



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

MICHELE CUNHA PONTES

**FLORAÇÕES DE CIANOBACTÉRIAS NO RESERVATÓRIO CARNAUBAL NO
TRÓPICO CEARENSE, BRASIL**

CRATEÚS-CE

2022

MICHELE CUNHA PONTES

FLORAÇÕES DE CIANOBACTÉRIAS NO RESERVATÓRIO CARNAUBAL NO
TRÓPICO CEARENSE, BRASIL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Prof. Dr. Raimunda Moreira da Franca.

CRATEÚS-CE

2022

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

P859f Pontes, Michele Cunha.

Florações de cianobactérias no reservatório Carnaubal no trópico cearense, Brasil. / Michele Cunha Pontes. – 2022.
47 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Crateús, Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Crateús, 2022.
Orientação: Prof. Dr. Raimunda Moreira da Franca.

1. Qualidade de água. 2. Eutrofização. 3. Cianobactérias. 4. Análise Multivariada. I. Título.

CDD 628

MICHELE CUNHA PONTES

FLORAÇÕES DE CIANOBACTÉRIAS NO RESERVATÓRIO CARNAUBAL NO
TRÓPICO CEARENSE, BRASIL

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao
Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do título de bacharel em
Engenharia Ambiental e Sanitária.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dr. Raimunda Moreira da Franca (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dr. Janine Brandão de Farias Mesquita (Membro interno)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof^ª. Dr. Anielle dos Santos Brito (membro externo)
(Doutorado Pós Deha/UFC)

À minha avó, Maria Lima Cunha.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, que possibilita todas as coisas.

Aos meus pais, Luiz Araújo Pontes e Maria Aiá Cunha e aos meus irmãos Milena Cunha Pontes e Luiz Araújo Pontes Júnior, por serem a minha fortaleza e cuidarem da minha vida para que eu pudesse enfrentar os meus desafios e conquistar meus objetivos com mais tranquilidade.

Às minhas filhas, Ana Mily Cunha Brito e Manuela Pontes Brito, por suportarem a minha ausência, e por sempre fazerem muito barulho quando eu tinha aula, no período remoto, e eu tinha que estudar em casa, e serem a razão da minha luta e do meu amor.

À Professora Raimunda Moreira da Franca, por aceitar ser orientadora no meu Trabalho de Conclusão de Curso, por todos os conhecimentos transmitidos e por toda ajuda na superação dos obstáculos ao longo desse um ano de trabalho.

Ao Emanuel Andrade Alves Rosendo, Rogério Régis Machado Melo Filho, por sempre estarem dispostos e me ajudar quando preciso.

Aos meus amigos que conviveram comigo todas as experiências, as angústias e as alegrias durante toda essa jornada acadêmica entre eles: José Mota Neto, Amanda Castro, Maria Nazaré, Mara Nadily, Maria Zilda, Marianne Farias, Emanuel Andrade, Jenilson Rodrigues, Marcos Henrique e Matheus Teixeira.

Aos meus amigos da vida, Ellis Regina Furtado, Camila Moraes e Erasmo Moraes que mesmo com toda a ausência e distanciamento se mantem firmes ao meu lado. E também a minha amiga Arliane Oliveira, por todas às vezes que me deu abrigo em Guaraciaba do Norte para que eu pudesse viajar cedo para Crateús.

Aos professores que compõem o quadro de docentes da Universidade Federal do Ceará (UFC) – Campus Crateús, com ênfase aos que lecionam no Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária em da Professora Luana Viana, coordenadora do curso.

E agradeço também a pessoa mais importante da minha vida, EU mesma, pois sem minha insistência e perseverança em continuar, isso não seria possível. Por nunca ter desistido diante das dificuldades, que não foram poucas, por ter me permitido errar inúmeras vezes, por ter tido a coragem de pausar minha vida profissional para enfrentar esse desafio. Obrigada, Michele Cunha Pontes, por toda sua força, com todo amor.

RESUMO

O estado do Ceará, em especificidade a região dos Inhamuns, é marcado por períodos de seca e baixos índices pluviométricos, tornando a água um recurso escasso. Uma das preocupações em torno dessa temática é também a qualidade da água. As florações expressivas de cianobactérias e seus subprodutos interferem diretamente na qualidade da água, podendo introduzir efeitos negativos, tanto de ordem estética, como de saúde pública, devido à produção de compostos potencialmente tóxicos. Assim, o objetivo deste trabalho é identificar os fatores que contribuem para acelerar o processo de eutrofização das águas do açude Carnaubal, fonte hídrica de uso para abastecimento humana para o município de Crateús. Para tanto, aplicou-se tratamentos estatísticos para um banco de dados obtidos através do monitoramento dos recursos hídricos realizados pela Companhia de Recursos Hídricos do estado do Ceará, compreendendo o período de 2018 a 2021. Foram selecionados vinte e oito parâmetros, nos quais quinze foram químicos, seis físicos, dois biológicos, e mais cinco parâmetros hidroclimáticos. Aplicou-se análise multivariada dos dados para detectar possíveis padrões entre as variáveis analisadas usando o *software* PAleontological STatistics – PAST versão 4.11 e Excel. Dentre o conjunto de variáveis analisadas, verificou-se que cinco parâmetros, precipitação, nitrogênio total, sólidos dissolvidos totais, potássio e sódio, apresentaram correlações significativas com a contagem de cianobactérias. Sendo sódio e sólidos dissolvidos totais, correlações fortes e positivas. O potássio teve correlação moderada e positivas. O nitrogênio total e precipitação tiveram correlações fortes e negativas com as cianobactérias. A análise multivariada dos dados por componente principais (ACP), mostrou que as correlações entre os sólidos dissolvidos totais, sódio e potássio crescem na medida que a contagem de cianobactérias aumenta. Verificou-se que as concentrações de cianobactérias diminuem, enquanto o nitrogênio total e as precipitações aumentam. Além disso, o Índice de Estado Trófico de Lamparelli, aplicado para classificação da qualidade da água e estado de trofia, na maior parte do período estudado, mostrou que a classificação do reservatório foi supereutrófico e isso indica interferências antrópicas para esta aceleração na eutrofização do reservatório. Esse estudo se mostra importante, pois pode contribuir para que esse cenário seja combatido, pois através do estudo das principais componentes pela análise multivariada foi possível aferir quais parâmetros estão mais correlacionados para o aceleração da eutrofização no açude Carnaubal.

