela incrível experiência profissional concebida aos alunos estagiários.

A COGERH, pelo convênio e parceria de sucesso com a ASTEF e o LAQUIM, proporcionando experiência profissional, criando oportunidades de bolsas de estágio e de desenvolvimento de excelentes trabalhos.

A minha mãe, Zeneida, minha irmã, Priscila, meu primo, Yuri, e família pelo suporte e apoio inestimáveis, principalmente, nos momentos mais difíceis da minha vida, pelos exemplos de seres humano que são e pela paciência comigo.

Aos amigos e colegas da turma 2015.1 do bacharelado em engenharia ambiental, pelo companheirismo, pelo auxílio nos momentos mais difíceis, pelas reflexões e ensinamentos proporcionados.

Aos colegas de trabalho do LAQUIM, que me deram o suporte e o companheirismo para realização de atividades no Laboratório e para obtenção de conhecimentos e experiências valiosas.

“A falta de acesso à água – para beber, para higiene e para a segurança alimentar – inflige enormes dificuldades a mais de mil milhões de membros da família humana. É provável que a água se torne cada vez mais uma fonte de tensão e de uma feroz competição entre as nações, se a tendência atual se mantiver, contudo, ela pode ser também um catalisador da cooperação. ”

Kofi Atta Annan

RESUMO

Nos últimos anos, o estado do Ceará vem convivendo com um extenso período de seca, ocorrendo problemas do ponto de vista quantitativo (escassez hídrica) e qualitativo, como a eutrofização da água dos reservatórios. Eutrofização é o processo pelo qual os ambientes aquáticos sofrem um enriquecimento em nutrientes, principalmente de fósforo e nitrogênio. O objetivo deste trabalho é avaliar e caracterizar as mudanças ocorridas nos açudes Gavião e Acarape do Meio, localizados nos municípios de Pacatuba-CE e Redenção-CE, respectivamente, no período de estiagem. No estudo, há a análise da variação do Índice do Estado Trófico – IET e da influência da extensa seca temporal no IET ao longo dos anos de 2012 a 2017. O IET classifica os corpos d'água em diferentes graus de trofia, sendo determinado através das concentrações de fósforo total e clorofila *a* de amostras coletadas de água. As concentrações dos nutrientes das águas dos açudes estudados, coletadas a 0,3 m de profundidade nos pontos GAV-05 (Gavião) e ACA-09 (Acarape do Meio), foram analisadas no LAQUIM-UFC, mensalmente, empregando metodologias espectrofotométricas propostas por Eaton *et al.* (2005). Constatou-se que o grau de trofia de ambos os açudes é elevado, sendo classificados basicamente em duas categorias: supereutrófico e hipereutrófico. Essas categorias alertam para águas afetadas significativamente por altas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, associado a episódios de florações de algas ou mortandade de peixes, deteriorando a qualidade da água e prejudicando os seus usos múltiplos. Diferenças estatisticamente significativas foram notadas na avaliação temporal do IET médio (IET_M) para os dois açudes e uma forte correlação negativa estatisticamente expressiva do IET_M e o IET da clorofila *a* com o volume armazenado do açude Gavião. Apesar de haver algumas correlações positivas e negativas moderadas e fortes de alguns IET's com a precipitação anual dos municípios, com o volume do Acarape do Meio e entre o IET (PT) × IET (Cl_a) dos dois açudes, verifica-se que ainda não existe uma correlação estatisticamente significativa entre estas múltiplas comparações. Os IET's médios não variaram sob os efeitos do período chuvoso e seco. No entanto, comprovou-se que o período de seca prolongado em Pacatuba e Redenção, associado a fontes de poluição pontuais e difusas localizadas no entorno dos açudes, afetou negativamente a qualidade da água do Gavião e Acarape do Meio.

Palavras-chave: Eutrofização. Estiagem. Índice de Estado Trófico.

ABSTRACT

In recent years, the state of Ceará has been living with an extensive period of drought, with quantitative (water scarcity) and qualitative problems, such as eutrophication of reservoir water. Eutrophication is the process by which the aquatic environments undergo an enrichment in nutrients, mainly of phosphorus and nitrogen. The objective of this work is to evaluate and characterize the changes occurring in the Gavião and Acarape do Meio reservoirs, located in the municipalities of Pacatuba-CE and Redenção-CE, respectively, during the dry season. In the study, the variation of the Trophic State Index (IET) and the influence of the extensive temporal dryness in the IET during the years 2012 to 2017 are analyzed. The IET classifies the bodies of water into different degrees of trophic, being determined by the concentrations of total phosphorus and chlorophyll a from samples collected from water. The concentrations of nutrients from the studied reservoirs, collected at 0,3 m depth at GAV-05 (Gavião) and ACA-09 (Acarape do Meio), were analyzed monthly in the LAQUIM-UFC, using spectrophotometric methodologies proposed by Eaton *et al.* (2005). It was verified that the trophic degree of both dams is high, being classified basically into two categories: supereutrophic and hypereutrophic. These categories alert to waters affected significantly by high concentrations of organic matter and nutrients, associated with episodes of algae blooms or fish mortality, deteriorating water quality and impairing their multiple uses. Statistically significant differences were noted in the temporal evaluation of the mean IET (IET_M) for the two dams and a strong statistically significant negative correlation of the IET_M and the IET of chlorophyll a with the stored volume of the hawk weir. Although there are some moderate and strong positive and negative correlations of some IET's with the annual precipitation of the municipalities, with the volume of Acarape do Meio and between the $IET(PT) \times IET(Cl_a)$ of the two dams, it is verified that not yet there is a statistically significant correlation between these multiple comparisons. The mean IET's did not change under the effects of the rainy and dry season. However, it was verified that the prolonged drought period in Pacatuba and Redenção, associated to punctual and diffuse sources of pollution located around the dams, negatively affected the water quality of Gavião and Acarape do Meio.

Keywords: Eutrophication. Drought. Index of Trophic Status.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Localização do reservatório Gavião.....	20
Figura 2 –	Localização do reservatório Acarape do Meio.....	21
Figura 3 –	Ilustração das características da área de influência e dos fatores que contribuem para intensificação do fenômeno da eutrofização.....	22
Figura 4 –	Indicação do ponto de coleta das amostras de água no açude Acarape do Meio.....	31
Figura 5 –	Indicação do ponto de coleta das amostras de água do açude Gavião.....	32

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Distribuição da água doce, área e população por região no Brasil.....	17
Gráfico 2 – Precipitação do município de Redenção-CE.....	34
Gráfico 3 – Precipitação do município de Pacatuba-CE.....	34
Gráfico 4 – Volume armazenado do açude Acarape do Meio.....	36
Gráfico 5 – Volume armazenado do açude Gavião.....	37
Gráfico 6 – Variação dos índices de estado trófico para o açude Acarape do Meio nos anos de 2012 a 2017.....	39
Gráfico 7 – Variação dos índices de estado trófico para o açude Gavião nos anos de 2012 a 2017.....	39

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Limites para classificação dos níveis de estado trófico.....	24
Tabela 2 –	Concentração de fósforo e seus respectivos valores máximos permitidos para água doce classe 2, de acordo com a Resolução do CONAMA n° 357/05....	29
Tabela 3 –	Índices de estado trófico para o açude Acarape do Meio ao longo dos anos de 2012 a 2017.....	38
Tabela 4 –	Índices de estado trófico para o açude Gavião durante os anos de 2012 a 2017.....	38
Tabela 5 –	Classificação do índice de estado trófico do açude Acarape do Meio para o ponto ACA – 09, a 0,3 metros de profundidade.....	41
Tabela 6 –	Classificação do índice de estado trófico do açude Gavião para o ponto GAV – 05, a 0,3 metros de profundidade.....	41
Tabela 7 –	Resultado do teste post-hoc com correção de Bonferroni para o reservatório Acarape do Meio.....	43
Tabela 8 –	Resultado do teste post-hoc com correção de Bonferroni para o reservatório Gavião.....	44
Tabela 9 –	Teste t de Student para igualdade de médias do IET _M no açude Acarape do Meio.....	45
Tabela 10 –	Teste t de Student para igualdade de médias do IET _M no açude Gavião.....	45
Tabela 11 –	Correlação R de Pearson para o Gavião.....	46
Tabela 12 –	Correlação R de Pearson para o Gavião.....	46
Tabela 13 –	Correlação R de Pearson para o Gavião.....	46
Tabela 14 –	Correlação R de Pearson para o Acarape do Meio.....	47
Tabela 15 –	Correlação R de Pearson para o Acarape do Meio.....	47
Tabela 16 –	Correlação R de Pearson para o Acarape do Meio.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Água
ANOVA	Análise de Variância
ATP	Adenosina Trifosfato
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
COGERH	Companhia de Gestão de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CV%	Coefficiente de Variação em Porcentagem
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
ETA	Estação de Tratamento de Água
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
IET	Índice de Estado Trófico
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
LAQUIM	Laboratório de Análises Químicas
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
MMA	Ministério do Meio Ambiente
PT	Fósforo Total
RMF	Região Metropolitana de Fortaleza
RNA	Ácido Ribonucleico
SRH	Secretaria dos Recursos Hídricos
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
UFC	Universidade Federal do Ceará

LISTA DE SÍMBOLOS

Cl _a	Clorofila <i>a</i>
hm ³	Hectômetro cúbico
km ²	Quilômetro quadrado
%	Porcentagem
©	Copyright

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	16
2.1	OBJETIVOS GERAIS.....	16
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1	ÁGUA: PROBLEMÁTICA AMBIENTAL NO BRASIL.....	17
3.1.1	Distribuição da água e a influência das anomalias climáticas e das ações antrópicas para a disponibilidade hídrica no Brasil.....	17
3.1.2	A água na região Nordeste e no semiárido nordestino brasileiro.....	18
3.1.3	Reservatório Gavião.....	20
3.1.4	Reservatório Acarape do Meio.....	21
3.2	A POLUIÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS E A EUTROFIZAÇÃO....	22
3.3	CLASSIFICAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DAS ÁGUAS DOCES.....	25
3.4	ORIGEM E IMPORTÂNCIA DOS NUTRIENTES PRESENTES NA ÁGUA PARA OS ESTUDOS DO CONTROLE DE QUALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS.....	27
3.4.1	Fósforo.....	27
3.4.2	Clorofila <i>a</i>	29
4	MATERIAIS E MÉTODOS	31
4.1	COLETA, PRÉ-TRATAMENTO E ANÁLISE DAS AMOSTRAS.....	31
4.2	ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1	PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NOS MUNICÍPIOS DE REDENÇÃO-CE E PACATUBA-CE.....	33
5.2	VOLUME ARMAZENADO DE ÁGUA NOS RESERVATÓRIOS.....	35

5.3	ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO – IET.....	38
5.3.1	Classificação do estado trófico.....	40
5.4	ANÁLISE ESTATÍSTICA DE VARIAÇÃO, CORRELAÇÃO E INFLUÊNCIA.....	42
5.4.1	Análise estatística da variação do IET_M ao longo dos anos e semestres....	42
5.4.2	Análise de correlação R de Pearson.....	45
6	CONCLUSÃO.....	49
	REFERÊNCIAS.....	50

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, a disponibilidade de água depende, em grande parte, do clima. O ciclo anual das chuvas e das vazões no País variam entre regiões e bacias hidrográficas. De fato, as mudanças climáticas naturais ou acarretadas pela ação antrópica ao longo dos anos, associadas aos fenômenos de El Niño e La Niña ou à variação na temperatura da superfície do mar do Atlântico Tropical e Sul podem gerar anomalias climáticas que produzem grandes secas (MARENGO, 2008).

Em algumas regiões do Brasil, as transformações no clima vêm alterando a ocorrência, a distribuição e a dinâmica da água, como em regiões do Nordeste e do semiárido, onde a escassez hídrica se torna presente, gerando problemas cada vez mais graves. Além disso, deve-se ressaltar que a elevada presença de rios intermitentes agrava a escassez hídrica nesses locais do Brasil. Soares e Campos (2013) afirmam que essa presença é estreitamente relacionada com a falta de condições geológicas para formação de reservas importantes de águas subterrâneas, em virtude dos solos rasos e dos domínios de rochas cristalinas, aliada com a irregularidade das chuvas, com o regime pluviométrico anual altamente concentrado em poucos meses do ano e com a elevada evaporação da água.

Tendo em vista a escassez de água e recorrentes períodos de estiagem, houve a necessidade de construção de barragens e reservatórios no decorrer dos anos, na tentativa de constituírem estoques reguladores do fluxo de água, conforme aumentam a capacidade de armazenamento de água para o abastecimento urbano e industrial, e à medida que buscam perenizar as bacias hidrográficas nos estados submetidos às operações de gerenciamento racional de água (REBOUÇAS; BRAGA; TUNDISI, 2006). Entretanto, nas localidades do Nordeste e do semiárido nordestino brasileiro, esses recursos hídricos são mais suscetíveis à eutrofização, devido às altas temperaturas médias, à elevada evaporação e ao baixo tempo de residência da água nos açudes (BEZERRA *et al.*, 2014). Com isso, altera-se a qualidade da água para seus diversos usos, pois a eutrofização eleva os níveis de toxicidade, reduz a transparência da água e, conseqüentemente, altera a biodiversidade dos ecossistemas aquáticos (ARAÚJO, 2016).

Do período de 2010 a 2016, com exceção de 2011, todos foram de estiagem no semiárido nordestino (FUNCEME, 2016). Inserido nesse contexto, o estado do Ceará vem passando por uma situação bastante preocupante no que se refere ao abastecimento de água de suas regiões nos últimos anos. De 2012 a 2016, foram apenas 516 milímetros de chuva anual, em média, menor índice observado desde 1910 no Estado (FUNCEME, 2016). Precipitações pluviométricas insuficientes, com os volumes de chuvas abaixo das médias anuais,

impossibilitam elevar, de forma considerável, o volume de água armazenado nos açudes para os múltiplos usos no Ceará. A COGERH (2007) reforça que a principal consequência dos períodos secos no potencial hídrico das regiões é a redução do aporte de água nos reservatórios, muitas vezes sendo insuficiente até mesmo para recuperar a perda de volume armazenado ocorrida no período do ano anterior. Como resultado, alguns reservatórios permaneceram apenas com o volume morto ou reserva técnica de água. Isso se deve, com maior relevância, ao fato do cenário de seca ter sido intensificado no semiárido atualmente, inclusive na extensa região Nordeste do Brasil.

