



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CAMPUS DE CRATEÚS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA**

**EMANUEL ANDRADE ALVES ROSENDO**

**ANÁLISE MULTIVARIADA APLICADA AO ESTUDO DO FÓSFORO TOTAL EM  
RESERVATÓRIOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ACARAÚ-CE**

**CRATEÚS**  
**2022**

EMANUEL ANDRADE ALVES ROSENDO

**ANÁLISE MULTIVARIADA APLICADA AO ESTUDO DO FÓSFORO TOTAL EM  
RESERVATÓRIOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ACARAÚ-CE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do campus Crateús da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador(a): Prof. Dr. Raimunda Moreira da Franca.

CRATEÚS  
2022

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)

---

- R725a Rosendo, Emanuel Andrade Alves.  
Análise multivariada aplicada ao estudo do fósforo total em reservatórios da bacia hidrográfica do Acaraú - CE / Emanuel Andrade Alves Rosendo. – 2022.  
76 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia Ambiental, Crateús, 2022.  
Orientação: Profa. Dra. Raimunda Moreira da Franca.
1. Fósforo Total. 2. Eutrofização. 3. Análise Multivariada por Componentes Principais. I. Título.  
CDD 628
-

EMANUEL ANDRADE ALVES ROSENDO

**ANÁLISE MULTIVARIADA APLICADA AO ESTUDO DO FÓSFORO TOTAL EM  
RESERVATÓRIOS DA BACIA HIDROGRÁFICA DO ACARAÚ-CE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do campus Crateús da Universidade Federal do Ceará, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Prof. Dra. Raimunda Moreira da Franca.

Aprovado em: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Raimunda Moreira da Franca (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr. Raimundo Bemvindo Gomes (Membro externo)  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Janine Brandão Farias Mesquita (Membro interno)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Larissa Granjeiro Lucena (Membro interno)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais,

Clenilda Maria e Francisco Edgar.

## AGRADECIMENTOS

À minha orientadora, Dra. Raimunda Moreira da Franca, por ter aceitado o convite de orientação de Trabalho de Conclusão de Curso, pela partilha de conhecimento, pela direção, pela compreensão, pela confiança, pelas conversas e pelas palavras de incentivo quando mais precisei delas.

Aos meus professores, em especial àqueles da área de recursos hídricos e que de certa forma, acreditaram no meu potencial, Dra. Janaína Lopes Leitinho, Dr. Alan Michell Barros Alexandre, Dra. Janine Brandão de Farias Mesquita, Dra. Thayres de Sousa Andrade, Dra. Larissa Granjeiro Lucena e Dra. Luana Viana Costa e Silva, por me apresentar à Engenharia Ambiental e Sanitária além dos números.

Aos meus pais, Clenilda Maria e Francisco Edgar, pela paciência, amor, suporte e auxílio, seja ele durante toda a graduação ou durante a confecção deste trabalho. Além disso, agradeço por me guiarem em decisões importantes da vida.

À minha irmã, Maria Rita e ao nosso *pet*, Yoru, pela amizade, companhia, conversas e momentos de diversão, principalmente durante a pandemia.

Aos meus familiares, pelo incentivo, suporte e confiança incondicional.

Aos meus amigos, por terem estado ao meu lado em momentos de sucesso e momentos de dificuldade, pelo companheirismo, momentos de diversão e por ter tido a oportunidade de acompanhar a trajetória de cada um de vocês.

À Crateús e seus habitantes, por terem me acolhido e terem sido gentis comigo.

À Universidade Federal do Ceará e seus funcionários, por ter sido a minha segunda casa e pela oportunidade de crescimento profissional e moral.

## RESUMO

O estado do Ceará foi o precursor na cultura da açudagem no século XX. Os reservatórios de água doce, criados essencialmente para o abastecimento humano e dessedentação animal, hoje, são essenciais para a movimentação da economia em municípios interioranos cearenses. Entretanto, a qualidade de água dos reservatórios cearenses está deteriorada devido às características intrínsecas do semiárido nordestino e às ações antrópicas, o que acelera o processo de eutrofização em ambientes lênticos, ocasionado pela hiperfertilização de nutrientes tróficos como o fósforo e o nitrogênio. O objetivo deste trabalho é investigar variáveis e índices ambientais limnológicos que possuem correlações com as concentrações de fósforo total nos quatro maiores reservatórios da bacia hidrográfica do Acaraú (Araras, Ayres de Sousa, Edson Queiroz e Taquara) no período de 2016 ao primeiro semestre de 2021, através de dados disponibilizados pelo Programa Nacional de Avaliação de Qualidade das Águas (PNQA). Utilizou-se da técnica de estatística multivariada por componentes principais (ACP) para averiguar os parâmetros ambientais mais relevantes no estudo do fósforo total em cada reservatório através do *software* PAST versão 4.08. Notou-se que as concentrações de fósforo total nos reservatórios Araras e Edson Queiroz diminuíam em períodos de maiores precipitações, enquanto no reservatório Ayres de Sousa as taxas mantiveram-se constantes, indicando recargas constantes por fontes externas. Todos os quatro reservatórios, a partir da avaliação de Índice de Estado Trófico de Lamparelli, apresentaram-se eutrofizados durante o período de estudo. O fósforo total obteve pesos de ponderação relevantes e indicativos de deterioração da qualidade de água nos reservatórios Araras e Taquara, nos quais há uma tendência na elevação do nutriente fósforo em detrimento de baixas profundidades e baixas velocidades dos ventos, respectivamente. Nos reservatórios Ayres de Sousa e Edson Queiroz, o fósforo total obteve baixos índices de ponderação, o que indica que outras variáveis são mais propensas à deterioração na qualidade das águas nos mesmos, tais como a fração de fósforo reativo solúvel, cloretos e clorofila-*a*, este último indicando a presença de microrganismos fotossintetizantes e potenciais produtores de toxinas. O estudo das componentes principais sobre concentrações de fósforo total pode auxiliar na elaboração de planos de gerenciamento de recursos hídricos e de pesquisa por indicadores de poluição nos reservatórios que fazem parte da bacia hidrográfica do Acaraú.

**Palavras-chave:** Fósforo Total. Eutrofização. Análise Multivariada por Componentes Principais.

## ABSTRACT

The state of Ceará was the precursor in the culture of the damming in the 20th century. Freshwater reservoirs, created essentially for human supply and animal watering, today are essential for the movement of the economy in municipalities in the interior of Ceará. However, the water quality of Ceará's reservoirs is deteriorated due to the intrinsic characteristics of the northeastern semi-arid region and anthropic actions, which accelerate the eutrophication process in lentic environments, caused by the hyperfertilization of trophic nutrients such as phosphorus and nitrogen. The objective of this work is to investigate limnological environmental variables and indices that have correlations with the concentrations of total phosphorus in the four largest reservoirs of the Acaraú watershed (Araras, Ayres de Sousa, Edson Queiroz and Taquara) from 2016 to the first half of 2021, through data provided by the *Programa Nacional de Avaliação de Qualidade das Águas* (PNQA). The technique of multivariate statistics by principal components (PCA) was used to verify the most relevant environmental parameters in the study of total phosphorus in each reservoir through the PAST software version 4.08. It was noted that the concentrations of total phosphorus in the Macaws and Edson Queiroz reservoirs decreased in periods of greater rainfall in the Ayres de Sousa reservoir while the constant rates remained, indicating constant recharges from external sources. All four reservoirs, based on the Lamparelli Trophic State Index, were eutrophic during the study period. Total phosphorus obtained relevant weightings and indicative of deterioration of water quality in the Araras and Taquara reservoirs, in which there is a tendency to increase the nutrient phosphorus at the expense of low depths and low wind speeds, respectively. In the Ayres de Sousa and Edson Queiroz reservoirs, total phosphorus obtained low weighting indexes, which indicates that other variables are more prone to deterioration in the water quality in them, such as the fraction of soluble reactive phosphorus, chlorides and chlorophyll-a. , the latter indicating the presence of photosynthetic microorganisms and potential toxin producers. The study of the main components of total phosphorus concentrations can help in the elaboration of water resources management plans and research for pollution indicators in the reservoirs that are part of the Acaraú hydrographic basin.

**Keywords:** Total Phosphorus. Eutrophication. Multivariate Analysis by Principal Components.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do Acaraú e dos açudes em estudo, Ceará, Brasil.....	22
Figura 2– Fotografias dos açudes da bacia hidrográfica do Acaraú em estudo .....	24
Figura 3 – Metodologia de estudo de avaliação da qualidade de água dos reservatórios .....	27
Figura 4 – Compilado de precipitações semestrais dos açudes Araras (a), Ayres de Sousa (b), Edson Queiroz (c) e Taquara (d) no período de 2016 a 2021.....	35
Figura 5 – Relação de fração de volume disponível (VD%), profundidade (H%) e fósforo total (PT) no açude Araras no período de 2016 a 2021 .....	37
Figura 6 – Relação de fração de volume disponível (VD%), profundidade (H%) e fósforo total (PT) no açude Ayres de Sousa no período de 2016 a 2021 .....	38
Figura 7 – Relação de fração de volume disponível (VD%), profundidade (H%) e fósforo total (PT) no açude Edson Queiroz no período de 2016 a 2021 .....	39
Figura 8 – Relação de fração de volume disponível (VD%), profundidade (H%) e fósforo total (PT) no açude Taquara no período de 2016 a 2021 .....	40
Figura 9 – Grau de eutrofização dos açudes Araras (a), Ayres de Sousa (b), Edson Queiroz (c) e Taquara (d) no período de 2016 a 2021.....	41
Figura 10 – Análise de componentes principais referentes ao açude Araras no período de 2016 a 2021. ....	44
Figura 11 – Análise de componentes principais referentes ao açude Ayres de Sousa no período de 2016 a 2021.....	46
Figura 12 – Análise de componentes principais referentes ao açude Edson Queiroz para o período de 2016 a 2021. ....	49
Figura 13 – Análise de componentes principais referentes ao açude Taquara para o período de 2016 a 2021. ....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estações fluviométricas e variáveis ambientais analisadas dos reservatórios da bacia hidrográfica do Acaraú no período de 2016 a 2021.1. ....	27
Tabela 2 – Matriz de correlação de Spearman (rS) para as variáveis analisadas para o açude Araras no período semestral de 2016.1 a 2021.1 .....	45
Tabela 3 – Matriz de correlação de Spearman (rS) para as variáveis analisadas para o açude Ayres de Sousa no período semestral de 2016.1 a 2021.1 .....	47
Tabela 4 – Matriz de correlação de Spearman (rS) para as variáveis analisadas para o açude Edson Queiroz no período semestral de 2016.1 a 2021.1 .....	50
Tabela 5 – Matriz de correlação de Spearman (rS) para as variáveis analisadas para o açude Taquara no período semestral de 2016.1 a 2021.1 .....	52
Tabela A1 – Valores dos dados de qualidade de água do referente à área do reservatório Araras no período de 2016 a 2021.1 .....	68
Tabela A2 – Valores dos dados de qualidade de água do referente à área do reservatório Ayres de Sousa no período de 2016 a 2021.1 .....	69
Tabela A3 – Valores dos dados de qualidade de água do referente à área do reservatório Edson Queiroz no período de 2016 a 2021.1 .....	70
Tabela A4 – Valores dos dados de qualidade de água do referente à área do reservatório Taquara no período de 2016 a 2021.1 .....	71
Tabela B1 – Primeira matriz de correlação de Spearman (rS) para as variáveis analisadas do açude Araras, no período de 2016 a 2021.1 .....	72
Tabela B2 – Primeira matriz de correlação de Spearman (rS) para as variáveis analisadas do açude Ayres de Sousa, no período de 2016 a 2021.1 .....	73
Tabela B3 – Primeira matriz de correlação de Spearman (rS) para as variáveis analisadas do açude Edson Queiroz, no período de 2016 a 2021.1 .....	74
Tabela B4 – Primeira matriz de correlação de Spearman (rS) para as variáveis analisadas do açude Taquara, no período de 2016 a 2021.1 .....	75
Tabela C1 – Primeira análise de componente principal das variáveis ambientais estudadas para os reservatórios da bacia hidrográfica do Acaraú, de 2016 a 2021.1 .....	76

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

°C	Graus Celsius
µg/L	Micrograma por litro
ACP	Análise Multivariada por Componentes Principais
ANOVA	<i>Analysis of Variance</i>
ANA	Agência Nacional de Águas
APP	Área de Preservação Permanente
Aw'	Tropical chuvoso com chuvas máximas no outono
BSw'h'	Semiárido Quente com chuvas de verão-outono e temperaturas médias mensais superiores a 18°C
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO <sub>5</sub>	Demanda Bioquímica de Oxigênio de 5 dias
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra a Seca
FEEMA	Fundação Estadual do Meio Ambiente do Rio de Janeiro
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IET <sub>Lamp</sub>	Índice de Estado Trófico de Lamparelli
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
KMO	Kaiser-Meyer-Olkin
mg/L	Miligrama por litro
PACUERAS	Plano de Conservação e Uso do Entorno dos Reservatórios
PAST	PAleontological STatistics
PNQA	Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas
PNRH	Política Nacional dos Recursos Hídricos
QUALIÁGUA	Programa de Estímulo à Divulgação de Dados de Qualidade de Água
SEMACE	Secretaria do Meio Ambiente do Ceará
SISAM	Sistema de Informações Ambientais Integrado a Saúde

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	13
<b>1.1 Contextualização do problema</b> .....	13
<b>1.2 Objetivos</b> .....	14
<i>1.2.1 Objetivo geral</i> .....	14
<i>1.2.2. Objetivos específicos</i> .....	14
<b>1.3 Justificativa</b> .....	15
<b>2 REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	17
<b>2.1 A qualidade da água de reservatórios em regiões semiáridas</b> .....	17
<b>2.2 A relação entre eutrofização e o nutriente fósforo em reservatórios do semiárido</b> ....	19
<b>2.3 Análise estatística multivariada de dados</b> .....	20
<b>3.1 Caracterização dos reservatórios em estudo</b> .....	22
<i>3.1.1 A bacia hidrográfica do Acaraú</i> .....	22
<b>3.2 Base de dados de estudo</b> .....	26
<b>3.3 Análise multivariada por componentes principais (ACP)</b> .....	32
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	34
<b>4.1 Precipitação</b> .....	35
<b>4.2 Fração de volume disponível, profundidade e fósforo total</b> .....	36
<b>4.3 Processo de eutrofização no semiárido</b> .....	40
<b>4.4 Aplicação de análise estatística multivariada por componentes principais (ACP)</b> ...	42
<i>4.4.1 Correlações e estatística descritiva</i> .....	42
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	54
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	56
<b>APÊNDICE A – Parâmetros analisados nos reservatórios da bacia hidrográfica do Acaraú</b> .....	68
<b>APÊNDICE B – Matrizes de correlação de Spearman (rS) para os reservatórios da bacia hidrográfica do Acaraú no período de 2016 a 2021.1</b> .....	72
<b>APÊNDICE C – Análise de componente principal para os reservatórios da bacia hidrográfica do Acaraú no período de 2016 a 2021.1</b> .....	76

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Contextualização do problema

Tratada como um recurso natural limitado, a água é substancial aos seres vivos e elemento indispensável na realização de atividades econômicas. O Brasil é considerado um país dotado de recursos hídricos, no qual cerca de 12% é detido como reserva de água doce mundialmente. Deste modo, o monitoramento da qualidade da água é um tópico de importância para o gerenciamento desse recurso (BERNARDINI *et al.*, 2017). No estado do Ceará, cujo clima predominante é o tropical semiárido, a abordagem qualitativa vem recebendo maior atenção da comunidade técnico-científica em relação ao monitoramento dos reservatórios, cujo objetivo primordial é preservar e conservar a qualidade desse recurso (ALMEIDA *et al.*, 2007).

A qualidade da água é avaliada conforme a obrigatoriedade de proporcionar os seus usos múltiplos, definido no Art. 1º, inciso IV da Política Nacional dos Recursos Hídricos - PNRH, Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, em que são legisladas suas condições de utilização, englobando parâmetros e aspectos físicos, químicos e biológicos diferenciados (ELOI *et al.*, 2014; ELOI e BARRETO, 2011). Além dos parâmetros físico e químicos, as variáveis microbiológicas também são importantes, pois evidenciam desequilíbrios ambientais, com efeitos danosos à macrobiota nativa, microbiota e denotação de presença de efluentes domésticos e urbanos no manancial (CETESB, 2020).

O crescimento do fitoplâncton em reservatórios é alterado sobretudo pelas elevadas concentrações dos nutrientes fósforo e nitrogênio. Por isso, é considerado um componente principal dos sistemas límnicos em razão da capacidade de ciclagem de nutrientes e transferência de energia em ambientes aquáticos (ADLOFF *et al.*, 2018). Florações de cianobactérias são comuns em reservatórios durante o período de estiagem, devido às elevadas temperaturas (15 a 30° C), acúmulo de nutrientes e redução dos índices de recarga. Além disso, a importância da contagem desses microrganismos se dá pela liberação de toxinas prejudiciais à saúde humana devido a presença de cianotoxinas (VIEIRA *et al.*, 2020).

Um dos principais indicadores de poluição nos reservatórios do estado do Ceará é a eutrofização, caracterizada pelo excesso de nutrientes em corpos d'água, tais como o nitrogênio e fósforo. O fósforo é proveniente de fontes externas, como agrotóxicos, detergentes e aditivos de alimentos, bem como de fontes internas, como nos próprios sedimentos de lagos, em frações orgânicas ou inorgânicas (GUNDUZ *et al.*, 2011).

Para Petterson (1998), as cargas internas de fósforo podem permanecer no reservatório por décadas, presentes em sedimentos em até 20 cm de profundidade, deste modo, é provável maior concentração de fósforo na coluna d'água, contribuindo para acelerar o processo de eutrofização no reservatório. Tal fenômeno é particularizado pelo ciclo interno do fósforo, possuindo como fonte os sedimentos límnicos que liberam mais nutrientes à coluna d'água juntamente com matéria orgânica proveniente da decomposição das algas (AQUINO *apud* COOKE *et al.*, 2019; SCHINDLER *et al.*, 2006).

Deste modo, um reservatório que não recebe um aporte anual significativo se tornará mais susceptível à eutrofização, uma vez que os sedimentos presentes na zona afótica do açude estarão em contato direto com a zona fótica do corpo hídrico. Tal situação garante condições favoráveis para a um aumento excessivo da produção primária, no qual a concentração de nutrientes aumenta à medida que perdas por evaporação ocorrem durante os meses de seca na região (NIXDORF E DENEKE, 1995).

Este caso assemelha-se com a situação de inúmeros açudes no estado do Ceará, tais como os açudes Araras, Ayres de Sousa, Edson Queiroz e Taquara, integrantes da bacia hidrográfica do Acaraú. Devido a perdas por elevadas taxas de evaporação e baixas precipitações, somados aos danos derivados de impactos ambientais durante o período de estiagem, entre junho e dezembro, há uma tendência na deterioração da qualidade água, o que prejudica o abastecimento público de água de suas respectivas regiões e de outros usos múltiplos da água, como piscicultura e irrigação (IPECE, 2017).

## **1.2 Objetivos**

### ***1.2.1 Objetivo geral***

Investigar variáveis e índices ambientais que se correlacionam com concentrações de fósforo total em reservatórios do semiárido cearense.

### ***1.2.2. Objetivos específicos***

1. Analisar a sazonalidade das precipitações nos reservatórios em estudo e associar com as concentrações de fósforo total.
2. Analisar a associação entre a fração do volume disponível e profundidade dos reservatórios com ênfase nas concentrações de fósforo total.

3. Analisar quais os parâmetros de monitoramento de qualidade da água são mais consistentes e as variáveis que obtiveram maior peso de correlação através de análises estatísticas.

### 1.3 Justificativa

Em seus diversos formatos de ocupação no território brasileiro, a população nordestina aproveitou o potencial hídrico de suas regiões para o desenvolvimento de atividades econômicas como a agricultura e pecuária ao entorno dos reservatórios. Entretanto, devido a intermitência dos rios e precipitações irregulares, crescimento populacional e dependência hídrica, o sucesso econômico derivado dessas atividades é um processo oneroso, no qual gera um efeito inverso, como a deterioração da qualidade das águas e dos solos, empobrecimento de pastagens nativas e redução de volume de reservas hídricas das regiões (SENA, ALBUQUERQUE E PEREIRA, 2018).

Em conformidade com a Lei nº 9.433/1997, para o cumprimento do instrumento de enquadramento em classes dos recursos hídricos no contexto do semiárido, é necessário que estes sejam estudados em relação aos açudes, visto que a maioria dos rios cearenses são intermitentes. Assim, é preciso traçar metas e permitir a elaboração de planos de ações pelos Comitês de Bacias Hidrográficas e municípios, considerando cenários presentes e futuros a fim de assegurar a disponibilidade hídrica para a população e ao meio ambiente (CEARÁ, 2018). Tal exigência entra em consenso com a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA nº 302/2002, que dispõe parâmetros, definições e limites da Área de Preservação Permanente (APP) ao entorno de reservatórios artificiais, tornando obrigatório a elaboração do Plano de Conservação e Uso do Entorno dos Reservatórios (PACUERAS).

Segundo dados do Relatório Diagnóstico Ambiental da Bacia do Acaraú de 2018, publicado pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos – COGERH, a eutrofização é uma das principais causas da perda de qualidade de água do reservatório de bacias hidrográficas. Nutrientes tróficos, como o fósforo e o nitrogênio, são essenciais para o desenvolvimento de macrófitas, microalgas e cianobactérias (COGERH, 2010; 2018). Muitas das espécies de cianobactérias produtoras de toxinas estão diretamente associadas com o processo de eutrofização em ambientes aquáticos (GLIBERT E BURKHOLDER, 2011). A produção de cianotoxinas está diretamente relacionada com alterações no meio em que estão presentes. Fernandes *et al.* (2009) citam fatores abióticos como temperatura da água, intensidade de luz e quantidade de nutrientes (fósforo e nitrogênio) como estopim para produção de toxinas por

esses microrganismos. Na natureza as microcistinas são as toxinas mais comuns em ambientes aquáticos entre uma rica variedade. As microcistinas fazem parte da categoria de hepatotoxinas, que causam lesões no fígado, e são consideradas de alto risco à saúde humana, principalmente se exposta ao indivíduo por um longo período, mesmo em baixas quantidades (RAMOS *et al.*, 2015).

No Brasil teve destaque o caso de Caruaru-PE, em 1996, um evento no qual 130 pacientes renais crônicos foram submetidos a sessões de hemodiálise, onde 60 pessoas vieram a óbito em quadros clínicos de hepatotoxicose. Em análises investigativas, o carvão ativado utilizado para filtragem e purificação da água da clínica estava dotado de presença de microcistinas, bem como amostras de sangue e de fígado dos pacientes que vieram a óbito (RAMOS *et al.*, 2014). Em um estudo do reservatório Jaburu I, no semiárido cearense, Torquato (2019) identificou dominâncias de espécies de cianobactérias produtoras de microcistinas no período seco, além da colimitação pelos nutrientes fósforo e nitrogênio no período de 2016 e 2017. É válido ressaltar que o ambiente lântico em estudo apresentava-se eutrofizado durante os anos de estudo.

Outrossim, em 2018, cerca de 68,6% da vazão total outorgada das águas da bacia do Acaraú foram destinadas para abastecimento humano, 28,6% às indústrias e demais usos, apenas 2,8%. Portanto, por ser caracterizada como uma bacia de grande importância econômica e socioambiental, é necessário compreender a dinâmica dos principais poluentes ambientais responsáveis pelas perdas da qualidade de água e pelo processo de eutrofização. Problemática que gera prejuízos para pequenos e médios agricultores, companhias de saneamento, municípios e população em geral, em virtude do risco à saúde de comunidades ribeirinhas, que possuem contato primário com os ambientes lânticos. Deste modo, é necessário que informações qualitativas e quantitativas sejam divulgadas para o auxílio na elaboração de planos próprios de gerenciamento de recursos hídricos, proteção ambiental, saúde pública e autossustentabilidade.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 A qualidade da água de reservatórios em regiões semiáridas

A região semiárida do Nordeste do Brasil compreende 969.000 km<sup>2</sup> (AB'SÁBER, 2003). Suas condições características são propícias a secas constantes, deste modo, é necessária uma alternativa para mitigar os efeitos da estiagem (GOMES E PESSOA, 2019). No século XIX, a solução foi a construção de reservatórios para acumular grandes volumes de água. Inicialmente, a principal função desses sistemas era o armazenamento de água para consumo humano e dessedentação animal, posteriormente, outras finalidades foram difundidas, como a irrigação, piscicultura e a própria agricultura de subsistência, essenciais para a movimentação econômica dos municípios cearenses (ANDRADE, 1998).

Feitosa *et al.* (2011), afirmam que a cultura da açudagem também pode ser caracterizada como uma alternativa para a solução de escassez hídrica, pois garante uma distribuição espacial de água onde as comunidades começam a ocupar espaços territoriais, antes inabitados, que os permitem usufruir de vazões desses mananciais.

O estado do Ceará foi o pioneiro na cultura de instalação de políticas de açudagem, tais obras de engenharia são necessárias para a melhoria socioeconômica das microrregiões. Em regiões semiáridas, o conhecimento da distribuição espacial, temporal e de qualidade da água evitam o risco à sobrevivência de populações inteiras, considerando as múltiplas finalidades do uso da água (VAREJÃO-SILVA, 2005).

Segundo a Fundação Estadual de Meio Ambiente do Rio de Janeiro – FEEMA, a qualidade da água pode ser definida como um conjunto de características de natureza física, química e biológica, que devido a sua importância à população, foi necessário instaurar medidas e restrições legais de uso, no qual os padrões de qualidade, que são valores normativos derivados de estudos, devem ser mantidos dentro de limites para que não afetem à fauna, flora e saúde humana enquanto à sua utilização (BRASIL, 2005).

A qualidade da água dos reservatórios pode ser influenciada pelo uso e ocupação do solo, além de fontes poluidoras diretas e indiretas (TUCCI, 1993). As fontes poluidoras diretas, comuns no interior do estado do Ceará, são os despejos de efluentes domésticos diretamente nos rios e descarte incorreto de resíduos sólidos. Como consequência direta tem-se o desmatamento, que provoca o carreamento de contaminantes através do escoamento superficial para os corpos d'água (SHARIFINIA, 2017; LINHARES *et al.*, 2017; SALES *et al.*, 2008). Também é válido ressaltar que a alteração de parâmetros ambientais pode ser

estimulada pelas próprias características da bacia hidrográfica em que o reservatório artificial se encontra, como o tipo de solo e vegetação (MASSOUD, 2012).

As características comuns à maioria dos açudes do estado são a estratificação em períodos quentes e mistura das camadas epilímnia, metalímnia e hipolímnia em períodos chuvosos. No período de estiagem, há diminuição dos níveis de oxigênio dissolvido favorecendo a condição anóxica. E no período em que ocorrem maiores precipitações, de janeiro a maio, proporciona a mistura das camadas de água, em que os íons acumulados na camada anóxica são ressuspensos (MEIRELES, FRISHKORN, ANDRADE, 2007).

A água armazenada em açudes sofre alterações na qualidade por processos físicos, químicos e biológicos. A localização geográfica, velocidade dos ventos e fração de volume disponível são alguns fatores que podem auxiliar na retenção de calor no período de estiagem no estado do Ceará, de junho a dezembro. Vários estudos buscam entender quais são os parâmetros de maior concentração nos reservatórios do semiárido e se existe alguma correlação específica entre variáveis para açudes que se enquadram em situações de risco de seca (NOGUEIRA, 2007).

Torquato (2019) identificou padrões na composição taxonômica de fitoplâncton no Açude Jaburu I, relacionando-os com parâmetros de qualidade de água por análise multivariada. O autor ainda destacou que a clorofila-*a* não foi um parâmetro eficiente para o monitoramento de crescimento fitoplanctônico devido à salinidade do reservatório, principalmente no período seco, entretanto, validou que os nutrientes fósforo e nitrogênio beneficiaram uma espécie de cianobactéria, a *Mycrocystis* sp., dominando os períodos de estiagem nos anos de 2016 e 2017.

Silva (2021) analisou as cargas poluidoras de fósforo total em uma bacia hidrográfica rural do semiárido, no açude Quixeramobim, aplicando uma técnica de modelagem hidrológica para prever os resultados. A autora analisou que as médias de concentração de fósforo total variavam mensalmente entre 0,04 g/m<sup>3</sup> a 0,20 g/m<sup>3</sup>, acima do permitido pela Resolução CONAMA nº 357/2005 para rios de classe 1 e classe 2, no qual esta condição pode ser explicada pelo aumento de tempo de residência hidráulico, influenciado pelos baixos índices de precipitações e intensa atividades agrícolas na bacia hidrográfica.

Barbosa (2021) aplicou o Índice de Trofia para o Semiárido – ITS para quatro açudes do estado do Ceará: Gavião, Pacoti, Riachão e Pentecoste. A autora utilizou a técnica de estatística multivariada e concluiu que os reservatórios estudados possuíam níveis avançados de eutrofização, sendo classificados como eutróficos e hipereutróficos, ao mesmo tempo em que a contagem de cianobactérias e clorofila-*a* estavam acima do exigido pela resolução CONAMA 357/2005, sendo o fósforo o principal nutriente de produtividade primária.