Outro fator que contribui para agravar a situação, é a degradação da qualidade da água dos mananciais, devido à vulnerabilidade dos açudes no território cearense ao processo de eutrofização e à influência antropogênica no meio ambiente. O aumento do uso e ocupação do solo nessas regiões, ocasionado tanto pelo crescimento das aglomerações urbanas quanto pelo progresso econômico ocorrido ao longo dos anos, contribuíram para ampliação das possibilidades de poluição, de contaminação e para diminuição da proteção das águas superficiais dos reservatórios. Isso ocorre, em muitos casos, pelo lançamento de esgotos domésticos, efluentes de atividades industriais, despejo de resíduos sólidos, retirada ou substituição da mata ciliar por áreas de prática de pecuária e de cultivos agrícolas com poucos quilômetros de proximidade do corpo hídrico.

A problemática atual da água no Ceará vem gerando impactos econômicos, sociais e ambientais, elevando a possibilidade de séria crise no abastecimento de água nos municípios e aumentando os custos decorrentes do tratamento das águas com elevado estágio de eutrofização. O estudo da variação do Índice de Estado Trófico – IET das águas, calculado a partir das concentrações de fósforo total e clorofila *a* e que classifica os corpos d'água em diferentes graus de trofia, é de fundamental importância, pois possibilita alertar para a degradação da qualidade da água diante das baixas precipitações anuais, baixos volumes armazenados, bem como da influência antropogênica e das condicionantes ambientais e naturais do meio ambiente.

O presente trabalho tem o propósito de analisar e de caracterizar as mudanças sofridas do ponto de vista quantitativo, com a escassez hídrica, e por outro lado, com a eutrofização, sob o aspecto qualitativo, nos reservatórios Gavião-CE e Acarape do Meio-CE ao longo do extenso período de estiagem. Para tanto, as águas desses açudes foram analisadas e as concentrações dos parâmetros fósforo total e clorofila *a* determinadas no LAQUIM - UFC, mensalmente, empregando metodologias espectrofotométricas segundo Eaton *et al.* (2005) durante os anos de 2012 a 2017, com o propósito de avaliar o grau de trofia e compreender a variação do Índice, correlacionando com precipitação pluviométrica anual e com volume armazenado dos açudes.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Avaliar e caracterizar as mudanças ocorridas nos reservatórios Gavião e Acarape do Meio, localizados nos municípios de Pacatuba-CE e Redenção-CE, respectivamente, ao longo dos anos de 2012 a 2017, com base na variação do Índice do Estado Trófico – IET.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar analiticamente as concentrações dos parâmetros fósforo total e clorofila *a* de amostras de água dos reservatórios Gavião e Acarape do Meio durante os anos de 2015 a 2017.
- Fazer um levantamento, ao longo dos anos de 2012 a 2017 (período de estiagem), dos dados de clorofila *a*, fósforo total, precipitação pluviométrica anual e volume armazenado de água;
- Calcular o Índice de Estado Trófico – IET e classificar o grau de trofia dos reservatórios em estudo;
- Estudar a variação do IET ao longo dos anos e semestres (período chuvoso e seco) e identificar as mudanças sofridas nos açudes durante o estudo.
- Correlacionar os IET's individuais e médio com a precipitação pluviométrica anual e com o volume armazenado de água dos açudes, na tentativa de detectar possíveis influências ou relações de causas e efeitos entre estas variáveis.

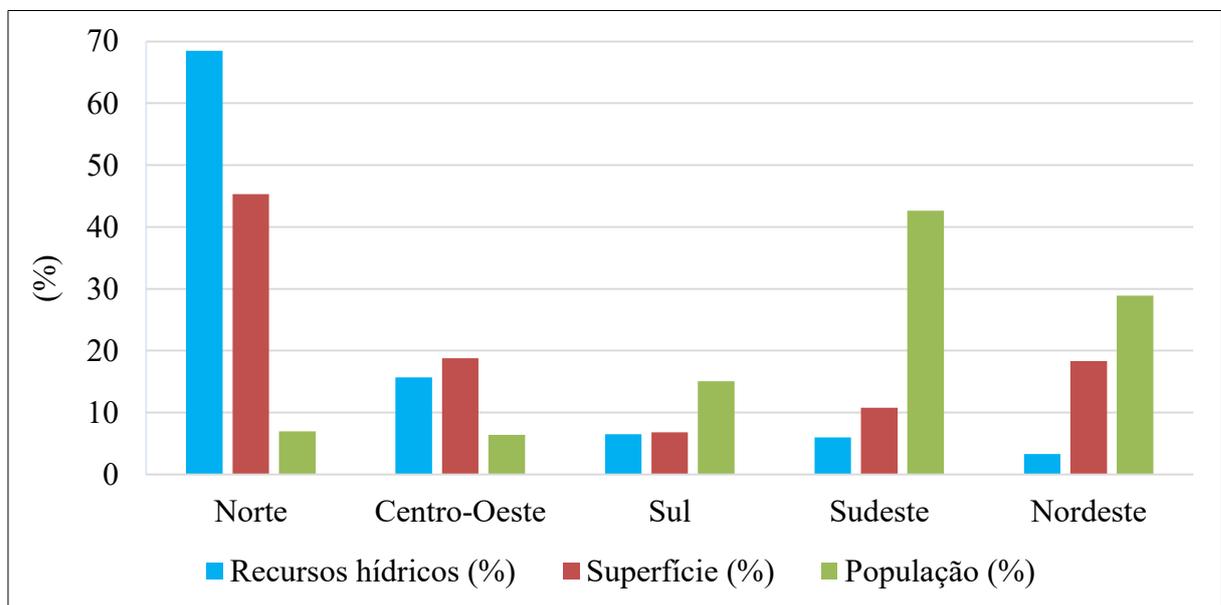
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 ÁGUA: PROBLEMÁTICA AMBIENTAL NO BRASIL

3.1.1 Distribuição da água e a influência das anomalias climáticas e das ações antrópicas para a disponibilidade hídrica no Brasil

A ANA (2015) afirma que apesar de o Brasil possuir 13% da água doce disponível do planeta, a distribuição é desigual, pois 81% estão concentradas na Região Hidrográfica Amazônica, onde está o menor contingente populacional, cerca de 5% da população brasileira, e a menor demanda. Nas regiões hidrográficas banhadas pelo Oceano Atlântico, que concentram 45,5% da população do País, estão disponíveis apenas 2,7% dos recursos hídricos do Brasil. Pode-se observar, a desigualdade na distribuição da água doce por regiões no Brasil através do Gráfico 1, considerando suas respectivas áreas e contingentes populacionais.

Gráfico 1 - Distribuição da água doce, área e população por região no Brasil



Fonte: Adaptado de Paludo e Borba (2013).

O Brasil é rico em termos de disponibilidade hídrica em seu território, mas apresenta uma grande variação espacial e temporal das vazões. As bacias hidrográficas, localizadas em áreas que retratam uma combinação de baixa disponibilidade hídrica e grande utilização das reservas de água, passam por situações de escassez e de estresse hídrico (ANA, 2005).

As mudanças climáticas globais atuais estão contribuindo para ocorrência de anomalias climatológicas, em virtude dos aumentos nas temperaturas das diversas regiões e ecossistemas, além de mudanças nos regimes de precipitações pluviométricas, entre outros. Diversos fatores contribuem para modular a variabilidade das precipitações no Brasil, como, por exemplo, a alteração da temperatura da superfície do Oceano Pacífico Tropical e do Atlântico. A temperatura da superfície do mar (TSM) exerce influência para a presença dos fenômenos El Niño e La Niña e, normalmente, irregularidades nas TSMs dos oceanos (Pacífico Tropical e Atlântico) estão associadas às mudanças na circulação da atmosfera e, conseqüentemente, a flutuações interanuais dos regimes de chuva e disponibilidade dos recursos hídricos no Nordeste do Brasil, acentuando-se na porção semiárida desta Região (MARENGO *et al.*, 2011).

De acordo com o INPE (2018), o El Niño é um fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado por um aquecimento anormal das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical, podendo afetar o clima regional e global, mudando os padrões de vento a nível mundial. Em consequência das mudanças decorrentes da presença do El Niño, há o prolongando nos períodos de seca (secas mais severas), causando efeitos acentuados, como a intensificação tanto da escassez quanto do estresse hídrico citados anteriormente.

Observa-se, que é necessário conviver com a desigual e com a escassa disponibilidade de água em alguns locais do Brasil. Tão importante quanto a quantidade de água disponível é a sua qualidade. São muitos os fatores que levam à poluição dos mananciais e que, por isso, devem ser reduzidos ou eliminados (CARUSO, 1998). Em muitos lugares do território nacional, a influência dos períodos prolongados de estiagem, aliada com as ações antrópicas, causam poluição nos ecossistemas aquático, contribuindo para a degradação da qualidade da água e para o agravamento da escassez hídrica, dificultando, inclusive, o tratamento e a posterior utilização da água dos mananciais para o abastecimento de cidades, principalmente.

3.1.2 A água na região Nordeste e no semiárido nordestino brasileiro

A região Nordeste abrange 18,27% do território brasileiro, possuindo uma área de 1.561.177,8 km², contendo 962.857,3 km² de área inserido no denominado Polígono das Secas (ARAÚJO, 2011). No Brasil, o Nordeste é uma das regiões mais problemáticas no que se refere à disponibilidade hídrica, em virtude, dentre outros fatores, de conter em seu domínio uma extensa área semiárida, que representa 53% de seu território (FERREIRA *et al.*, 2018), onde este último apresenta intensidade de chuvas variando bastante entre suas sub-regiões (SILVA

et al., 2018). Já no semiárido nordestino, Araújo (2011) relata que as precipitações são escassas e concentradas em poucos meses do ano, no qual diversas localidades apresentam precipitações entre 280 a 800 mm de médias anuais, não ultrapassando os 800 mm, em geral. Nos chamados brejos e serras úmidas, há a possibilidade de exceder o máximo total de precipitação média anual. A temperatura média por ano é de aproximadamente 25 °C e apresenta baixa variação ao longo dos meses, de 23 a 28 °C. A vegetação predominante nessas regiões é do tipo caatinga, com características xerofíticas e a formação de uma floresta estacional decidual ou floresta estacional caducifolia (TOLEDO, 2013).

Em termos geológicos, o semiárido nordestino e grande parte do nordeste brasileiro são constituídos, de modo geral, por dois tipos estruturais de solo: o embasamento cristalino e as bacias sedimentares. Tanto no embasamento cristalino, representado por 70% da região semiárida, como nas bacias sedimentares, os solos geralmente são rasos, apresentando baixa capacidade de infiltração, elevado escoamento superficial e reduzida drenagem natural (MELO; MEDIROS, 2016). Dessa forma, em razão da falta de condições geológicas, ocorre uma baixa produção ou formação de reservas importantes de águas subterrâneas.

Além das condicionantes citadas, pode-se ressaltar a intensa evaporação da água nessas regiões, em virtude da acentuada exposição ao vento e a radiação solar que as superfícies dos mananciais são submetidas, aliado as elevadas temperaturas durante grande parte do ano. Com isso, de acordo com Campos (1997), o balanço chuva x evaporação é extremamente desfavorável, sendo um balanço positivo somente nos meses em que as chuvas se concentram, de fevereiro a maio, usualmente.

A realidade natural descrita motivou as autoridades a tomarem decisões que mitigassem o problema da falta de água. Nesse contexto, Toledo (2013) afirma que ações foram elaboradas e obras foram executadas para convivência com as secas, como escavações de poços, construção de cisternas e de adutoras. Porém, as decisões políticas priorizaram a construção de reservatórios ao longo dos anos, que permitem o aumento da capacidade de armazenamento de água proveniente do período chuvoso para o abastecimento urbano e industrial, além de tentar perenizar as bacias hidrográficas.

O estado do Ceará está localizado no norte da Região Nordeste do Brasil, possuindo 86,8% de sua área inserida na região do semiárido, o que significa um risco de seca maior que 60%, com solos rasos, com rocha matriz que dificulta a infiltração, rios intermitentes, altas temperaturas, insolação e evaporação intensas (SAMPAIO, 2014). O Ceará dispõe de 155 açudes monitorados pela COGERH. Dentre esses, os açudes Gavião e Acarape do Meio são importantes mananciais responsáveis pelo abastecimento de algumas localidades. O Gavião não

está localizado no semiárido nordestino, já o Acarape do Meio está inserido nesta região (SUDENE, 2017).

3.1.3 Reservatório Gavião

O reservatório Gavião se localiza no município de Pacatuba-CE, com coordenadas geográficas 3°59'03" S de latitude e 38°37'13" W de longitude e uma altitude de 65,37 metros, como exposto na Figura 1. O açude se encontra na bacia hidrográfica Metropolitana do estado do Ceará, possuindo uma capacidade de armazenamento de 33,3 hm³ e área da bacia hidrográfica de 97 km² (COGERH, 2018).

Figura 1 – Localização do reservatório Gavião



Fonte: Adaptado do Google Maps ©

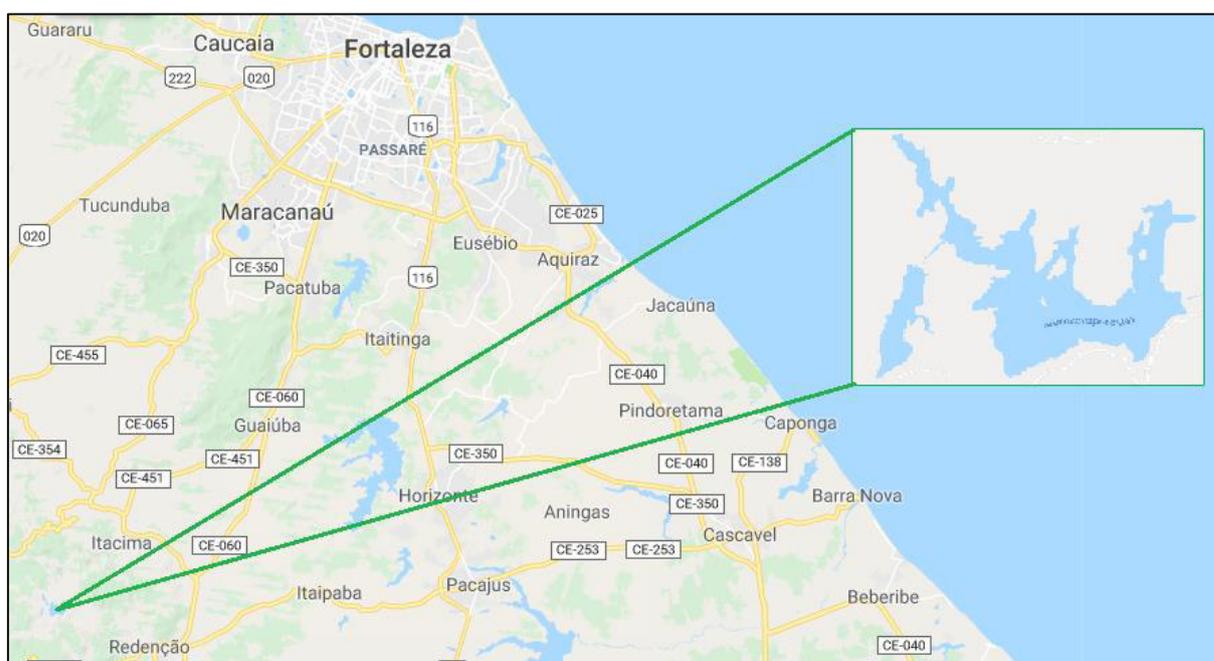
O açude Gavião tem origem a partir do barramento do Rio Cocó, localizado a montante da Estação de Tratamento de Água - ETA, é responsável pelo abastecimento de água potável da região metropolitana de Fortaleza, incluindo os municípios de Fortaleza, Caucaia, Maracanaú e Eusébio. O manancial abastece também o Distrito Industrial, em Maracanaú, e as cidades de Maranguape e Pacatuba. É um reservatório estratégico do Sistema de Abastecimento de Água Bruta da Região Metropolitana de Fortaleza – SAABRMF (SAMPAIO, 2014). Apesar do açude Gavião ser uma das bacias mais representativas hidrologicamente e ser considerado um reservatório modelo, vem frequentemente sendo alvo dos impactos das atividades antrópicas

naquela região (VIDAL, 2011).

3.1.4 Reservatório Acarape do Meio

O reservatório Acarape do Meio está localizado no município de Redenção-CE, posicionada nas coordenadas geográficas 523.593 E e 9.536.618 N, ilustrado na Figura 2. O açude se encontra na bacia hidrográfica Metropolitana do estado do Ceará e possui área de espelho d'água de 220 hectares e capacidade de armazenamento de 31,5 milhões de metros cúbicos (COGERH, 2008).

Figura 2 – Localização do reservatório Acarape do Meio



Fonte: Adaptado do Google Maps ©

O Açude é um dos principais reservatórios de abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza (RMF). O reservatório foi formado a partir do barramento do Rio Pacoti, que por sua vez nasce na Serra de Baturité e percorre 112,5 km no sentido sudoeste/nordeste. Além de fazer parte do sistema de abastecimento de água da RMF, é também responsável pelo abastecimento de água bruta do Distrito Industrial de Maracanaú e das cidades de Pacatuba, Guaiúba, Maranguape, Redenção, Acarape, Barreira e do Distrito de Antônio Diogo. Quando o açude está com a sua capacidade de acumulação comprometida, o açude Gavião é usado para o abastecimento (SAMPAIO, 2014).

Nos municípios que integram a bacia hidrográfica do açude Acarape do Meio, constatam-se contribuições da prática da agricultura, da pecuária e do lançamento de esgotos domésticos para o agravamento da poluição dos rios e riachos da região. Além disso, a atividade extrativa vegetal e o despejo de resíduos sólidos na Bacia afetam a qualidade da água de forma considerável (COGERH, 2008).

3.2 A POLUIÇÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS E A EUTROFIZAÇÃO

O elevado crescimento urbano, com os adensamentos populacionais, e o desenvolvimento industrial no entorno dos ecossistemas aquáticos brasileiros, em muitos casos, contribuem para alteração da qualidade da água. Isso se deve, em virtude do aumento do uso e ocupação indiscriminadamente do solo, com a retirada ou substituição da mata ciliar (protetora dos cursos d'água) por áreas de prática de pecuária, cultivos agrícolas e por habitações sem saneamento básico no entorno das bacias hidrográficas, poluindo os recursos hídricos através do escoamento de fertilizantes agrícolas, do lançamento de esgotos domésticos, aliado ao despejo de resíduos sólidos e de efluentes de atividades industriais locais na água.

Grande parte das transformações antrópicas no meio ambiente e as fontes pontuais e difusas de poluição e de degradação dos ecossistemas aquáticos mencionadas anteriormente, são identificadas, em muitos casos, nas regiões próximas onde se localizam os açudes responsáveis pelo abastecimento de água no estado do Ceará, contribuindo, de forma conjunta, para o aumento do aporte de nutrientes e para alteração no grau de trofia dos mananciais, elevando, inclusive, o estágio de eutrofização. A definição de trofia em ecossistemas aquáticos representa a intensidade de produção primária nestes ambientes. Quanto maior o grau de trofia, mais intensa é a formação de biomassa e, portanto, maior será o consumo de oxigênio para a sua decomposição (ARAÚJO, 2016). O enriquecimento em nutrientes, principalmente do fósforo e do nitrogênio nos ambientes aquáticos, ocasiona o processo de eutrofização, em virtude desses dois nutrientes serem essenciais para o crescimento do fitoplâncton (microalgas e cianobactérias) e de macrófitas, as plantas aquáticas (LOPES *et al.*, 2015).

Figura 3 – Ilustração das características da área de influência e dos fatores que contribuem para intensificação do fenômeno da eutrofização



Fonte: Google ©

O grau de trofia da água dos açudes é determinado através do cálculo do Índice do Estado Trófico – IET, proposto inicialmente por Carlson (1977). Utilizou-se, no presente trabalho, a adaptação realizada por Toledo (1983) da classificação que, a princípio, foi desenvolvida para climas temperados. Essa adaptação foi de fundamental importância, pois leva em consideração as características de cada região, podendo ser utilizada para os açudes do Nordeste e do semiárido brasileiro.

O cálculo do IET é composto pelos Índices do Estado Trófico para a transparência, para o fósforo total e para a clorofila *a* (LAMPARELLI, 2004). Ainda de acordo com Lamparelli (2004), são utilizadas as equações 1, 2 e 3, apresentadas a seguir, para a determinação do IET dos reservatórios.

Equação 1 - Índice de estado trófico para clorofila *a*

$$\text{IET}(Cl_a) = 10 \times \left(6 - \frac{0,92 - 0,34 \times \ln Cl_a}{\ln 2} \right)$$

Equação 2 - Índice de estado trófico para fósforo total

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

Equação 3 - Índice de estado trófico para transparência

$$\text{IET(S)} = 10 \times \left(6 - \frac{\ln S}{\ln 2} \right)$$

Onde, IET: Índice de Estado Trófico; Cl_a: concentração de clorofila *a*, em µg/L; PT: concentração de fósforo total em mg/L; S: transparência medida por meio do disco de Secchi, expressa em metros; ln: logaritmo natural. Entretanto, no cálculo do Índice de Estado Trófico médio (IET_M), consideram-se apenas o índice de estado trófico para clorofila *a* - IET (Cl_a) e o índice de estado trófico para fósforo total - IET (PT), devido o índice de estado trófico para transparência - IET (S) sofrer interferências pela elevada turbidez, em decorrência do material em suspensão na coluna d'água. Dessa maneira, aplica-se a média aritmética simples entre os valores de IET (Cl_a) e IET (PT), como demonstrando na equação 4.

Equação 4 - Índice de estado trófico médio

$$\text{IET} = \frac{\text{IET (Cl}_a) + \text{IET (PT)}}{2}$$

Na Tabela 1 estão expostos os limites para classificação dos diferentes níveis de estado trófico para reservatórios segundo Lamparelli (2004).

Tabela 1 – Limites para classificação dos níveis de estado trófico

Estado Trófico	IET	PT (mg/L)	Clorofila <i>a</i> (µg/L)	Secchi (m)
Ultraoligotrófico	IET ≤ 47	PT ≤ 0,008	CL ≤ 1,17	S ≥ 2,4
Oligotrófico	47 < IET ≤ 52	0,008 < PT ≤ 0,019	1,17 < CL ≤ 3,24	2,4 > S ≥ 1,7
Mesotrófico	52 < IET ≤ 59	0,019 < PT ≤ 0,052	3,24 < CL ≤ 11,03	1,7 > S ≥ 1,1
Eutrófico	59 < IET ≤ 63	0,052 < PT ≤ 0,120	11,03 < CL ≤ 30,55	1,1 > S ≥ 0,8
Supereutrófico	63 < IET ≤ 67	0,120 < PT ≤ 0,233	30,55 < CL ≤ 69,05	0,8 > S ≥ 0,6
Hipereutrófico	IET > 67	0,233 < P	69,05 < CL	0,6 > S

Fonte: Adaptado de Lamparelli (2004).

3.3 CLASSIFICAÇÃO E USOS MÚLTIPLOS DAS ÁGUAS DOCES

A Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, dispõe sobre a classificação dos corpos de água superficiais do território brasileiro e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências (MMA, 2005).

No Capítulo II da Resolução CONAMA nº 357/05, as águas doces são classificadas em cinco classes distintas, em que a classe especial, entende-se com sendo utilizada para os usos mais nobres, e a classe 4, para os usos menos nobres. De acordo com essa Resolução, as águas doces são aquelas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰. As classificações e as destinações para os usos das águas doces no território nacional são apresentadas a seguir:

I - classe especial: águas destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, com desinfecção;
- b) à preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; e,
- c) à preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.

II - classe 1: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvam rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película; e
- e) à proteção das comunidades aquáticas em Terras Indígenas.

III - classe 2: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional;
- b) à proteção das comunidades aquáticas;
- c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000;
- d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e
- e) à aquicultura e à atividade de pesca.

IV - classe 3: águas que podem ser destinadas:

- a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado;
- b) à irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras;
- c) à pesca amadora;
- d) à recreação de contato secundário; e
- e) à dessedentação de animais.

V - classe 4: águas que podem ser destinadas:

- a) à navegação; e
- b) à harmonia paisagística.

A Lei nº 9.433 prevê que a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas. Assim, todos os setores usuários da água têm igualdade de acesso aos recursos hídricos. A Política Nacional de Recursos Hídricos traz uma exceção a esta regra, que vale para situações de escassez, em que os usos prioritários da água passam a ser o consumo humano e a dessedentação de animais.

Os principais usos da água são: abastecimento doméstico, abastecimento industrial, irrigação, dessedentação de animais, preservação da flora e fauna, recreação e lazer, criação de espécies, geração de energia elétrica, navegação, harmonia paisagística, diluição e transporte de despejos (VON SPERLING, 2005).

O estado do Ceará não possui o enquadramento dos corpos de água nas classes de uso citadas acima, passando a ser considerados como classe 2. Para que haja integração adequada de todos os aspectos físicos, sociais e econômicos, sugere-se que a gestão dos recursos hídricos esteja baseada na divisão territorial de bacias hidrográficas (PORTO; PORTO, 2008). O Estado do Ceará, segundo o Plano Estadual dos Recursos Hídricos, está dividido em 12 bacias hidrográficas. Bacia hidrográfica é uma área onde toda chuva é drenada por riachos e rios secundários para um mesmo rio principal, localizado em um ponto mais baixo do terreno, separada das outras bacias por uma linha divisória denominada divisor de água (COGERH, 2018). As bacias hidrográficas são unidades de planejamento e gerenciamento dos recursos hídricos em muitos locais.

3.4 ORIGEM E IMPORTÂNCIA DOS NUTRIENTES PRESENTES NA ÁGUA PARA OS ESTUDOS DO CONTROLE DE QUALIDADE DOS RECURSOS HÍDRICOS

Nos recursos hídricos, o nutriente fósforo total e a clorofila *a* estão presentes de maneiras naturais, devido a disponibilidade de alguns compostos no meio ambiente, como resíduos de plantas, animais mortos, dejetos de animais (ureia e fezes), rochas, entre outros. Além disso, ressalta-se que a dinâmica do fósforo na natureza pode ser entendida através dos denominados ciclos biogeoquímicos, que são processos naturais de reciclagem de vários elementos em diferentes formas químicas do meio físico para os organismos e vice-versa (OLIVEIRA, 2010).

A influência antrópica na natureza contribui para perturbação do equilíbrio dos ciclos biogeoquímicos e do balanço natural dos nutrientes nos ecossistemas aquáticos pelos seus excessos. Isso ocorre, em virtude do lançamento de esgotos domésticos contendo detergentes, efluentes industriais e do despejo de resíduos sólidos e fertilizantes agrícolas na água, juntamente com drenagens de águas pluviais associadas às deficiências do sistema de limpeza pública. A condução dos nutrientes para as águas superficiais provoca o enriquecimento do meio aquático, acarretando no aumento da biomassa, na poluição e na ampliação dos riscos de contaminação do corpo hídrico.

3.4.1 Fósforo

O fósforo constitui em um dos principais nutrientes para os processos biológicos, sendo um dos chamados macronutrientes para os seres vivos, por ser exigido em grandes quantidades pelas células (SILVA, 2016). O fósforo é de fundamental importância para os sistemas biológicos, devido a participação deste elemento em processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos, tais como: armazenamento de energia, formando uma fração essencial da molécula de ATP, a estruturação da membrana celular (através dos fosfolípidios), a transferência da informação genética (componente dos ácidos nucleicos, DNA e RNA), e metabolismo celular, compondo enzimas e vitaminas (ESTEVES, 2011).

O fósforo ocorre em águas naturais e em esgotos domésticos, principalmente na forma de fosfatos (VON SPERLING, 2005). Os fosfatos são os compostos que possuem o fósforo (P) em sua estrutura molecular, encontrando-se na forma iônica e na forma complexada. As formas de fósforo existentes nos corpos d'água são: ortofosfatos, polifosfatos e fósforo orgânico.