Dessa forma, nota-se que os nutrientes tróficos, sobretudo o fósforo, são parâmetros ambientais dominantes em estudos que tem como finalidade a análise de qualidade de reservatórios e bacias hidrográficas no semiárido, uma vez que o nutriente é facilmente recarregado nos reservatórios por fontes externas e internas e está disponível sob várias formas.

## 2.2 A relação entre eutrofização e o nutriente fósforo em reservatórios do semiárido

A eutrofização pode ser explicada como sendo a hiperfertilização de corpos hídricos, cuja consequência é um crescimento exacerbado de algas e um ambiente estável para multiplicação de cianobactérias (FRANZ, CUNHA, GOBBI, 2007).

A denominação eutrófico é derivada do grego, na qual o significado pode ser traduzido como rico em nutrientes ou bem nutrido. *Eu*, bem, *trophein*, nutrir (SMITH e SCHINDLER, 2009). Tal processo ocorre devido as causas artificiais ou naturais, sendo este último causado pelo carreamento de nutrientes por águas das chuvas. No geral o seu processo é lento, porém, pode ser agravado por ações antrópicas, como a utilização de fertilizantes e agrotóxicos em solos agricultáveis. Os nutrientes agentes da eutrofização são o nitrogênio e o fósforo (WETZEL, 1983). Para controlar um processo de eutrofização, Smith e Schindler (2009) citam que é necessário estudar o nutriente fósforo, pois é íon que pode ser consumido facilmente para a limitação do crescimento das plantas aquáticas.

Teubner *et al.* (2003) mencionam que o fósforo é um nutriente limitante e em sistemas de água doce pode estar fracionado em fósforo reativo solúvel ou ortofosfato, fósforo orgânico dissolvido, fósforo total dissolvido e fósforo particulado. Deste modo, o fósforo total é calculado a partir do somatório do fósforo particulado e fósforo total dissolvido, este último calculado a partir do somatório de ortofosfatos e fósforo orgânico dissolvido. Dentre todos esses parâmetros, os ortofosfatos são a principal forma dissolvida do nutriente e é o principal elemento consumido pelas algas, plantas aquáticas e cianobactérias (GOLTERMAN, 2004).

Franz, Cunha e Gobbi (2007) também descrevem as formas de fósforo mais importantes em análises de qualidade de água em reservatórios, chegando à conclusão que valores exacerbados de fósforo total e os ortofosfatos ditam o estado de eutrofização do corpo hídrico. Os ortofosfatos, por exemplo, têm como fontes detergentes, fertilizantes, efluentes domésticos e industriais, geralmente aparecendo em corpos hídricos no formato de ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ ), bifosfato ( $H_2PO_4^-$ ), monofosfato ( $HPO_4^{2-}$ ) e fosfato ( $PO_4^{3-}$ ).

É válido ressaltar que as formas de fósforo no sedimento dependem do transporte de fosfato solúvel entre os outros componentes, mecanismos de adsorção-dessorção,

quimiossorção e assimilação biológica. Tais processos dependem frequentemente de baixos valores de pH e potenciais redox, que são potencializados pelos metabolismos bacterianos presentes. Assim, pode-se afirmar que concentrações de fósforo estão relacionadas com uma variedade de componentes orgânicos e inorgânicos (SØNDERGARRD, 2007).

Condições anóxicas em reservatórios rasos podem alterar a dinâmica de carregamento interno do fósforo, considerando que há uma ressuspensão do nutriente para a coluna d'água por oxidação. Deste modo, a geometria e volume do reservatório podem implicar na qualidade de água do mesmo (NIEMISTÖ, HOLROOS, HORPPILA, 2011). Parâmetros tais como a profundidade média, condições meteorológicas, estratificação térmica e pH são algumas das características que influenciam nas concentrações de fósforo total em um reservatório (PETERSEN, WILLER, WILLAMOWSKI, 1997).

Orihel *et al.* (2017) e Xie *et al.* (2003) citam que as variáveis que podem ser primordialmente relacionadas com o fósforo em reservatórios são a concentração de oxigênio (OD), ferro (Fe), pH, dureza da água, nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), matéria orgânica (MO) e cianobactérias.

Para a determinação do estado de trofia de reservatórios, conforme o Portal da Qualidade das Águas da Agência Nacional de Águas (ANA) utiliza o Índice de Estado Trófico de Lamparelli – IET<sub>Lamp</sub> (2004), modificado do modelo matemático de Carlson (1977) e Toledo *et al.* (1984), no qual os dois últimos são destinados a climas temperado e tropical, respectivamente. O modelo de Lamparelli é amplamente utilizado em estudos para a avaliação de eutrofização de reservatórios no Brasil (MAIA, 2021).

### **2.3 Análise estatística multivariada de dados**

A análise multivariada de dados é uma técnica estatística muito utilizada que pode proporcionar uma limitação de quantidade de variáveis com taxas de perda de informações muito pequenas (GUEDES, 2012). Deste modo, Maia (2014) disserta que tal técnica matemática facilita a redução do número de variáveis, tornando simplória a obtenção de dados e informações a serem utilizadas em uma avaliação de qualidade da água de um reservatório.

As análises de monitoramento de qualidade de água dos reservatórios geram um enorme conjunto de dados que quando avaliados individualmente, causam dificuldades de interpretação e análises, pois se tratam de valores complexos (LIAO, 2008).

Deste modo, a Análise de Componentes Principais (ACP) permite essa redução de valores em conjuntos de dados extensos, e cria relações entre as variáveis estudadas através de

um menor número de fatores explanatórios, e consente que o pesquisador possa filtrar melhor os parâmetros que explicam uma determinada problemática ambiental (HELENA, 2000).

Mamun, Kim e An (2021) utilizaram a técnica de análise estatística multivariada por componentes principais para a aferição da qualidade de água e estado trófico do reservatório Paldang, na Coreia do Sul. Eles analisaram que as taxas de fósforo total, nitrogênio total, demanda bioquímica de oxigênio, *Escherichia coli* e sólidos totais suspensos foram determinantes para o grau de eutrofização do reservatório, além disso, indicaram que haviam grandes chances de contaminação por ações antrópicas.

Corrêa *et al.* (2019) correlacionaram a avaliação de qualidade de água e sua relação com usos de ocupações do solo, provando a versatilidade dessa análise estatística, uma vez que variáveis ambientais podem ser estudadas juntamente a outros índices, tais como vazão de esgoto, precipitação, geração de resíduos sólidos, tamanho da população e lançamento de poluentes atmosféricos. Eles concluíram que a deterioração da qualidade de água da microbacia de Santa Bárbara, Pelotas-RS, está diretamente relacionada com o crescimento populacional e novas indústrias ao entorno da bacia.

Em relação à aplicação dessa análise estatística para os açudes em estudo, Girão *et al.* (2007) monitoraram qualitativamente no período de abril de 2002 a 2005 o açude Ayres de Sousa. Os autores concluíram que a qualidade de água do reservatório depende das características químicas intrínsecas à bacia sedimentar do açude. Além disso, em segundo plano, pode-se citar a influência de despejos de detergentes e esgotos domésticos. Já no mesmo período, de 2004 a 2005. Andrade *et al.* (2009) dissertam que a qualidade do reservatório Ayres de Sousa independe de sua localização geográfica, indicando ações humanas como as principais responsáveis pela baixa qualidade de água da região. Já Souza e Sarmiento (2017) utilizaram a técnica para avaliar o número mínimo de pontos amostrais de coleta de água garante uma representatividade adequada de parâmetros associados ao açude como um todo.

Estudos mais recentes como os dois trabalhos de Oliveira Júnior *et al.* (2021) e o próprio Relatório Técnico Final de Metodologia de Enquadramento de Reservatórios elaborado pela COGERH (2018) também utilizam dessa técnica para estudos de reservatórios do semiárido cearense, com o objetivo de maximizar a variância explicadas de cada variável de interesse.

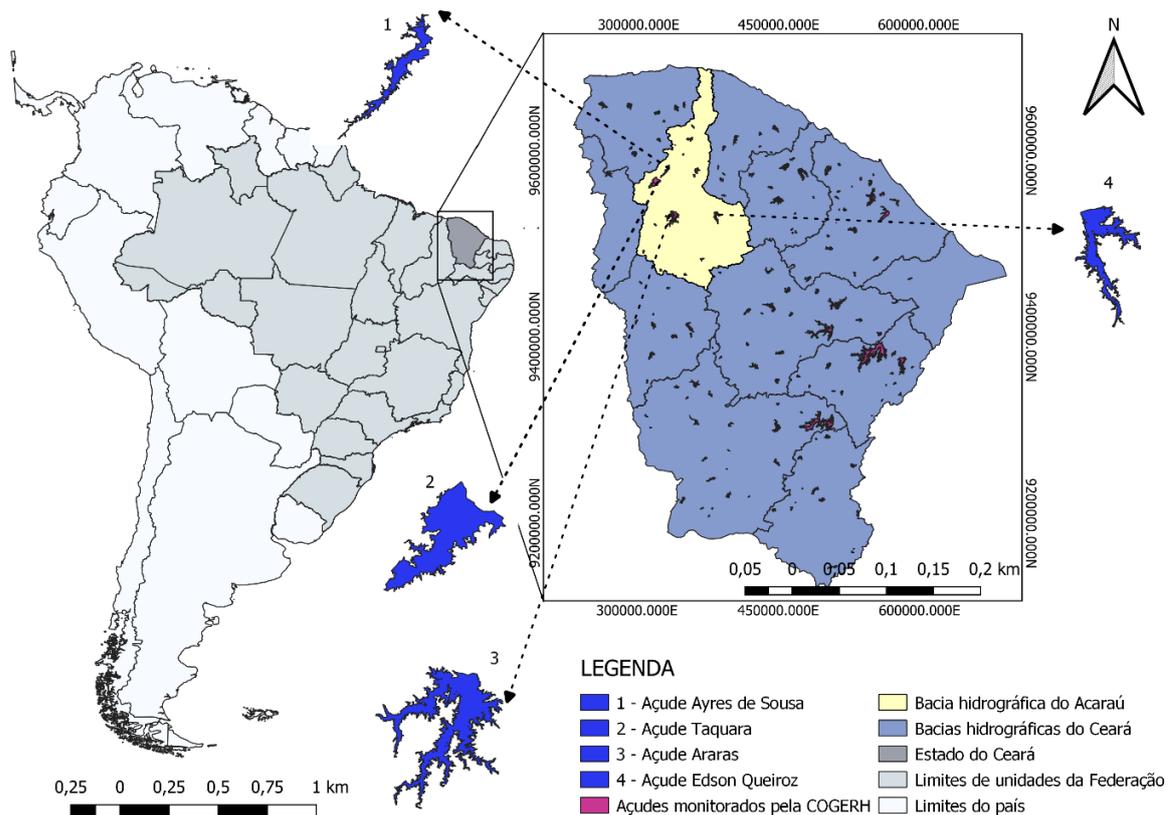
### 3 METODOLOGIA DE ESTUDO

#### 3.1 Caracterização dos reservatórios em estudo

##### 3.1.1 A bacia hidrográfica do Acaraú

A denominada bacia do Acaraú situa-se no setor norte-ocidental do estado do Ceará. Os seus limites vão de oeste a sudoeste, em encontro com as bacias do Coreau e Poti-Longá, respectivamente, enquanto a leste e sudeste em encontro com as bacias do Litoral e do Curu. O rio principal é o Acaraú, dotado de uma extensão de 315 km, no sentido sul-norte em sua predominância. Tem como principais afluentes os rios Groaíras, Jacurutu, Macacos e Jaíbaras, ocupando cerca de 14500 km<sup>2</sup> de todo o território cearense (COGERH, 2009). O mapa de localização da bacia hidrográfica do Acaraú e dos açudes em estudo estão representados na Figura 1.

Figura 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica do Acaraú e dos açudes em estudo, Ceará, Brasil



Fonte: O Autor (2022). Datum SIRGAS 2000/Zone 24S UTM. Fonte de dados do IBGE (2019) e COGERH (2022).

No Quadro 1 é possível observar algumas características dos referidos reservatórios.

Quadro 1 – Características dos reservatórios em estudo

Descritor	Araras	Ayres de Sousa	Edson Queiroz	Taquara
<b>Município</b>	Varjota	Sobral	Santa Quitéria	Cariré
<b>Ano de inauguração</b>	1958	1936	1987	2012
<b>Rio/Riacho barrado</b>	Rio Acaraú	Riacho Jaibaras	Rio Groaíras	Rio Jaibaras
<b>Área da bacia (km<sup>2</sup>)</b>	3504,38	1100,9	1779,22	565,03
<b>Vazão regularizada (m<sup>3</sup>/s)</b>	6,14	1,5	2,44	3,83
<b>Coordenadas (UTM)</b>	339.149 E	333.157 E	514.875 E	321.101 E
	9.534.550 N	9.580.522 N	9.537.719 N	9.569.321 N
<b>Profundidade (m)</b>	≈ 23,56	≈ 13	≈ 23	≈ 16,79
<b>Capacidade (m<sup>3</sup>)</b>	859.533.000	96.800.800	254.000.000	274.000.000
<b>Estação de monitoramento (PNQA)</b>	35217000 (Fluviométrica)	35265100 (Fluviométrica)	35249000 (Fluviométrica)	35262000 (Fluviométrica)

Fonte: COGERH (2020).

O clima predominante na parte alta da bacia é do tipo BSw'h', segundo a classificação de Köppen, definido como semiárido quente com chuvas de verão-outono e temperaturas médias mensais superiores a 18°C, enquanto a parte baixa é classificada como Aw', tropical chuvoso com chuvas máximas no outono. As precipitações possuem médias de 600 a 800 mm anuais, característica do sertão nordestino, com apenas dois períodos definidos, o seco e o chuvoso. As temperaturas são elevadas, com média de 27°C em pelo menos dez meses do ano (ANDRADE *et al.*, 2006).

Em relação à geologia, é composta por terrenos cristalinos pré-Cambrianos, cerca de 94%, tais como gnaisses e migmatitos diversos, quartzitos e metacalcários, associados a rochas plutônicas e metaplutônicas de composição essencialmente graníticas. O restante é composto por rochas sedimentares (5%), no qual pode-se citar arenitos da Formação Serra Grande, sedimentos areno-argilosos, coberturas Colúvio-Eluviais e sedimentos eólicos, com uma granulação variando entre fina a média e por vezes, siltosas, com ou sem presença de matéria orgânica (COGERH, 2018).

Na bacia hidrográfica do Acaraú são encontradas altitudes que variam de 0 m a 1145 m, na Serra das Matas, localizada no sudeste da bacia, considerada a máxima amplitude hipsométrica registrada no estado do Ceará, entretanto, em sua maioria, as altitudes se encontram abaixo dos 200 m (SUCUPIRA, PINHEIRO E ROSA, 2006). Carvalho e Silva

(2006) mencionam que as altitudes de uma bacia hidrográfica influenciam na temperatura, precipitação e evaporação da mesma.

A vegetação da bacia é de formação xerófila, do bioma Caatinga, no qual os padrões predominantes são do tipo caatinga arbustiva densa na maior parte da bacia, caatinga arbórea no sudeste da bacia e mata ciliar ou ribeirinha, com presença de árvores como a carnaúba (*Copernicia prunifera*) e oiticica (*Licania rigida*) no médio e baixo curso do rio Acaraú, onde são encontradas muitas áreas degradadas devido às atividades de extrativismo vegetal (SUCUPIRA, PINHEIRO E ROSA, 2006; COGERH, 2018).

Em relação ao Produto Interno Bruto (PIB) da bacia, o setor de serviços se sobressai, no qual destaca-se os municípios de Sobral, Acaraú e Santa Quitéria. As maiores rendas *per capita* se concentram em Sobral, Marco, Forquilha, Hidrolândia e Santa Quitéria, em que os setores de indústria superam os agropecuários. Entretanto, porcentagens inferiores a 30% indicam os domicílios que não possuem instalações sanitárias ligadas à rede de esgotamento sanitário, já que população se utiliza de soluções rudimentares e menos sustentáveis para o lançamento de efluentes domésticos (COGERH, 2018).

A Figura 2 mostra registros fotográficos dos açudes em estudo.

Figura 2 – Fotografias dos açudes da bacia hidrográfica do Acaraú em estudo: Araras (A); Ayres de Sousa (B); Edson Queiroz (C); Taquara (D).



Fonte: (2-A) Emanuel Coelho (Jornal O POVO), 2021; (2-B) Fabio Lima (Jornal O POVO), 2020; (2-C) AVA WEB Notícias (2014); (2-D) COGERH (2020).

Dentre os principais usos das águas do açude Araras, representado na Figura 2-A, destacam-se o abastecimento dos municípios de Hidrolândia, Ipu, Nova Russas, Pires Ferreira, Tamboril e Varjota, e o suporte hídrico aos perímetros irrigados Araras Norte e Baixo Acaraú. Entretanto, os principais impactos ambientais são derivados da criação bovina na área da bacia hidráulica do Araras. Os animais que circulam livremente causam a compactação do solo, dificultam a infiltração e a recarga natural do açude, aumentando a velocidade do escoamento superficial da água chuva, que carrega os excrementos de animais e resíduos sólidos ao reservatório. Outros impactos relevantes são derivados da atividade de piscicultura, pela acumulação de resíduos orgânicos de peixes, o extrativismo vegetal e atividades de mineração de areia, pela potencialização de erosão e despejo de efluentes domésticos próximos ao entorno do açude, pelo acúmulo de nutrientes no açude (COGERH, 2018).

Para o açude Ayres de Sousa, representado na Figura 2-B, os principais usos se concentram nos setores de abastecimento humano, piscicultura, irrigação e lazer. Os principais impactos ambientais são derivados da existência de residências isoladas dentro da Área de Preservação Permanente (APP) no entorno do açude. A intensa prática de lavagem de roupas e automóveis a jusante e montante do açude também é uma condicionante prejudicial à qualidade de água do açude. Também pode-se citar a percolação de esgoto devido à constantes falhas mecânicas de sistemas de empresas de saneamento e despejo de efluentes domésticos próximos à barragem (COGERH, 2010).

O açude Edson Queiroz está representado pela Figura 2-C, os principais impactos são causados pelo despejo incorreto de efluentes industriais, intensificando o processo de eutrofização e morte de organismos não-adaptados à má qualidade de água. Em estudo da confecção de um Relatório Ambiental pela empresa GEOSOLOS para a COGERH em 2011, os consultores calcularam uma emissão de 99,22 ton/ano de fósforo na bacia do açude Edson Queiroz, derivadas da carga de lixiviados dos solos, principalmente de áreas degradadas e manejo agrícola (COGERH, 2011).

Também foram listados o escoamento de esgotos domésticos e carreamento de resíduos sólidos para o reservatório proveniente de ocupações dentro da área de APP do açude, situação potencializada pela falta de vegetação em seu entorno. A empresa também listou o carreamento de necrochorume do cemitério do município de Santa Quitéria e de comunidades próximas para o reservatório (COGERH, 2011).

O açude Taquara, representado pela Figura 2-D, é destinado para abastecimento humano, abastecendo as sedes dos municípios de Graça, Mucambo e Pacujá, além das localidades de Carqueijo e Poço Verde, do município de Cariré. Os principais impactos no

reservatório são semelhantes aos açudes já citados, causados pelo desmatamento para pecuária, despejo incorreto de resíduos sólidos ao entorno do açude e lagoas de estabilização sem impermeabilização nas proximidades, que ao sofrerem transbordo, podem acarretar em sérios danos ambientais à macrobiota e microbiota aquática (COGERH, 2018).

### 3.2 Base de dados de estudo

Os dados de qualidade de água aqui apresentados fazem parte do conjunto de dados do Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA), iniciativa da Agência Nacional de Águas – ANA em parceria com a Superintendência Estadual de Meio Ambiente (Semace), através do Contrato ANA nº 020/2016, e divulgados na plataforma digital *HidroWeb*.

O programa de monitoramento de recursos hídricos pela PNQA no estado do Ceará foi iniciado em 2016, com metas de realização de coletas para análise de água trimestrais. Nos anos de 2016, 2017 e 2021 foram realizadas apenas duas campanhas. Em 2018, 2019 e 2020, as campanhas foram realizadas como previstas. No estudo considerou-se os dados obtidos através das 18 campanhas de coleta de água, distribuídas entre 9 semestres de atuação.

Os dados hidroclimáticos, foram obtidos através da plataforma digital Portal Hidrológico do Ceará, parceria entre a Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos – Funceme e Companhia de Gestão de Recursos Hídricos – COGERH, além da plataforma digital do Sistema de Informações Ambientais Integrado a Saúde (SISAM), por responsabilidade do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

O Índice de Estado Trófico de Lamparelli ( $IET_{Lamp}$ ) foi calculado a partir das Equações 1, 2 e 3, baseadas em concentrações de fósforo total e clorofila-*a*, em unidades de  $\mu\text{g/L}$ , a partir dos valores obtidos das campanhas de coleta de água.

$$IET (Clo-a): \frac{10 \times 6 - ((0,92 - 0,34(\ln(Clo-a)))}{\ln(2)} \quad (1)$$

$$IET (P_T): \frac{10 \times 6 - ((1,77 - 0,42(\ln(P_T)))}{\ln(2)} \quad (2)$$

$$IET_{Lamp}: \frac{IET (P_T) + IET (Clo-a)}{2} \quad (3)$$

Em que:

$P_T$ : Concentração de fósforo total medida à superfície da água ( $\mu\text{g/L}$ )

$Clo-a$ : Concentração de clorofila-*a* medida à superfície da água ( $\mu\text{g/L}$ )

$\ln$ : Logaritmo natural.

Foram utilizados 32 parâmetros e um índice, presentes na Tabela 1, que foram estudados a fim de se obter uma correlação entre as concentrações de fósforo total na água dos reservatórios Araras, Ayres de Sousa, Edson Queiroz e Taquara. Os dados ausentes foram preenchidos a partir das medianas das variáveis considerando o semestre correspondente da variável. Foram excluídos os dados *outliers* de cada variável em todos os reservatórios.

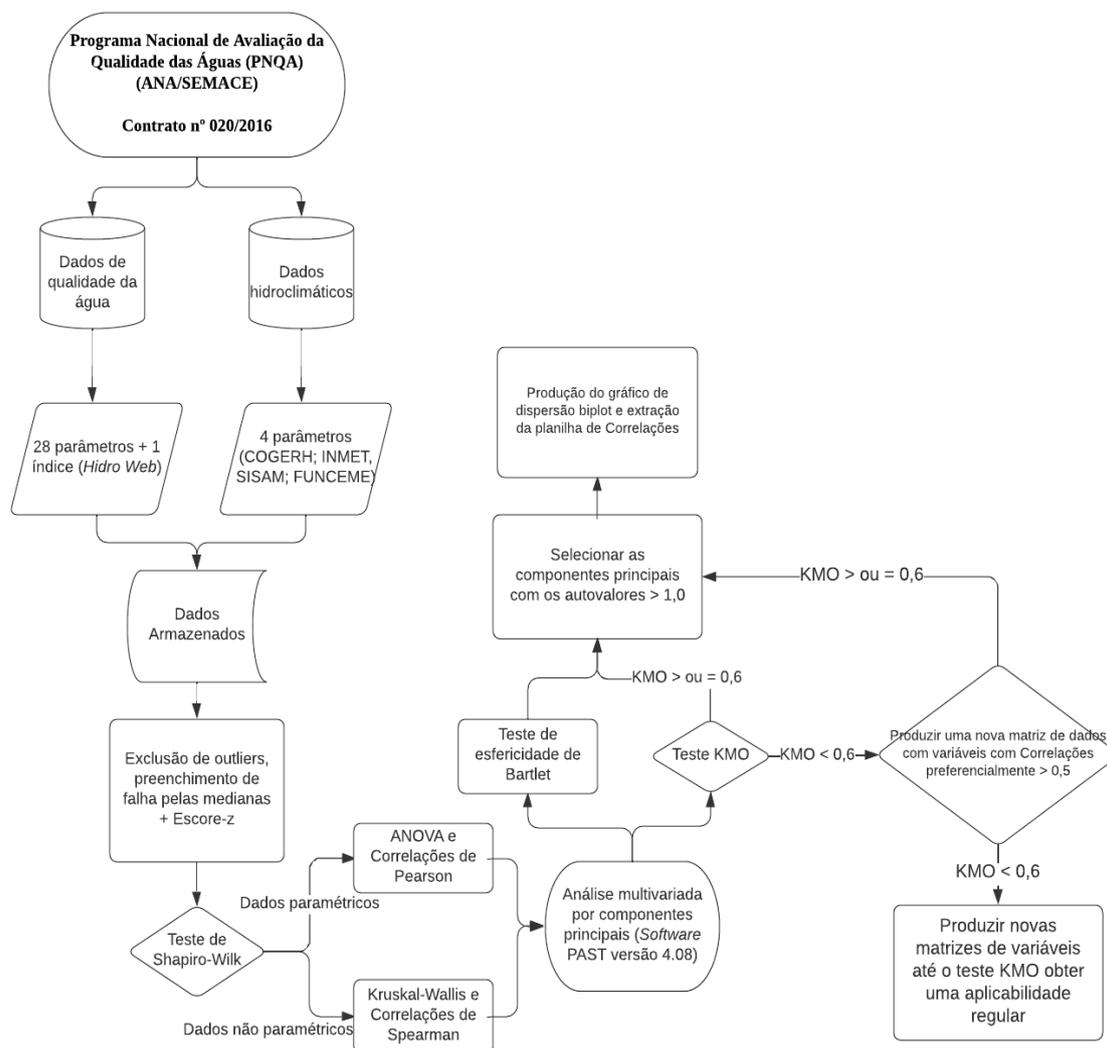
Tabela 1 – Estações fluviométricas e variáveis ambientais analisadas dos reservatórios da bacia hidrográfica do Acaraú no período de 2016 a 2021.1.

<b>CÓDIGO DAS ESTAÇÕES FLUVIOMÉTRICAS</b>			
<b>ARARAS</b>	<b>AYRES DE SOUSA</b>	<b>EDSON QUEIROZ</b>	<b>TAQUARA</b>
35217000 <b>Coordenadas:</b> Latitude: -4.2161 Longitude: -40.4419	35265100 <b>Coordenadas:</b> Latitude: -3.7808 Longitude: -40.5064	35249000 <b>Coordenadas:</b> Latitude: -4.215 Longitude: -40.0667	35262000 <b>Coordenadas:</b> Latitude: -3.8986 Longitude: -40.6122
<b>VARIÁVEIS FÍSICAS</b>			
Temperatura do ar (°C); Temperatura da amostra (°C); Cor (Unidades de cor); Turbidez (Unidades de turbidez); Sólidos totais (mg/L); Sólidos totais dissolvidos (mg/L); Transparência (m); Fração de volume disponível (%); Precipitação (mm); Umidade do ar (%); Velocidade dos ventos (m/s).			
<b>VARIÁVEIS QUÍMICAS</b>			
Potencial hidrogeniônico; Dureza total (mg/L); Demanda bioquímica de oxigênio (mg/L); Alcalinidade por bicarbonato (mg/L); Cloretos (mg/L); Sulfatos (mg/L); Nitrogênio total (mg/L); Alcalinidade total (mg/L); Ortofosfatos (mg/L); Sódio total (mg/L); Magnésio total (mg/L); Potássio total (mg/L); Cálcio total (mg/L); Ferro total (mg/L); Fósforo total (mg/L); Condutividade específica (K); Ferro dissolvido (mg/L).			
<b>VARIÁVEIS BIOLÓGICAS</b>			
Densidade de cianobactérias (células/mL); Clorofila-a (µg/L); Fitoplâncton quantitativo.			
<b>ÍNDICE</b>			
Índice de Estado Trófico (LAMPARELLI, 2004)			

Fonte: O autor (2022).

A metodologia completa para o tratamento de dados e confecção dos objetos de estudo pode ser visualizada através do fluxograma apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Metodologia de estudo de avaliação da qualidade de água dos reservatórios



Fonte: O Autor (2022).

Como as 33 variáveis apresentam unidades de medidas diferentes, foi necessário padronizá-las a unidade adimensional, o escore padrão, mais conhecido como escore-z (PETERSEN, KOLEN E HOOVER, 1989). A fórmula do escore-z está definida pela Equação 4.

$$\text{Escore-z} = \frac{\text{Concentração da variável} - \bar{x}}{\sigma} \quad (4)$$

Em que:

Escore-z: Escore padrão de cada variável;

$\bar{x}$ : Média aritmética da variável;

$\sigma$ : Desvio-padrão amostral da variável.

Testes estatísticos e análise multivariada de dados foram utilizadas para detectar possíveis padrões entre as variáveis ambientais apresentadas na Tabela 1, relacionando-as com as concentrações de fósforo total nos reservatórios em estudo. As análises estatísticas foram realizadas pelo *software* PAleontological STatistics – PAST versão 4.08.

Os parâmetros foram avaliados a partir de uma hipótese estatística. Câmara e Silva (2001) a definem como uma suposição a respeito dos parâmetros que estão situados em um conjunto de distribuição probabilística de uma ou mais populações, onde essa suposição será rejeitada se o resultado da amostra for improvável de ocorrer quando a hipótese for verdadeira.

Na estatística é disposto o termo *p-value* ( $p$ ), que é a probabilidade da obtenção de uma estatística de teste igual ou mais extrema do que a observada numa determinada amostra sob hipótese nula. O valor de  $p$  é relacionado com a definição de  $H_0$  como sendo a hipótese nula e  $H_1$  a hipótese a ser testada. A finalidade do teste de hipótese é aceitar ou rejeitar  $H_0$ . Desta forma, o denominado nível de significância é a probabilidade máxima na rejeição de  $H_0$ , em que será rejeitado se o resultado da amostragem obter uma diferença igual ou maior que 5% (CÂMARA E SILVA, 2001).