A seguir, são descritas algumas informações a respeito das formas de fosfatos presentes nos recursos hídricos:

- **Ortofosfatos:** são representados pelos radicais PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , que se combinam com cátions para formar sais inorgânicos nas águas (PIVELI; KATO, 2006), podendo se apresentar também na forma de H_3PO_4 . As formas que os ortofosfatos se apresentam na água depende do pH do meio. São diretamente disponíveis para o metabolismo biológico, sem necessidade de conversões a formas mais simples (VON SPERLING, 2005).
- **Polifosfatos:** também chamados de fosfatos condensados, são polímeros de ortofosfatos, moléculas mais complexas, com dois ou mais átomos de fósforo. Os polifosfatos se transformam em ortofosfatos em águas naturais pelo mecanismo de hidrólise (VON SPERLING, 2005).
- **Fósforo orgânico:** é a forma em que o fósforo compõe moléculas orgânicas, como fosfatase, fosfolipídios, fosfoproteínas, dentre outras. Ocorrem dissolvidos e em partículas provenientes de detritos e corpos de organismos aquáticos, sendo essenciais para os seres vivos (POHLING, 2009).

O fosfato presente em ecossistemas aquáticos continentais tem origem de fontes naturais e artificiais. Dentre as fontes naturais, as rochas e os minerais da bacia de drenagem constituem as fontes básicas de fosfatos para os ambientes aquáticos, sendo liberados para os ecossistemas através da desagregação destas pela ação do intemperismo natural e, posteriormente, carregado pelas águas de escoamento superficial. Outros fatores naturais que permitem o aporte de fosfato podem ser apontados, como: material particulado presente na atmosfera e o fosfato resultante da decomposição dos organismos de origem alóctone (ESTEVES, 2011).

O fósforo de origem artificial aparece em águas naturais devido, principalmente, às descargas de esgotos sanitários. Nestes, os detergentes superfosfatados, empregados em larga escala domesticamente, constituem a principal fonte, além da própria matéria fecal, que é rica em proteínas. Alguns efluentes industriais, como os provenientes da indústria de fertilizantes, de pesticidas, de conservas alimentícias, de abatedouros, de frigoríficos, de laticínios e de químicas em geral, apresentam fósforo em quantidades excessivas (PIVELI; KATO, 2006).

A relevância da avaliação da concentração do fósforo presente em ecossistemas aquáticos para a estimativa da produtividade primária é indiscutível, sendo o fator limitante na maioria

dos ambientes para o processo. Com isso, o fósforo disponível será um dos fatores mais importantes na regulação da produtividade do sistema (LAMPARELLI, 2004).

A determinação da concentração de fósforo total é extremamente importante tanto para a avaliação do grau de produtividade de águas superficiais quanto para a análise do grau de trofia de lagos e reservatórios (SRH, 2002). O fósforo tem sido apontado como o principal responsável pela eutrofização artificial dos ecossistemas aquáticos (FARIAS, 2006).

Diante do que foi exposto a respeito do efeito prejudicial que o excesso de fósforo pode causar para os ecossistemas aquáticos, este nutriente constitui-se, portanto, em importante parâmetro de classificação das águas naturais e sua concentração na água também é relevante para os estudos do controle de qualidade da água dos reservatórios.

A Resolução do CONAMA nº 357/05 estabelece os limites máximos permitidos para o fósforo na água doce classe 2. Na Tabela 2, são apresentados os valores máximos permitidos.

Tabela 2 – Concentração de fósforo e seus respectivos valores máximos permitidos para água doce classe 2, de acordo com a Resolução do CONAMA nº 357/05

Parâmetros Inorgânicos	Valor Máximo Permitido
Fósforo total (ambiente lêntico)	0,030 mg/L P
Fósforo total (ambiente intermediário, com tempo de residência entre 2 e 40 dias, e tributários diretos de ambiente lêntico)	0,050 mg/L P
Fósforo total (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários)	0,10 mg/L P

Fonte: MMA (2005).

3.4.2 Clorofila *a*

A clorofila é um dos principais pigmentos responsáveis pelo processo de fotossíntese e o conhecimento de sua concentração na água pode dar indicação da biomassa do fitoplâncton, base da cadeia alimentar (ESTEVES, 2011). Esse pigmento proporciona à cor verde às plantas e é de fundamental importância, pois faz parte do mecanismo de nutrição dos vegetais, incluindo os diversos gêneros de algas, estando envolvido na absorção da energia dos comprimentos de onda vermelha e azul do espectro eletromagnético visível que leva à conversão de dióxido de carbono em carboidrato (RIGHI, 2012).

A clorofila *a* é a mais universal das clorofilas (*a*, *b*, *c* e *d*) e representa, aproximadamente, de 1 a 2% do peso seco do material orgânico em todas as algas planctônicas, sendo considerada a principal variável indicadora do estado trófico dos ambientes aquáticos (CETESB, 2009), juntamente com a concentração de fósforo total.

Quando a clorofila *a* ocorre em elevadas concentrações nos corpos d'água, é constatado uma presença excessiva dos organismos aquáticos microscópicos fotossintéticos (fitoplâncton), além de microalgas, de cianobactérias e de macrófitas aquáticas, apontando um possível desequilíbrio ambiental. Com isso, o principal fator de estímulo é uma carga elevada de nutrientes, principalmente, de nitrogênio e de fósforo, provenientes, em geral, da poluição da água por esgotos domésticos, pelo despejo de resíduos sólidos, de efluentes industriais e pela presença de fertilizantes agrícolas nos mananciais por lixiviação do solo, no qual essas substâncias são utilizadas, ocasionando no processo de eutrofização.

A intensa proliferação e reprodução do fitoplâncton, de microalgas, de cianobactérias e de macrófitas aquáticas são responsáveis pela presença de toxinas no corpo hídrico, assim como pela redução da transparência da água e pela produção de elevada quantidade de matéria orgânica, que libera nutrientes para o ambiente quando se decompõe, aumentando, conseqüentemente, a velocidade do processo de fertilização das águas. Além disso, alteram-se o sabor, o odor e o fluxo da água. Diante do que foi exposto, ampliam-se os riscos de contaminação e o comprometimento acentuado dos usos múltiplos da água.

Tendo em vista os malefícios que a presença dos organismos aquáticos, citados no parágrafo anterior, podem causar ao meio ambiente e a saúde do ser humano, a concentração da clorofila *a* também é um importante parâmetro nos estudos do controle de qualidade da água dos reservatórios. A Resolução do CONAMA n° 357/05 estabelece o limite máximo permitido de até 30 µg/L da clorofila *a* na água doce classe 2.

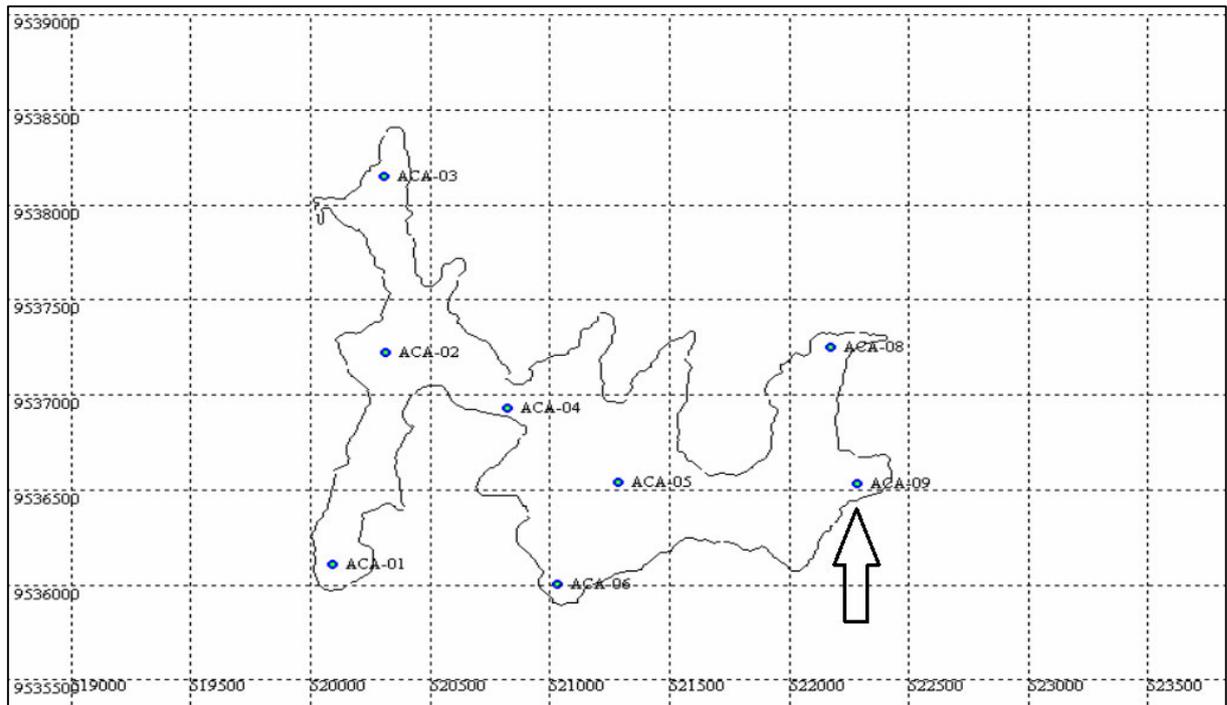
Todos os fatores citados anteriormente relacionados as excessivas concentrações do fósforo total e da clorofila *a* nos reservatórios monitorados para abastecimento contribuem para a degradação do corpo hídrico e elevam os custos relacionados ao tratamento da água para abastecimento urbano e industrial, devido a aplicação de uma maior quantidade de reagentes químicos e o emprego de tecnologias de tratamento na Estação de Tratamento de Água (ETA) para remoções do excedente desses parâmetros da água e de toxinas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 COLETA, PRÉ-TRATAMENTO E ANÁLISE DAS AMOSTRAS

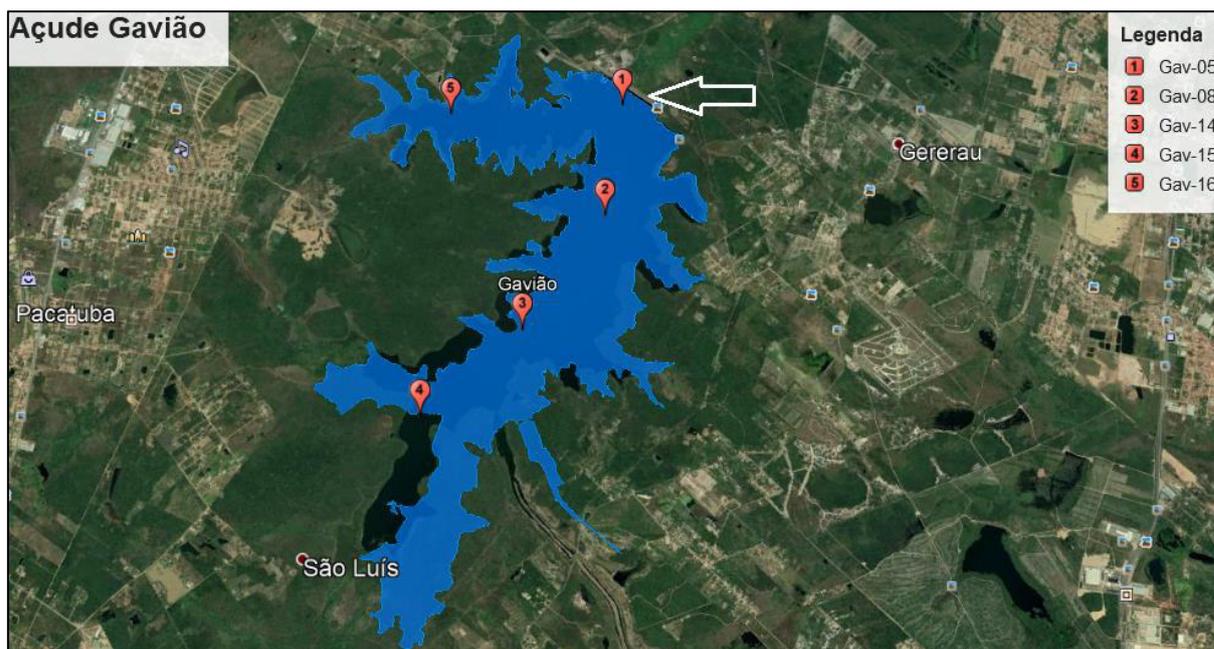
A coleta, o armazenamento e o transporte das amostras de água dos açudes Gavião e Acarape do Meio foram realizados adequadamente por técnicos da COGERH durante os anos de 2012 a 2017, dentro do cronograma de monitoramento da Companhia. A obtenção da concentração dos parâmetros fósforo total e clorofila *a* foi possível através da análise de amostras de água coletadas a uma profundidade de 0,3 metros da coluna d'água para ambos os açudes. Os pontos analisados no reservatório Gavião foi o GAV-05, enquanto que no reservatório Acarape do Meio o ponto estabelecido foi o ACA-09. Os pontos, assim como a profundidade foram estabelecidos com base no critério que levava em consideração: maior disponibilidade de dados para os estudos serem mais representativos. Pode-se observar esses pontos através das Figuras 4 e 5.

Figura 4 – Indicação do ponto de coleta das amostras de água no açude Acarape do Meio



Fonte: Adaptado de COGERH (2008).

Figura 5 – Indicação do ponto de coleta das amostras de água do açude Gavião



Fonte: Adaptado de Costa (2017).

As coletas eram efetuadas e as amostras preservadas em garrafas plásticas e refrigeradas em caixa térmica, até a chegada ao Laboratório de Análises Químicas da Universidade Federal do Ceará (LAQUIM/UFC). Os parâmetros foram analisados no Laboratório, segundo a 21ª edição do “Standard methods for the examination of water and wastewater – APHA-AWWA-WPCF” (EATON *et al.*, 2005), sendo a clorofila *a* pelo Método Espectrofotométrico - 10200 H e o fósforo total pelo Método da Digestão Simultânea - 4500-P B.

Após a chegada das amostras ao LAQUIM-UFC, as mesmas eram homogeneizadas manualmente. Para a análise da concentração de fósforo total, o procedimento foi executado em triplicata para minimizar os erros, onde adicionava-se 10 ml da amostra bruta em tubos de 50 ml, acrescentando persulfato de potássio e posteriormente autoclavado, promovendo a hidrólise ácida ou digestão. Em seguida, as análises de P total prosseguiram conforme Eaton *et al.* (2005).