Sendo assim, realizou-se um teste de normalidade para identificar se os dados seguem uma distribuição normal ou não, a fim de definir o teste mais adequado a ser aplicado. O método empregado foi o de Shapiro-Wilk, pelo motivo que é viável para testes com amostras acima de 30 valores (XAVIER, 2014). Conforme o mesmo autor, o método de Shapiro-Wilk calcula uma estatística  $W$  relacionada com a probabilidade de a amostra trabalhada possuir uma distribuição normal. É calculado conforme Equação 5.

$$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_i)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} \quad (5)$$

Em que:

$x_i$ : valores amostrais ordenados;

$a_i$ : constantes geradas das médias, variâncias e covariâncias das estatísticas de ordem de uma amostra aleatória de tamanho  $n$  de uma distribuição normal;

$\bar{X}$ : Média aritmética.

Siegel e Castellan (2006) definem que o valor de  $W$  deve ser sempre maior que o valor de  $p$  obtido, com o objetivo de aceitar a hipótese da probabilidade de normalidade dos dados. Para uma população com dados amostrais com distribuição normal ou paramétrica, utiliza-se o teste ANOVA (*Analysis of Variance*). Caso a distribuição dos dados seja não paramétrica, utiliza-se o teste de Kruskal-Wallis (FRANCA, 2021).

O teste ANOVA caracteriza-se como um teste robusto e concede resultados confiáveis desde que siga uma distribuição normal, ou seja, os tamanhos amostrais sejam aproximadamente iguais. A sua interpretação compara duas ou mais médias, fator único, em que  $F > F_{\text{crítico}}$  e  $p < 0,05$ , indicando que há diferenças significativa entre grupos. Já o teste de Kruskal-Wallis é análogo ao ANOVA, uma vez que ele não implica em nenhuma restrição sobre comparação (COLOSIMO, 2011; SILVA E BOGONI, 2015).

No teste de Kruskal-Wallis, ordena-se todas as  $n$  observações de  $k$  amostras, de uma menor para uma maior observação, no qual  $r_{ij}$  é o posto de  $x_{ij}$ , Equação 6.

$$R_{ij} = \sum_{j=1}^{n_{ij}} r_{ij} \text{ e } R_i = \frac{R_i}{n_i}, i = 1, \dots, k. \quad (6)$$

Sendo assim, considera-se que  $R_1$  é a soma dos postos dos elementos da amostra 1 e  $R_i$ , é definido como sendo o posto médio destas mesmas observações. Por fim, o teste estatístico de Kruskal-Wallis é dado pela Equação 7, com aproximadamente uma distribuição qui-quadrado ( $X^2$ ) com  $k-1$  graus de liberdade.

$$H = \frac{\frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k n_i \left( \frac{R_i - \frac{N+1}{2}}{2} \right)^2}{1 - \frac{\sum_{j=1}^g t_j^3 - t_3}{N^3 - N}} = \frac{\left( \frac{12}{N(N+1)} \sum_{i=1}^k \frac{R_i^2}{n_i} \right) - 3(N+1)}{1 - \frac{\sum_{j=1}^g t_j^3 - t_3}{N^3 - N}} \quad (7)$$

Em que:

$t_j$ : É o tamanho do grupo de elementos repetidos;

$j$  e  $g$ : número de grupos.

A hipótese  $H_0$  é rejeitada quando  $H_{\text{calc}} > H_{\text{crítico}}$ , ou seja, quando o valor de  $p$ -value é inferior a 0,05 (5% de significância).

Na próxima etapa deve-se verificar a adequabilidade da base de dados de trabalho, tais como o tamanho da amostra, a distribuição dos dados do inventário e verificação da

existência de correlações (PEREIRA, 2014). Portanto, o teste de Bartlett e KMO são aplicados.

A análise estatística do teste de Bartlett é regida pela Equação 8.

$$\mathbf{X}^2 = - \left[ (n - 1) - \frac{(2p+5)}{6} \right] \ln|R| \quad (8)$$

Em que:

$\ln|R|$ : Logaritmo natural do determinante da matriz de correlação;

$p$ : Número de variáveis;

$n$ : Tamanho amostral.

Se a consulta obtiver uma hipótese  $H_0$  verdadeira, ela terá uma tese estatística  $X^2$  de distribuição assintótica Qui-quadrado em que  $\nu = \frac{p^2-p}{2}$ . O resultado deve possuir um índice de *p-value* menor que 0,05, uma vez que será testada a hipótese de que não há correlação entre variáveis, caso contrário, ele indicará que há correlações entre grupos amostrais (FRANÇA, 2009; FERREIRA, 2011; TORQUATO *et al.*, 2019). Nele, as hipóteses de teste podem ser definidas pelas Equações 9 e 10.

$$\mathbf{H}_0 = P_{pxp} = I_{pxp} \quad (9)$$

$$\mathbf{H}_1 = P_{pxp} \neq I_{pxp} \quad (10)$$

Em que:

$P_{pxp}$ : Matriz de correlação populacional;

$I_{pxp}$ : Matriz identidade.

O teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) define uma equação para realizar a comparação da magnitude dos coeficientes de correlação em relação à magnitude de coeficientes parciais (PEREIRA *apud* NORUSIS, 2014). A equação que rege o teste de KMO é a Equação 11.

$$\mathbf{KMO} = \frac{\sum \sum_{j \neq k} r^2_{jk}}{\sum \sum_{j \neq k} r^2_{jk} + \sum \sum_{j \neq k} q^2_{jk}} \quad (11)$$

Em que:

$r_{jk}^2$ : Quadrado dos elementos da matriz de correlação original fora da diagonal;  
 $q_{jk}^2$ : Quadrado das correlações parciais entre as variáveis.

Os índices de KMO variam na sua apropriação dependendo de cada autor. Pereira (2014) aplicou para modelar índices de qualidade de água por ACP para a bacia hidrográfica do ribeirão de São Bartolomeu, situado no município de Viçosa, Minas Gerais, assim, usou faixas de variação para aplicação da ACP usando o teste de KMO, Quadro 2, propostas por autores diversos.

Quadro 2 – Faixas de validade da aplicação da ACP pelo teste de KMO

Valor de KMO	Aplicabilidade da ACP
$KMO \geq 0,9$	Excelente
$0,8 \leq KMO < 0,9$	Ótima
$0,7 \leq KMO < 0,7$	Boa
$0,6 \leq KMO < 0,7$	Regular
$0,5 \leq KMO < 0,6$	Minimamente aceitável
$0,5 < KMO$	Inaceitável

Fonte: Pereira (2014).

### 3.3 Análise multivariada por componentes principais (ACP)

Para a determinação dos componentes principais, é necessário calcular: a matriz de variância-covariância ( $\Sigma$ ) ou a matriz de correlação (R), determinar os autovalores e autovetores e assim, finalmente escrever as combinações lineares, chamadas de componentes principais, as quais são caracterizadas como combinações lineares de todas as variáveis originais com o objetivo de reter dados em uma determinada ordem de estimação e em termos de variação total, presente nos dados iniciais (REGAZZI *apud* VARELLA, 2008).

Hongyu, Sandaleno e Junior (2015) definem as variáveis ambientais como sendo  $X_1, X_2, \dots, X_p$ , portanto, definidas como um número  $n$  de unidades experimentais, formando uma matriz de dados  $X$  ( $n \times p$ ), definida pela Equação 12.

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} X_1 & \cdots & X_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ X_{np} & \cdots & X_{np} \end{bmatrix} \quad (12)$$

A matriz de covariância possui o formato apresentado pela Equação 13. Em que  $\sigma$  é a variância.

$$\Sigma = \begin{bmatrix} \sigma^2_{11} & \cdots & \sigma^2_{1p} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma^2_{n1} & \cdots & \sigma^2_{nn} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Johnson e Wichern (2008) definem que os pares de autovalores e autovetores  $(\lambda_1, e_1), (\lambda_2, e_2), \dots, (\lambda_p, e_p)$  precisam ser definidos, em que  $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p$ , associados ao  $\Sigma$  principal, é regido pela Equação 14.

$$\mathbf{Z}_i = \mathbf{e}'_i \mathbf{X} = e'_{i1}X_1 + e'_{i2}X_2 + \cdots + e'_{ip}X_p \quad (14)$$

Em que:

$Z_i$ :  $i$ -ésimo componente principal ou a chamada variável latente, não mensurada a partir do levantamento amostral.

Tal variável latente terá uma variância definida pela Equação 15.

$$\mathbf{Var}(\mathbf{Z}_i) = \mathbf{Var}(e'_i X) = e'_i \mathbf{Var}(X) e_i = e'_i \Sigma e_i \quad (15)$$

A variável latente  $Z_i$  deverá ser encontrada a partir das  $p$  variáveis contidas no vetor  $X$ , assim, projeta-se os pontos de coordenação originais em plano, maximizando a variabilidade de  $Z_i$ . Posteriormente, utiliza-se uma decomposição espectral da matriz  $\Sigma$ , dada por  $\Sigma = P \Lambda P'$ , em que  $P$  é a matriz composta pelos autovetores de  $\Sigma$  em suas colunas e  $\Lambda$  a matriz diagonal formatada com autovalores de  $\Sigma$  (HONGYU, SANDALIENO e JUNIOR, 2015).

A matriz de transformação  $tr$  que envolve as relações entre a matriz de autovalores e autovetores é regida pela Equação 16.

$$\mathbf{tr}(\Sigma) = \mathbf{tr}(P \Lambda P) = \mathbf{tr}(\Lambda P' P) = \mathbf{tr}(\Lambda I) = \mathbf{tr}(\Lambda) = \sum_{i=1}^p \lambda_i \quad (16)$$

Assim, de acordo com a matriz de transformação elaborada, o somatório de suas diagonais terá o formato conferido pela Equação 17.

$$\mathbf{tr}(\Sigma) = \sum_{i=1}^p \sigma_{ii} = \sum_{i=1}^p \lambda_i \quad (17)$$

Segundo Hongyu, Sandanielo e Junior (2015), a variabilidade total contida nas variáveis originais possui o mesmo valor da variabilidade total contida nos componentes principais calculados, não havendo perda de informação.

Por fim, a contribuição de cada componente principal, ou seja, cada variável latente  $Z_i$  será expressa em porcentagem. A explicação individual para cada componente é calculada para o  $k$ -ésimo componente principal, assim como define a Equação 18.

$$C_k = \frac{Var(Z_i)}{\sum_{i=1}^p Var(Z_i)} \cdot 100 = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} \cdot 100 = \frac{\lambda_i}{tr(S)} \cdot 100 \quad (18)$$

Deste modo, determina-se o número de restrições através da proporção de explicação da variância total em que o modelo de  $C_k$  é responsável (JOHNSON; WICHERN, 2008). A componente de maior variância, aparecerá como primeiro componente apresentado no *software*, e será aquele que explica o máximo de variabilidade de dados e assim sucessivamente até o dado de menor sucesso (HONGYU, SANDANIELO e JUNIOR *apud* MANLY, 2015).

Para a considerações das componentes principais na avaliação dos reservatórios, considera-se critério de Kaiser (1958), em que para serem considerados em uma análise de ACP devem possuir um autovalor ( $\lambda_n \geq 1$ ) (HONGYU *et al.*, 2015).

O peso de cada variável para ponderação dos itens mais representativos pode ser calculado através da Equação 19.

$$w_i = \frac{|a_i \cdot \sigma_1| + |b_i \cdot \sigma_2|}{\sum |PC_{1, \sigma_1}| + \sum |PC_{2, \sigma_2}|} \quad (19)$$

Em que:

$W_i$ : Peso de cada variável;

$a_i$ : *Coefficient score* específico da variável de estudo na componente principal 1;

$b_i$ : *Coefficient score* específico da variável de estudo na componente principal 2;

$\sigma_1$ : Desvio-padrão da componente principal 1;

$\sigma_2$ : Desvio-padrão da componente principal 2;

$PC_1$ : *Coefficient scores* da componente principal 1 de cada variável;

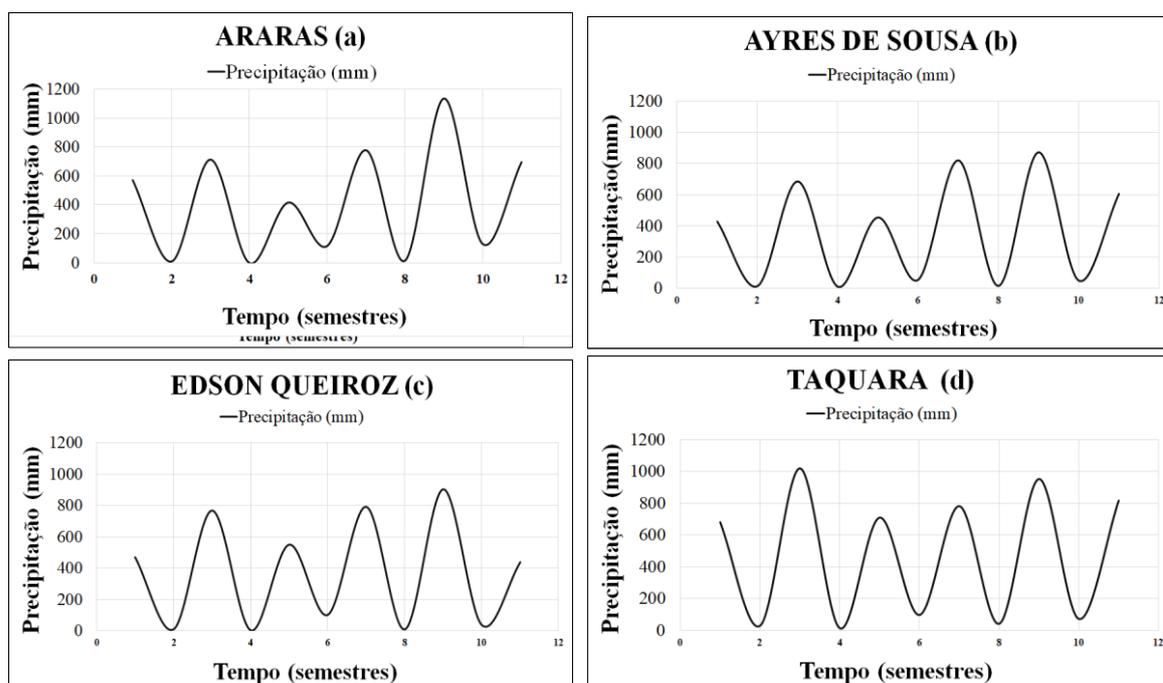
$PC_2$ : *Coefficient scores* da componente principal 2 de cada variável.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 4.1 Precipitação

O somatório das precipitações mensais nos reservatórios em estudo do primeiro semestre de 2016 ao primeiro semestre de 2021 estão apresentadas na Figura 4, separados por semestre. É possível notar que as maiores precipitações semestrais ocorreram durante o primeiro semestre do ano, coincidente com o período chuvoso, enquanto precipitações baixas ou nulas podem ser observadas durante o segundo semestre do ano, o período mais seco.

Figura 4 – Compilado das precipitações totais semestrais dos açudes Araras (a), Ayres de Sousa (b), Edson Queiroz (c) e Taquara (d) no período de 2016 a 2021.



Fonte: O autor (2022).

O açude Araras e o Taquara foram os únicos a ultrapassarem 1.000 mm de precipitação, sendo eles 1.134,4 mm no 9º semestre (Figura 4a) e 1.019 mm no 3º semestre (Figura 4d), respectivamente. Enquanto isso, os açudes Ayres de Sousa e Edson Queiroz apresentaram semelhanças nas precipitações durante os semestres de monitoramento. No período de estio, que ocorre durante o segundo semestre do ano, representado pelos números pares na Figura 4, não foram observadas precipitações acima de 200 mm. Além disso, valores nulos podem ser identificados no 3º semestre de monitoramento nos açudes Araras e Edson Queiroz.

Ferreira e Oliveira (2021) mencionam que após a quadra chuvosa no semiárido, há uma redução considerável do nível de chuvas, no qual apenas precipitações pontuais e de pouca intensidade ocorrem durante o segundo semestre do ano. Duarte *et al.* (2021) analisaram as precipitações mensais do município de Itapipoca, no Ceará. Em 2018 houve altos índices de precipitação no primeiro semestre do ano, entretanto, sem períodos chuvosos nos meses de setembro, outubro e novembro, precipitando novamente em dezembro de 2018. Porém, a média de precipitação nos anos de 1988 a 2018 ficou abaixo dos 50 mm.

Silva e Becker (2018) discorrem sobre dados hidrológicos de quatro reservatórios por trimestres em 2017, no segundo semestre foram observadas precipitações moderadas para o açude Pacoti, enquanto os açudes Gavião, Riachão e Pacajus houve chuvas de baixa intensidade ou até mesmo nulas, como foi o caso do Riachão e Pacajus no terceiro trimestre do ano. Ademais, o açude Riachão apresentou médias muito baixas, abaixo de 25 mm durante o primeiro semestre. Os casos avaliados nos estudos citados são semelhantes com os açudes da bacia hidrográfica do Acaraú, com somatórios de precipitações semestrais de 400 mm a 1000 mm nos semestres ímpares e baixas precipitações nos semestres pares.

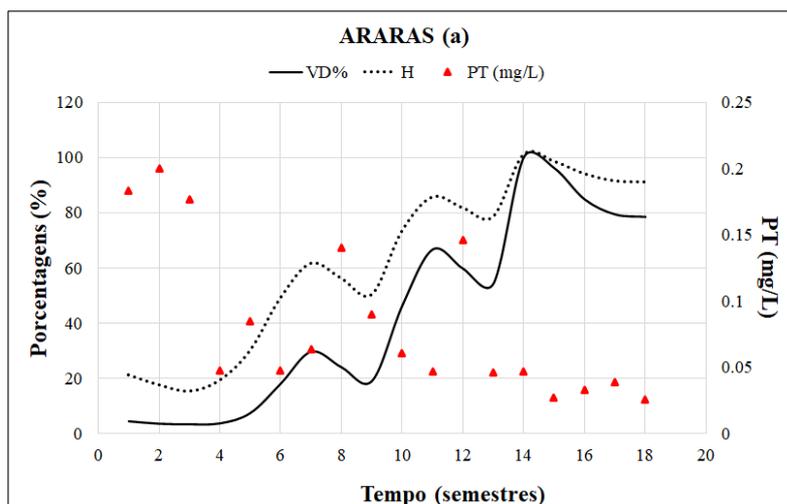
#### **4.2 Fração de volume disponível, profundidade e fósforo total**

No açude Araras, a variação de fração de volume disponível (VD) no período chuvoso durante os primeiros semestres dos anos de estudo foi de cerca de 76,28%, alcançando 100% de sua capacidade no primeiro semestre de 2020, com cerca de 23,56 m de profundidade. A menor fração do volume disponível ocorreu no primeiro semestre de 2017, com nível crítico de cerca de 3,53%. A fração média do volume disponível neste reservatório foi de 43,87%. As concentrações de fósforo total são elevadas quando as porcentagens de volume disponível e profundidade são menores, características do período de estio.

No período seco, há uma deterioração da qualidade de água de reservatórios e a entrada de fósforo não se dá pelo escoamento superficial, mas pela erosão e exportação através de culturas às margens do reservatório. Deste modo, o fósforo deve receber ações de controle efetivos, uma vez que as concentrações de nitrogênio não seriam reduzidas pela capacidade de fixação por microrganismos, como cianobactérias. (PINHEIRO, 2011; SILVA, ARAÚJO E ARAÚJO, 2014).

A Figura 5 mostra a variação da fração de volume disponível, profundidade e fósforo total no açude Araras.

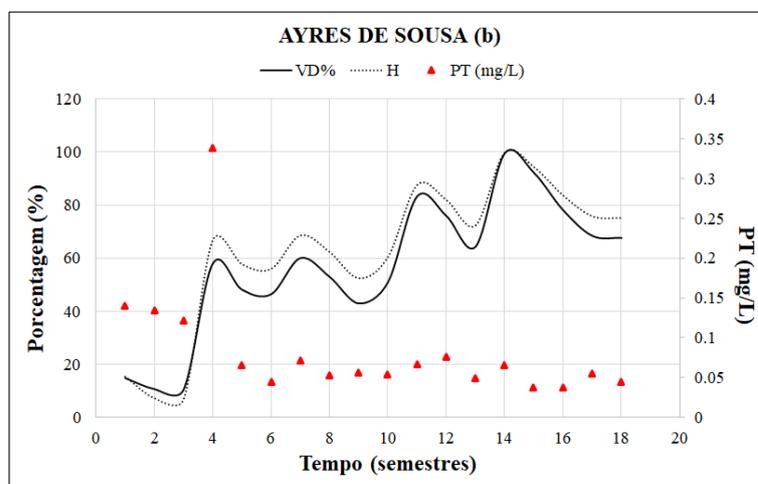
Figura 5 – Relação de fração de volume disponível (VD%), profundidade (H%) e fósforo total (PT) no açude Araras no período de 2016 a 2021.



Fonte: O autor (2022).

As concentrações de fósforo total no açude Ayres de Sousa mostraram poucas variações semestrais, o que indica recarga constante. Embora não houve diferenças significantes das concentrações do nutriente durante os semestres, os números ainda são maiores do que o indicado pela Resolução CONAMA nº 357/2005, em que se limita 0,02 mg/L de fósforo total em ambientes lênticos.

Figura 6 – Relação de fração de volume disponível (VD%), profundidade (H%) e fósforo total (PT) no açude Ayres de Sousa no período de 2016 a 2021.



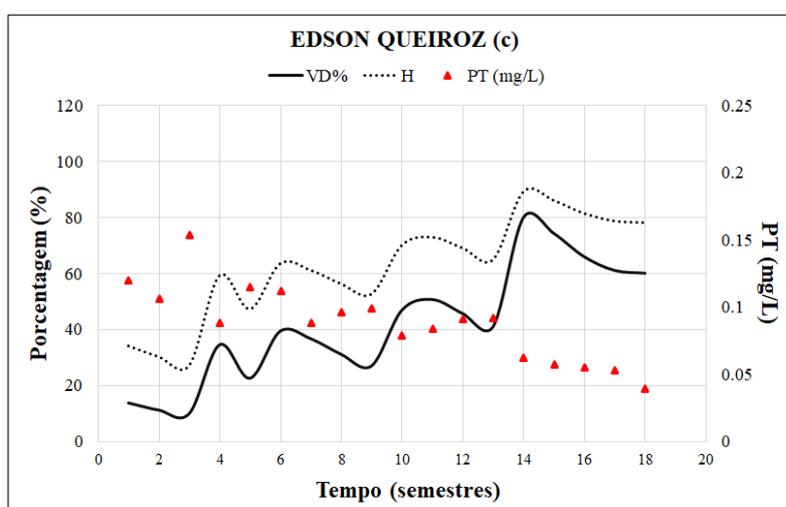
Fonte: O autor (2022).

O reservatório Ayres de Sousa manteve-se mais estável quando comparado ao açude Araras, apresentando menores frações de volume disponível e profundidade em 2016 e 2017, porém, obteve uma recarga positiva nos anos seguintes. Em 2020, o açude havia

atingido cerca de 99,36% de sua capacidade total, cerca de 12,94 m de profundidade. A média para a fração de volume disponível foi de 62,51% considerando todo o período do estudo. Na Figura 6 observa-se a relação da fração de volume disponível, profundidade e fósforo total para o açude Ayres de Sousa.

Diferente dos açudes discutidos anteriormente, o açude Edson Queiroz não ultrapassou os 90% de fração de volume disponível durante os cinco anos de estudo. O seu volume máximo foi de 81,34%, cerca de 21,21 m de profundidade no primeiro semestre de 2020 e o seu volume mínimo no segundo semestre de 2016, com 10,94% de sua capacidade, cerca de 7,0 m. A Figura 7 mostra a relação da fração de volume disponível, profundidade e fósforo total para o açude Edson Queiroz.

Figura 7 – Relação de fração de volume disponível (VD%), profundidade (H%) e fósforo total (PT) no açude Edson Queiroz no período de 2016 a 2021.



Fonte: O autor (2022).

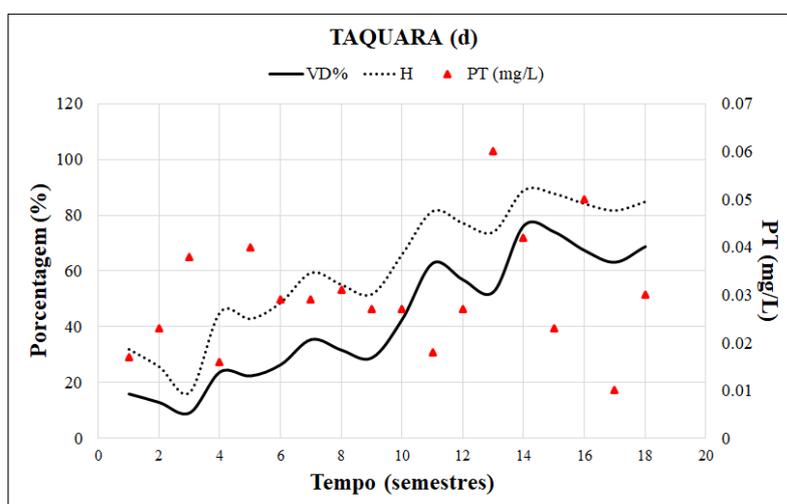
Ao contrário da tendência de comportamento dos açudes Araras e Ayres de Sousa, as concentrações de fósforo durante períodos de recarga do açude Edson Queiroz foram elevadas, o que indica possíveis carregamentos de cargas externas do nutriente, uma vez que os impactos ambientais ao entorno dos açudes estão relacionados com o desmatamento. A redução da mata ciliar aumenta o escoamento superficial de água de chuva, carreando poluentes e resíduos orgânicos, para as águas do reservatório.

O açude Taquara atingiu uma cota de volume de 76,60% no primeiro semestre de 2019, entretanto, as maiores porcentagens de fração de volume disponível e de profundidade

ocorreram no primeiro semestre do ano seguinte, em 2020, obtendo valores de 76,82% e 89,28%, respectivamente, com uma média geral de 42,63% de volume.

As concentrações de fósforo total apresentaram-se instáveis, não seguindo uma tendência dos açudes Araras e Ayres de Sousa, com uma maior acumulação no período de estio. Ao mesmo tempo, assemelha-se mais com o reservatório Edson Queiroz, com altas taxas de fósforo durante os períodos chuvosos. Segundo o Relatório de Diagnóstico Ambiental do Açude Taquara, publicado pela COGERH em 2018, foram listados potenciais poluidores diversos, como lagoas de estabilização instaladas à área do açude e sem impermeabilização, na iminência de transbordo, além disso, foi dado ênfase ao esgotamento sanitário precário nas comunidades próximas ao açude. A Figura 8 mostra a variação da fração de volume disponível, profundidade e fósforo total em relação ao açude Taquara.

Figura 8 – Relação de fração de volume disponível (VD%), profundidade (H%) e fósforo total (PT) no açude Taquara no período de 2016 a 2021



Fonte: O autor (2022).

Franca (2021) analisou a fração de volume disponível e profundidade em quatro reservatórios do semiárido e identificaram deficiências hídricas nos açudes em estudo no ano de 2016, além de pequenas variações de porcentagem em relação ao período úmido e de estio. Rocha Junior *et al.* (2018), analisaram 16 reservatórios do semiárido e caracterizaram o mês de janeiro de 2016 como extremamente seco. Barbosa (2021), analisando quatro reservatórios no Ceará, observou reduções críticas nos volumes dos açudes estudados em 2016, elevando a porcentagem de seus volumes no ano de 2018 e decrescendo novamente em 2019, diferente dos açudes Araras, Ayres de Sousa, Edson Queiroz e Taquara, no qual apresentaram-se

estáveis nos anos seguintes. Tais diferenças podem explicadas por fatores intrínsecos de cada município e região em que os reservatórios estão inseridos, como a localização geográfica, hipsometria, precipitações nas diferentes sub-bacias, vazões de retirada para os usos múltiplos, embora documentos da Avaliação da Quadra Chuvosa de 2016 emitidos pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (Funceme) tenha classificado a quadra chuvosa de 2016 como abaixo da média, com desvio percentual de -45,2% em relação à normal climatológica 1981-2010. A bacia hidrográfica do Acaraú apresentou desvios de precipitação de -20% a -80% no mesmo ano (FUNCEME, 2016).