Para a análise de clorofila *a*, filtrava-se 250 ml das amostras de água em microfiltros de fibra de vidro com 0,45 μm de porosidade, disposto na placa porosa do funil acoplado ao kitasato. O sólido retido no microfiltro foi utilizado para análise de clorofila *a*, onde o mesmo era macerado com bastão de vidro dentro de tubos de 10 ml com acetona 90%, enquanto o líquido presente no kitasato foi utilizado para outras análises de parâmetros. O procedimento de análise ocorreu dentro de um limite máximo de 48 horas, de acordo com o prazo limite de cada método.

O Índice do Estado Trófico (IET) foi calculado pela aplicação do modelo de Carlson (1977) desenvolvido para ambientes temperados e modificado por Toledo *et al.* (1983), descrito e utilizado pela Companhia Ambiental do Estado do Ceará (CETESB, 2017). As análises dos resultados foram baseadas em Paulino, França e Ferreira (2007).

4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A normalidade dos dados foi verificada pelo teste Shapiro-Wilk e os resultados estão expressos em média +/- desvio padrão. A ANOVA para medidas repetidas explorada por Harris (2008) foi aplicada para avaliar se houve mudanças estatisticamente significativas do IET_M nos dois açudes ao longo de 2012 a 2017. Foi utilizado a análise de teste de post-hoc com correção de Bonferroni para identificar diferenças pontuais do IET_M entre os anos. O teste t de Student descrito também por Harris (2008) foi aplicado para verificar as diferenças no IET_M entre o primeiro semestre (período chuvoso) e o segundo semestre (período seco), no intuito de averiguar uma possível influência da sazonalidade no valor do IET_M.

O método estatístico de Pearson foi empregado para medir o grau de correlação entre duas variáveis, apresentando o coeficiente de correlação de Pearson (R), variando de -1 a 1 para cada análise. O nível de significância para todas as análises do estudo foi fixado em 5%, sendo realizadas com o auxílio do programa estatístico SPSS versão 22.0 para Windows (IBM, Inc., Chicago, IL, EUA).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

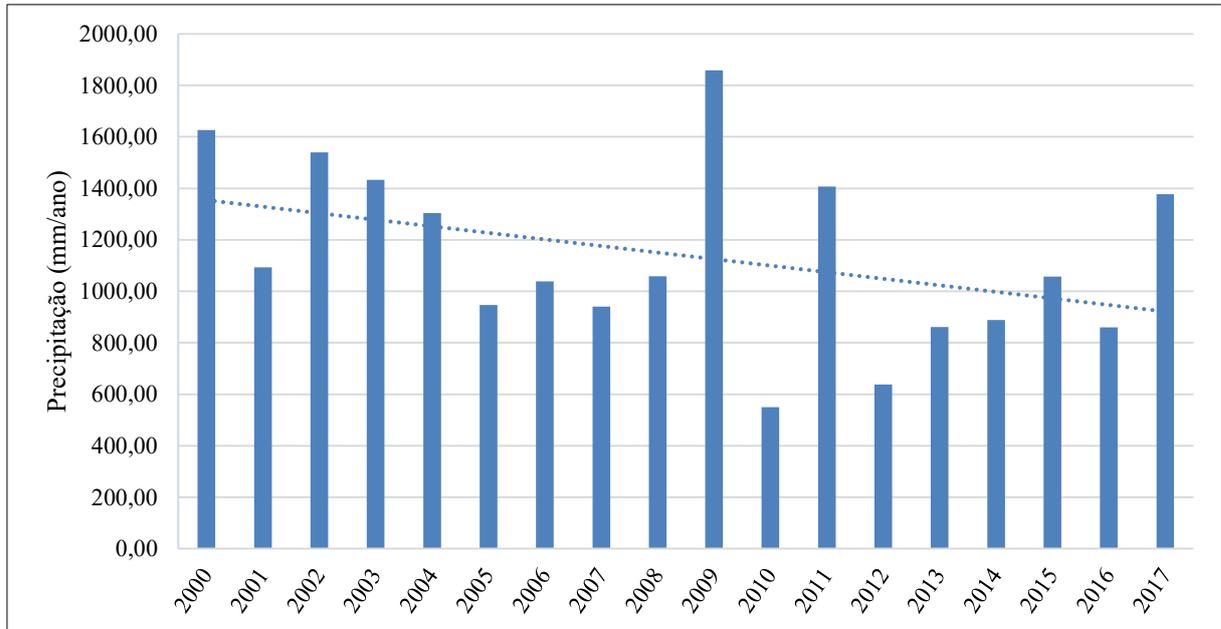
5.1 PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NOS MUNICÍPIOS DE REDENÇÃO-CE E PACATUBA-CE

Como foi mencionado anteriormente, o açude Acarape do Meio está localizado no município de Redenção-CE e o Gavião no município de Pacatuba-CE. Desta maneira, é de fundamental importância analisar o volume médio anual de água precipitada nos municípios que se encontram os reservatórios estudados, pois é um fator que pode influenciar nos parâmetros avaliados, podendo promover alterações nas concentrações de fósforo total e clorofila *a* e conseqüentemente nos valores dos IET's individuais e médio calculado. Isso ocorre, em virtude da redução (via diluição) ou acréscimos, este último, devido ao arraste de

substâncias para os recursos hídricos (ARAÚJO, 2016).

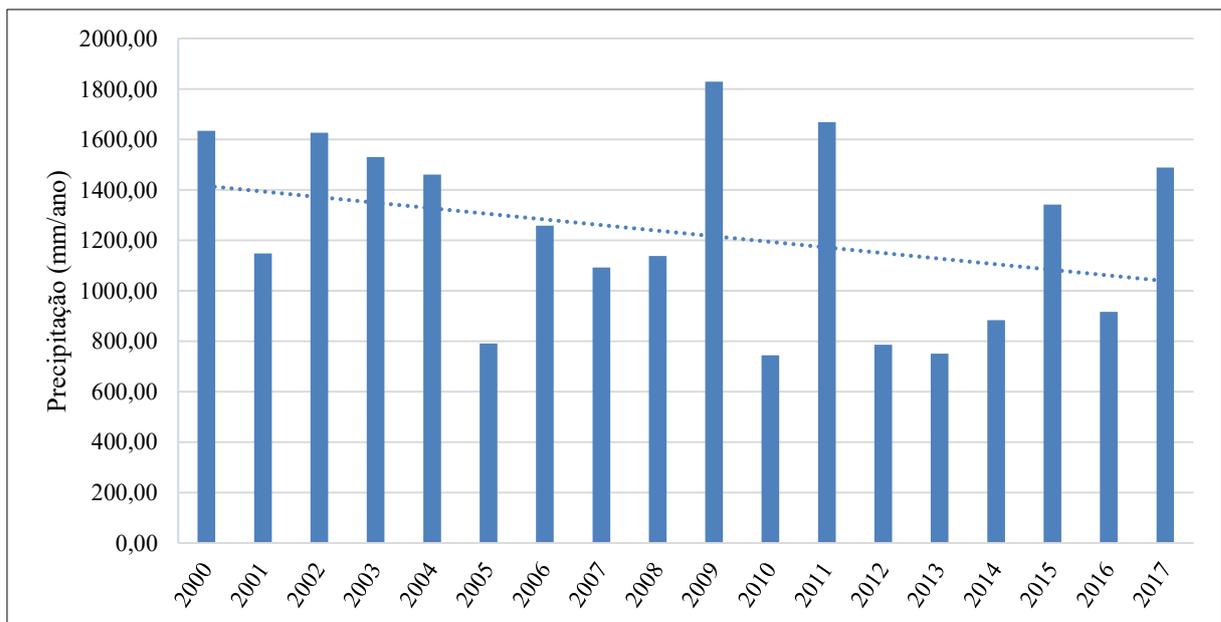
Os Gráficos 2 e 3 mostram as precipitações pluviométricas dos municípios de Redenção-CE e de Pacatuba-CE do ano 2000 a 2017.

Gráfico 2 - Precipitação do município de Redenção-CE



Fonte: FUNCEME (2018).

Gráfico 3 - Precipitação do município de Pacatuba-CE



Fonte: FUNCEME (2018).

Observa-se, através dos gráficos acima, uma diminuição dos valores de precipitação ao

longo dos anos, apesar de haver uma variação em decorrência de alguns valores maiores. Considerando o período de estudo do presente trabalho (2012 a 2017), constata-se uma redução considerável do volume de água precipitado. O município de Redenção-CE, em 2012, registrou o segundo menor volume de chuva dos últimos 18 anos (637,80 mm) e o município de Pacatuba-CE registrou também, em 2013, o segundo menor volume de chuva dos últimos 18 anos, contabilizando 750,30 mm de água.

O fenômeno climático do tipo El Niño, que se destaca pela sua influência nas condições oceânicas e atmosféricas em várias localidades, está motivando a alteração do regime pluviométrico no Nordeste, intensificando-se no semiárido brasileiro. Períodos de estiagem prolongados ou secas severas são anomalias climáticas associadas a ocorrências de El Niño. Pela análise dos gráficos de precipitações, pode-se constatar que esse fenômeno pode estar afetando os municípios que os açudes em estudo estão localizados, assim como o estado do Ceará, pois, segundo a FUNCEME (2016), entre 1910 e 2016 somente em duas ocasiões o Ceará teve cinco anos consecutivos de Seca: de 1979 a 1983 e de 2012 a 2016. Além disso, a FUNCEME (2016) afirma que os dados comprovam que esse período de estiagem é o pior já registrado, pois a média anual do período de estiagem em questão é de apenas 516 mm, enquanto a média anual de 1979 a 1983 foi de 566 mm. Ou seja, vivemos a seca mais grave desde 1910.

Diante dessa tendência climática regional, espera-se que haja uma redução no nível do volume armazenado dos reservatórios e um comprometimento na recarga de água destes mananciais superficiais, além do aspecto qualitativo do recurso hídrico sofrer alterações, devido, dentre outros fatores, ao baixo volume armazenado.

5.2 VOLUME ARMAZENADO DE ÁGUA NOS RESERVATÓRIOS

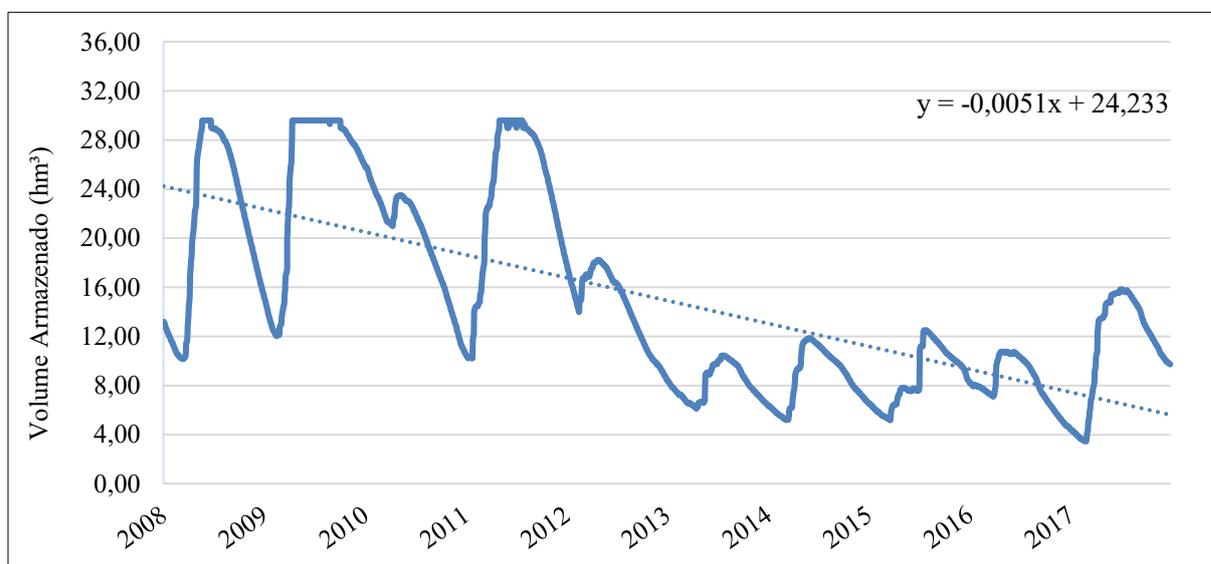
Outro agente que pode afetar na qualidade da água dos corpos hídricos e que está relacionado com a precipitação é o volume armazenado de água nos mananciais do semiárido brasileiro, visto que um aumento nas concentrações dos parâmetros e conseqüentemente do valor do IET podem ser atribuídos, em muitos casos, a uma significativa redução do volume de água armazenado durante o período prolongado de estiagem, por exemplo. O inverso também é observado, ou seja, o efeito da diluição pode ocorrer em função do aumento considerável da recarga de água nos reservatórios, reduzindo a concentração dos nutrientes presentes no corpo d'água. No entanto, Oliveira (2009) afirma que chuvas intensas também podem afetar no estado trófico dos açudes, pelo fato destes reservatórios hídricos concentrarem as águas drenadas da

bacia hidrográfica durante o período chuvoso, e que carregam para dentro desses ecossistemas aquáticos grandes quantidades de nutrientes, oriundos, principalmente, das atividades humanas ao longo desta bacia.

De fato, o volume armazenado sofre influência da precipitação, assim como da evaporação. As altas taxas de evaporação que ocorrem na superfície dos corpos hídricos representam uma perda significativa na disponibilidade de água em uma localidade. O conhecimento das perdas por evaporação é a base para se determinar o volume potencial de água disponível, cuja informação é de suma importância no planejamento de políticas de manejo dos recursos hídricos do local (DANTAS, 2017). Estudos realizados no semiárido estimam que cerca de 40% das águas acumuladas em reservatórios se perdem com a evaporação, em razão dos efeitos dos fatores fundamentais do processo evaporativo, tais como: vento e radiação solar (AGOSTINHO *et al.*, 2005).

Foi realizado o levantamento do volume armazenado dos açudes Gavião e Acarape do Meio do ano de 2008 a 2017 para avaliar a dinâmica deste volume e, posteriormente, relacionar com o índice de estado trófico. Os Gráficos 4 e 5 apresentam o volume armazenado, em hm³, dos referidos açudes ao longo dos anos.