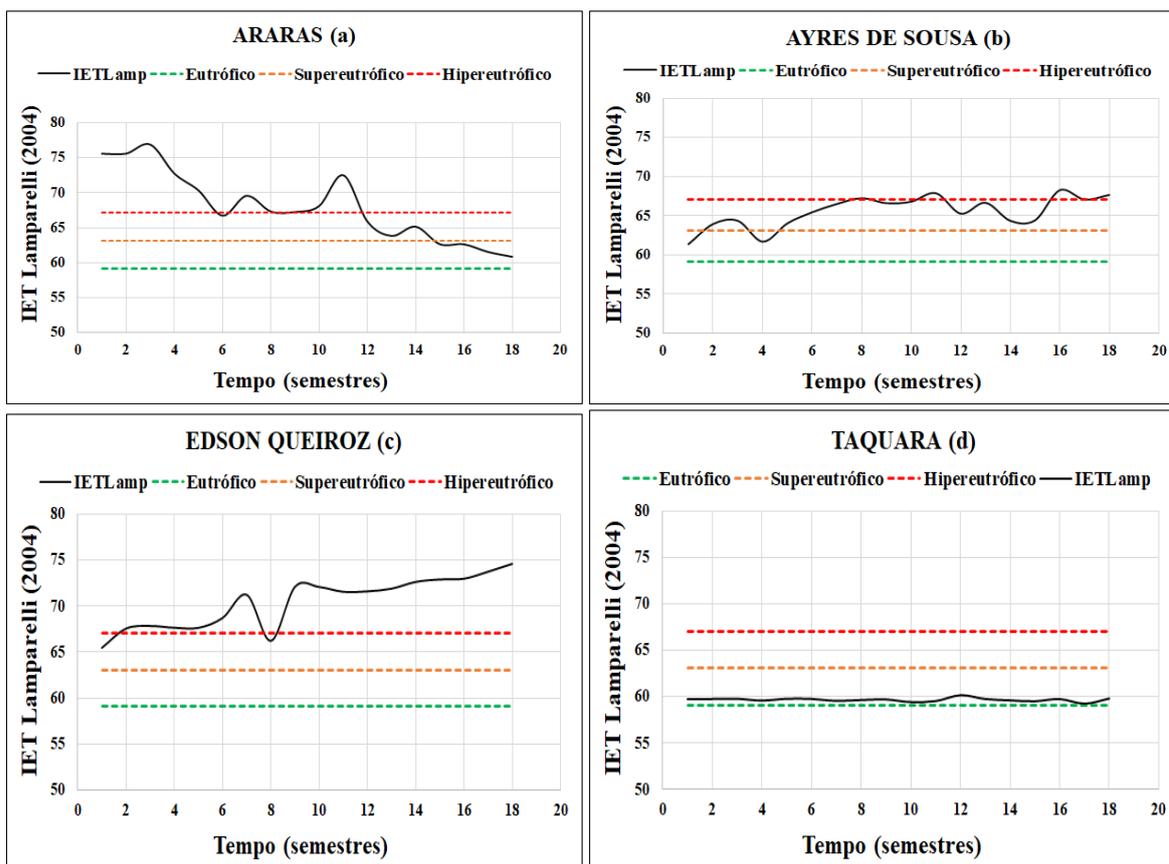
A característica de haver um período chuvoso, com excedente hídrico de no mínimo dois meses durante o primeiro semestre de cada é comum no semiárido (TONÉ E LIMA NETO, 2016). No período de escassez, os reservatórios do semiárido apresentam uma baixa vazão e um maior tempo de residência hidráulica, resultando em um déficit hídrico e acumulação de nutrientes. A baixa ou falta de precipitação durante o segundo semestre do ano diminui drasticamente os níveis de água, no qual alguns açudes podem secar por completo (BARBOSA *et al.*, 2012).

Através das Figuras 3, 4, 5 e 6, nota-se que nos açudes em estudo há uma tendência na redução de volume e profundidade. Fatores naturais como baixas precipitações, distribuições irregulares de chuvas e as características do próprio bioma caatinga, bem como fatores antrópicos como o desmatamento, favorecem a recarga de reservatórios por escoamento superficial, pois alteram a capacidade de infiltração de água no solo. Tais fatores somados com vazões de retirada e intensa evaporação do semiárido brasileiro podem reduzir drasticamente o volume de reservatórios (BRASIL, 2007; SOUZA, 2008).

### **4.3 Processo de eutrofização no semiárido**

As análises realizadas através do Índice de Estado Trófico adaptado por Lamparelli (IET<sub>Lamp</sub>), cujos resultados estão nas Tabelas A1, A2, A3 e A4 do Apêndice A, indicaram que todos os açudes estavam classificados, como eutróficos, com valores acima de 59,0 na escala adimensional de grau de trofia para ambientes lênticos inseridos no clima tropical. A Figura 9 expõe o grau de trofia por semestres calculados para os quatro reservatórios. É notório que nenhum deles apresentou classificação intermediária mesotrófica ao longo de 18 semestres de monitoramento.

Figura 9 – Grau de eutrofização dos açudes Araras (a), Ayres de Sousa (b), Edson Queiroz (c) e Taquara (d) no período de 2016 a 2021.



Fonte: O autor (2022).

Através da Figura 8, verifica-se que os açudes Araras e Edson Queiroz foram os únicos a serem classificados como hipereutróficos em pelo menos cinco semestres seguidos. Entretanto, o primeiro apresentou uma melhoria em relação ao seu estado de eutrofização após doze semestres de análises, enquanto o segundo, uma piora a partir do oitavo semestre de investigação.

Os açudes Ayres de Sousa e Taquara apresentaram estabilidade ao longo do período de estudo, o primeiro mantendo a classificação de eutrófico e supereutrófico, e o segundo em situação eutrófica, notado como sendo o reservatório de melhor qualidade entre os quatro. Como a eutrofização é um processo naturalmente lento, é normal que o açude Taquara apresente um estado menos alarmante, uma vez que sua barragem foi inaugurada em 2012, enquanto os outros açudes foram inaugurados ainda no século XX.

Para Bonfim e Freire (2021), corpos hídricos eutróficos, supereutróficos e hipereutróficos são dotados de produção exacerbada primária em condições naturais, no qual somada com atividade humana, é possível que ocorra um aumento dos nutrientes no ambiente,

causando a redução da transparência e diminuição de qualidade de água. Reservatórios hipereutróficos podem prejudicar os usos múltiplos da água, além de causar a mortandade da fauna aquática devido à floração de algas e cianobactérias, com consequente diminuição de oxigênio dissolvido (CETESB, 2009).

Em estudo de 14 açudes no semiárido brasileiro, todos foram classificados como eutrofizados por Almeida e Medeiros (2021), sendo que 50% apresentavam-se em situações alarmantes, com presença de macrófitas e algas. Vale e Lemos Filho (2020) em uma campanha de monitoramento da qualidade de água da bacia do rio Apodi-Mossoró, no Rio Grande do Norte, notaram que a bacia hidrográfica apresentou uma tendência a estar hipereutrofizada ao longo dos anos, principalmente no período de estiagem. Assim, como Lima e Becker (2021), avaliam que durante o período úmido do estudo, o açude Dourado realizava uma transição de grau mesotrófico para um grau eutrófico. Em contraste com os estudos citados, no reservatório Edson Queiroz, independente do regime chuvoso, permaneceu hipereutrofizado ao longo dos semestres analisados.

Em áreas de baixa precipitação e com secas prolongadas, é possível haver alterações em variáveis limnológicas, deteriorando a qualidade de água dos reservatórios (BECKER, LIMA E SILVA, 2020). Além disso, diversos estudos envolvendo corpos hídricos lênticos apresentaram resultados de agravamento do processo de eutrofização durante e após eventos extremos de seca, agravados por ações antrópicas e baixa disponibilidade de volume em açudes (LEITE E BECKER, 2019).

Medeiros e Navoni (2020) estudaram corpos hídricos do estado do Rio Grande do Norte. Apontaram que um dos possíveis motivos da existência de corpos hipereutróficos se dá por condições naturais, como, por exemplo, um solo com características porosas e permeáveis é mais susceptível a processos erosivos de assoreamento, devido a depósitos aluvionares, agravados por ações antrópicas. Já a área de estudo está concentrada em uma área de solos pouco permeáveis, característica do bioma caatinga, desde modo, as ações antrópicas e variáveis limnológicas podem ser determinantes para a hipereutrofização de reservatórios.

#### **4.4 Aplicação de análise estatística multivariada por componentes principais (ACP)**

##### ***4.4.1 Correlações e estatística descritiva***

De acordo com o teste de Shapiro-Wilk, verificou-se que os dados de algumas variáveis de qualidade de água no espaço temporal de 2016 a 2021 não conferiam uma distribuição normal, considerando um nível de significância de 5% ( $p < 0,05$ ). Deste modo, aplicou-se o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis em todos os reservatórios.

a) Açude Araras

Para o reservatório Araras, obteve-se um resultado de  $p > 0,05$ , não identificando diferenças significativas em relação às medianas das amostras. Na primeira ACP os resultados apresentaram-se negativos em relação ao teste de Bartlett e classificação inaceitável, deste modo, conferiu-se as correlações estatísticas com coeficientes de Spearman ( $r_s$ ), devido os dados não possuírem uma distribuição normal, a fim de descartar variáveis insignificantes e problemáticas (TRINDADE E OLIVEIRA, 2013).

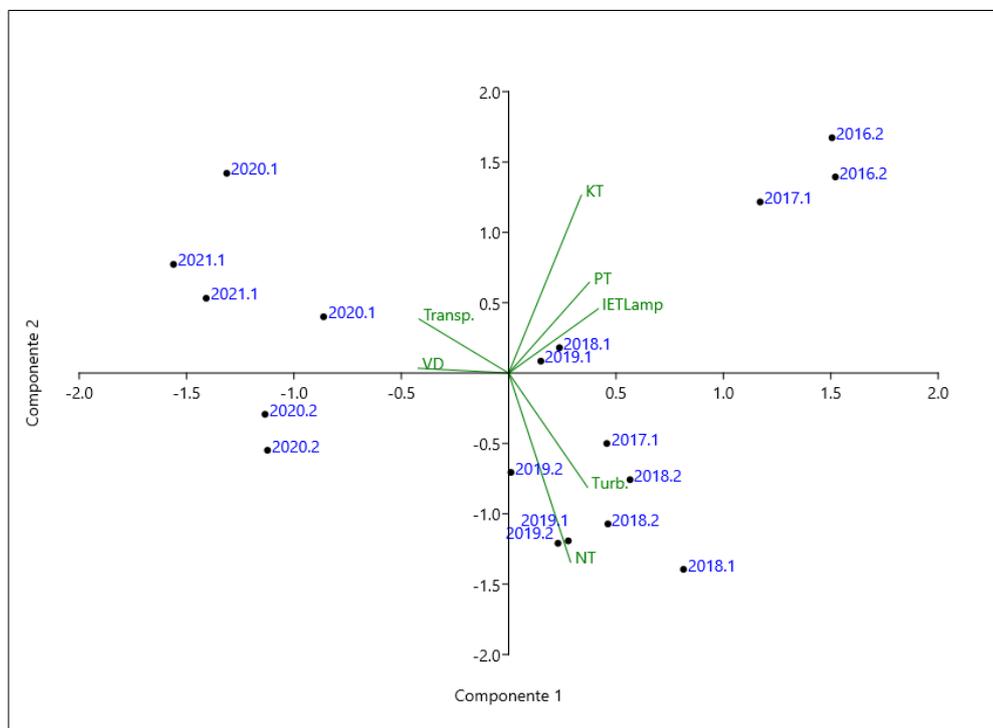
A preferência foi descartar as variáveis que apresentaram baixas correlações entre variáveis, com valores menores que 0,5. As correlações de Spearman na primeira análise de componentes principais em cada reservatório estão disponíveis no Apêndice B, Tabelas B1, B2, B3 e B4 e o resultado das componentes principais na Tabela C1 do Apêndice C. Franca (2021) consideraram variáveis acima de 0,441 como correlações moderadas analisando quatro reservatórios do semiárido. Enquanto Santos, Becker e Silva (2020) consideraram 0,5 como correlações fortes para a análise de apenas um reservatório.

Após a exclusão de fatores não significativos à análise, para os parâmetros ambientais do açude Araras, o resultado do teste de esfericidade de Bartlett foi positivo, com ( $p < 0,05$ ) e um KMO de 0,84, classificado como ótimo de acordo com Pereira (2014), aceitando a possibilidade da realização de uma ACP com o conjunto de variáveis selecionadas. Respeitando o critério de Kaiser (1958), considerou-se que as componentes principais seriam válidas apenas se os autovalores fossem maiores que 1,0 ( $\lambda_1 \geq 1,0$ ).

No açude Araras, das 33 variáveis analisadas na primeira ACP, restaram apenas 7 considerando a variável de qualidade de estudo, o fósforo total. As variáveis foram o nitrogênio total, potássio total, fração de volume disponível, transparência, turbidez e o Índice de Estado Trófico de Lamparelli. Na aplicação da última ACP foi alcançado 65,82% de variância na primeira componente principal (CP1), ( $\lambda_1 = 4,60$ ) e 13,62% na segunda componente principal (CP2), ( $\lambda_2 = 1,00$ ), gerando uma porcentagem de variância total de correlação de 79,44%. A Figura 10 mostra a análise de componentes principais do açude

Araras, considerando as variáveis: Nitrogênio total, potássio total, fósforo total, fração de volume disponível, transparência, turbidez e o Índice de Estado Trófico de Lamparelli.

Figura 10 – Análise de componentes principais referentes ao açude Araras no período de 2016 a 2021.



Fonte: O autor (2022). NT: Nitrogênio total (mg/L); KT: Potássio total (mg/L); PT: Fósforo total (mg/L); VD: Fração de volume disponível (%); IET<sub>Lamp</sub>: Índice de Estado Trófico de Lamparelli; Transp: Transparência (m); Turb: Turbidez (UNT).

Os pesos de ponderação das componentes principais indicam as variáveis mais relevantes para a análise estatística. Para o reservatório Araras as variáveis mais relevantes foram o nitrogênio total (0,386) e o fósforo total (0,315). Na Figura 9, no eixo da Componente 1 as concentrações de fósforo total, potássio total e o Índice de Estado Trófico de Lamparelli elevam-se a partir da redução da fração de volume disponível do reservatório. Enquanto isso, no eixo da Componente 2, o fósforo total e o grau de trofia crescem na medida que a turbidez e as concentrações de nitrogênio total diminuem. Durante o período chuvoso, o nitrogênio pode ter sido diluído com a entrada de novas águas, permitindo a existência do fósforo em diversas formas e sendo nutriente limitante em anos com maiores precipitações devido à grande probabilidade de carreamento de cargas externas de nutrientes ao reservatório (FRANCA, 2021).

O potássio também é um nutriente muito utilizado na agricultura. A presença de potássio na água pode estar atrelada a sedimentos erodidos e da decomposição química de suas fontes de origem (FARIAS E MARTINS FILHO, 2013). Em um estudo de Bertol *et al.* (2004), concluiu-se que em decorrência da utilização de fertilizantes no solo em áreas agricultáveis, a água escoada após precipitações apresenta altos valores de concentração de potássio. Wroblewski *et al.* (2021) em um estudo sobre a qualidade de água do Ribeirão Petrópolis, analisaram que os níveis de fósforo e potássio estavam acima do permitido pelas normas brasileiras em pontos de coleta em zona urbana e em às margens do rio. É válido ressaltar que existem muitas áreas agricultáveis às margens do açude Araras, Rosa e Alves (2021) tratam que a adubação com fósforo e potássio são importantes para o desenvolvimento vegetativo, morfológico e fisiológico de culturas de milho, aumentando a produtividade dessa cultura.

Na Tabela 2, nota-se correlações fortes positivas entre a turbidez ( $rS = 0,711$ ), nitrogênio total (NT) ( $rS = 0,651$ ), Índice de Estado Trófico de Lamparelli (IET<sub>Lamp</sub>) ( $rS = 0,781$ ) e fósforo total (PT) durante o período de 2016 a 2021. A análise também apresentou correlações moderadas entre a taxa de fósforo total e potássio total ( $rS = 0,59$ ) no reservatório. Enquanto isso, há uma tendência negativa de fração de volume disponível e transparência de acordo com os coeficientes de Spearman ( $rS$ ),  $-0,771$  e  $-0,825$ .

Os coeficientes da correlação de Spearman ( $rS$ ) entre as variáveis ambientais restantes podem ser observadas diante a Tabela 2.

Tabela 2 – Matriz de correlação de Spearman ( $rS$ ) para as variáveis analisadas para o açude Araras no período semestral de 2016.1 a 2021.1

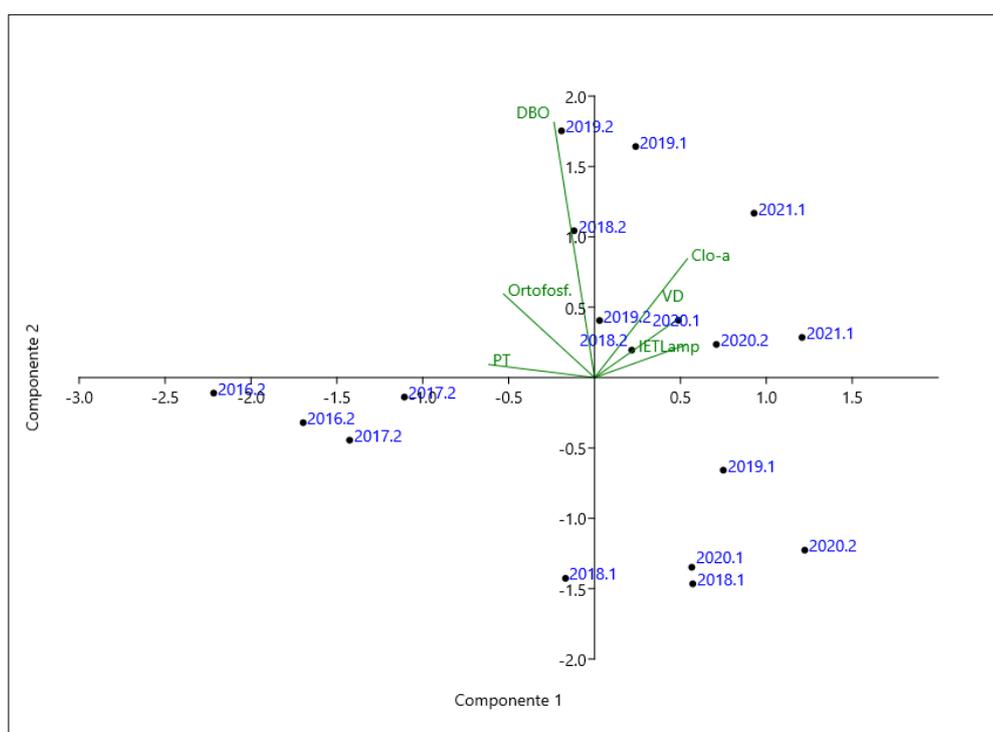
	Turbidez	NT	KT	PT	Transparência	VD	IET <sub>Lamp</sub>
Turbidez	1						
NT	0.622	1					
KT	0.346	0.305	1				
PT	<b>0.711</b>	<b>0.651</b>	<b>0.594</b>	1			
Transp.	-0.660	-0.591	-0.494	<b>-0.825</b>	1		
VD	-0.499	-0.521	-0.735	<b>-0.771</b>	0.814	1	
IET <sub>Lamp</sub>	0.583	0.587	0.683	<b>0.781</b>	-0.856	-0.827	1

Fonte: O autor (2022). NT: Nitrogênio total; KT: Potássio Total; PT: Fósforo total; VD: Fração de volume disponível; IET<sub>Lamp</sub>: Índice de Estado Trófico de Lamparelli; Transp.: Transparência; Turb.: Turbidez.

#### b) Açude Ayres de Sousa

Para o açude Ayres de Sousa, o teste de esfericidade de Bartlett resultou em um valor de  $p < 0,05$ , ratificando que há correlações significativas nas variáveis de estudo, além disso, o teste de KMO resultou em um valor de 0,77, de boa aplicação (PEREIRA, 2014). A CP1 explicou 54,75% ( $\lambda_1 = 3,28$ ) da variação do sistema e a CP2 explicou 18,35% ( $\lambda_2 = 1,10$ ), resultando numa variância cumulativa de 73,10%. A Figura 11 mostra o gráfico de dispersão *biplot* da análise de componentes principais do açude Ayres de Sousa.

Figura 11 – Análise de componentes principais referentes ao açude Ayres de Sousa no período de 2016 a 2021.



Fonte: O autor (2022). Clo-a: Clorofila-a ( $\mu\text{g/L}$ ); DBO: Demanda bioquímica de oxigênio ( $\text{mg/L}$ ); Ortofosf.: Ortofosfato ( $\text{mg/L}$ ); PT: Fósforo total ( $\text{mg/L}$ ); VD: Fração de volume disponível (%); IET<sub>Lamp</sub>: Índice de Estado Trófico de Lamparelli.

O fósforo total não obteve o peso mais relevante para a análise de componentes principais (0,207). As variáveis mais relevantes foram as concentrações de clorofila-a (0,329) e fósforo reativo solúvel ou ortofosfato (0,281).

Na Figura 10 verifica-se que no eixo da Componente 1, o Índice de Estado Trófico de Lamparelli é inversamente proporcional às concentrações de fósforo total, principalmente nos últimos anos de monitoramento. Tal fato indica que há influência do nitrogênio total no grau de trofia mesmo, bem como outras formas de poluição como a entrada de detergentes e efluentes domésticos, citados em tópicos anteriores. A fração de volume disponível e a

clorofila-*a*, apresentam similaridade, porém, as concentrações de fósforo total e ortofosfato diminuem, apresentando uma característica diferente do açude Araras, que recebe maiores cargas de fósforo com novas águas.

No eixo da Componente 2, Figura 10, verifica-se que a demanda bioquímica de oxigênio (DBO) cresce na medida que as taxas de fósforo e ortofosfatos aumentam, indicando ações antrópicas como principais causas das taxas de nutrientes no açude.

Quevedo e Paganini (2018) dissertam que os detergentes possuem uma característica *builder*, que controla a interferência de temperatura e dureza das águas, fatores que podem diminuir a eficiência desses produtos dotados do íon fosfato. Além disso, a concentração de detergente com a propriedade *builder* pode ultrapassar até 50% o peso total do produto, deste modo, despejados em efluentes domésticos e utilizados para lavagem de tecidos e automóveis às margens do açude, o produto se torna uma preocupante fonte de fósforo em corpos hídricos. A Tabela 3 apresenta as correlações das variáveis ambientais da análise estatística multivariada do açude Ayres de Sousa a uma profundidade de 0,3 m.

Tabela 3 – Matriz de correlação de Spearman (rS) para as variáveis analisadas para o açude Ayres de Sousa no período semestral de 2016.1 a 2021.1

	DBO <sub>5</sub>	Clo- <i>a</i>	Ortofosf.	PT	VD	IET <sub>Lamp</sub>
DBO	1					
Clo- <i>a</i>	0.182	1				
Ortofosf.	0.309	-0.358	1			
PT	<b>0.498</b>	<b>-0.468</b>	<b>0.644</b>	1		
VD%	0.0987	0.479	-0.372	<b>-0.525</b>	1	
IET	-0.290	0.560	-0.325	<b>-0.586</b>	0.529	1

Fonte: O autor (2022). DBO: Demanda bioquímica de oxigênio; Clo-*a*: Clorofila; Ortofosf.: Ortofosfato solúvel; PT: Fósforo total; VD: Fração de volume disponível; IET<sub>Lamp</sub>: Índice de Estado Trófico de Lamparelli.

Correlações fortes entre ortofosfato solúvel e fósforo total foram apresentados na Tabela 3, cujo coeficiente (rS) de Spearman é 0,644 positivamente. Uma correlação moderada entre taxas de fósforo total e demanda bioquímica de oxigênio (DBO) também foi encontrada (rS ≈ 0,50). Já entre as correlações negativas foram achadas correlações moderadas entre P<sub>T</sub>, clorofila (Clo-*a*), fração de volume disponível e Índice de Estado Trófico, números (rS) de aproximadamente -0,468, -0,525 e -0,586, respectivamente.

Os chamados ortofosfatos ou fósforo reativo solúvel se apresenta em águas superficiais dissolvidos. Eles são assimilados por algas e bactérias, geralmente liberados à

coluna d'água por quantidades significantes de sedimentos em suspensão (SANTOS *et al.*, 2007).

No estudo de avaliação de relações de fósforo total e ortofosfato solúvel em rios e reservatórios de São Paulo, Lamparelli (2004), notou-se que o crescimento de taxas de ortofosfato solúvel em reservatórios pode estar relacionado à contribuição de rios em períodos úmidos e a menores taxas de algas durante esse período, além de estarem com valores concomitantes em relação ao fósforo total tanto em períodos de estiagem como períodos chuvosos. No reservatório Ayres de Sousa, a correlação entre ortofosfatos e clorofila-*a* foi negativa, o que indica uma relação inversamente proporcional entre as duas variáveis.

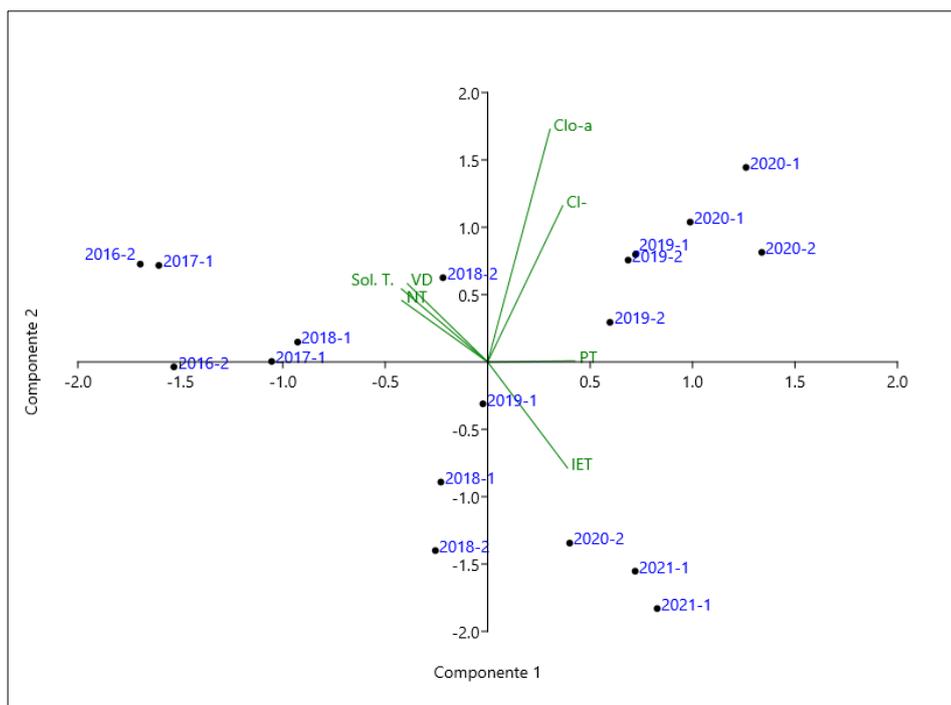
A importância da clorofila-*a* se dá pela possibilidade de associação de sua presença com a existência de organismos fotossintetizantes como as cianobactérias, refletindo na qualidade de água do manancial, com alta proliferação de algas e existência de toxicidade. Embora relevante, a clorofila-*a* deve ser estudada minuciosamente para uma tomada de decisão acerca do reservatório (BLANKENSHIP, 2014; MARINO, 2016; FREIRE E LIMA NETO, 2020).

Lamparelli (2004) menciona que ambientes lênticos apresentam uma tendência de possuírem uma menor quantidade de fósforo total e maiores taxas de clorofila-*a* devido a velocidade dos ventos de baixa intensidade, porém, atentou-se que em alguns dos pontos de coleta de água a característica assemelha-se com a de ambientes lóticos, com uma maior presença de nutrientes. No açude Ayres de Sousa essa tendência é semelhante com a da concluída pela autora, com um decaimento de frações de fósforo à medida que as concentrações de clorofila-*a* aumentam.

### c) Açude Edson Queiroz

Para o açude Edson Queiroz, a ACP apresentou uma CP1 explicando cerca de 67,01% ( $\lambda_1 = 4,69$ ) e CP2, 14,67% ( $\lambda_2 = 1,03$ ), gerando uma variância cumulativa ótima de 81,68%. O teste de Kruskal-Wallis indicou que não havia uma diferença significativa entre os resultados das amostras coletadas. O valor do teste de esfericidade de Bartlett indicou que há correlações significativas entre as variáveis ( $p < 0,05$ ) e um resultado de KMO bom de 0,71. A Figura 12 mostra o gráfico de dispersão *biplot* da análise de componentes principais do açude Edson Queiroz.

Figura 12 – Análise de componentes principais referentes ao açude Edson Queiroz para o período de 2016 a 2021.



Fonte: O autor (2022). Cl-: Cloretos (mg/L); Clo-a: Clorofila-a ( $\mu\text{g/L}$ ); NT: Nitrogênio total (mg/L); PT: Fósforo total (mg/L); VD: Fração de volume disponível (%); Sol. T: Sólidos totais (mg/L); IET: Índice de Estado Trófico de Lamparelli.

As variáveis mais representativas da análise foram os cloretos (0,249) e clorofila-*a* (0,275). O fósforo total conferiu o menor peso para a análise estatística (0,171).

Tal situação pode ser explanada a partir da interpretação da Figura 11, no qual a concentração de fósforo total no eixo da Componente 1 se mantém constante seguindo o eixo positivo *x* (Componente 1) mesmo com a redução de fração de volume disponível, nitrogênio total e sólidos totais, o que indica constantes recarga ou ressuspensão do nutriente fósforo no açude. Enquanto isso, no eixo da Componente 2, há uma tendência do grau de trofia do reservatório crescer em conjunto com o nutriente fósforo, indicando predominância de limitação pelo mesmo. Também há uma tendência de o íon cloreto aumentar à medida que concentrações de fósforo total também aumentam, tendo influência direta na presença de clorofila-*a* no açude.