Gráfico 4 - Volume armazenado do açude Acarape do Meio



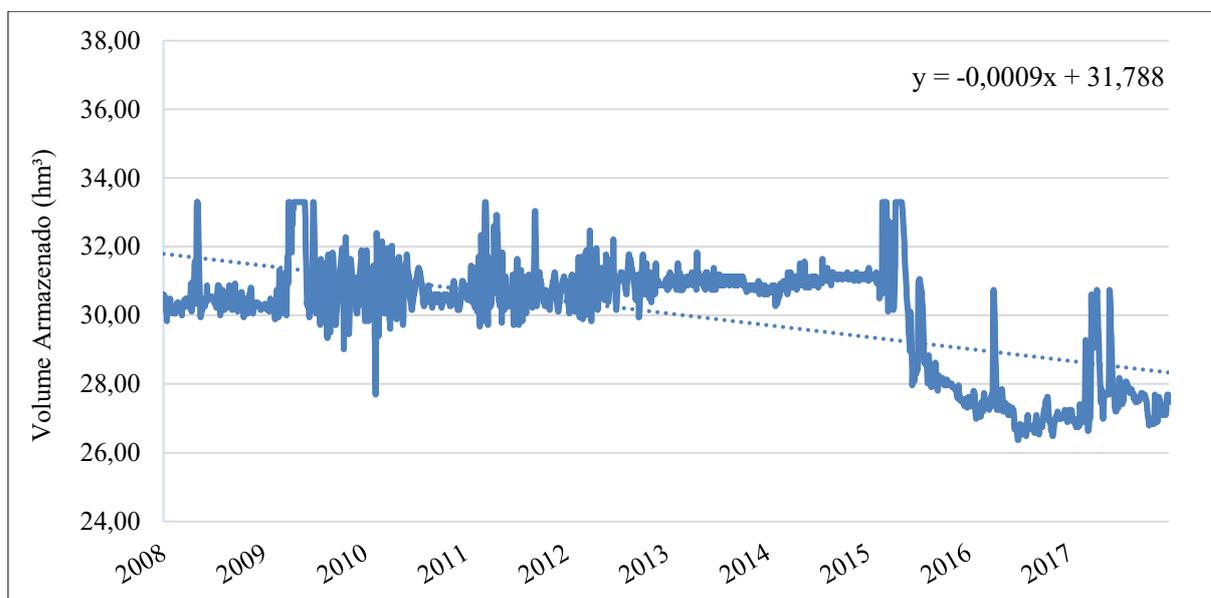
Fonte: COGERH (2018).

Constata-se que há uma redução significativa dos valores do volume armazenado de água no açude Acarape do Meio (Gráfico 4), com o coeficiente de inclinação da linha de

tendência sendo igual a $-0,0051$, havendo oscilação destes valores devido aos feitos da sazonalidade (período seco e chuvoso) e a presença de alguns valores elevados de volume.

Observa-se, no Gráfico 5, que o coeficiente de inclinação da linha de tendência é igual a $-0,0009$ para o açude Gavião, demonstrando que o volume armazenado de água não reduziu tanto, comparado com o outro reservatório estudado, mas exibiu uma perda de água relevante nos últimos três anos do estudo. Essa menor redução de volume ocorreu em virtude da transposição de água realizada através de um complexo de estação de bombeamento, canais, adutoras e túneis que realizam o transporte das águas dos açudes Castanhão, Pacoti e Riachão, dentre outros, até o Gavião, no intuito de reforçar o abastecimento da Região Metropolitana de Fortaleza e impedir que o tratamento da água para o abastecimento e a operação da ETA do Gavião seja comprometida pelos baixos volumes armazenados, principalmente em períodos de estiagem. Logo, evidencia-se uma outra tendência regional: a redução do volume armazenado de água durante os anos de 2008 a 2017 nos açudes estudados.

Gráfico 5 - Volume armazenado do açude Gavião



Fonte: COGERH (2018).

Fatores climáticos, como temperatura elevada, ação intensa dos ventos e da radiação solar, além do período prolongado de seca vêm contribuindo para acentuar a depleção de água armazenada nos dois reservatórios. A principal consequência dos períodos secos no potencial hídrico das regiões é a redução do aporte de água nos reservatórios, muitas vezes sendo insuficiente para recuperar a perda de volume armazenado ocorrida no período do ano anterior (COGERH, 2007).

5.3 ÍNDICE DE ESTADO TRÓFICO - IET

As concentrações dos parâmetros fósforo total e clorofila *a* foram utilizadas para o calculado dos Índices de Estado Trófico (IET's) individuais, relativos ao Fósforo total – IET (PT) e Clorofila *a* – IET (Cl_a). Determinou-se a média aritmética simples entre esses índices, sendo obtido o Índice de Estado Trófico Médio – IET_M, de maneira que permitisse ser verificado o estado trófico dos reservatórios Gavião e Acarape do Meio. Os valores do IET (PT), IET (Cl_a) e o IET_M foram estabelecidos através da aplicação das equações 1, 2 e 4, sendo as variáveis as concentrações dos parâmetros na água. As médias dos resultados dos IET's de cada ano estudado estão disponíveis nas Tabela 3 e 4 e nos Gráficos 6 e 7.

Tabela 3 - Índices de estado trófico para o açude Acarape do Meio ao longo dos anos de 2012 a 2017

Ano	IET - (Cl_a)	IET - (PT)	IET _M
2012	72,83	73,10	72,96
2013	70,15	74,83	72,49
2014	71,16	74,58	72,87
2015	68,65	70,19	69,42
2016	64,92	65,87	65,40
2017	62,51	70,17	66,34
Média	68,37	71,46	69,91
Desvio Padrão	3,93	3,41	3,41
CV%	5,74	4,78	4,87

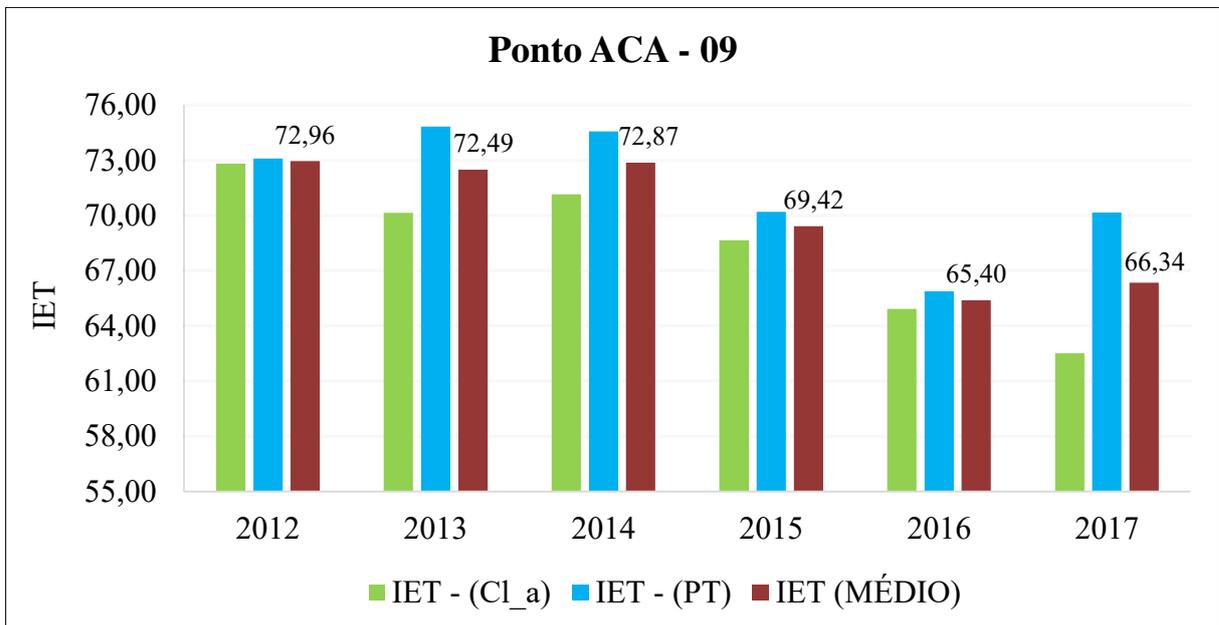
Fonte: Autor (2018).

Tabela 4 - Índices de estado trófico para o açude Gavião durante os anos de 2012 a 2017

Ano	IET - (Cl_a)	IET - (PT)	IET _M
2012	65,03	67,27	66,15
2013	67,03	64,53	65,78
2014	63,68	64,92	64,30
2015	65,58	65,75	65,67
2016	69,96	67,05	68,51
2017	70,20	72,14	71,17
Média	66,91	66,94	66,93
Desvio Padrão	2,68	2,77	2,49
CV%	4,01	4,14	3,72

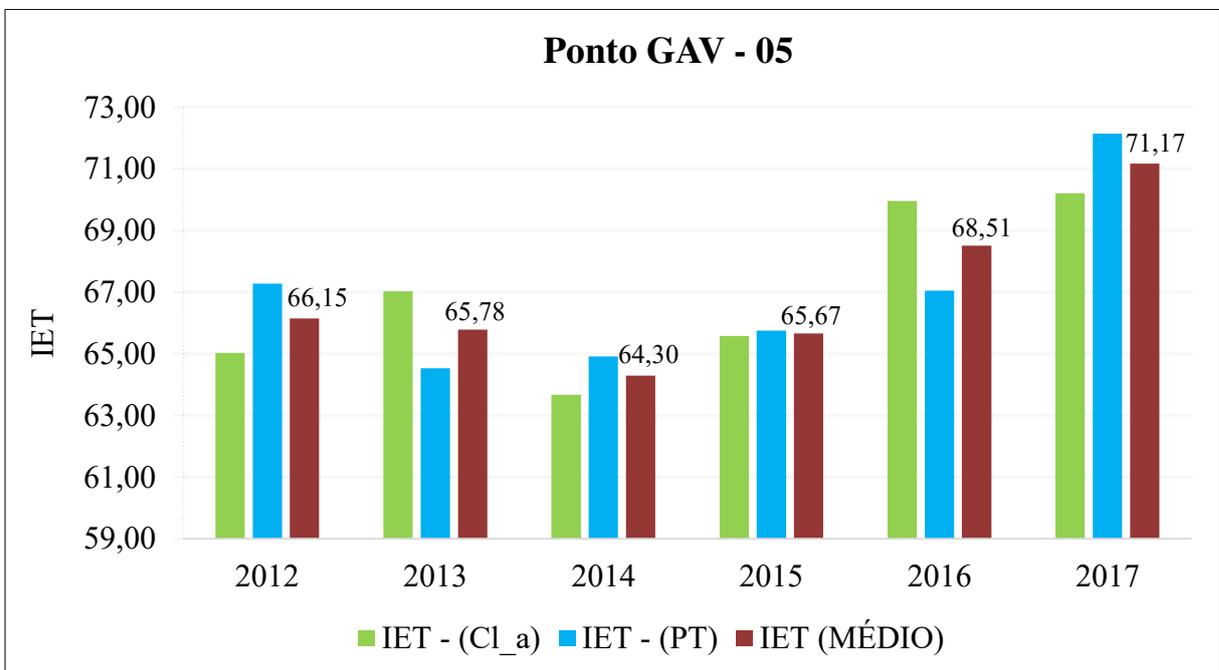
Fonte: Autor (2018).

Gráfico 6 – Variação dos índices de estado trófico para o açude Acarape do Meio nos anos de 2012 a 2017.



Fonte: Autor (2018).

Gráfico 7 – Variação dos índices de estado trófico para o açude Gavião nos anos de 2012 a 2017.



Fonte: Autor (2018).

Os resultados dos IET's individuais dos parâmetros e médios demonstram que todos esses índices foram elevados para os pontos e profundidade analisados. Os valores obtidos para o IET_M do Acarape do Meio refletem um decréscimo, com o ano de 2012 apresentando o IET_M

mais elevado (72,96) e os anos de 2016 e 2017 exibindo os menores resultados de IET_M no tempo de estudo, com 65,40 e 66,34, respectivamente. No açude Gavião, há uma tendência de crescimento dos valores de IET_M, apesar de haver uma certa oscilação irregular ao longo período analisado, com os anos de 2014 e 2015 apresentando os mais baixos valores de IET_M, contrastando com os próximos anos consecutivos de 2016 e 2017, de maiores IET_M no decorrer do mesmo período, com 68,51 e 71,17, nesta ordem.

No entanto, houve uma baixa variação dos IET's ao longo dos anos estudados em ambos os açudes, com um coeficiente de variação de 5,74% para o IET - (Cl_a), 4,78% para o IET - (PT) e 4,87% para o IET_M do açude Acarape do Meio. Já para o açude Gavião, constata-se um coeficiente de variação de 4,01% para o IET - (Cl_a), 4,14% para o IET - (PT) e 3,72% para o IET_M. Dessa forma, evidencia-se uma baixa dispersão dos dados e uma certa homogeneidade desses valores, mostrando que não houve elevadas variações nos índices e consequentemente na qualidade da água dos reservatórios ao longo dos anos de 2012 a 2017. Porém, essa afirmação será explorada mais adiante pela aplicação de análises estatísticas.

5.3.1 Classificação do estado trófico

A metodologia para a classificação do estado de trofia foi realizada, para este estudo, com base no IET_M dos reservatórios. A classificação relaciona o valor do IET_M com o grau de intensidade do processo de eutrofização e suas consequências, sendo adotado os limites de classe definidos pelo modelo de Carlson (1977), desenvolvido para ambientes temperados e modificado por Toledo *et al.* (1983), além de poder ser categorizado em ultraoligotrófico, oligotrófico, mesotrófico, eutrófico, supereutrófico e hipereutrófico, conforme exposto na Tabela 1. De acordo com Sousa, Souza e Paulino (2007), esta versão do índice de estado trófico tem-se mostrada mais adequada para a determinação do estado trófico em lagos de clima predominantemente tropical. As classificações anuais do açude Acarape do Meio para o ponto ACA - 09 e do açude Gavião para o ponto GAV - 05, com as coletas de água realizada a 0,3 metro de profundidade em ambos os açudes, podem ser observadas pelas Tabelas 5 e 6.

Tabela 5 – Classificação do índice de estado trófico do açude Acarape do Meio para o ponto ACA – 09, a 0,3 metros de profundidade

Ano	Classificação
2012	Hipereutrófico
2013	Hipereutrófico
2014	Hipereutrófico
2015	Hipereutrófico
2016	Supereutrófico
2017	Supereutrófico

Fonte: Autor (2018).

Tabela 6 – Classificação do índice de estado trófico do açude Gavião para o ponto GAV – 05, a 0,3 metros de profundidade

Ano	Classificação
2012	Supereutrófico
2013	Supereutrófico
2014	Supereutrófico
2015	Supereutrófico
2016	Hipereutrófico
2017	Hipereutrófico

Fonte: Autor (2018).

Como descrito anteriormente, os IET's individuais dos parâmetros e médios apresentaram valores elevados para os pontos estabelecidos nos dois açudes, consequentemente, sendo classificados, como expostos nas Tabelas 5 e 6, basicamente em duas categorias que alertam para o comprometimento da qualidade da água: supereutrófico e hipereutrófico. Analisando o açude Acarape do Meio, evidencia-se que em quase todo o período, exceto nos anos de 2016 e 2017, o IET médio (IET_M) calculado permaneceu acima de 67 ($IET_M > 67$), classificando-se, assim, como hipereutrófico. Para o mesmo açude, o IET_M se manteve dentro do intervalo de $63 < IET_M \leq 67$ nos anos de 2016 e 2017, passando a ser classificado em supereutrófico. O ano de 2017 apresentou um IET_M de 66,34 +/- 3,5 e coeficiente de variação

de 5,3%, constatando uma tendência acentuada do estado de trofia passar de supereutrófico para hipereutrófico.

Avaliando o açude Gavião, nota-se que o IET_M anual determinado ficou compreendido entre $63 < IET_M \leq 67$ (supereutrófico) durante os anos de 2012 a 2015. Para o restante dos anos da avaliação temporal do presente estudo, o IET_M ficou acima de 67 (hipereutrófico). O ano de 2012 teve um valor de IET_M de $66,15 \pm 4,77$ e coeficiente de variação de 7,21%, evidenciando uma forte tendência do estado de trofia passar de supereutrófico para hipereutrófico. Outra explicação para esta forte tendência, é a ocorrência de um dado duvidoso referente a concentração do parâmetro clorofila *a*, inclusive, apresentando-se abaixo do Limite de Quantificação ($0,2 \mu\text{g/L}$), sendo bastante discrepante da média das concentrações deste parâmetro no referido ano ($35,618 \mu\text{g/L}$). Isso se deve, em virtude de algum erro proveniente no procedimento de coleta, preservação das amostras ou de processamento da análise laboratorial da água do Gavião.

É possível notar que houve pouca variação na classificação do grau de trofia para os dois reservatórios, classificando-se, em geral, como supereutrófico e hipereutrófico ao longo dos anos estudados. Esses resultados caracterizam os açudes Gavião e Acarape do Meio com elevado estágio de eutrofização, alertando para ocorrência de altas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, alta produtividade primária, associado a possíveis episódios de florações de algas ou mortandades de peixes e a presença de cianobactérias, resultando em consequências indesejáveis para seus múltiplos usos e exigindo o uso crescente de produtos químicos e de tecnologias complexas para sua potabilização (SAMPAIO, 2014).

5.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DE VARIAÇÃO, CORRELAÇÃO E INFLUÊNCIA

Para que haja uma compreensão mais detalhada da dinâmica dos nutrientes nos corpos d'água e da possível associação e correlação com os fatores climáticos e ambientais expostos anteriormente, podendo está influenciando no comprometimento da qualidade da água dos açudes Acarape do Meio e Gavião, aplicou-se modelos e métodos estatísticos para auxiliar na identificação de supostas relações de causa e efeito do problema (elevado estágio de eutrofização das águas).

5.4.1 Análise estatística da variação do IET_M ao longo dos anos e semestres

O estudo estatístico através da análise de variância (ANOVA) para medidas repetidas e

do teste t de Student, na tentativa de identificar variações do IET_M calculado ao longo dos anos e semestres para o açude Gavião, só foi possível a partir do ano de 2013, em virtude da quantidade de dados do ano de 2012 ser inferior a recomendação para estas análises. Já no açude Acarape do Meio, as mesmas análises foram realizadas a partir do ano de 2014 em diante, pelo mesmo motivo.

A análise de variância para o Acarape do Meio resultou em um valor de significância $p < 0,001$ e uma potência da análise estatística de 100%. Para o Gavião, observou-se uma significância de $p < 0,001$ e uma potência da análise estatística igual a 99,1%. O nível de significância para todas as análises foi fixado em 5%. Diante desses resultados, constata-se diferenças estatisticamente significativas na avaliação temporal do IET_M para os dois açudes. Porém, para identificar quais pares de médias do estudo diferem entre si estatisticamente, foi necessário utilizar o teste post-hoc com correção de Bonferroni, tendo em vista que a ANOVA apenas identifica diferenças significativas, impossibilitando encontrá-las nas múltiplas comparações.

Tabela 7 – Resultado do teste post-hoc com correção de Bonferroni para o reservatório Acarape do Meio

Comparação	Comparativo de Médias (IET_M)	Significância ($\alpha = 5\%$ ou $p < 0,05$)*
IET _M (2014) x IET _M (2015)	72,87 x 69,42	0,025
IET _M (2014) x IET _M (2016)	72,87 x 65,40	0,001
IET _M (2014) x IET _M (2017)	72,87 x 66,34	0,001
IET _M (2015) x IET _M (2016)	69,42 x 65,40	0,005
IET _M (2015) x IET _M (2017)	69,42 x 66,34	0,046
IET _M (2016) x IET _M (2017)	65,40 x 66,34	1,000

Fonte: Autor (2018).

* $p < 0,05$ – Considerada estatisticamente significativa.

No açude Acarape do Meio houve variação estatisticamente significativa dos valores de IET_M entre si (múltiplas comparações) referente aos anos de 2014 a 2017. Apenas os IET's médios de 2016 e 2017 não apresentaram diferenças entre si. As variações podem ser explicadas pela evidenciada mudança do volume armazenado de água (redução) do açude no período de estiagem.

Tabela 8 – Resultado do teste post-hoc com correção de Bonferroni para o reservatório Gavião

Comparação	Comparativo de Médias (IET_M)	Significância ($\alpha = 5\%$ ou $p < 0,05$)*
IET _M (2013) x IET _M (2014)	65,78 x 64,30	1,000
IET _M (2013) x IET _M (2015)	65,78 x 65,67	1,000
IET _M (2013) x IET _M (2016)	65,78 x 68,25	1,000
IET _M (2013) x IET _M (2017)	65,78 x 71,17	0,005
IET _M (2014) x IET _M (2015)	64,30 x 65,67	1,000
IET _M (2014) x IET _M (2016)	64,30 x 68,25	0,154
IET _M (2014) x IET _M (2017)	64,30 x 71,17	0,001
IET _M (2015) x IET _M (2016)	65,67 x 68,25	0,943
IET _M (2015) x IET _M (2017)	65,67 x 71,17	0,002
IET _M (2016) x IET _M (2017)	68,25 x 71,17	0,632

Fonte: Autor (2018).

* $p < 0,05$ – Considerada estatisticamente significativa.

Os resultados da Tabela 8 demonstram que o IET_M dos anos de 2013 a 2016 não tiveram diferenças estatisticamente significativas entre si para o açude Gavião, com o IET_M destes anos, exceto para o ano de 2016, diferindo apenas do IET_M referente ao ano de 2017. Com isso, observa-se que a qualidade da água desse açude não sofreu grandes alterações durante os anos de 2013 a 2016. Isso se deve, possivelmente, a uma pequena variação do volume armazenado no Gavião nesse período, que por motivos estratégicos de gerenciamento de água realizado pela COGERH e técnicos, recebe recarga de água de outros açudes responsáveis pelo abastecimento no estado do Ceará.

A aplicação do teste t de Student revelou que não houve variação estatisticamente significativa do IET_M entre os semestres ao longo do período estudado para os dois açudes, apresentando significâncias iguais a 0,310 (relativa ao Acarape do Meio) e 0,737 (referente ao Gavião). Logo, evidencia-se que o estágio de eutrofização e a qualidade da água dos dois açudes não sofreram influências consideráveis da época sazonal dos anos (período chuvoso e seco). A seguir, são apresentadas as Tabelas 9 e 10 com os resultados dessa análise.

Tabela 9 – Teste t de Student para igualdade de médias do IET_M no açude Acarape do Meio

Semestre	Característica Sazonal	Média do IET _M	Significância ($\alpha = 5\%$ ou $p < 0,05$)*
Primeiro	Chuvoso	68,92	0,310
Segundo	Seco	67,64	

Fonte: Autor (2018).

* $p < 0,05$ – Considerada estatisticamente significativa.

Tabela 10 – Teste t de Student para igualdade de médias do IET_M no açude Gavião

Semestre	Característica Sazonal	Média do IET _M	Significância ($\alpha = 5\%$ ou $p < 0,05$)*
Primeiro	Chuvoso	67,18	0,737
Segundo	Seco	66,79	

Fonte: Autor (2018).

* $p < 0,05$ – Considerada estatisticamente significativa.

5.4.2 Análise de correlação R de Pearson

A aplicação da análise de correlação de Pearson foi realizada no intuito de determinar o coeficiente (R) que mede o grau de correlação entre duas variáveis. Além deste coeficiente, as tabelas a seguir apresentam os coeficientes de determinação (R^2) para cada correlação realizada, calculado em porcentagem e indicando o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. No presente estudo, o coeficiente de determinação mede o percentual de mudanças nas variáveis, expressas pelos valores de IET's, que são explicadas pela variação de um fator (precipitação ou volume armazenado dos açudes).

Para o açude Gavião, comprova-se que não houve correlação estatisticamente significativa do IET (PT), do IET (Cl_a) e do IET médio com a precipitação anual do município de Pacatuba, havendo apenas correlações positivas moderadas nas comparações entre Precipitação x IET (PT) e Precipitação x IET_M, devido os valores do R de Pearson serem iguais a 0,674 e 0,590, nesta ordem. Porém, é observado uma forte correlação negativa entre o volume armazenado desse reservatório com o IET (Cl_a) e o IET médio, em decorrência do R de Pearson ter apresentado valores negativos iguais a -0,885 e -0,846 e significâncias iguais a 0,019 e 0,034, respectivamente. Para essa análise, o IET (PT) apresentou correlação de Pearson negativa moderada, porém não estatisticamente significativa. Diante destes resultados, é notório

que a diminuição do volume armazenado do açude Gavião influenciou na variação e no aumento do índice de estado trófico da clorofila *a* e do índice de estado trófico médio ao longo do período de estiagem estudado.

Tabela 11 – Correlação R de Pearson para o Gavião

Fatores	R de Pearson	Coefficiente R ²	Significância ($\alpha=5\%$ ou $p<0,05$)*
Precipitação x IET (PT)	0,674	0,454	0,142
Precipitação x IET (Cl_a)	0,398	0,158	0,435
Precipitação x IET _M	0,590	0,348	0,217

Fonte: Autor (2018).

* $p<0,05$ – Considerada estatisticamente significativa.

Tabela 12 - Correlação R de Pearson para o Gavião

Fatores	R de Pearson	Coefficiente R ²	Significância ($\alpha=5\%$ ou $p<0,05$)*
Volume x IET (PT)	-0,661	0,437	0,152
Volume x IET (Cl_a)	-0,885	0,784	0,019
Volume x IET _M	-0,846	0,715	0,034

Fonte: Autor (2018).

* $p<0,05$ – Considerada estatisticamente significativa.

O IET (PT) e o IET (Cl_a) foram comparados, na tentativa de identificar possíveis relações de causa e efeito entre estes índices. O R de Pearson foi igual a 0,663, classificado como moderada correlação positiva. A análise revelou que ainda não há uma correlação estatisticamente significativa entre esses índices, em virtude de exibir uma significância de 0,151.

Tabela 13 – Correlação R de Pearson para o Gavião

Fatores	R de Pearson	Coefficiente R ²	Significância ($\alpha=5\%$ ou $p<0,05$)*
IET (PT) x IET (Cl_a)	0,663	0,441	0,151

Fonte: Autor (2018).

* $p<0,05$ – Considerada estatisticamente significativa.

Para açude Acarape do Meio, não houve uma correlação estatisticamente significativa do IET (PT), do IET (Cl_a) e do IET médio com a precipitação pluviométrica anual do município de Redenção. A precipitação pluviométrica anual demonstrou uma proximidade de correlação negativa com o IET (Cl_a), apresentando uma classificação de forte correlação negativa devido o R de Pearson ter sido igual a -0,793, significância de 0,060, bem próxima de 0,05 (estatisticamente significativa), e um coeficiente de determinação (R^2) não muito elevado. O volume armazenado desse açude não demonstrou correlação com os IET's individuais e médio calculados, expondo valores de significância bem acima de 0,05 e coeficientes de correlação próximos de zero (correlação desprezível).

Tabela 14 – Correlação R de Pearson para o Acarape do Meio

Fatores	R de Pearson	Coefficiente R^2	Significância ($\alpha=5\%$ ou $p<0,05$)*
Precipitação x IET (PT)	-0,279	0,078	0,592
Precipitação x IET (Cl_a)	-0,793	0,629	0,060
Precipitação x IET _M	-0,597	0,356	0,211

Fonte: Autor (2018).

* $p<0,05$ – Considerada estatisticamente significativa.

Tabela 15 – Correlação R de Pearson para o Acarape do Meio

Fatores	R de Pearson	Coefficiente R^2	Significância ($\alpha=5\%$ ou $p<0,05$)*
Volume x IET (PT)	0,167	0,028	0,752
Volume x IET (Cl_a)	0,227	0,052	0,666
Volume x IET _M	0,214	0,046	0,684

Fonte: Autor (2018).

* $p<0,05$ – Considerada estatisticamente significativa.

O comparativo do IET (PT) com o IET (Cl_a) revelou um coeficiente de Pearson igual a 0,723, classificado como forte correlação positiva. Contudo, ainda não existe uma correlação estatisticamente significativa entre essas variáveis, visto que a significância foi a igual a 0,104.