O íon cloreto ( $\text{Cl}^-$ ) é um bom indicador de poluição, uma vez que é considerado um dos principais responsáveis pela salinidade da água. Os sais de cloretos são solúveis e estáveis quando estão em solução, deste modo, não se precipitam, oxidam ou se reduzem a concentrações menores que 40 mg/L, pois são conservativos (HEM, 1985; ZOBY, 2008; LIMA, 2011; LIMA, FRANÇA E LOIOLA, 2013). No Nordeste brasileiro, em condições de

estiagem extrema é possível encontrar altas taxas de cloreto em águas superficiais (NOBRE *et al.*, 2018). Tais íons podem ser provenientes de dissolução de minerais do solo ou da entrada de águas salinas no reservatório, além de despejos domésticos (SILVA *et al.*, 2019; OLIVEIRA JÚNIOR, LEMOS FILHO & BATISTA, 2020).

A Tabela 4 apresenta as correlações de Spearman (rS) para o reservatório Edson Queiroz no período de 2016.1 a 2021.1, a uma profundidade de 0,3 m.

Tabela 4 – Matriz de correlação de Spearman (rS) para as variáveis analisadas para o açude Edson Queiroz no período semestral de 2016.1 a 2021.1

	Sol. T.	Cl	NT	Clo- <i>a</i>	PT	VD	IET <sub>Lamp</sub>
Sol. T.	1						
Cl	-0.590	1					
NT	-0.779	0.556	1				
Clo- <i>a</i>	-0.572	0.729	0.591	1			
PT	<b>-0.706</b>	<b>0.728</b>	<b>-0.835</b>	<b>0.622</b>	1		
VD	0.800	-0.585	0.787	-0.604	<b>-0.843</b>	1	
IET <sub>Lamp</sub>	-0.596	0.699	-0.792	0.431	<b>0.712</b>	-0.750	1

Fonte: O autor (2022). Sol. T: Sólidos Totais; Cl: Cloretos totais; NT: Nitrogênio total; Clo-*a*: Clorofila-*a*; : PT: Fósforo total; VD: Fração de volume disponível; IET<sub>Lamp</sub>: Índice de Estado Trófico de Lamparelli.

O reservatório Edson Queiroz apresentou uma correlação diretamente proporcional entre a quantidade de cloretos totais (Cl) e fósforo total ( $rS \approx 0,728$ ), além disso, uma correlação forte com clorofila-*a* ( $rS = 0,622$ ) foi encontrada, indicando a presença de nutrientes suficientes para a floração de algas e cianobactérias, indicando um processo acentuado de eutrofização.

Correlações fortes, porém, inversas foram verificadas através da fração de volume disponível no reservatório em relação ao fósforo total ( $rS = -0,843$ ). Em comparação com os outros açudes avaliados. O Edson Queiroz foi o único que apresentou um parâmetro diferenciado relevante, os sólidos totais ( $rS \approx -0,706$ ) e cloretos, apresentando um coeficiente de Spearman.

Em períodos chuvosos, a acumulação de fósforo em sólidos sedimentados em corpos hídricos é preocupante, mesmo havendo uma eliminação em fontes externas de fósforo, uma vez que o nutriente acumulado no sedimento pode continuar sendo liberado na coluna d'água. Ademais, as baixas profundidades e frações de volume disponível nos reservatórios facilita a ressuspensão de sólidos sedimentados através da velocidade dos ventos e altas temperaturas, provocando a estratificação da coluna d'água devido a processos de anoxia

próximos ao sedimento, facilitando a liberação do fósforo (SILVA, BECKER E ARAÚJO, 2017).

Em relação ao reservatório Edson Queiroz, nota-se a que o volume disponível e concentrações de fósforo total são inversamente proporcionais, desta forma, é possível que ocorra uma maior probabilidade de ressuspensão de sólidos sedimentados, liberando frações de fósforo à coluna d'água.

#### d) Açude Taquara

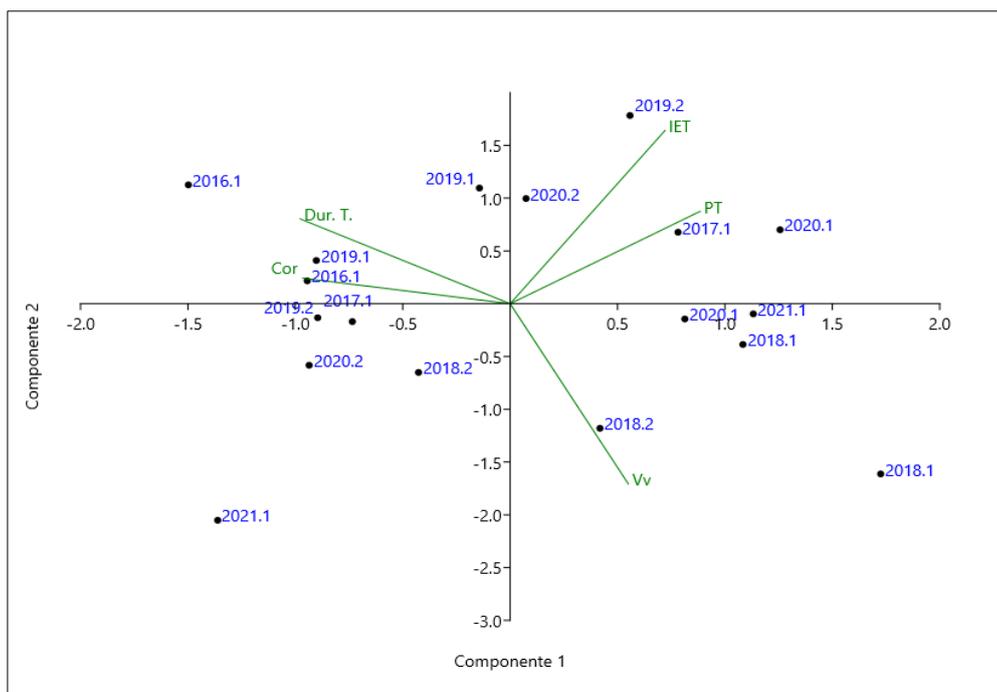
Para o reservatório Taquara, o teste de Kruskal-Wallis, mostrou que não houve diferenças significativas entre as medianas das amostras ( $p < 0,05$ ). O teste de esfericidade de Bartlett alegou que há correlações significativas entre as variáveis em estudo no período de 2016 a 2021, no qual ( $p < 0,05$ ). Além disso, as amostras se mostraram efetivas na aplicação de análise multivariada por componentes principais, com um teste de KMO com valor de 0,63, considerado de regular ou medíocre aplicação, indicando que as concentrações de fósforo total pouco sofrem influência de outros parâmetros. A CP1 explicou cerca de 41,25% da variância total ( $\lambda_1 = 2,06$ ), e a CP2 explicou 20,35% ( $\lambda_2 = 1,67$ ), com variância acumulativa de 62,6%.

Todos os pesos ultrapassaram 0,30, entre eles, o Índice de Estado Trófico de Lamparelli (0,364), dureza total (0,332), velocidade dos ventos (0,329) e fósforo total (0,317), indicando que são variáveis que dependem uma das outras para gerar um resultado satisfatório. A Componente 1 da Figura 12 mostra que o fósforo total é predominantemente limitante, pois o grau de eutrofização do reservatório cresce em altas taxas de concentração do nutriente, enquanto isso, neste cenário, é indicado que a cor e dureza total diminuem. Já em relação à Componente 2, o açude Taquara apresenta uma maior dureza da água e cor quando menores velocidade dos ventos ocorrem no manancial. Concomitantemente, a Figura 13 corrobora que as taxas de fósforo total e o grau de trofia estão relacionados aos ventos.

O fósforo total não obteve correlações fortes com nenhum parâmetro da ACP final, obtendo uma correlação moderada com o Índice de Estado Trófico de Lamparelli ( $r_S \approx 0,47$ ) e uma correlação baixa a moderada com a velocidade dos ventos ( $r_S \approx 0,35$ ). Em relação às correlações negativas, no qual um tende a aumentar e o outro a diminuir, os valores de fósforo total se correlacionam negativamente e moderadamente com a dureza total ( $r_S = -0,51$ ) e cor ( $r_S \approx 0,50$ ).

A Figura 13 mostra o gráfico de dispersão *biplot* da análise de componentes principais do açude Taquara.

Figura 13 – Análise de componentes principais referentes ao açude Taquara para o período de 2016 a 2021.



Fonte: O autor (2022). Dur. T.: Dureza total (mg/L); IET: Índice de Estado Trófico de Lamparelli; PT: Fósforo total (mg/L); Vv: Velocidade dos ventos (m/s).

A Tabela 5 apresenta os coeficientes de correlação de Spearman para variáveis não paramétricas para o período de 2016 a 2021 a uma profundidade de 0,3 m.

Tabela 5 – Matriz de correlação de Spearman (rS) para as variáveis analisadas para o açude Taquara no período semestral de 2016.1 a 2021.1

	<b>Dur. T.</b>	<b>PT</b>	<b>IET<sub>Lamp</sub></b>	<b>Vv</b>	<b>Cor</b>
<b>Dureza Total</b>	1				
<b>PT</b>	<b>-0.510</b>	1			
<b>IET<sub>Lamp</sub></b>	-0.432	<b>0.470</b>	1		
<b>Vv</b>	-0.357	<b>0.344</b>	0.075	1	
<b>Cor</b>	0.553	<b>-0.497</b>	-0.353	-0.146	1

Fonte: O autor (2022). Dur. T.: Dureza Total; PT: Fósforo total; Vv: Velocidade dos ventos; IET: Índice de Estado Trófico; Cor.

Diferentemente dos outros três açudes estudados, Araras, Ayres de Sousa e Edson Queiroz, o reservatório Taquara possui baixas correlações com a fração de volume disponível e Índice de Estado Trófico, com o primeiro não sendo selecionado indicando que as taxas semestrais de fósforo total independem da fração de volume disponível no reservatório, aumentando as possibilidades de inserção de nutrientes por fontes externas, o que indica a

presença do parâmetro hidroclimático de velocidade dos ventos, que se correlacionou em baixos fatores com outros reservatórios em estudo.

A velocidade dos ventos é considerada uma variável hidroclimática de importância para a estratificação de ambientes lênticos, uma vez que é necessária uma força externa, para que ocorra uma mistura de camadas em reservatórios, impedindo o evento de estratificação térmica. Em açudes de clima tropical, a estratificação ocorre durante o dia e à noite, devido a ação dos eventos, ocorre o resfriamento da camada epilimnia, de contato direto com raios solares, provocando a mistura total das camadas, deste modo, é possível que nutrientes sejam carregados para pontos diversos do açude ou acumulado em pontos dependentes da direção dos ventos (BITTENCOURT, 2003).

## 5 CONCLUSÃO

Os reservatórios Araras, Ayres de Sousa, Edson e Taquara, constituintes da bacia hidrográfica do Acaraú apresentaram baixas frações de volume disponível e cotas de profundidade nos primeiros quatro semestres de monitoramento, concomitantes com altas concentrações de fósforo total, sendo reduzido decorrente da recarga hídrica ao longo dos semestres seguintes, no qual há uma tendência de recarga do nutriente por ações antrópicas.

Todos os açudes analisados foram classificados, pelo menos, como eutróficos durante o período de 2016 a 2021.1, indicando que embora, os ambientes lênticos recebam grandes precipitações e atinjam 100% de suas cotas de volume, eles ainda não seriam capazes de reverter a sua situação, uma vez que o grau de trofia pode estar sendo potencializado por ações humanas, como despejos de efluentes domésticos, lavagem de roupas e carreamento de nutrientes por escoamento superficial. O açude Taquara é o açude de melhor qualidade em relação ao grau de trofia, enquanto o açude Edson Queiroz atingiu o grau máximo de trofia por nove semestres seguidos.

O teste de Kruskal-Wallis avaliou que não houve diferença significativa entre medianas de variáveis no período de monitoramento dos reservatórios. Indica-se que a qualidade de água pode estar sendo deteriorada tanto no período chuvoso como período seco. O teste de esferecidade de Bartlett foi positivo em relação a todos os reservatórios, houve correlações significativas entre as variáveis ambientais. O teste KMO obteve ótima (Araras), boa (Ayres de Sousa, Edson Queiroz) e regular aplicabilidade (Taquara) nos dados dos reservatórios, indicando a eficiência da metodologia da Análise Multivariada por Componentes Principais.

A análise estatística multivariada por componentes principais se mostrou efetiva diante do monitoramento realizado no período de 2016 a 2021, com variâncias acumulativas acima de 60% em todos os reservatórios. As concentrações de fósforo total apresentaram pesos relevantes na avaliação de componente principal nos reservatórios Araras e Taquara. Entretanto, não obteve peso de alta correlação na avaliação de qualidade de água dos reservatórios Ayres de Sousa e Edson Queiroz, indicando outros parâmetros como de maior possibilidade de deterioração da qualidade do manancial.

No Araras, as concentrações de fósforo total apresentaram correlações diretamente proporcionais com o potássio total e Índice de Estado Trófico de Lamparelli, e inversamente proporcionais com a turbidez e nitrogênio total. No açude Ayres de Sousa, o fósforo total se relaciona diretamente com valores de ortofosfatos, além disso, há deterioração

constante da qualidade de água, não indicando melhora em períodos de recarga com novas águas, no qual há possibilidades de intensas ações antrópicas estejam deteriorando a qualidade do mesmo. O açude Edson Queiroz apresentou correlações fortes com o grau de trofia do reservatório, entretanto, o resultado das componentes principais indicava as concentrações de clorofila-*a* e cloretos cresciam enquanto a eutrofização do reservatório diminuía. No reservatório Taquara, há tendência de mistura das camadas de água quando a velocidade dos ventos no reservatório é intensa. É possível que ocorra a mistura das camadas de água e dispersando cargas pontuais de nutrientes como o fósforo e nitrogênio.

Nenhum dos açudes apresentou a mesma tendência de variáveis ambientais, embora houvessem semelhanças na presença de poluentes comparado aos resultados das componentes principais, o que denota que cada ambiente límnic apresenta condições específicas e carece de avaliação pontual, pois cada reservatório apresenta comportamento distinto.

### **Recomendações e perspectivas futuras**

Para um monitoramento continuado e um conhecimento mais amplo acerca das características de cada reservatório, sugere-se:

1. A aplicação do Índice de Qualidade da Água (IQA) sobre todos os reservatórios para comparação com concentrações de fósforo total;
2. A aplicação do Índice de Estado Trófico para o Semiárido de Rolim (2016) em comparação a concentrações de fósforo total, pelo fato do índice ser aplicado exclusivamente para regiões semiáridas;
3. Avaliações através de análise estatística multivariada por componentes principais entre variáveis físicas do reservatório e concentrações de fósforo total.

## REFERÊNCIAS

- AB'SÁBER, A. N. Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas. **Ateliê Editorial**, , 159 p. 2003.
- ADLOFF, C. T.; BEM, C. C.; REICHERT, G.; AZEVEDO, J. C. R. Analysis of the phytoplankton community emphasizing cyanobacteria in four cascade reservoirs system of the Iguazu River, Paraná, Brazil. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 23, p. 1-14, 2018.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Indicadores de Qualidade – Índice do Estado Trófico (IET)**. Disponível em: <<http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-estado-trofico.aspx>>. Acessado em 31 de janeiro de 2022, às 10:01h.
- ALMEIDA, J. H. M. A. **Avaliação do impacto da pequena açudagem na vazão regularizada de um reservatório estratégico. Estudo de caso: açude Araras – CE**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 391 f. 2016.
- ALMEIDA, L. G.; MEDEIROS, P. H. A. **Impactos da eutrofização na disponibilidade hídrica de reservatórios no semiárido brasileiro**. Departamento de Engenharia Agrícola, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola (Mestrado em Engenharia Agrícola: Manejo e Conservação de Bacias Hidrográficas), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 86 f. 2021.
- ALMEIDA, M. M.; ALEXANDRE, A. M. B.; ARAÚJO, L. F. P.; FIGUEIREDO, M. C. B.; ROSA, M. F. Influência da sazonalidade na qualidade da água dos reservatórios da bacia do Acaraú. **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, São Paulo, p. 1-11, 2007.
- ALVES ROSA, P. H.; ALVES, J. M. **Adubação de sistema com fósforo e potássio na sucessão soja/milho em condições de cerrado**. Faculdade de Agronomia (Graduação em Bacharelado em Agronomia), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Rio Verde. 38 f. 2021.
- ANDRADE, M. C. A terra e o homem do Nordeste. **UFPE**, 6 ed., Recife, 31 p. 1998.
- ANDRADE, E. M.; BATISTA, T. M.; TEIXEIRA, A. S.; MEIRELES, M.; SOUSA, B. F. S. Mapa da vulnerabilidade da bacia do Acaraú, Ceará, à qualidade das águas de irrigação, pelo emprego GIS. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 37, n. 3, p. 279-286, 2006.
- ANDRADE, E. M.; GIRÃO, E. G.; ROSA, M. F.; CHAVES, L. C. G.; MENDONÇA, M. A. B.; MEIRELES, A. C. M. Avaliação da qualidade das águas no açude Ayres de Souza pelo emprego da estatística multivariada. **XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, p. 1-12, Campo Grande, 2009.
- PETERSEN, N. S.; KOLEN, M. J.; HOOVER, H. D. Scaling, norming and equating. **Educational Measurement**, 3. Ed, p. 221-262. (Ano?)

AQUINO, K. N. S. **Adsorção de fósforo por solo tratado do semiárido brasileiro**. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental). 2019. 23 f. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

BARBOSA, K. C.. **Índice de Estado Trófico adaptado aos reservatórios do semiárido cearense**. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária), Universidade Federal do Ceará, Crateús. 63 f. 2021.

BARBOSA, J. E. L.; MEDEIROS, E. S. F.; BRASIL, J.; CORDEIRO, R. S.; CIRSPIM, M. C. B.; SILVA, G. H. G. Aquatic systems in semi-arid Brazil: limnology and management. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 24, n. 1, p. 103-118, 2012.

BERNARDINI, C. S. M.; SALES, R. J. M.; ALENCAR, I. F. O. A.; ARAÚJO, J. A. F.; CATSRO, M. P. S.; SANTOS, S. H. L. S.; CHAGAS, P. F.; CHAVES, K. O.; SOUZA, R. O. Estudo da qualidade da água do açude Gavião, mediante o modelo difuso de OD para diferentes temperaturas. **XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Florianópolis, p. 1-8, 2017.

BERTOL, I.; GUADAGNIN, J. C.; CASSOL, P. C.; AMARAL, A. J.; BARBOSA, F. T. Perdas de fósforo e potássio por erosão hídrica em um inceptisol sob chuva natural. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 38, n. 3, 2004.

BITTENCOURT, S. **Carga máxima de fósforo admissível ao reservatório Piraquara II, região metropolitana de Curitiba, uma aplicação do processo TMDL...** Setor de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Mestrado em Ciência do solo), Universidade Federal do Paraná, Curitiba. 197 f. 2003.

BONFIM, F. M.; FREIRE, G. S. S. **Qualidade das águas de abastecimento do município de Crateús – CE, nos anos de estiagem: Águas naturais, dessalinizadas e rejeito salino**. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente: Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 158 f.. 2020.

BRASIL (País). Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em: <[https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2005\\_classificacao\\_corpos\\_agua\\_rtfda\\_altrd\\_res\\_393\\_2007\\_397\\_2008\\_410\\_2009\\_430\\_2011.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfda_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf)>. Acesso em dia 19 de agosto de 2021, às 17:08h.

BRASIL (País). Ministério do Desenvolvimento Regional, Departamento Nacional de Obras Contra as Secas. **Ficha Técnica: Açude Araras**. Disponível em: <[https://www.dnocs.gov.br/php/canais/recursos\\_hidricos/fic\\_tec\\_reservatorio.php?codigo\\_reservatorio=17&descricao\\_reservatorio=A%E7ude+Araras](https://www.dnocs.gov.br/php/canais/recursos_hidricos/fic_tec_reservatorio.php?codigo_reservatorio=17&descricao_reservatorio=A%E7ude+Araras)>. Acesso em 19 de agosto de 2021, às 16:52h.

BRASIL (País). Ministério do Meio Ambiente. **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação no Brasil**. Brasília: 2007.

BUZELLI, G. M.; CUNHA-SANTINO, M. B. Análise e diagnóstico da qualidade da água e estado trófico do reservatório de Barra Bonita, SP. **Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 8, n. 1, 2013.

CÂMARA, F. G.; SILVA, O. **Estatística não paramétrica – Teste de Hipóteses e Medidas de Associação**. Departamento de Matemática – Universidade dos Açores, Ponta Delgada, 2001.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Hidrologia**. 2006. Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Notas de aula. Disponível em: <<http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/it113-hidrologia.htm>> Acessado dia 01 de fevereiro de 2022, às 10: 51h.

CEARÁ (Estado). Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos. **Ficha Técnica dos Açudes: Araras**. Disponível em: <<https://portal.cogerh.com.br/ficha-tecnica-dos-acudes-158/>>. Acesso em 19 de agosto de 2021, às 16:33h.

CEARÁ (Estado). Instituto de Estudos e Pesquisas para o Desenvolvimento do Estado do Ceará. Plano Estratégico dos Recursos Hídricos do Ceará/Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos. **INESP**, 408 p. 2018,

CEARÁ (Estado). Instituto de Estudos e Pesquisas para o Desenvolvimento do Estado do Ceará. Caderno Regional da Bacia do Acaraú. **INESP**, 128 p.2018,

CEARÁ (Estado). Secretaria do Planejamento e Gestão. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. **Perfil Municipal 2017 – Varjota**. Disponível em: <[https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Varjota\\_2017.pdf](https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Varjota_2017.pdf)>. Acesso em 19 de agosto de 2021, às 16:23h.

CEARÁ (Estado). Secretaria dos Recursos Hídricos. Plano de ações estratégicas de recursos hídricos do Ceará. **CEARÁ**, 171 p. 2018,

CEARÁ (Estado). Secretaria dos Recursos Hídricos. Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca – PAE – CE. **CEARÁ**, 375 p. 2016,

COLOSIMO, E. A. **Princípios de Bioestatística: Análise de Variância**. 2011. Departamento de Estatística, Universidade Federal de Minas Gerais, 25 p. Notas de aula. Disponível em: <<http://www.est.ufmg.br/~enricoc/pdf/medicina/anova.pdf>>. Acesso dia 31 de janeiro de 2022, às 17:39h.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-D-%C3%8Dndices-de-Qualidade-das-%C3%81guas.pdf>. Acessado em 31 de janeiro de 2022, às 09:28h.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO (CETESB). **Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo (2020)**. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas>>

interiores/wp-content/uploads/sites/12/2021/09/Relatorio-Qualidade-das-Aguas-Interiores-no-Estado-de-Sao-Paulo-2020.pdf>. Acessado em 05 de fevereiro de 2022, às 19:57h.

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS (COGERH). **Inventários ambientais de açudes da bacia do Acaraú: Açude Araras**. 2018. Disponível em: <[https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2018/01/IVA-Araras\\_PSH.pdf](https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2018/01/IVA-Araras_PSH.pdf)> Acessado dia: 01 de fevereiro de 2022, às 10:05h.

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS (COGERH). **Inventários ambientais de açudes da bacia do Acaraú: Edson Queiroz**. 2011. Disponível em: <<https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/pdf/inventarios/2011/Inventario%20Ambiental%20do%20Acude%20Edson-Queiroz%202011.pdf>> Acessado dia: 01 de fevereiro de 2022, às 10:06h.

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS (COGERH). **Relatório de diagnóstico ambiental da bacia do Acaraú**. 2018. Disponível em: <<https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2018/10/Relatorio%20Diagnostico%20Ambiental%20da%20Bacia%20do%20Acarau.pdf>> Acessado dia 31 de janeiro de 2022, às 17:58h.

COMPANHIA DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS (COGERH). **Relatório técnico final de metodologia de enquadramento de reservatórios**. 2018. Disponível em: <<https://portal.cogerh.com.br/wp-content/uploads/2018/10/Relatorio%20Tecnico%20Final%20de%20Metodologia%20de%20Enquadramento%20de%20Reservatorios.pdf>> Acessado em 31 de janeiro de 2022, às 19:19h.

CORRÊA, H. K.; RIEGEL, R. P.; ALVES, D. D.; OSÓRIO, D. M. M.; COSTA, G. M.; HUSSAIN, C. M.; QUEVEDO, D. M. Multivariate statistical analysis and use of geographic information systems in raw water quality assessment. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**. n. 35, p. 1-15, 2019.

DROSE, A.; VALENTINI, M. H. K.; DUARTE, V. H.; SANTOS, G. B.; NADALETI, W. C.; VIEIRA, B. Utilização de métodos estatísticos multivariados no monitoramento de qualidade de água da Lagoa Mirim. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 2, n. 4, p. 58-67, 2000.

DUARTE, M. R. N.; PEREIRA, T. M.; LIMA, P. F.; PEREIRA, E. C. B.; LOPES, F. B.; REZENDE, C. F. Limnological dynamics in an artificial reservoir and intermitente river in the semi-arid region as a function of land use and occupation. **Revista Ciência Agronômica**, v. 51, n. 1, 2021.

ELOI, W. M.; BARRETO, F. M. S. Qualidade microbiológica da água. In: DIAS, N. S.; SILVA, M. R. F.; GHEYI, H. R. (Org). Recursos Hídricos: usos e manejos. **Livraria da Física**, 1 ed., p. 129-148, 2011.

ELOI, W. M.; SALES, M. A. L.; LIRA, J. V.; SALES, M. L. M.; NASCIMENTO, N. V.; SOUZA, J. V. R. S. Sazonalidade na qualidade de água de irrigação em açudes da bacia do rio Acaraú, Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 8., v. 3., p. 247-255, 2014.

ESCHRIQUE, S. A.; MARINS, R. V.; MOREIRA, M. O. P.; ALMEIDA, M. D. Hidrogeoquímica do fósforo no estuário do Jaguaribe (CE). In: Oceanografia e mudanças globais (BRAGA, E. S *et al.*). **Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo**, p. 629-647, 2008.

FARIAS, V. L. S.; MARTINS FILHO, M. V. **Concentração de nutrientes e qualidade da água de enxurrada em entressulcos**. 2013. 59 f. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

FEITOSA, L. S.; PINHEIRO, L. S.; WIEGANA, M. C.; RIBEIRO, D. C.; ARAÚJO, J. C. Qualidade de água de pequenos reservatórios do semiárido cearense. **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, Maceió, p. 1-20, 2011.

FERNANDES, V. O.; CAVATI, B.; OLIVEIRA, L. B. SOUZA, B. A. Ecologia de cianobactérias: Fatores promotores e consequências das florações. **Oecologia Brasiliensis**, v. 13, n. 2, p. 247-258, 2009.

FERREIRA, D. F. Estatística Multivariada. **UFLA**, 2 ed., 676 p. 2011.

FERREIRA, K. C. D. **Qualidade de água em um reservatório na região semiárida**. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais), Departamento de Biologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 65 f. 2011.

FERREIRA, Y. B.; OLIVEIRA, V. P. V. **Balço hídrico climatológico como instrumento de análise hidroclimática de núcleos de susceptibilidade a desertificação**. Departamento de Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia (Mestrado em Geografia: Natureza, Campo e Cidade no Semiárido), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. 197 f. 2021

FRANCA, R. M. **Estrutura fitoplânctônica em reservatórios cearenses – Associação hidroclimática e estado trófico**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil – Recursos Hídricos). 2021. 173 f. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

FRANÇA, M. S. **Análise estatística multivariada dos dados de monitoramento da qualidade de água da Bacia do Alto Iguaçu: uma ferramenta para a gestão de recursos hídricos**. 2009. 166 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

FRANZ, G. A. S.; CUNHA, C. L. N.; GOBBI, M. F. Eutrofização em um reservatório destinado ao abastecimento público: o caso do reservatório do Iraí – PR. **XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos**, São Paulo, p. 1-20, 2007.

FREIRE, R. H. F. **Contribuição ao conhecimento limnológico de reservatórios do semiárido brasileiro que abastecem a região metropolitana de Fortaleza: açudes Pacajus e Gavião (Ceará, Brasil)**. 2007. 246 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

FREIRE, L. L.; LIMA NETO, I. E. **Varição sazonal e interanual da qualidade das águas de rios do semiárido brasileiro**. 2020. 160 f. Departamento de Engenharia Hidráulica e

Ambiental, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Mestrado em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

GIRÃO, E. G.; ANDRADE, E. M.; ROSA, M. F.; ARAÚJO, L. F. P.; MEIRESLES, A. C. M. Seleção dos indicadores da qualidade de água no rio Jaibas pelo emprego da análise da componente principal. **Revista Ciência Agronômica**, v. 3, n. 1, p. 17-24, 2007.

GLIBERT, P. M.; BURKHOLDER, J. A. M. Harmful algal blooms and eutrophication: “strategies” for nutrient uptake and growth outside the Redfield comfort zone. **Chinese Journal of Oceanology and Limnology**, v. 24, n. 4, p. 724-738, 2011.

GOLTERMAN, H. I. The chemistry of phosphate and nitrogen compounds in sediments. **Klwer Academic Publishers**, 2004, 270 p. Disponível em: <<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2F1-4020-2516-5.pdf>>. Acesso em 20 de agosto de 2021, às 11:38 h.

GOMES, F. B. M.; PESSOA, E. V. Qualidade da água em açude utilizado como fonte de abastecimento público localizado no interior do estado do Ceará. **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**. Natal, p. 1-8, 2019.

GUEDES, H. A. S.; SILVA, D. D.; ELESBON, A. A. A.; RIBEIRO, C. B. M.; MATOS, A. T.; SOARES, J. H. P. Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 558-563, 2012.