Tabela 16 – Correlação R de Pearson para o Acarape do Meio

Fatores	R de Pearson	Coefficiente R²	Significância ($\alpha=5\%$ ou $p<0,05$)*
IET (PT) x IET (Cl_a)	0,723	0,523	0,104

Fonte: Autor (2018).

* $p<0,05$ – Considerada estatisticamente significativa.

6 CONCLUSÃO

As anomalias climáticas, associadas a ocorrência de El Niño, podem ter provocado mudanças climáticas e alterações no regime pluviométrico dos municípios de Pacatuba e Redenção e, conseqüentemente, no volume armazenado de água dos açudes Gavião e Acarape do Meio, ocasionando redução quantitativa destes fatores e acarretando em um período de estiagem prolongado ao longo dos últimos anos, como observado nos resultados obtidos. A tendência climática regional também contribuiu para o comprometimento do aspecto qualitativo da água desses açudes, sofrendo alterações devido ao baixo volume armazenado de água e as ações antrópicas no entorno dos mananciais superficiais estudados.

Os resultados dos IET's individuais dos parâmetros e médios demonstraram que todos estes índices foram elevados para os pontos GAV-05 (Gavião) e ACA-09 (Acarape do Meio), a uma profundidade de 0,3 metros da coluna d'água, sendo classificados, basicamente em duas categorias: supereutrófico e hipereutrófico. Estas categorias alertam para o comprometimento da qualidade da água, apresentando altas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, alta produtividade primária, associado a possíveis episódios de florações de algas ou mortandades de peixes e a presença de cianobactérias, resultando em conseqüências indesejáveis para seus múltiplos usos e demandando o uso de uma quantidade maior de produtos químicos, além de tecnologias complexas para sua potabilização (SAMPAIO, 2014).

Constatou-se diferenças estatisticamente significativas na avaliação temporal do IET_M para os dois açudes e uma forte correlação negativa estatisticamente expressiva do IET médio e o IET da clorofila *a* com o volume armazenado do açude Gavião. Apesar de ter ocorrido algumas correlações positivas e negativas moderadas e fortes de alguns IET's com a precipitação anual dos municípios, com o volume de água do Acarape do Meio e entre o IET (PT) × IET (Cl_a) dos dois açudes, verificou-se que ainda não existiu uma correlação estatisticamente significativa entre estas múltiplas comparações. O estágio de eutrofização dos dois açudes não variou sob os efeitos da sazonalidade (período chuvoso e seco).

Mesmo que haja baixas correlações dos IET's com o volume precipitado e o volume armazenado de água, comprova-se que o período de seca prolongado nos municípios de Pacatuba e Redenção, associado a fontes de poluições pontuais e difusas localizadas no entorno dos açudes, afetou negativamente a qualidade da água dos reservatórios Gavião e Acarape do Meio durante os anos de 2012 a 2017.

REFERÊNCIAS

AGOSTINHO, L. L. F. *et al.* Influência da aplicação de filmes monomoleculares para redução da evaporação na qualidade da água de reservatórios superficiais. *In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 23., 2005, Campo Grande. **Anais...** Fortaleza: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

ANA. **Disponibilidades e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Brasília, 2005. 123 p. Disponível em: <<http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20DisponibilidadeDemanda.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2014**. Brasília, 2015. 103 p. Disponível em: <<http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

ARAÚJO, S. M. S. A região semiárida do nordeste do Brasil: questões ambientais e possibilidades de uso sustentável dos recursos. **Rios Eletrônica**, Paulo Afonso, n. 5, p. 89-98, dez. 2011.

ARAÚJO, G. M. **Análise e modelagem integrada da qualidade da água em sistema urbano canal-reservatório eutrofizado, localizado em Fortaleza/CE**. 2016. 208 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

BEZERRA, L. A. V. *et al.* Características limnológicas em um reservatório do semiárido brasileiro com cultivo intensivo de *Oreochromis niloticus* (Linnaeus, 1758). **Acta Limnologica Brasiliensia**, Rio Claro, 2014, vol. 26, n. 1, p. 47-59, mai. 2014.

CAMPOS, J. N. B. Vulnerabilidades hidrológica do semi-árido às secas. **Planejamento e Políticas Públicas**, Brasília, n. 16, p. 262-298, dez. 1997.

CARLSON, R. E. A trophic state index for lakes. **Limnology and Oceanography**, v. 22, n. 2, p. 261-269, mar. 1977.

CARUSO, R. **Água vida**. Campinas: Fundação Cargill, 1998. 112 p

CETESB. **Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo**: significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. São Paulo, 2009. 43 p.

CETESB. Índice de qualidade das águas. São Paulo, 2017. Disponível em: <<http://aguasinteriores.cetesb.sp.gov.br/informacoes-basicas/indices-de-qualidade-das-aguas/>>. Acesso: 26 dez. 2017.

COGERH. **Anuário do Monitoramento Quantitativo dos Principais Açudes do Estado do Ceará**. Fortaleza, 2007. Disponível em: <<file:///C:/Users/zenei/Downloads/Anu%C3%A1rio%20de%20Monitoramento%20-%202007.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2018.

COGERH. **Inventário ambiental do açude Acarape do Meio**: Fatores Condicionantes da Qualidade das Águas. Fortaleza, 2008. Disponível em: <[http://www.hidro.ce.gov.br/arquivos/inventarios/Invent%C3%A1rio%20Ambiental%20do%20A%C3%A7ude%20Acarape%20do%20Meio%20\(Deborah%20Mithya,%20Paulo%20Sucupira,%20Ronaldo%20Rosendo,%20Eduardo%20C%C3%A9sar,%20Carlos%20Henrique%20e%20Agacir%20-%20abr%202008\).pdf](http://www.hidro.ce.gov.br/arquivos/inventarios/Invent%C3%A1rio%20Ambiental%20do%20A%C3%A7ude%20Acarape%20do%20Meio%20(Deborah%20Mithya,%20Paulo%20Sucupira,%20Ronaldo%20Rosendo,%20Eduardo%20C%C3%A9sar,%20Carlos%20Henrique%20e%20Agacir%20-%20abr%202008).pdf)>. Acesso em: 12 jan. 2018.

COGERH. **Qualidade das águas dos açudes monitorados pela COGERH – campanha de maio/2016**. Fortaleza, 2016. Disponível em: <<http://www.hidro.ce.gov.br/uploads/documentos/relatorio-iet-mai2016.pdf>>. Acesso em: 13 mai. 2018.

COGERH. **Bacias Hidrográficas**. Fortaleza, 2018. Disponível em: <<https://www.cogerh.com.br/bacias-hidrografica.html>>. Acesso em: 19 fev. 2018a.

COGERH. **Ficha Técnica dos Açudes (158)**. Fortaleza, 2018. Disponível em: <<https://www.cogerh.com.br/ficha-tecnica-dos-acudes.html>>. Acesso em: 16 fev. 2018b.

COGERH. **Portal hidrológico do Ceará**. Fortaleza, 2018. Disponível em: <<http://www.hidro.ce.gov.br/reservatorios/volume/nivel-diario>>. Acesso em: 27 mar. 2018c.

COSTA, M. S. M. D. A. **Avaliação do grau de trofia do açude Gavião**. 2017. 47 p. Monografia (Bacharelado em Química com Habilitação em Química Industrial) - Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

DANTAS, S. P. **Açudagem no nordeste brasileiro e no Ceará**: estimativa de evaporação do açude Castanhão em um ano seco. 2017. 195 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Centro de Ciências, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

EATON, A. D. *et al.* **Standard methods for the examination of water & wastewater**. 21. ed. Washington, DC: American Public Health Association, 2005.

ESTEVES, Francisco de Assis. **Fundamentos de limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 790 p.

FARIAS, Maria Sallydelandia Sobral de. **Monitoramento da qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Cabelo**. 2006. 152 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2006.

FERREIRA, P. S. *et al.* Variabilidade Espaço-Temporal das Tendências de Precipitação na Mesorregião Sul Cearense e sua Relação com as Anomalias de TSM. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, vol. 33, n. 1, mar. 2018.

FUNCEME. **Ceará passa pela pior seca prolongada desde 1910**. Fortaleza, 2016. Disponível em: <<http://www.funceme.br/index.php/comunicacao/noticias/740-cear%C3%A1-passa-pela-pior-seca-prolongada-desde-1910>>. Acesso em: 21 mar. 2018a.

FUNCEME. **Seminário de Avaliação da Seca de 2010-2016**. Fortaleza, 2016. Disponível em: <<http://www.funceme.br/index.php/comunicacao/noticias/764-semin%C3%A1rio-%20de-avalia%C3%A7%C3%A3o-%20da%20seca%20de-2010-%202016-tem-%20in%C3%ADcio-em-%20fortaleza>>. Acesso em: 23 mar. 2018b.

FUNCEME. **Calendário das Chuvas no Estado do Ceará**. Fortaleza, 2018. Disponível em: <<http://www.funceme.br/index.php/areas/23-monitoramento/meteorol%C3%B3gico/406-chuvas-di%C3%A1rias>>. Acesso em: 28 abr. 2018.

HARRIS, D. C. **Análise Química Quantitativa**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

INPE. **Fim do fenômeno La Niña no Pacífico Equatorial**. São Paulo, 2018. Disponível em: <<http://enos.cptec.inpe.br/>>. Acesso em: 10 mai. 2018.

LAMPARELLI, M. C. **Grau de trofia em corpos d'água do Estado de São Paulo**: Avaliação dos métodos de monitoramento. 2004. 207 p. Tese (Doutorado em Ecologia) - Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

LOPES, F. B. *et al.* Eutrofização em reservatórios da região semiárida. *In*: INOVAGRI INTERNATIONAL MEETING, 3., 2015, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: UFC, 2015. p. 3569-3579.

MARENGO, J. A. Água e mudanças climáticas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 83-96, jul. 2008.

MARENGO, J. A. *et al.* **Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro**. Campina Grande, 2011. Disponível em: <http://plutao.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/plutao/2011/06.11.02.16/doc/Marengo_Variabilidade.pdf?languagebutton=en>. Acesso em: 10 jan. 2018.

MELO, V. S; MEDIROS, R. M. Entropia da precipitação pluvial no município de Cabaceiras – PB, Brasil. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 10, n. 5, p. 952 - 964, out. 2016.

MMA. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Brasília, 2005. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2018.

OLIVEIRA, R. R. A. Estudo da qualidade ambiental do reservatório Pentecoste por meio do índice de estado trófico modificado. 2009. 124 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

OLIVEIRA, P. S. A dinâmica dos nutrientes na água e a sua influência no processo de eutrofização do Canal do Mangue. *In: XVI ENCONTRO NACIONAL DOS GEÓGRAFOS*, 2010, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UERJ, 2010. p. 1-11.

PALUDO, J. R.; BORBA, J. Abastecimento de água e esgotamento sanitário: estudo comparado de modelos de gestão em Santa Catarina. **Ambiente & Sociedade**, São Paulo, v. 16 n. 1, jan/mar. 2013.

PAULINO, W. D.; FRANÇA, J. M. B.; FERREIRA, A. C. S. **Leitura de Minuto**: eutrofização dos corpos hídricos. Fortaleza, 2007. Disponível em: <<http://www.hidro.ce.gov.br/data/arquivos/Leituras%20de%20minuto/Leitura%20de%20minuto%202%20-%20eutrofiza%C3%A7%C3%A3o%20-%200k.pdf>>. Acesso: 31 mai. 2018.

PIVELI, Roque Passos; KATO, Mario Takayuki. **Qualidade das águas e poluição**: aspectos físico-químicos. São Paulo: Abes, 2006. 285 p.

POHLING, Rolf. **Reações químicas na água**. Fortaleza: Arte Visual, 2009. 334 p.

PORTO, M. F. A; PORTO, R. L. L. Gestão de bacias hidrográficas. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 22, n. 63, jun. 2008.

REBOUÇAS, AC., BRAGA, B. e TUNDISI, JG. **Águas doces no Brasil**: capital ecológico, uso e conservação. 3. ed. São Paulo: Escrituras, 2006. 748 p.

RIGHI, A. A. *et al.* **Botânica no inverno 2012**. São Paulo: Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2012. 183 p.

SAMPAIO, A. E. **Avaliação econômica comparativa da estação de tratamento de água de Maranguape tratando água de dois distintos mananciais:** açudes Acarape do Meio e Gavião. 2014. 52 p. Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Hídricos) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

SILVA, Fernanda Ribeiro. **Uso e ocupação do solo associado à qualidade da água no rio Uberabinha.** 2016. 70 p. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Qualidade Ambiental) – Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2016.

SILVA, J. L. C. *et al.* Aspectos da degradação ambiental no nordeste do Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambienta**, Florianópolis, v. 7, n. 2, p. 180-191, abr./jun. 2018.

SOARES, R. B.; CAMPOS, K. C. Uso e disponibilidade hídrica no semiárido do Brasil. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v.22, n. 3, p. 48-57, jul./ago./set. 2013.

SOUSA, I. V. A.; SOUZA R. O.; PAULINO, W. D. Cálculo do índice de estado trófico em reservatório com estudo de caso no reservatório Acarape do Meio. *In:* SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 17., 2007, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Hotel Maksoud Plaza, 2007.

SRH. **Projeto estudo da qualidade das águas em reservatórios superficiais da bacia metropolitana.** Fortaleza, 2002. Disponível em: <<http://www.funceme.br/documents/Projetos/Qualidade.pdf>>. Acesso em: 13 mar. 2018.

SUDENE. **Delimitação do semiárido.** Recife, 2017. Disponível em: <<http://sudene.gov.br/planejamento-regional/delimitacao-do-semiarido>>. Acesso em: 25 mai. 2018.

TOLEDO, A. P. *et al.* Aplicação de modelos simplificados para avaliação do processo da eutrofização em lagos reservatórios tropicais. *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 12., 1983, Camboriú. **Anais...** Camboriú: Companhia Ambiental do Estado de São Paulo, 1983. p. 1-34.

TOLEDO, C. E. **Conectividade hidrológica em ambiente semiárido**: estudo de caso bacia hidrográfica do açude Orós. 2013. 136 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

VIDAL, T. F. **Balço de macronutrientes no açude Gavião/CE – uma nova abordagem**. 2011. 184 p. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) – Centro de tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

VON ESPERLING, Marcos. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 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. 452 p.