GUNDUZ, B.; AYDIN, F.; AYDIN, I.; CANDAN, H. Study of phosphorus distribution in coastal surface sediment by sequential extraction procedure (NE Mediterranean Sea, Antalya-Turkey). **Microchem Journal**, v. 98, p. 72-76, 2011.

HAIR, J. F. Jr.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. Análise multivariada de dados. **Porto Alegre: Bookman**. 6 ed. 686p.2009.

HELENA, B.; PARDO, R. VEGA, M. BARRADO, E. FERNANDEZ, J. M. FERNANDEZ, L. Temporal Evolution of groundwater composition in a fluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. **Water Research**, v. 34, p. 807-816, 2000.

HEM, J. D. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. **U.S. Geological Survey: Alexandria**, ed. 3, 1985.

HONGYU, K.; SANDANIELO, V. L. M.; JUNIOR, G. J. O. Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação. **E&S: Engineering and Science**. 5 ed., v. 1, p. 83-90, 2015.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. Applied multivariate statistical analysis. **Pearson**, 6 ed., 800 p. 2008,

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. Tratamento de Esgotos Domésticos. **Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES)**, 7 ed., 2014.

LAMPARELLI, M. C.; SHIMIZU, G. Y. **Grau de trofia em corpos d'água do estado de São Paulo: Avaliação dos métodos de monitoramento.** 2004. 238 f. Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo (Doutorado em Ciências na Área de Ecossistemas Terrestres e Aquáticos), Universidade de São Paulo.

LATTIN, J.; CARROLL, J. D.; GREEN, P. **Análise de dados multivariados.** **Cengage Learning**, 1 ed, 2010, 475 p.

LEITE, J. N. C.; BECKER, V. Impacts of drying and reflooding on water quality of a tropical semi-arid reservoir during an extended drought event. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 31, e15, 2019.

LIAO, S. W.; GAU, H. S.; LAI, W. L.; CHEN, J. J.; LEE, C. G. Identification of pollution of Tapeng Lagoon from neighboring rivers using multivariate statistical method. **Journal of Environmental Management**, v. 88, p. 286-292, 2008.

LIMA, E. C. **Planejamento ambiental como subsídio para gestão ambiental da bacia de drenagem do açude Paulo Sarasate, Varjota – Ceará.** 2012. 202 f. Tese (Doutorado em Geografia), Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

LIMA, S. M.; BECKER, V. **Qualidade da água em um reservatório da região semiárida após a reinundação – Dourado/RN.** 2021. 38 f. Departamento de Engenharia Civil (Graduação em Bacharelado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

LIMA, J. O. G.; FRANÇA, A. M. M.; LOIOLA, H. G. Implicações hidroquímicas da condutividade elétrica e do íon cloreto na qualidade das águas subterrâneas do semiárido cearense. **Revista Virtual de Química**, ed. 6, n. 2, p. 279-292, 2014

LOUGON, M. S.; ROCHA, S. A.; GUIMARÃES, H. F.; LOUZADA, F. L. R. O.; GARCIA, G. O. Caracterização dos sólidos totais, fixos e voláteis nas águas residuárias geradas pela lavagem dos frutos do cafeeiro. **XIII Encontro Latino Americano de Iniciação Científica e IX Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba.** Disponível em: <[http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC\\_2009/anais/arquivos/RE\\_0142\\_1112\\_01.pdf](http://www.inicepg.univap.br/cd/INIC_2009/anais/arquivos/RE_0142_1112_01.pdf)>. Acessado em 31 de janeiro de 2022, às 15:29h.

MAIA, M. R. R. **Avaliação do Índice de Estado Trófico do sistema de reservatórios em cascata que abastece a bacia metropolitana de Fortaleza, CE.** 2021. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Bacharelado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MAIA, K. P. **Otimização do índice de qualidade da água por meio de análise estatística multivariada.** 2014. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Instituto de Ciências Exatas e Biológicas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

MAMUN, M.; KIM, J. Y.; AN, K. Multivariate statistical analysis of water quality and trophic state in an artificial Dam reservoir. **Water**, v. 13, n. 2, 2021.

MASSOUD, M. F. Assessment of water quality along a recreational section of the Damour River in Lebanon using the water quality index. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, n. 7, p. 4151-4160, 2012.

MEDEIROS, A. N.; NAVONI, J. A. **Análise da qualidade dos recursos hídricos superficiais e suas consequências sanitárias no estado do Rio Grande do Norte**. 2020. 94 f. Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente/PRODEMA, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

MEIRELES, A. C. M.; FRISCHKORN, H.; ANDRADE, E. M. Sazonalidade da qualidade das águas Edson Queiroz, bacia do Acaraú, no Semiárido cearense. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 1, p. 25-31, 2007.

MINAS GERAIS (Estado). Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Índice de Estado Trófico – IET - IGAM. Disponível em: <<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/sem-categoria/322-indice-de-estado-trofico-iet>>. Acessado no dia 31 de janeiro de 2022, às 15:11h.

NIEMISTÖ, J.; HOLMROOS, H.; HORPPILA, J. Water pH and sediment resuspension regulating internal phosphorus loading in a shallow lake – field experiment on diurnal variation. **Journal of Limnology**, v. 70, n. 1, p. 3-10, 2011.

NIXDORF, B.; DENEKE, R. Why ‘very shallow’ lakes are more successful opposing reduced nutrient loads. **Hydrobiologia**, v. 342/343, p. 269-284, 1995.

NOGUEIRA, V. P. Q. Qualidade da água em lagos e reservatórios. In: Hidrologia Ambiental, Coleção ABRH de Recursos Hídricos (Branco *et al.*), vol. 3, **Universidade de São Paulo**, p. 165-200, 1991.

NOBRE, A. C. O.; SILVA, F. J. A.; AQUINO, M. D.; SOUZA, S. O.; PINTO, C. C. C.; CORREIA, V. M. S. Processos iônicos em um reservatório do semiárido brasileiro por um período de estiagem prolongada. **58º Congresso Brasileiro de Química**, São Luís, 2018.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. F.; LEMOS FILHO, L. C. A. **Análise dos atributos qualitativos da água em microbacia perene do semiárido brasileiro**. 2020. 128f. Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água (Doutorado em Manejo de Solo e Água), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoó.

OLIVEIRA JÚNIOR, R. F.; LEMOS FILHO, L. C. A.; BATISTA, R. O.; FERREIRA, L. L. N.; COSTA, L. R.; CAMINHA, M. P. Multivariate statistics Applied to irrigation water quality data of a watershed in the semiarid region of Brazil. **Revista Caatinga**, v. 34, n. 3, p. 650-658, 2021.

OLIVEIRA, B. O. S.; TUCCI, C. A. F.; JÚNIOR, A. F. N.; SANTOS, A. A. Avaliação dos solos e das águas nas áreas de influência de disposição de resíduos sólidos urbanos de Humaitá, Amazonas. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 21, n. 3, p. 593-601, 2016.

ORIHTEL, D. M.; BAULCH, H. M.; CASSON, N. J.; NORTH, R. L.; PARSONS, C. T.; SECKAER, D. C. M.; VENKITESWARAN, J. J. Internal phosphorus loading in Canadian fresh waters: a critical review and data analysis. **NRC Research Press**, v. 74, p. 2005-2029, 2017.

PALLANT, J. **SPSS Survival Manual**. Open University Press, 2007.

PEREIRA, I. S. **Índices de qualidade da água para consumo humano: modelagem e influência do uso e ocupação do solo**. 2014. 120 f. (Pós-Graduação em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

PETERSEN, W. W. E.; WILLAMOWSKI, C. Remobilization of trace elements polluted anoxic sediments after resuspension in oxic water. **Water Air Soil Pollut**, v. 99, p. 515-522, 1997.

PETTERSON, K. Mechanisms for internal loading of phosphorus in lakes. **Hydrobiologia**, v. 373, p. 21-25, 1998.

POERSCH, A. C. C.; SEBASTIEN, N. Y. Aspectos climatológicos da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e as implicações do aumento da temperatura na realização da análise. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 11, 2021.

QUEVEDO, C. M. G.; PAGANINI, W. S. A disponibilização de fósforo nas águas pelo uso de detergentes em pó: aspectos ambientais e de Saúde Pública. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 23, n. 11, p. 3891-3902, 2018.

RAMOS, C. P. S.; MENEZES, T. G. C.; AGRELLI, A.; ALVES, I. A. B. S.; LUZ, J. C.; PINHEIRO, I. O.; JÁCOME JÚNIOR, A. T. Cianobactérias e microcistina em águas de rio destinadas ao abastecimento de centro industrial de Caruaru, PE, **Revista Vigilância Sanitária em Debate**, v. 4, n. 1, p. 27-35, 2015.

RAMOS, C. P. S.; PINHEIRO, I. O.; SILVA, E. M.; LEANDRO, K. C. Estudo da presença da toxina microcistina na água de reservatório de Mundaí (Garanhuns-PE) pelas metodologias ELISA e CLAE. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 73, n. 2, p. 169-77, 2014.

RIBEIRO, I. V. A. S.; SOUZA, R. O. **Estudo do estado trófico do reservatório Acarape do Meio mediante a determinação de indicadores de qualidade de água**. 2007. 194 f. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (Doutorado em Engenharia Civil: Recursos Hídricos), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

ROCHA JUNIOR, C. A. N.; COSTA, M. R. A.; MENEZES, R. F.; ATTAYDE, J. L.; BECKER, V. Water volume reduction increases eutrophication risk in tropical semi-arid reservoirs. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 30, p. 1-10, 2018.

ROLIM, H. O.; NUNES, A. B. A. **Proposta de Índice de Estado Trófico em reservatórios do semiárido a partir de dados da bacia do Banabuiú, estado do Ceará**. 2016. 129 f. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Pós-Graduação em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental (Doutorado em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental), Universidade Federal do Ceará.

ROSS, J. L. S. Geomorfologia: ambiente e planejamento. **Contexto**, 8 ed., 2014, 85 p.

SALES, J. W. F.; STUDART, T. M. C.; BECKER, H.; GOMES, R. B.; FILHO, F. A. S.; SOUSA, M. C. B. **Indicadores de qualidade da água utilizando técnicas de análise multivariada**. Disponível em: <<https://abrh.s3.sa->

east1.amazonaws.com/Sumarios/110/2354e0a0781b5a1e76042b15ca42eae7\_ca8cdd65890371d77fa458bacd900630.pdf>. Acesso em 19 de agosto de 2021, às 17:50h.

SANTOS, M. L. S.; MUNIZ, K.; FEITOSA, F. A. M.; BARROS NETO, B. Estudo das diferentes formas de fósforo nas águas da plataforma continental do Amazonas. **Química Nova**, v. 30, n. 3, 2007.

SCHINDLER, D. W. Recent advances in the understanding and management of eutrophication. **Limnology and Oceanography**, v. 51., n. 1, p. 356-363, 2006.

SENA, A. P.; ALBUQUERQUE, F. R. B.; PEREIRA, J. B. S. A segurança hídrica da bacia hidrográfica do rio Acaraú, estado do Ceará. **XV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Associação Brasileira de Recursos Hídricos**. Recife, p. 1-8, 2020.

SHAOYONG, L.; MENGSHUANG, X.; XIANGCHAN, J. Pollution characteristics and evaluation of nitrogen, phosphorus and organix matter in surface sediments of Changshou Lake. **Journal of Enviromental Sciences**, v. 33, p. 393-398, 2012.

SHARIFINIA, M.; ADELI, B.; NAFARZADEGAN, A. R. Evaluation of water quality trends in the Maroon River Basin, Iran, from 1990 to 2010 by WQI and multivariate analysis. **Environmental Earth Sciences**, v. 76, n. 2., p. 1-13, 2017.

SIEGEL, S. CASTELLAN JUNIOR, N. J. Estatística não-Paramétrica para Ciências do Comportamento. **Artmed**, ed. 2, p. 448 p, 2017.

SILVA, A. C. B.; ARAÚJO, M. E. **Qualidade da água e comunidade íctia do açude Marengo (Madalena, CE) durante o período de estiagem**. 2014. 90 f. Departamento de Engenharia de Pesca (Mestrado em Engenharia de Pesca e Recursos Pesqueiros: Meio Ambiente), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

SILVA, I. T. S. **Modelagem hidrológica e estimativa de cargas poluidoras em uma bacia hidrográfica rural**. 2021. 52 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária), Universidade Federal do Ceará, Crateús.

SILVA, P. G.; BOGONI, J. A. **Introdução à estatística básica (Aula 4)**. 2015. Laboratório de Imunologia Aplicada à Aquicultura. Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível: < <http://www.liaaq.ccb.ufsc.br/files/2013/10/Aula-4.pdf> >. Acessado no dia 23 de fevereiro de 2022, às 20:34h.

SILVA, T. T.; BECKER, H. **Estudo sobre as variáveis responsáveis pela eutrofização das águas dos reservatórios do semiárido cearense**. 2018. 51 f. Departamento de Química Analítica e Físico-Química, Programa de Pós-Graduação em Química (Mestrado em Química: Química Analítica), Universidade Federal do Ceará.

SMITH, V. H.; SCHINDLER, D. W. Eutrophication science: where do we go from here? **Trends in Ecology & Evolution**, v. 24, n. 4, p. 201-207, 2009.

SØNDERGARRD, M. **Nutrient dynamics in lakes – with emphasis on phosphorus, sediment and lake restoration**. 2007. 74 f. Dissertação (Doutorado em Ciências Naturais). National Environmental Research Institute, University of Aarhus, Aarhus.

SOUSA, L. A. **Coefficiente de dispersão em lagoas facultativas e a relação com as taxas de remoção de DBO, DQO e amônia total.** 2018. 55 f. Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental (Graduação em Bacharelado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

SOUZA, B. I. **Cariri paraibano: do silêncio do lugar à desertificação.** 2008. 198 f. Programa de Pós-Graduação em Geografia (Doutorado em Geografia), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SOUZA, A. P.; SARMENTO, F. J. Otimização de pontos amostrais de qualidade de água em reservatórios. **II Congresso Internacional da Diversidade do Semiárido**, p. 1-11, 2017, Campina Grande.

SUCUPIRA, P. A. P.; PINHEIRO, L. S.; ROSA, M. F. Caracterização morfométrica do médio e baixo curso do rio Acaraú – Ceará – Brasil. **VI Simpósio Nacional de Geomorfologia.** 2006, p. 1-10, Goiânia.

TEUBNER, K.; CROSBIE, N. D.; DONABAUM, K.; KABAS, W.; KIRSCHNER, A. K. T.; PFISTER, G.; SALBRRECHTER, M.; DOKULIL, M. T. Enhanced phosphorus accumulation efficacy by the pelagic community at reduced phosphorus supply: a lake experiment from bacteria to metazoan zooplankton. **Limnology and Oceanography**, v. 48, n. 3, p. 1141-1149, 2003.

TONÉ, A. J. A.; LIMA NETO, I. E. **Análise e modelagem de fósforo em reservatórios localizados em regiões semiáridas.** 2016. 174 f. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração: Recursos Hídricos), Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

TORQUATO, F. A. S. **Influência dos parâmetros ambientais na composição do fitoplâncton do açude Jaburu I, Ceará, Brasil.** 2019. 69 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Ceará, Crateús.

TRINDADE, A. L. C.; OLIVEIRA, S. M. A. C. **Aplicação de técnicas estatísticas para avaliação de dados de monitoramento de qualidade das águas superficiais da porção mineira da bacia do rio São Francisco.** 2013. 181 f. Programa de Pós-Graduação em Saneamento (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos: Meio Ambiente), Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

TUCCI, C. E. Hidrologia: Ciência e Aplicação. **UFRGS.** 1993, 943 p.

VALE, R. A. V.; LEMOS FILHO, L. C. A. **Análise de Índices de Qualidade de Água da Bacia Hidrográfica Apodi-Mossoró.** 2020. 57 f. Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água (Mestrado em Manejo de Solo e Água), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró.

VARDHAN, K. H.; KUMAR, P. S.; PANDA, R. C. A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: current trends and future perspectives. **Journal of Molecular Liquids**, v. 290, p. 111-197, 2019.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Metereologia e Climatologia.** 2005. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3887570/mod\\_folder/content/0/Meteorologia\\_Climatologia.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3887570/mod_folder/content/0/Meteorologia_Climatologia.pdf)>. Acesso em 20 de agosto de 2021, às 11:18h.

VARELLA, C. A. A. V. **Análise de Componentes Principais**. 2008, Notas de aula, Programa de Pós-Graduação em Agronomia – CPGA-CS, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

VIEIRA, R. S.; NASCIMENTO, K. J.; OLIVEIRA, E. C. C.; RICARTE, E. M. F.; NASCIMENTO, G. M. S.; SILVA, C. O. Ocorrência de cianobactérias em um reservatório de abastecimento público do semiárido cearense. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 11, p. 84352-84363, 2020.

VITÓ, C. V. G.; SILVA, L. J. B. F.; OLIVEIRA, K. M. L.; GOMES, A. T.; NUNES, C. R. O. Avaliação da qualidade da água: Determinação dos possíveis contaminantes da água de poços artesianos na região noroeste fluminense. **Acta Biomedica Brasiliensia**, v. 7, n. 2, p. 59-75, 2016.

WAN, J.; YUAN, X.; HAN, L.; YE, H.; YANG, X. Characteristics and distribution of organic phosphorus fractions in the surface sediments inflow rivers around Hongze Lake, China. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 2, p. 1-16, 2020.

WETZEL, R. G. Limnology. **Saunders College Publishing**, 2 ed, 1983, 767 p.

WROBLESCKI, F. A.; BERTOL, I. WOLSCHICK, N. H.; BAGIO, B.; SANTOS, V. P.; BERNARDI, L.; BIASIOLO, L. A. Impacto da antropização na qualidade da água e no solo de áreas ciliares avaliado em uma bacia hidrográfica na região sul do Brasil. **Ciência do Solo e do Ambiente**, v. 20, n. 1, 2021.

XAVIER, T. E. **Aplicação do controle estatístico de qualidade na produção de petróleo de 2010 á 2013**. Monografia (Graduação em Bacharelado em Estatística). 2014. 41 f. Departamento de Estatística e Ciências Atuariais, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.

XIE, L.; XIE, P.; LI, S.; TANG, H.; LIU, H. The low TN:TP ratio, a cause or a result of *Microcystis* blooms? **Water Research**, v. 37, n. 9, p. 2073-2080, 2003.

**APÊNDICE A – Parâmetros analisados nos reservatórios da bacia hidrográfica do Acaraú**

Tabela A1 – Valores dos dados de qualidade de água do referente à área do reservatório Araras no período de 2016 a 2021.1

ARARAS																																	
Mês/ Ano	Temp. Ar.	Temp. Amostra	pH	Cor	Turb.	D. T.	DBO	OD	ST	STD	Alc. (HCO <sub>3</sub> )	Cl	Sulf.	NT	Clo- a	Alc. T.	Orto fosf.	NaT	MgT	KT	CaT	FeT	PT	Transp.	Cond. E.	Dens. Ciano.	FeDi	Fito. Quant.	VD	PP	Um	Vv	IET Lamp
2016.2	31.80	29.11	7.56	20.00	4.41	76.48	2.81	7.63	164.00	159.80	126.55	25.00	7.68	0.99	24.22	75.93	0.02	18.00	16.97	12.00	21.01	0.26	0.18	0.30	229.00	542506.00	0.20	784180.00	4.51	52.20	69.58	4.00	75.56
2016.2	33.00	28.26	7.56	20.00	4.77	76.48	2.81	9.86	164.00	159.80	96.48	25.00	10.00	0.99	24.22	75.93	0.10	18.00	15.03	11.00	20.61	0.20	0.20	0.30	229.00	321139.00	0.20	784180.00	3.62	81.80	64.83	4.28	75.57
2017.1	31.20	30.11	7.56	18.75	4.41	76.60	2.81	4.63	151.00	135.00	78.07	38.24	13.72	0.88	24.22	77.41	0.11	30.00	6788.00	9.00	20202.00	0.20	0.18	0.60	289.00	344028.00	0.20	784180.00	3.43	160.50	91.54	4.11	76.88
2017.1	34.00	28.99	7.56	20.00	4.41	76.60	2.81	9.03	164.00	159.80	124.75	25.00	12.48	0.86	25.40	77.41	0.03	18.00	12.61	6.00	21.82	0.35	0.05	0.30	229.00	272645.00	0.20	784180.00	3.75	81.60	89.90	4.56	72.74
2018.1	30.20	29.13	7.59	20.00	4.77	76.60	2.81	5.77	223.00	212.50	101.07	49.67	7.68	1.45	33.36	76.71	0.02	27.00	8554.00	8.00	38812.00	0.20	0.09	1.00	320.00	52199.00	0.20	3196.00	7.49	61.20	91.64	3.76	70.34
2018.1	30.80	27.99	7.71	18.75	4.49	76.60	4.14	6.29	234.00	228.00	113.47	46.07	10.00	0.88	31.66	76.71	0.02	36.00	7347.00	9.00	30203.00	0.20	0.05	0.90	370.00	37531.00	0.20	5591.00	18.13	85.60	90.36	4.16	66.75
2018.2	29.25	28.31	7.70	20.00	5.51	77.37	2.81	8.93	177.00	173.70	83.77	26.50	7.68	1.10	28.16	83.77	0.02	18.00	8.14	7.00	17.55	0.29	0.06	0.70	240.00	1420.00	0.20	639200.00	29.66	0.00	89.28	4.45	69.58
2018.2	29.25	27.16	6.78	20.00	6.89	70.87	2.00	2.06	147.00	141.00	71.42	29.00	10.00	0.88	26.74	71.42	0.02	15.00	8079.00	6.00	15049.00	0.28	0.14	0.70	210.00	169289.00	0.20	199700.00	24.00	0.00	90.85	4.15	67.34
2019.1	28.90	29.55	7.19	18.75	3.50	82.32	2.81	2.56	225.00	215.00	76.16	25.00	10.00	1.22	25.40	76.16	0.02	15.00	9696.00	6.00	16969.00	0.26	0.09	0.80	232.00	11142.00	0.20	591900.00	19.07	27.75	2.32	47.40	67.27
2019.1	29.10	29.37	7.87	18.75	4.93	76.36	2.68	6.84	174.00	168.00	89.33	29.94	7.68	0.86	29.13	89.33	0.02	21.41	7757.00	8.33	17777.00	0.22	0.06	0.90	251.00	33427.00	0.20	417800.00	46.36	28.09	2.54	41.05	68.12
2019.2	30.80	29.17	7.61	20.00	4.41	77.83	3.97	6.84	177.00	173.20	75.69	20.95	10.00	0.99	23.04	75.69	0.02	16.00	9896.00	6.00	14844.00	0.20	0.05	0.90	221.00	169289.00	0.20	929160.00	66.61	0.00	53.29	2.83	72.50
2019.2	25.30	29.11	7.01	20.00	6.30	71.22	2.76	0.55	150.00	148.00	73.58	21.00	10.00	0.99	24.22	73.58	0.02	13.00	3918.00	5.00	22.04	0.20	0.15	0.80	199.00	190506.00	0.20	181400.00	59.64	0.00	55.37	2.91	65.91
2020.1	28.60	31.02	7.59	25.00	1.80	76.60	3.08	5.57	139.00	134.00	72.73	23.75	10.00	0.73	17.63	72.73	0.02	20.00	6.30	6.00	15.26	0.30	0.05	1.60	210.00	273251.00	0.20	711690.00	54.34	263.90	67.10	4.38	63.86
2020.1	28.50	29.43	7.51	17.50	2.11	84.35	2.00	5.19	183.00	183.00	83.04	22.80	10.00	0.39	10.01	83.04	0.02	17.00	9.21	6.00	18.58	0.20	0.05	1.90	233.00	453060.00	0.20	711690.00	100.00	101.40	67.10	4.38	65.19
2020.2	29.40	29.37	7.47	15.00	2.15	76.60	2.00	6.53	135.00	132.00	78.31	27.82	10.00	0.88	12.24	78.31	0.02	16.00	1.45	5.00	28.25	0.20	0.03	1.50	216.00	355954.00	0.20	711690.00	96.00	0.00	66.98	4.38	62.69
2020.2	27.30	28.00	6.94	20.00	1.72	72.88	2.85	2.11	136.00	133.80	55.00	19.00	10.00	0.84	9.60	76.71	0.02	15.00	8.80	5.00	14.67	0.31	0.03	1.60	206.00	130373.00	0.20	14078100.00	84.69	131.00	66.98	4.32	62.68
2021.1	21.10	30.84	7.66	20.00	1.25	76.60	2.33	7.29	158.00	158.00	76.71	23.53	10.00	0.72	24.22	76.71	0.02	18.00	6.96	6.00	14.55	0.20	0.04	3.10	229.00	215912.00	0.20	711690.00	79.29	192.80	67.10	4.38	61.58
2021.1	28.30	28.31	7.36	20.00	1.54	78.33	2.00	4.07	164.00	159.80	78.11	25.00	10.00	0.68	8.19	78.11	0.02	18.00	4.96	6.00	23.16	0.20	0.03	2.30	226.00	88488.00	0.20	9154000.00	78.40	174.00	67.10	4.38	60.89

Fonte: *HidroWeb* (2022). Temp. Ar: Temperatura do ar (°C); Temp. Amostra: Temperatura da amostra (°C); pH: Potencial hidrogeniônico; Cor (unidades de cor); Turb.: Turbidez (Unidades de turbidez); D.T: Dureza total (mg/L); OD: Oxigênio dissolvido (mg/L); ST: Sólidos totais (mg/L); STD: Sólidos totais dissolvidos (mg/L); Alc. (HCO<sub>3</sub>): Alcalinidade de bicarbonato (mg/L); Cl: Cloretos (mg/L); Sulf.: Sulfatos (mg/L); NT: Nitrogênio total; Clo-a: Clorofila-a (µg/L); Alc. T.: Alcalinidade total (mg/L); NaT: Sódio total (mg/L); MgT: Magnésio total (mg/L); Ortofosf.: Ortofosfatos (mg/L); KT: Potássio total (mg/L); CaT: Cálcio total (mg/L); FeT: Ferro total (mg/L); PT: Fósforo total (mg/L); Cond. E.: Condutividade específica (κ); Dens. Ciano.: Densidade de cianobactérias (células/mL); FeDi: Ferro dissolvido (mg/L); Fito. Quant.: Fitoplâncton quantitativo; VD: Fração de volume disponível (%); PP: Precipitação (mm); Um.: Umidade do ar (%); Vv: Velocidade dos ventos (m/s); IET<sub>Lamp</sub>: Índice de Estado Trófico de Lamparelli.

Tabela A2 – Valores dos dados de qualidade de água do referente à área do reservatório Ayres de Sousa no período de 2016 a 2021.1

AYRES DE SOUSA																																	
Mês/ Ano	Temp. Ar.	Temp. Amostra	pH	Cor	Turb.	D. T.	DBO	OD	ST	STD	Alc. (HCO <sub>3</sub> )	Cl	Sulf.	NT	Clo-a	Alc. T.	Orto fosf.	NaT	MgT	KT	CaT	FeT	PT	Transp.	Cond. E.	Dens. Ciano.	FeDi	Fito. Quant.	VD	PP	Um	Vv	IET Lamp
2016.2	33.7	26.54	7.98	15	7.72	58.65	3.325	7.59	132	125	72.62	27	12.95	1.0175	2.71	62.615	0.14	17	9.79	5	12.24	0.2	0.14	0.2	210	6739	0.2	589450	13.68	0	64.87	4.79	61.38
2016.2	26.92	26.92	7.9	15	7.6	58.65	3.325	7.17	132	125	64.96	32.35	10	1.025	1	62.615	0.1	17	8.32	5	20.4	0.2	0.134	0.3	210	24364	1.11	589450	11.05	2	66.41	4.7	63.96
2017.2	31.6	28.94	7.1	17.5	7.6	58.65	3.325	7.08	132	117	52.64	27.45	12.98	0.787	1.32	62.615	0.08	18	5.23	5	11.88	1.31	0.121	0.8	179	27856	0.45	589450	10.02	8	89.64	4.61	64.36
2017.2	32.6	27.43	7.73	25	7.6	58.65	3.325	6.91	132	125	71.91	41.17	12.01	1.1	2.78	62.615	0.12	17	9.98	4	11.88	0.2	0.056	0.2	210	8357	0.57	589450	35.43	0	90.12	4.89	61.71
2018.1	31.8	30.25	8.13	10	3.11	70.84	2.48	7.89	151	148.8	65.69	22.84	8.32	1	11.92	77.81	0.02	17	8.55	5	14,257	0.2	0.066	1.4	220	29142	0.2	589450	23	203	92.47	3.87	64.04
2018.1	31.8	26.87	7.42	10	9.06	69.01	2	6.48	175	167.5	72.3	27.45	12.43	1	25.47	72.3	0.02	18	7.34	5	15.51	0.2	0.044	1.4	210	6480	0.2	259	27.17	63	91.31	4.27	65.45
2018.2	32.1	26.07	7.02	17.5	8.16	69.5	3.71	6.8	120	115.4	66.4	26	8.15	0.838	23.85	66.4	0.09	16	5.74	4	18.35	0.2	0.071	0.9	210	112122	0.2	104500	37.37	0	90.31	4.58	66.51
2018.2	32.1	27.02	7.35	17.5	6.17	59.09	2.94	6.31	149	125	68.32	27	7.68	1	25.47	68.32	0.09	15	6.17	4	13,465	0.2	0.053	0.8	200	51580	0.2	699800	32.44	0	90.81	4.22	67.24
2019.1	30.5	31.01	8.32	10	13.4	58.21	4.65	8.61	183	172.5	49.1	28.94	10	0.938	26.76	49.1	0.02	16.96	7.27	4	11,313	0.28	0.056	0.8	217	67077	0.2	159700	27.21	161	69.88	2.72	66.61
2019.1	29.9	29.04	8.38	10	7.72	70.28	2.5	8.66	146	146	48.72	28.94	9.5	0.825	25.93	58.87	0.02	19	8.24	5	14,545	0.21	0.054	0.9	218	46395	0.2	129500	43.8	34	64.28	3	66.80
2019.2	33.2	27.49	7.05	17.5	5.32	57.52	3.32	6.26	119	113.3	67.28	21.95	10	1	11.5	67.28	0.09	15	3.95	4	16,494	0.2	0.067	1.4	196	515,180	0.2	115830	51.43	0	59.46	3.26	67.88
2019.2	32.9	28.89	6.87	17.5	9	57.01	4.19	6.43	127	123	60.97	20	10	1.1	28.43	60.97	0.09	13	2.44	4	18,775	0.14	0.076	1.2	179	35542	0.2	479100	46.55	2	60.99	3.31	65.27
2020.1	30.5	29.8	7.73	10	3.91	58.2	2.23	5.39	125	125	72.73	24.74	10	0.81	14.84	72.73	0.02	16	7.27	4	11.31	0.31	0.049	1.3	197	117247	0.2	11897000	40.95	248.4	69.88	4.44	66.67
2020.1	29.2	29.36	8.49	2.5	5.41	66.47	3.42	8.52	127	123	58.87	23.79	10	1.01	19.59	58.87	0.02	17	2.9	5	21.82	0.2	0.066	1.1	213	46395	0.2	589450	81.49	88.1	69.88	4.44	64.37
2020.2	32.8	29.3	8.13	17.5	7.41	71.17	3.33	9.96	148	144	54.59	27.75	10	2	19.59	54.59	0.02	19	11.22	4	10	0.2	0.038	1	210	46395	0.2	589450	77.37	0	69.88	4.44	64.43
2020.2	29.8	27.73	7.41	20	6.22	53.75	2	7.08	127	123.7	64.26	21.77	10	1.04	16.96	64.26	0.02	15	5.56	4	12.35	0.57	0.037	1.3	199	174853	0.29	18391500	69.13	2	69.88	4.44	68.27
2021.1	30.1	29.71	8.05	10	7.6	63.72	3.42	7.65	144	137.8	72.77	25.49	10	1.06	38.85	72.77	0.05	18	7.44	4	13.23	0.2	0.055	0.9	208	46395	0.2	589450	63.71	143.4	70.18	4.48	67.07
2021.1	32.6	28.15	8.11	15	7.93	74.14	2.61	8.25	132	125.6	79.12	28	10	0.95	40.24	79.12	0.05	17	5.95	4	19.85	0.2	0.044	1	212	348644	0.2	35231400	60.58	0	69.91	4.48	67.66

Temp. Ar: Temperatura do ar (°C); Temp. Amostra: Temperatura da amostra (°C); pH: Potencial hidrogeniônico; Cor (unidades de cor); Turb.: Turbidez (Unidades de turbidez); D.T: Dureza total (mg/L); OD: Oxigênio dissolvido (mg/L); ST: Sólidos totais (mg/L); STD: Sólidos totais dissolvidos (mg/L); Alc. (HCO<sub>3</sub>): Alcalinidade de bicarbonato (mg/L); Cl: Cloretos (mg/L); Sulf.: Sulfatos (mg/L); NT: Nitrogênio total; Clo-a: Clorofila-a (µg/L); Alc. T.: Alcalinidade total (mg/L); NaT: Sódio total (mg/L); MgT: Magnésio total (mg/L); Ortofosf.: Ortofosfatos (mg/L); KT: Potássio total (mg/L); CaT: Cálcio total (mg/L); FeT: Ferro total (mg/L); PT: Fósforo total (mg/L); Cond. E.: Condutividade específica (κ); Dens. Ciano.: Densidade de cianobactérias (células/mL); FeDi: Ferro dissolvido (mg/L); Fito. Quant.: Fitoplâncton quantitativo; VD: Fração de volume disponível (%); PP: Precipitação (mm); Um.: Umidade do ar (%); Vv: Velocidade dos ventos (m/s); IET<sub>Lamp</sub>: Índice de Estado Trófico de Lamparelli.

Tabela A3 – Valores dos dados de qualidade de água do referente à área do reservatório Edson Queiroz no período de 2016 a 2021.1

EDSON QUEIROZ																																	
Mês/Ano	Temp. Ar.	Temp. Amostra	pH	Cor	Turb.	D. T.	DBO	OD	ST	STD	Alc. (HCO <sub>3</sub> )	Cl	Sulf.	NT	Clo -a	Alc. T.	Orto fosf.	NaT	MgT	KT	CaT	FeT	PT	Transp.	Cond. E.	Dens. Ciano.	FeDi	Fito. Quant.	VD	PP	Um	Vv	IET Lamp
2016.2	28.6	27.8	9	17.5	33	79.735	4.94	5.5	432	181.5	18.58	23.53	10	2.06	39.38	82.89	0.02	18	8.24	7	16.97	0.2	0.053	0.8	235	406690	0.2	66079600	61.601	68.2	78.51	4.31	60.16
2016.2	28.6	29.65	9.01	20	40.7	79.735	4.94	12.54	402	181.5	19.26	24	10	1.41	24.65	76.08	0.02	26	5.67	7	16.45	0.2	0.039	1	234	438903	0.2	44075700	60.268	118	78.76	3.99	59.95
2017.1	30.3	31.79	8.68	20	13.2	79.735	5.33	10.42	342	181.5	8.95	25	10	1.4	37.33	81.15	0.02	18	6.3	7	16.97	0.2	0.057	0.6	220	406690	0.2	1097780	76.934	1.8	78.76	4.62	60.17
2017.1	30.6	28.58	8.82	25	44.3	79.735	5.33	8.04	447	181.5	20.26	24.73	10	1.863	42.16	76.3	0.02	17	9.72	6	16.21	0.27	0.055	0.8	218	498320	0.2	50221300	68.648	39	80.91	4.62	60.19
2018.1	28.1	28.1	8.7	30	16.3	81.01	7.83	9.27	193	182	18.63	25.72	10	1.54	31.74	73.87	0.02	15	5.56	6	19.3	0.36	0.092	0.9	201	362802	0.22	36657800	41.186	146.3	78.51	4.31	60.27
2018.1	31.3	27.92	8.69	25	21.7	79.735	5.33	12.26	304	284	24.1	29.9	10	1.75	33.52	72.72	0.02	21	8.94	8	18.04	0.2	0.062	0.8	254	406690	0.2	41624800	81.344	195	78.76	3.99	60.17
2018.2	29.2	27.8	8.24	20	16.4	78.95	7.51	10.28	220	209	8.95	27.94	10	1.65	12.98	99.5	0.06	18	6927	7	18968	0.29	0.084	0.8	245	408795	0.2	491820	49.444	13	78.76	4.62	60.03
2018.2	29.2	26.31	8.75	20	17.9	87.25	3.78	4.35	196	183	8.95	25	10	2.288	89.05	76.74	0.06	16	4897	7	20408	0.2	0.091	0.4	224	406690	0.2	1366260	44.139	0	80.91	4.62	60.52
2019.1	29.4	30.58	8.75	25	17.6	92.35	6.4	9.27	201	181.5	10.02	36	10	2.088	113.47	80.17	0.02	21	11151	8	18585	0.26	0.099	0.3	266	615268	0.2	119800	26.939	263	78.51	4.31	60.61
2019.1	28.3	29.61	8.83	25	20.5	94.37	5.33	12.42	238	220	16.24	35.93	7.68	2.363	42.16	99.48	0.03	28	11151	9	19393	0.25	0.079	0.3	303	366523	0.2	159700	53.134	108.7	78.76	3.99	60.30
2019.2	28.6	29.88	8.79	20	14.8	75.93	2.17	9.79	167	155.5	30.15	37.24	7.68	2.438	107.85	57.62	0.06	23	8526	8	17547	0.26	0.088	0.5	296	208416	0.2	119800	35.425	0	95.33	4.66	60.56
2019.2	28	27.82	8.7	20	14.5	71.17	5.71	6.34	152	136	8.95	34	7.68	2.625	95.29	92.12	0.06	22	9796	8	18775	0.32	0.096	0.4	270	178843	0.2	829300	29.731	0	81.74	5.36	60.56
2020.1	28.6	28.41	8.69	20	15.1	71.13	6.18	6.61	167	155.2	8.95	48.67	7.68	2.188	117.77	106.61	0.02	30	3326	9	26.93	0.3	0.115	0.5	340	493408	0.2	4178	22.86	197	86.25	2.67	60.66
2020.1	29.8	30.36	8.53	17.5	12	81.87	4.19	9.06	202	191.5	8.95	49.02	7.68	2.838	90.35	114.47	0.05	35	1959	9	26.93	0.21	0.112	0.4	370	136595	0.2	13996	34.487	45	94.24	3.51	60.59
2020.2	28.6	28.8	8.79	20	13.2	68.35	4.55	9.4	182	171.7	8.95	47.06	7.68	2.425	91.46	80.66	0.06	29	9697	8	17778	0.2	0.154	0.4	326	246530	0.2	1097780	35.204	66	94.97	3.39	60.69
2020.2	28.1	27.95	8.41	20	18	80.52	3.41	7.1	152	137.8	8.95	29.9	7.68	4.838	42.16	80.66	0.02	21	19.96	8	26.14	0.28	0.088	0.2	254	408795	0.2	1097780	31.802	3	89.40	4.72	60.33
2021.1	28.4	29.99	8.47	5	30.7	76.33	5.71	9.61	182	168	10.11	29.9	7.68	4.825	42.16	78.455	0.1	21	17.45	8	33.13	0.24	0.12	0.3	254	548076	0.2	1097780	13.484	0	61.83	4.78	60.42
2021.1	28.5	29.22	8.69	15	6.96	64.45	4.88	6.98	174	174	10.14	29.9	7.68	4.187	42.16	78.455	0.1	21	18.12	8	26.93	0.25	0.106	0.25	254	109121	0.2	1097780	10.939	1	60.85	5.52	60.39

Temp. Ar: Temperatura do ar (°C); Temp. Amostra: Temperatura da amostra (°C); pH: Potencial hidrogeniônico; Cor (unidades de cor); Turb.: Turbidez (Unidades de turbidez); D.T: Dureza total (mg/L); OD: Oxigênio dissolvido (mg/L); ST: Sólidos totais (mg/L); STD: Sólidos totais dissolvidos (mg/L); Alc. (HCO<sub>3</sub>): Alcalinidade de bicarbonato (mg/L); Cl: Cloretos (mg/L); Sulf.: Sulfatos (mg/L); NT: Nitrogênio total; Clo-a: Clorofila-a (µg/L); Alc. T.: Alcalinidade total (mg/L); NaT: Sódio total (mg/L); MgT: Magnésio total (mg/L); Ortofosf.: Ortofosfatos (mg/L); KT: Potássio total (mg/L); CaT: Cálcio total (mg/L); FeT: Ferro total (mg/L); PT: Fósforo total (mg/L); Cond. E.: Condutividade específica (κ); Dens. Ciano.: Densidade de cianobactérias (células/mL); FeDi: Ferro dissolvido (mg/L); Fito. Quant.: Fitoplâncton quantitativo; VD: Fração de volume disponível (%); PP: Precipitação (mm); Um.: Umidade do ar (%); Vv: Velocidade dos ventos (m/s); IET<sub>Lamp</sub>: Índice de Estado Trófico de Lamparelli.

Tabela A4 – Valores dos dados de qualidade de água do referente à área do reservatório Taquara no período de 2016 a 2021.1

TAQUARA																																	
Mês/Ano	Temp. Ar.	Temp. Amostra	pH	Cor	Turb.	D. T.	DBO	OD	ST	STD	Alc. (HCO <sub>3</sub> )	Cl	Sulf.	NT	Clo-a	Alc. T.	Orto fosf.	NaT	MgT	KT	CaT	FeT	PT	Transp.	Cond. E.	Dens. Ciano.	FeDi	Fito. Quant.	VD	PP	Um	Vv	IET Lamp
2016.1	26.5	27.93	8.11	15	6.36	51.71	2.04	8.43	128	128	50.2	22.7	10	0.84	29.31	50.2	0.02	13	7.41	3	8.49	0.35	0.017	1.2	159	828251	0.2	82992896	14.92	78	83.48	3.27	59.74
2016.1	28.5	28.56	7.9	15	5.68	63.77	2.33	7.67	99	95.8	55.79	27	10	0.71	21.58	55.79	0.02	15	6.45	4	14.89	0.2	0.023	1.3	167	672512	0.2	67381800	10.75	33	78.86	3.11	59.76
2017.1	28.8	28.8	8.16	2.5	4.55	48.33	2.99	8.34	111	108.6	42.05	24.78	10	0.625	12.45	42.05	0.02	15	5.22	4	10.74	0.2	0.038	1.6	168	743302	0.2	74625600	10.54	183	95.32	3.01	59.78
2017.1	34.5	30.28	8.32	7.5	5.47	53.32	2.39	8.49	95	90.4	51.2	27.76	10	0.738	17.74	51.2	0.02	13	5.44	4	12.37	0.2	0.016	1.1	202	957644	0.2	96068000	58.11	87	95.02	3.04	59.60
2018.1	31.4	29.33	6.74	7.5	3.77	42.58	2.45	6.22	96	93.8	47.3	20	10	0.688	11.89	47.3	0.02	11	5.388	3	8.163	0.12	0.04	1.7	146	17758	0.2	69600	48.24	0	89.24	4.19	59.78
2018.1	30.4	30.2	7.78	2.5	3.01	35.3	5.95	6.29	103	103	39.48	20.77	10	0.675	16.48	39.48	0.02	14	4.46	4	6.78	0.29	0.029	1.7	154	102646	0.2	10656500	46.55	0	88.40	4.73	59.76
2018.2	27.4	28.73	7.84	7.5	3.46	58.23	2	7.46	131	131	48.72	26.95	7.68	0.688	7.34	48.72	0.02	18	6.787	5	12.121	0.2	0.029	1.3	185	9849	0.2	337000	60.15	0	89.24	4.19	59.56
2018.2	29	28.25	7.7	7.5	3.51	49.12	2	7.38	68	61.7	49.41	29.94	10	0.663	9.59	49.41	0.02	13	6.927	4	8.247	0.2	0.031	1.6	156	55372.4	0.2	228310	53.11	0	88.40	4.73	59.65
2019.1	1.8	27.13	7.4	7.5	3.51	45.28	2.18	7.09	110	110	54.86	27	7.68	0.375	14.44	54.86	0.02	14	5.228	4	9.505	0.21	0.027	1.8	170	24755	0.2	239500	43.06	175	76.72	1.81	59.71
2019.1	27.2	30.2	7.52	7.5	2.79	52.15	2.52	6.17	140	138	68.14	26.95	10	0.575	4.78	68.14	0.02	16.51	7.272	4.07	8.888	0.22	0.027	2	171	7187	0.2	39900	51.03	25	75.96	1.94	59.44
2019.2	30.1	27.14	7.6	7.5	3.39	54.75	5.21	7.43	121	117.5	58.24	29.41	7.68	0.712	11.89	58.24	0.02	19	6.857	5	10.612	0.2	0.018	1.8	190	696	0.2	4179	83.47	0	80.26	2.88	59.54
2019.2	1.3	26.61	7.15	7.5	3.69	49.64	4.29	7.24	126	123.5	53.12	24	7.68	0.737	85.44	53.12	0.02	15	4.31	4	12.76	0.22	0.027	1.3	180	41730	0.2	337000	76.07	4	80.26	3.01	60.14
2020.1	30.6	28.28	7.78	5	2.01	49.38	2.33	7.21	128	124.4	70.9	32.35	7.68	0.7	6.46	52.15	0.02	28	9.03	7	6.33	0.24	0.06	1.7	237	5702	0.2	337000	64.5	257	80.26	3.72	59.75
2020.1	32.8	30.48	7.8	2.5	2.16	47.23	2	8.03	110	110	55.58	23.84	7.68	0.7	5.61	55.58	0.02	18	5.703	5	9.505	0.2	0.042	2.2	200	44223	0.2	348	99.7	45	80.26	3.41	59.61
2020.2	30.8	27.94	7.82	15	2.01	49.38	2.33	18.28	2	148.2	52.98	31.37	7.68	0.688	8.25	52.15	0.1	23	8.33	6	4.9	0.2	0.023	2.2	175	48161	0.2	3337000	92.36	2	78.86	3.41	59.52
2020.2	30.7	29.74	7.51	15	2.18	49.38	2.33	6.68	99	96.2	55.68	25.49	7.68	0.76	7.99	52.15	0.02	20	7.6	5	7.13	0.2	0.05	2	191	18455	0.2	3337000	78.26	28	78.86	3.27	59.75
2021.1	31	27.93	7.85	12.5	2.75	49.38	2.33	7.18	125	122.2	59.13	31.78	7.68	1.06	8.42	52.15	0.1	19	8.81	5	5.71	0.22	0.01	1.9	218	87349	0.2	3337000	68.57	144	80.26	3.72	59.27
2021.1	27.9	29.93	7.78	2.5	4	41.15	2.16	8.17	95	91	53.1	24.47	7.68	0.88	18.82	53.1	0.02	15	3.97	4	9.92	0.2	0.03	1.3	162	952134	0.2	95301800	67.76	168.4	80.26	3.41	59.80

Temp. Ar: Temperatura do ar (°C); Temp. Amostra: Temperatura da amostra (°C); pH: Potencial hidrogeniônico; Cor (unidades de cor); Turb.: Turbidez (Unidades de turbidez); D.T: Dureza total (mg/L); OD: Oxigênio dissolvido (mg/L); ST: Sólidos totais (mg/L); STD: Sólidos totais dissolvidos (mg/L); Alc. (HCO<sub>3</sub>): Alcalinidade de bicarbonato (mg/L); Cl: Cloretos (mg/L); Sulf.: Sulfatos (mg/L); NT: Nitrogênio total; Clo-a: Clorofila-a (µg/L); Alc. T.: Alcalinidade total (mg/L); NaT: Sódio total (mg/L); MgT: Magnésio total (mg/L); Ortofosf.: Ortofosfatos (mg/L); KT: Potássio total (mg/L); CaT: Cálcio total (mg/L); FeT: Ferro total (mg/L); PT: Fósforo total (mg/L); Cond. E.: Condutividade específica (κ); Dens. Ciano.: Densidade de cianobactérias (células/mL); FeDi: Ferro dissolvido (mg/L); Fito. Quant.: Fitoplâncton quantitativo; VD: Fração de volume disponível (%); PP: Precipitação (mm); Um.: Umidade do ar (%); Vv: Velocidade dos ventos (m/s); IET<sub>Lamp</sub>: Índice de Estado Trófico de Lamparelli.

APÊNDICE B – Matrizes de correlação de Spearman (rS) para os reservatórios da bacia hidrográfica do Acaraú no período de 2016 a 2021.1

Tabela B1 – Primeira matriz de correlação de Spearman (rS) para as variáveis analisadas do açude Araras, no período de 2016 a 2021.1

ARARAS																																			
	Temp. Ar.	Temp. Amostra	pH	Cor	Turb.	D. T.	DBO	OD	ST	STD	Alc. (HCO <sub>3</sub> )	Cl	Sulf.	NT	Clo-a	Alc. T.	Ortofosf.	NaT	MgT	KT	CaT	FeT	PT	Transp.	Cond. E.	Dens. Ciano.	FeDi	Fito. Quant.	VD	PP	Um	Vv	IETLamp		
Temp. Ar.	1.000																																		
Temp. Amostra	-0.231	1.000																																	
pH	0.265	0.232	1.000																																
Cor	-0.080	-0.197	0.007	1.000																															
Turb.	0.378	-0.438	0.115	0.022	1.000																														
D. T.	-0.032	0.390	0.199	-0.268	0.459	1.000																													
DBO	0.362	-0.087	0.380	0.308	0.037	0.018	1.000																												
OD	0.573	0.013	0.671	0.096	0.063	0.118	0.194	1.000																											
ST	0.236	-0.040	0.464	-0.269	0.206	0.547	0.245	0.245	1.000																										
STD	0.193	-0.092	0.435	-0.233	0.246	0.509	0.211	0.229	0.993	1.000																									
Alc. (HCO <sub>3</sub> )	0.634	-0.150	0.492	-0.229	0.214	0.135	0.048	0.693	0.525	0.511	1.000																								
Cl	0.472	-0.136	0.315	-0.351	0.455	-0.076	-0.077	0.129	0.270	0.248	0.497	1.000																							
Sulf.	0.090	0.110	-0.359	-0.117	0.319	0.110	0.033	-0.232	-0.324	-0.372	-0.303	-0.206	1.000																						
NT	0.432	-0.168	0.062	0.044	0.622	-0.071	0.330	0.130	0.350	0.361	0.202	0.310	-0.369	1.000																					
Clo-a	0.368	-0.195	0.460	-0.060	0.712	-0.206	0.189	0.240	0.509	0.529	0.436	0.684	-0.361	0.554	1.000																				
Alc. T.	-0.028	0.113	0.305	-0.566	0.159	0.380	-0.333	0.269	0.238	0.207	0.429	0.297	-0.135	-0.278	0.016	1.000																			
Ortofosf.	0.606	-0.014	0.000	-0.027	0.115	-0.088	0.133	0.323	-0.112	-0.176	0.272	0.181	0.587	0.039	0.047	0.058	1.000																		
NaT	0.396	0.157	0.738	-0.040	0.025	0.118	0.294	0.421	0.323	0.265	0.581	0.623	-0.125	-0.078	0.396	0.325	0.299	1.000																	
MgT	0.331	-0.091	0.086	-0.131	0.560	-0.111	0.308	-0.152	0.520	0.510	0.036	0.260	-0.116	0.580	0.588	-0.337	0.027	-0.002	1.000																
KT	0.625	-0.091	0.560	-0.045	0.346	-0.023	0.279	0.509	0.485	0.443	0.672	0.567	-0.312	0.305	0.512	0.084	0.372	0.727	0.327	1.000															
CaT	0.392	-0.071	0.097	-0.450	0.448	0.017	0.047	-0.217	0.409	0.380	0.234	0.716	-0.022	0.420	0.535	0.048	0.068	0.304	0.688	0.316	1.000														
FeT	0.033	-0.179	-0.130	0.387	0.032	-0.230	0.251	0.040	-0.221	-0.191	-0.132	-0.127	-0.062	-0.049	0.109	-0.094	-0.028	-0.160	-0.096	-0.131	-0.344	1.000													
PT	<b>0.482</b>	<b>-0.152</b>	<b>-0.033</b>	<b>0.034</b>	<b>0.711</b>	<b>-0.370</b>	<b>0.125</b>	<b>0.088</b>	<b>0.199</b>	<b>0.198</b>	<b>0.267</b>	<b>0.314</b>	<b>-0.133</b>	<b>0.651</b>	<b>0.531</b>	<b>-0.340</b>	<b>0.425</b>	<b>0.073</b>	<b>0.571</b>	<b>0.594</b>	<b>0.305</b>	<b>-0.005</b>	<b>1.000</b>												
Transp.	-0.742	0.324	0.025	-0.059	0.660	0.323	-0.234	-0.321	-0.088	-0.082	-0.373	-0.294	-0.055	-0.591	-0.462	0.214	-0.583	-0.031	-0.413	-0.494	-0.235	-0.272	<b>-0.825</b>	1.000											
Cond. E.	0.384	0.122	0.617	-0.461	0.188	0.369	0.141	0.353	0.749	0.700	0.670	0.662	-0.227	0.216	0.605	0.524	0.208	0.725	0.324	0.719	0.483	-0.250	<b>0.265</b>	-0.152	1.000										
Dens. Ciano.	0.237	0.289	-0.232	-0.048	0.284	-0.105	-0.206	0.155	-0.466	-0.497	0.093	-0.249	0.361	-0.299	-0.515	-0.156	0.367	-0.049	-0.345	0.004	-0.322	-0.179	<b>0.081</b>	-0.102	-0.267	1.000									
FeDi	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	<b>0.000</b>	0.000	0.000	0.000	1.000									
Fito. Quant.	0.114	-0.006	-0.202	0.206	0.579	0.163	0.112	0.186	-0.333	-0.384	-0.120	-0.516	0.370	-0.371	-0.733	0.065	0.347	-0.137	-0.383	-0.101	-0.457	0.128	<b>-0.303</b>	0.031	-0.342	0.393	0.000	1.000							
VD	-0.753	0.189	-0.196	-0.126	0.499	0.205	-0.378	-0.310	-0.264	-0.230	-0.490	-0.552	-0.064	-0.521	-0.612	0.200	-0.650	-0.476	-0.459	-0.735	-0.420	-0.139	<b>-0.772</b>	0.814	-0.461	0.019	0.000	0.133	1.000						
PP	-0.217	0.271	0.124	0.173	0.676	0.168	0.125	-0.024	-0.113	-0.164	-0.020	-0.134	0.332	-0.660	-0.360	0.089	0.233	0.481	-0.431	0.134	-0.326	-0.042	<b>-0.337</b>	0.443	0.124	0.235	0.000	0.362	0.032	1.000					
Um	0.349	-0.228	0.118	0.132	0.160	-0.037	0.037	0.046	0.038	0.019	0.318	0.549	0.073	-0.005	0.342	0.057	0.225	0.509	-0.031	0.358	0.194	0.062	<b>0.151</b>	-0.168	0.374	0.110	0.000	-0.181	-0.421	0.231	1.000				
Vv	-0.211	0.225	0.112	-0.251	0.292	0.334	-0.247	0.201	0.104	0.114	0.107	0.047	0.001	-0.332	0.028	0.557	-0.021	0.037	-0.372	-0.131	-0.239	0.427	<b>-0.339</b>	0.158	0.173	-0.271	0.000	0.008	0.162	0.149	-0.256	1.000			
IETLamp	0.840	-0.097	0.256	0.020	0.583	-0.130	0.342	0.448	0.293	0.251	0.474	0.360	-0.031	0.587	0.483	-0.107	0.624	0.304	0.560	0.683	0.360	0.057	<b>0.781</b>	-0.856	0.413	0.135	0.000	0.013	-0.827	0.301	0.245	-0.291	1.000		

Fonte: O Autor (2022). Temp. Ar: Temperatura do ar (°C); Temp. Amostra: Temperatura da amostra (°C); pH: Potencial hidrogeniônico; Cor (unidades de cor); Turb.: Turbidez (Unidades de turbidez); D.T: Dureza total (mg/L); OD: Oxigênio dissolvido (mg/L); ST: Sólidos totais (mg/L); STD: Sólidos totais dissolvidos (mg/L); Alc. (HCO<sub>3</sub>): Alcalinidade de bicarbonato (mg/L); Cl: Cloretos (mg/L); Sulf.: Sulfatos (mg/L); NT: Nitrogênio total; Clo-a: Clorofila-a (µg/L); Alc. T.: Alcalinidade total (mg/L); NaT: Sódio total (mg/L); MgT: Magnésio total (mg/L); Ortofosf.: Ortofosfatos (mg/L); KT: Potássio total (mg/L); CaT: Cálcio total (mg/L); FeT: Ferro total (mg/L); PT: Fósforo total (mg/L); Cond. E.: Condutividade específica (κ); Dens. Ciano.: Densidade de cianobactérias (células/mL); FeDi: Ferro dissolvido (mg/L); Fito. Quant.: Fitoplâncton quantitativo; VD: Fração de volume disponível (%); PP: Precipitação (mm); Um.: Umidade do ar (%); Vv: Velocidade dos ventos (m/s); IETLamp: Índice de Estado Trófico de Lamparelli.

Tabela B2 – Primeira matriz de correlação de Spearman (rS) para as variáveis analisadas do açude Ayres de Sousa, no período de 2016 a 2021.1

AYRES DE SOUSA																																				
	Temp. Ar.	Temp. Amostra	pH	Cor	Turb.	D. T.	DBO	OD	ST	STD	Alc. (HCO3)	Cl	Sulf.	NT	Clo-a	Alc. T.	Ortofosf.	NaT	MgT	KT	CaT	FeT	PT	Transp.	Cond. E.	Dens. Ciano.	FeDi	Fito. Quant.	VD	PP	Um	Vv	IETLamp			
Temp. Ar.	1.000																																			
Temp. Amostra	-0.341	1.000																																		
pH	-0.380	0.561	1.000																																	
Cor	0.463	-0.499	-0.666	1.000																																
Turb.	0.145	-0.294	-0.076	-0.009	1.000																															
D. T.	0.025	0.046	0.503	-0.331	0.075	1.000																														
DBO	0.133	0.112	0.027	0.043	0.373	-0.069	1.000																													
OD	-0.266	0.434	0.852	-0.378	0.161	0.556	0.244	1.000																												
ST	-0.103	0.252	0.489	-0.333	0.248	0.436	-0.082	0.476	1.000																											
STD	-0.166	0.381	0.652	-0.516	0.242	0.452	-0.205	0.525	0.870	1.000																										
Alc. (HCO3)	0.305	-0.311	-0.199	-0.024	-0.081	0.071	-0.302	-0.426	-0.149	0.019	1.000																									
Cl	-0.102	-0.139	0.372	-0.018	0.412	0.359	0.076	0.400	0.484	0.460	-0.089	1.000																								
Sulf.	0.162	-0.148	-0.083	0.095	0.244	-0.298	0.006	-0.052	-0.032	-0.057	0.135	0.206	1.000																							
NT	0.261	-0.137	-0.050	0.275	0.017	-0.030	0.077	0.027	0.167	0.173	0.129	-0.104	0.198	1.000																						
Clo-a	0.000	0.262	0.171	-0.282	0.460	0.296	0.182	0.215	0.268	0.370	0.076	-0.060	-0.367	0.023	1.000																					
Alc. T.	0.087	-0.112	-0.249	-0.082	-0.276	0.184	-0.544	-0.421	-0.068	0.036	0.793	-0.282	-0.161	-0.057	0.100	1.000																				
Ortofosf.	0.472	-0.670	-0.512	0.534	0.157	-0.260	0.309	-0.400	-0.324	-0.493	0.321	0.146	0.194	0.112	-0.358	0.031	1.000																			
NaT	-0.203	0.176	0.576	-0.365	0.137	0.649	-0.057	0.635	0.509	0.517	-0.127	0.557	0.302	0.058	-0.018	-0.139	-0.275	1.000																		
MgT	0.253	0.098	0.153	-0.178	0.122	0.147	-0.182	0.047	0.626	0.609	-0.121	0.159	-0.263	0.235	0.187	-0.027	-0.123	0.080	1.000																	
KT	-0.319	-0.077	0.330	-0.469	-0.011	0.265	-0.221	0.286	0.256	0.155	-0.253	0.165	0.253	-0.154	-0.407	-0.133	-0.081	0.517	0.099	1.000																
CaT	0.001	0.058	-0.016	-0.205	0.082	-0.037	0.105	-0.027	0.041	-0.028	-0.261	-0.259	-0.529	-0.077	0.337	-0.031	0.027	-0.372	0.488	0.088	1.000															
FeT	-0.501	0.328	0.131	-0.065	-0.138	-0.242	-0.334	0.101	0.031	0.065	-0.309	0.146	0.144	-0.594	-0.212	-0.106	-0.441	0.127	-0.237	0.078	-0.361	1.000														
PT	<b>0.149</b>	<b>-0.238</b>	<b>-0.231</b>	<b>0.027</b>	<b>0.112</b>	<b>-0.249</b>	<b>0.498</b>	<b>-0.126</b>	<b>-0.284</b>	<b>-0.454</b>	<b>-0.149</b>	<b>-0.050</b>	<b>0.174</b>	<b>-0.164</b>	<b>-0.468</b>	<b>-0.227</b>	<b>0.644</b>	<b>-0.133</b>	<b>-0.095</b>	<b>0.396</b>	<b>0.260</b>	<b>-0.253</b>	<b>1.000</b>													
Transp.	0.002	0.269	-0.099	-0.220	-0.324	0.015	-0.441	-0.217	-0.177	0.001	0.064	-0.664	-0.193	0.154	0.209	0.382	-0.590	-0.195	0.151	-0.066	0.248	-0.058	<b>-0.394</b>	1.000												
Cond. E.	-0.234	0.222	0.810	-0.544	0.152	0.655	0.003	0.731	0.508	0.632	-0.164	0.435	-0.283	-0.068	0.191	-0.135	-0.349	0.434	0.325	0.369	0.197	-0.060	<b>-0.106</b>	-0.096	1.000											
Dens. Ciano.	-0.029	0.231	-0.077	0.098	-0.240	-0.119	-0.062	-0.095	-0.409	-0.250	0.050	-0.327	-0.496	-0.376	0.355	0.207	-0.263	-0.485	-0.225	-0.651	0.184	0.256	<b>-0.390</b>	0.349	-0.136	1.000										
FeDi	-0.320	-0.254	-0.219	0.489	-0.075	-0.344	-0.090	-0.098	-0.138	-0.262	-0.160	0.341	0.387	0.118	-0.614	-0.152	0.342	0.052	-0.350	0.151	-0.336	0.299	<b>0.199</b>	-0.414	-0.236	-0.311	1.000									
Fito. Quant.	-0.151	0.193	0.146	0.137	-0.468	-0.042	-0.314	0.044	-0.081	-0.028	0.321	-0.055	-0.001	-0.056	-0.092	0.314	-0.038	-0.123	-0.446	-0.207	-0.384	0.232	<b>-0.339</b>	-0.106	-0.130	0.240	0.251	1.000								
VD	-0.039	0.286	0.194	0.014	-0.211	0.086	0.099	0.207	-0.331	-0.139	-0.003	-0.364	-0.240	0.253	0.479	-0.066	-0.372	-0.081	-0.280	-0.494	0.017	-0.138	<b>-0.525</b>	0.409	-0.034	0.575	-0.330	0.187	1.000							
PP	-0.640	0.715	0.390	-0.747	-0.133	-0.072	-0.116	0.148	0.264	0.407	-0.167	-0.178	-0.025	-0.209	0.130	0.070	-0.655	0.173	0.114	0.306	0.075	0.385	<b>-0.084</b>	0.335	0.205	-0.090	-0.142	-0.039	-0.088	1.000						
Um	-0.067	-0.049	-0.047	-0.020	-0.046	0.458	-0.210	-0.079	0.421	0.269	0.289	0.127	-0.124	0.005	0.069	0.497	-0.138	0.187	0.026	0.033	-0.257	0.012	<b>-0.258</b>	0.017	0.194	-0.203	0.040	0.115	-0.278	0.122	1.000					
Vv	0.035	-0.448	-0.131	0.306	0.016	0.073	0.095	-0.044	-0.268	-0.293	0.405	0.299	0.456	0.080	-0.471	0.134	0.544	0.232	-0.635	0.110	-0.679	-0.047	<b>0.270</b>	-0.541	-0.137	-0.359	0.558	0.350	-0.213	-0.357	0.214	1.000				
IETLamp	-0.103	0.112	-0.163	0.052	-0.070	-0.114	-0.290	-0.184	-0.154	-0.047	0.143	-0.303	-0.409	-0.217	0.560	0.341	-0.325	-0.343	-0.011	-0.560	0.254	0.242	<b>-0.586</b>	0.421	-0.229	0.827	-0.323	0.135	0.529	-0.020	-0.103	-0.482	1.000			

Fonte: O Autor (2022). Temp. Ar: Temperatura do ar (°C); Temp. Amostra: Temperatura da amostra (°C); pH: Potencial hidrogeniônico; Cor (unidades de cor); Turb.: Turbidez (Unidades de turbidez); D.T: Dureza total (mg/L); OD: Oxigênio dissolvido (mg/L); ST: Sólidos totais (mg/L); STD: Sólidos totais dissolvidos (mg/L); Alc. (HCO<sub>3</sub>): Alcalinidade de bicarbonato (mg/L); Cl: Cloretos (mg/L); Sulf.: Sulfatos (mg/L); NT: Nitrogênio total; Clo-a: Clorofila-a (µg/L); Alc. T.: Alcalinidade total (mg/L); NaT: Sódio total (mg/L); MgT: Magnésio total (mg/L); Ortofosf.: Ortofosfatos (mg/L); KT: Potássio total (mg/L); CaT: Cálcio total (mg/L); FeT: Ferro total (mg/L); PT: Fósforo total (mg/L); Cond. E.: Condutividade específica (κ); Dens. Ciano.: Densidade de cianobactérias (células/mL); FeDi: Ferro dissolvido (mg/L); Fito. Quant.: Fitoplâncton quantitativo; VD: Fração de volume disponível (%); PP: Precipitação (mm); Um.: Umidade do ar (%); Vv: Velocidade dos ventos (m/s); IET<sub>Lamp</sub>: Índice de Estado Trófico de Lamparelli.

Tabela B3 – Primeira matriz de correlação de Spearman (rS) para as variáveis analisadas do açude Edson Queiroz, no período de 2016 a 2021.1

EDSON QUEIROZ																																		
	Temp. Ar.	Temp. Amostra	pH	Cor	Turb.	D. T.	DBO	OD	ST	STD	Alc. (HCO <sub>3</sub> )	Cl	Sulf.	NT	Clo-a	Alc. T.	Ortofosf.	NaT	MgT	KT	CaT	FeT	PT	Transp.	Cond. E.	Dens. Ciano.	FeDi	Fito. Quant.	VD	PP	Um	Vv	IETLamp	
Temp. Ar.	1.000																																	
Temp. Amostra	0.170	1.000																																
pH	-0.013	-0.008	1.000																															
Cor	0.152	-0.093	0.297	1.000																														
Turb.	0.090	-0.244	0.378	0.262	1.000																													
D. T.	0.180	0.075	0.141	0.461	0.356	1.000																												
DBO	-0.046	-0.042	-0.182	0.384	0.122	0.016	1.000																											
OD	0.198	0.476	0.037	0.301	0.160	0.117	0.149	1.000																										
ST	0.626	0.071	0.384	0.229	0.518	0.407	0.128	0.366	1.000																									
STD	0.506	-0.089	0.068	0.364	0.214	0.595	0.162	0.394	0.691	1.000																								
Alc. (HCO <sub>3</sub> )	0.090	0.097	0.531	0.321	0.497	0.058	-0.026	0.359	0.375	0.214	1.000																							
Cl	-0.114	0.340	-0.240	-0.049	-0.572	-0.171	-0.072	0.010	-0.590	-0.236	-0.300	1.000																						
Sulf.	0.542	-0.225	0.215	0.426	0.450	0.400	0.323	0.139	0.719	0.552	0.269	-0.732	1.000																					
NT	-0.472	0.070	-0.272	-0.516	-0.277	-0.212	-0.451	-0.390	-0.697	-0.504	-0.266	0.550	-0.846	1.000																				
Clo-a	-0.084	0.217	0.088	-0.100	-0.382	-0.159	-0.206	-0.450	-0.572	-0.524	-0.290	0.729	-0.573	0.564	1.000																			
Alc. T.	-0.085	-0.025	-0.312	-0.311	-0.322	0.001	0.176	-0.222	-0.071	-0.024	-0.724	0.351	-0.332	0.188	0.213	1.000																		
Ortofosf.	-0.285	-0.011	-0.223	-0.549	-0.407	-0.442	-0.211	-0.103	-0.452	-0.170	-0.224	0.295	-0.521	0.592	0.227	0.064	1.000																	
NaT	-0.142	0.394	0.065	-0.234	-0.309	-0.242	-0.247	0.208	-0.309	-0.252	-0.159	0.759	-0.705	0.413	0.499	0.381	0.159	1.000																
MgT	-0.144	0.018	0.035	0.074	-0.298	-0.002	-0.048	-0.102	-0.432	-0.144	-0.366	0.671	-0.471	0.461	0.679	0.380	0.437	0.436	1.000															
KT	-0.183	0.306	-0.211	-0.226	-0.360	-0.099	-0.169	0.025	-0.472	-0.189	-0.257	0.865	-0.784	0.632	0.604	0.451	0.250	0.833	0.576	1.000														
CaT	-0.263	-0.146	-0.124	-0.024	-0.314	0.058	0.042	-0.104	-0.462	0.032	-0.437	0.489	-0.354	0.402	0.437	0.302	0.639	0.192	0.852	0.406	1.000													
FeT	-0.454	-0.176	-0.279	0.299	-0.143	-0.106	0.489	-0.238	-0.501	-0.331	-0.089	0.248	-0.229	0.147	0.201	0.153	-0.015	-0.070	0.241	0.050	0.186	1.000												
PT	<b>-0.286</b>	<b>0.186</b>	<b>-0.395</b>	<b>-0.308</b>	<b>-0.582</b>	<b>-0.327</b>	<b>0.069</b>	<b>-0.310</b>	<b>-0.706</b>	<b>-0.377</b>	<b>-0.482</b>	<b>0.728</b>	<b>-0.632</b>	<b>0.617</b>	<b>0.622</b>	<b>0.248</b>	<b>0.531</b>	<b>0.390</b>	<b>0.433</b>	<b>0.547</b>	<b>0.489</b>	<b>0.242</b>	<b>1.000</b>											
Transp.	0.355	-0.235	0.300	0.317	0.313	-0.020	0.285	0.267	0.580	0.353	0.419	-0.517	0.673	-0.834	-0.546	-0.275	-0.457	-0.302	-0.579	-0.631	-0.522	-0.076	<b>-0.575</b>	1.000										
Cond. E.	-0.147	0.256	-0.098	-0.225	-0.432	-0.217	-0.189	-0.007	-0.482	-0.248	-0.284	0.924	-0.775	0.592	0.690	0.477	0.307	0.888	0.684	0.935	0.462	0.077	<b>0.590</b>	-0.512	1.000									
Dens. Ciano.	0.259	0.057	-0.028	0.202	0.680	0.207	0.403	0.126	0.288	-0.026	0.043	-0.292	0.409	-0.299	-0.099	-0.071	-0.430	-0.235	-0.131	-0.228	-0.196	0.050	<b>-0.196</b>	0.127	-0.289	1.000								
FeDi	-0.331	-0.117	0.000	0.427	-0.070	0.213	0.400	0.000	-0.070	0.165	0.220	-0.165	0.243	-0.304	-0.307	-0.304	-0.228	-0.402	-0.398	-0.397	-0.164	0.405	<b>0.070</b>	0.355	-0.399	-0.165	1.000							
Fito. Quant.	0.094	-0.378	0.360	0.098	0.579	0.062	-0.086	-0.035	0.518	0.189	0.442	-0.846	0.585	-0.392	-0.628	-0.532	-0.287	-0.603	-0.699	-0.739	-0.587	-0.388	<b>-0.564</b>	0.475	-0.770	0.146	0.213	1.000						
VD	0.514	-0.188	0.356	0.426	0.446	0.341	-0.040	0.410	0.800	0.602	0.384	-0.585	0.675	-0.728	-0.604	-0.225	-0.491	-0.361	-0.411	-0.526	-0.417	-0.424	<b>-0.843</b>	0.687	-0.515	0.083	0.023	0.561	1.000					
PP	0.223	0.065	0.259	0.530	0.234	0.310	0.413	0.240	0.358	0.364	0.214	0.104	0.323	-0.482	-0.095	0.069	-0.701	0.184	-0.119	0.101	-0.278	0.015	<b>-0.113</b>	0.332	0.100	0.312	0.258	0.011	0.199	1.000				
Um	0.085	-0.055	0.019	0.050	-0.271	-0.117	-0.504	-0.095	-0.326	-0.280	-0.281	0.481	-0.401	0.254	0.490	0.164	0.026	0.481	0.382	0.309	0.155	0.077	<b>0.141</b>	-0.041	0.476	-0.246	-0.261	-0.363	0.013	-0.166	1.000			
Vv	-0.333	-0.091	-0.295	-0.305	-0.059	-0.238	-0.092	-0.252	-0.351	-0.403	0.008	-0.279	-0.119	0.373	-0.055	-0.239	0.456	-0.447	-0.002	-0.248	0.113	0.271	<b>-0.019</b>	-0.344	-0.326	-0.089	-0.071	0.113	-0.276	-0.785	-0.245	1.000		
IETLamp	-0.145	0.262	-0.080	-0.130	-0.545	-0.182	-0.166	-0.376	-0.665	-0.458	-0.404	0.820	-0.632	0.602	0.925	0.210	0.344	0.509	0.633	0.619	0.498	0.185	<b>0.840</b>	-0.587	0.709	-0.199	-0.117	-0.654	-0.705	-0.080	0.457	-0.121	1.000	

Fonte: O Autor (2022). Temp. Ar: Temperatura do ar (°C); Temp. Amostra: Temperatura da amostra (°C); pH: Potencial hidrogeniônico; Cor (unidades de cor); Turb.: Turbidez (Unidades de turbidez); D.T: Dureza total (mg/L); OD: Oxigênio dissolvido (mg/L); ST: Sólidos totais (mg/L); STD: Sólidos totais dissolvidos (mg/L); Alc. (HCO<sub>3</sub>): Alcalinidade de bicarbonato (mg/L); Cl: Cloretos (mg/L); Sulf.: Sulfatos (mg/L); NT: Nitrogênio total; Clo-a: Clorofila-a (µg/L); Alc. T.: Alcalinidade total (mg/L); NaT: Sódio total (mg/L); MgT: Magnésio total (mg/L); Ortofosf.: Ortofosfatos (mg/L); KT: Potássio total (mg/L); CaT: Cálcio total (mg/L); FeT: Ferro total (mg/L); PT: Fósforo total (mg/L); Cond. E.: Condutividade específica (κ); Dens. Ciano.: Densidade de cianobactérias (células/mL); FeDi: Ferro dissolvido (mg/L); Fito. Quant.: Fitoplâncton quantitativo; VD: Fração de volume disponível (%); PP: Precipitação (mm); Um.: Umidade do ar (%); Vv: Velocidade dos ventos (m/s); IET<sub>Lamp</sub>: Índice de Estado Trófico de Lamparelli.

Tabela B4 – Primeira matriz de correlação de Spearman (rS) para as variáveis analisadas do açude Taquara, no período de 2016 a 2021.1

TAQUARA																																				
	Temp. Ar.	Temp. Amostra	pH	Cor	Turb.	D. T.	DBO	OD	ST	STD	Alc. (HCO <sub>3</sub> )	Cl	Sulf.	NT	Clo-a	Alc. T.	Ortofosf.	NaT	MgT	KT	CaT	FeT	PT	Transp.	Cond. E.	Dens. Ciano.	FeDi	Fito. Quant.	VD	PP	Um	Vv	IETLamp			
Temp. Ar.	1.000																																			
Temp. Amostra	0.465	1.000																																		
pH	0.204	0.192	1.000																																	
Cor	-0.047	-0.432	0.065	1.000																																
Turb.	-0.374	-0.062	0.286	0.057	1.000																															
D. T.	-0.184	-0.229	0.318	0.553	0.152	1.000																														
DBO	0.051	-0.004	-0.208	-0.139	0.022	0.022	1.000																													
OD	0.082	-0.022	0.727	0.067	0.326	0.247	-0.315	1.000																												
ST	-0.462	-0.221	-0.006	-0.063	-0.112	0.385	0.099	-0.278	1.000																											
STD	-0.304	-0.358	0.032	0.233	-0.442	0.359	0.022	0.011	0.676	1.000																										
Alc. (HCO <sub>3</sub> )	0.005	-0.183	-0.175	0.240	-0.437	0.369	-0.005	-0.230	0.336	0.308	1.000																									
Cl	0.175	-0.357	0.196	0.289	-0.369	0.385	-0.128	0.136	-0.048	0.171	0.528	1.000																								
Sulf.	0.000	0.334	0.259	0.000	0.572	0.022	0.240	-0.022	-0.140	-0.367	-0.453	-0.302	1.000																							
NT	0.203	-0.079	0.250	0.306	0.137	0.238	-0.105	0.293	-0.029	-0.099	0.280	0.019	-0.302	1.000																						
Clo-a	-0.371	-0.300	0.143	0.085	0.797	-0.009	0.221	0.296	-0.219	-0.362	-0.354	-0.330	0.291	0.314	1.000																					
Alc. T.	-0.219	-0.161	-0.262	0.169	-0.195	0.349	-0.005	-0.066	0.186	0.232	0.820	0.266	-0.390	0.136	-0.120	1.000																				
Ortofosf.	0.341	-0.290	0.239	0.415	-0.426	0.000	-0.035	0.170	-0.171	0.375	0.170	0.478	-0.316	0.205	-0.205	0.000	1.000																			
NaT	0.174	-0.104	0.013	0.112	-0.767	0.245	-0.006	0.006	0.269	0.550	0.626	0.503	-0.707	0.177	-0.603	0.387	0.430	1.000																		
MgT	0.271	-0.205	0.154	0.571	-0.529	0.404	-0.254	-0.034	0.211	0.458	0.513	0.618	-0.172	0.165	-0.578	0.119	0.477	0.563	1.000																	
KT	0.317	-0.015	0.031	0.047	-0.854	0.234	-0.098	0.002	0.195	0.497	0.567	0.609	-0.673	0.055	-0.738	0.317	0.433	0.942	0.608	1.000																
CaT	-0.407	0.021	0.175	-0.140	0.649	0.445	0.058	0.323	0.126	-0.217	-0.085	-0.196	0.129	0.038	0.459	0.261	-0.545	-0.294	-0.576	-0.342	1.000															
FeT	-0.400	-0.273	0.044	-0.005	-0.135	0.021	0.141	-0.232	0.589	0.480	0.236	0.017	0.000	0.064	0.128	0.048	0.056	0.069	0.193	0.017	-0.263	1.000														
PT	<b>0.135</b>	<b>0.381</b>	<b>-0.384</b>	<b>-0.497</b>	<b>-0.313</b>	<b>-0.510</b>	<b>-0.160</b>	<b>-0.301</b>	<b>-0.074</b>	<b>-0.225</b>	<b>-0.116</b>	<b>-0.275</b>	<b>-0.108</b>	<b>-0.308</b>	<b>-0.417</b>	<b>-0.224</b>	<b>-0.427</b>	<b>0.132</b>	<b>-0.109</b>	<b>0.135</b>	<b>-0.187</b>	<b>-0.247</b>	<b>1.000</b>													
Transp.	0.351	0.066	-0.373	0.040	-0.829	-0.271	0.062	-0.378	-0.018	0.320	0.411	0.191	-0.392	-0.268	-0.710	0.335	0.430	0.577	0.399	0.608	-0.596	-0.049	<b>0.231</b>	1.000												
Cond. E.	0.350	-0.024	0.181	0.067	-0.519	0.396	-0.045	0.106	0.309	0.328	0.633	0.552	-0.603	0.358	-0.449	0.359	0.273	0.701	0.461	0.758	-0.019	0.093	<b>-0.080</b>	0.275	1.000											
Dens. Ciano.	0.059	0.212	0.644	-0.024	0.588	-0.177	-0.131	0.577	-0.441	-0.445	-0.428	-0.193	0.409	0.317	0.625	-0.316	0.102	-0.478	-0.346	-0.517	0.187	0.023	<b>-0.323</b>	-0.513	-0.296	1.000										
FeDi	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	<b>0.000</b>	0.000	0.000	0.000	1.000									
Fito. Quant.	-0.028	0.124	0.639	0.122	0.505	0.029	0.030	0.503	-0.253	-0.241	-0.314	-0.060	0.260	0.428	0.590	-0.379	0.103	-0.207	-0.169	-0.317	0.131	0.136	<b>-0.294</b>	-0.590	-0.121	0.811	0.000	1.000								
VD	0.391	-0.020	-0.224	0.035	-0.664	0.051	-0.103	0.096	-0.098	0.230	0.399	0.256	-0.754	0.399	-0.418	0.364	0.375	0.650	0.282	0.696	-0.226	-0.176	<b>0.071</b>	0.489	0.612	-0.346	0.000	-0.349	1.000							
PP	-0.043	0.002	0.361	-0.179	0.109	-0.143	-0.168	0.249	0.141	-0.010	0.331	0.205	-0.152	0.205	0.097	0.153	0.034	0.133	0.026	0.040	0.042	0.267	<b>0.037</b>	-0.096	0.351	0.339	0.000	0.414	-0.180	1.000						
Um	0.265	0.222	0.367	-0.382	0.386	-0.142	0.058	0.272	-0.087	-0.333	-0.742	-0.275	0.385	0.012	0.198	-0.810	-0.209	-0.455	-0.297	-0.356	0.146	-0.213	<b>0.112</b>	-0.530	-0.183	0.325	0.000	0.271	-0.242	-0.136	1.000					
Vv	0.424	0.241	0.075	-0.146	-0.252	-0.360	-0.317	-0.100	-0.266	-0.204	-0.389	-0.049	0.054	0.045	-0.235	-0.630	0.188	-0.035	0.161	0.086	-0.506	-0.097	<b>0.358</b>	-0.012	-0.193	0.064	0.000	0.021	0.095	-0.342	0.439	1.000				
IETLamp	-0.247	0.050	-0.237	-0.353	0.449	-0.432	0.200	-0.067	-0.176	-0.439	-0.370	-0.585	0.172	0.052	0.573	-0.276	-0.511	-0.389	-0.643	-0.556	0.253	-0.041	<b>0.470</b>	-0.447	-0.476	0.251	0.000	0.302	-0.335	0.135	0.239	0.076	1.000			

Fonte: O Autor (2022). Temp. Ar: Temperatura do ar (°C); Temp. Amostra: Temperatura da amostra (°C); pH: Potencial hidrogeniônico; Cor (unidades de cor); Turb.: Turbidez (Unidades de turbidez); D.T: Dureza total (mg/L); OD: Oxigênio dissolvido (mg/L); ST: Sólidos totais (mg/L); STD: Sólidos totais dissolvidos (mg/L); Alc. (HCO<sub>3</sub>): Alcalinidade de bicarbonato (mg/L); Cl: Cloretos (mg/L); Sulf.: Sulfatos (mg/L); NT: Nitrogênio total; Clo-a: Clorofila-a (µg/L); Alc. T.: Alcalinidade total (mg/L); NaT: Sódio total (mg/L); MgT: Magnésio total (mg/L); Ortofosf.: Ortofosfatos (mg/L); KT: Potássio total (mg/L); CaT: Cálcio total (mg/L); FeT: Ferro total (mg/L); PT: Fósforo total (mg/L); Cond. E.: Condutividade específica (κ); Dens. Ciano.: Densidade de cianobactérias (células/mL); FeDi: Ferro dissolvido (mg/L); Fito. Quant.: Fitoplâncton quantitativo; VD: Fração de volume disponível (%); PP: Precipitação (mm); Um.: Umidade do ar (%); Vv: Velocidade dos ventos (m/s); IETLamp: Índice de Estado Trófico de Lamparelli.

**APÊNDICE C – Análise de componente principal para os reservatórios da bacia hidrográfica do Acaraú no período de 2016 a 2021.1**

Tabela C1 – Primeira análise de componente principal das variáveis ambientais estudadas para os reservatórios da bacia hidrográfica do Acaraú, de 2016 a 2021.1

Variáveis	ARARAS		AYRES DE SOUSA		EDSON QUEIROZ		TAQUARA	
	CP 1 (27.06%)	CP2 (14.44%)	CP 1 (22.06%)	CP 2 (16.86%)	CP 1 (31.29%)	CP2 (16.22%)	CP 1 (25.86%)	CP2 (13.41%)
Temp. Ar.	0.196	-0.174	-0.066	-0.124	0.138	0.122	0.046	0.187
Temp. Amostra	-0.070	0.128	0.253	0.059	-0.035	0.084	-0.064	-0.009
pH	0.125	0.168	0.201	0.230	0.109	0.124	-0.028	0.375
Cor	-0.023	-0.075	-0.253	-0.089	0.128	0.230	0.083	0.222
Turb.	0.220	-0.189	0.018	0.160	0.202	-0.019	-0.272	0.247
D. T.	0.009	0.235	0.180	0.055	0.098	0.161	0.042	0.276
DBO	0.177	0.054	-0.050	0.101	0.091	0.050	-0.058	-0.195
OD	0.110	-0.027	0.160	0.211	0.086	0.169	0.124	0.151
ST	0.223	0.267	0.216	0.204	0.255	0.034	-0.057	-0.030
STD	0.204	0.275	0.259	0.201	0.145	0.163	0.176	0.064
Alc. (HCO3)	0.211	-0.058	-0.102	-0.170	0.155	0.071	0.234	0.068
Cl	0.242	0.130	-0.117	0.252	-0.237	0.243	0.244	0.210
Sulf.	-0.047	-0.131	-0.155	0.168	0.265	0.031	-0.228	0.095
NT	0.211	-0.017	0.035	0.060	-0.178	-0.235	0.031	0.205
Clo-a	0.278	0.011	0.229	-0.156	-0.201	0.169	-0.129	-0.093
Alc. T.	0.020	0.208	0.011	-0.204	-0.117	0.147	0.145	0.049
Ortofosf.	0.094	-0.197	-0.317	0.014	-0.172	-0.253	0.200	0.152
NaT	0.211	0.140	0.102	0.290	-0.180	0.242	0.297	0.049
MgT	0.194	0.134	0.212	0.049	-0.145	0.161	0.256	0.207
KT	0.219	-0.105	-0.011	0.249	-0.231	0.163	0.293	0.032
CaT	0.243	0.183	0.109	-0.107	-0.105	0.065	-0.195	0.067
FeT	-0.049	-0.150	-0.113	0.033	-0.039	-0.048	-0.042	0.142
PT	<b>0.145</b>	<b>-0.298</b>	<b>-0.235</b>	<b>0.174</b>	<b>-0.259</b>	<b>0.014</b>	<b>0.069</b>	<b>-0.225</b>
Transp.	-0.232	0.239	0.213	-0.256	0.253	0.064	0.246	-0.169
Cond. E.	0.243	0.188	0.176	0.190	-0.230	0.229	0.226	0.119
Dens. Ciano.	-0.068	-0.245	0.003	-0.291	0.138	0.075	-0.214	0.305
FeDi	0.000	0.000	-0.201	0.173	0.082	-0.007	0.000	0.000
Fito. Quant.	-0.182	0.010	0.025	-0.199	0.253	0.019	-0.214	0.303
VD	-0.273	0.155	0.142	-0.175	0.246	0.111	0.225	-0.159
PP	-0.126	0.069	0.231	0.026	0.067	0.328	0.040	0.129
Um	0.045	-0.193	-0.037	0.068	-0.077	0.226	-0.200	0.055
Vv	0.051	0.220	-0.206	0.042	0.030	-0.350	-0.035	-0.062
IETLamp	0.236	-0.231	0.161	-0.284	-0.254	0.093	-0.180	-0.201

CP: Componente principal.