Palavras-chaves: Qualidade de água. Eutrofização. Cianobactérias. Análise Multivariada.

ABSTRACT

The state of Ceará, specifically the region of Inhamuns, is marked by periods of drought and low rainfall, making water a scarce resource. One of the concerns around this theme is also the quality of the water. The expressive blooms of cyanobacteria and their by-products directly interfere with water quality, and may introduce negative effects, both aesthetically and public health, due to the production of potentially toxic compounds. Thus, the objective of this work is to identify the factors that contribute to accelerate the process of eutrophication of the waters of the Carnaubal dam, a water source used for human supply in the municipality of Crateús. To this end, statistical treatments were applied to a database obtained through the monitoring of water resources carried out by the Company of Water Resources of the state of Ceará, comprising the period from 2018 to 2021. Twenty-eight parameters were selected, in which fifteen were chemical, six physical, two biological and five hydroclimatic parameters. Multivariate data analysis was applied to detect possible patterns between the variables analyzed using the PALeontological STatistics software – PAST version 4.11 and Excel. Among the set of analyzed variables, it was verified that five parameters, precipitation, total nitrogen, total dissolved solids, potassium and sodium, presented significant correlations with the cyanobacteria count. Being sodium and total dissolved solids, strong and positive correlations. Potassium had a moderate and positive correlation. Total nitrogen and precipitation had strong and negative correlations with cyanobacteria. Multivariate analysis of the principal component (PCA) data showed that correlations between total dissolved solids, sodium and potassium increase as the cyanobacterial count increases. It was found that the concentrations of cyanobacteria decrease, while total nitrogen and precipitation increase. In addition, the Lamparelli Trophic State Index, applied to classify water quality and trophic status, for most of the studied period, showed that the classification of the reservoir was supereutrophic and this indicates anthropic interference for this acceleration in the eutrophication of the reservoir. This study is important, as it can contribute to combating this scenario, because through the study of the main components by multivariate analysis, it was possible to assess which parameters are most correlated with the acceleration of eutrophication in the Carnaubal dam.

Keywords: Water quality. Eutrophication. Cyanobacteria. Multivariate analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do município de Crateús – CE.	21
Figura 2: Contorno do Açude Carnaubal, município de Crateús-CE.	22
Figura 3: Açude Carnaubal, município de Crateús-CE.	23
Figura 4: Correlações com coeficientes de Spearman (rS) positivas.	30
Figura 5: Correlações com coeficientes de Spearman (rS) negativas.	31
Figura 6: Resultado do teste de Kruskal-Wallis.	31
Figura 7: Análise das CPs do açude Carnaubal no período de 2018 a 2021.	32
Figura 8: Precipitação pluviométrica na área do reservatório Carnaubal.	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Faixas de validade da aplicação da ACP pelo teste de KMO.	27
Tabela 2: Ponderação Índice de Estado Trófico.....	28
Tabela 3: Dados selecionados para o estudo, com aplicação do escore-z.....	29
Tabela 4: Matriz de correlação de Spearman (rS) para as variáveis selecionadas.....	30
Tabela 5: Ponderação para razão N/P.	35
Tabela 6: Relação Nitrogênio e Fósforo.....	35
Tabela 7: Índice de Estado Trófico – IET.	36
Tabela 8: Dados da qualidade da água bruta do Carnaubal, fornecidos pela COGERH.	44
Tabela 9: Dados hidroclimáticos de Crateús, coletados no site do INMET.....	45
Tabela 10: Médias semestrais e cálculo do escore-z.....	46
Tabela 11: Cálculo do coeficiente de variância de Speraman’s (rS).	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

°C	Graus Celsius
ACP	Análise da Componente Principal
ANA	Agência Nacional de Águas
CAGECE	Companhia de Água e Esgoto do Ceará
CBHSC	Comitê da Bacia Hidrográfica dos Sertões de Crateús
CÉLULAS/mL	Célula por mililitro
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
COGERH	Companhia de Gestão e Recursos Hídricos do Estado do Ceará
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DNOCS	Departamento Nacional de Obras Contra a Seca
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IET	Índice de Estado Trófico
IET _{Lamp}	Índice de Estado Trófico de Lamparelli
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IOCS	Inspetoria de Obras Contra a Seca
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
IQAR	Índice de Qualidade da Água de Reservatório
L/s	Litro por segundo
m ³	Metros cúbicos
mg/L	Miligrama por litro
PAST	Paleontological Statistical
PNQA	Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas
PNRH	Política Nacional dos Recursos Hídricos
RMQA	Rede de Monitoramento da Qualidade da Água
SEMACE	Secretaria do Meio Ambiente do Ceará
SISAM	Sistema de Informações Ambientais Integrado a Saúde
SISAR	Sistema Integrado de Saneamento Rural
µg/L	Micrograma por litro

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
1.1.	Contextualização do problema	13
1.2.	Objetivos	15
1.2.1.	<i>Geral</i>	15
1.2.2.	<i>Específicos</i>	15
1.3.	Justificativa	15
2.	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1.	Águas superficiais e abastecimento público	16
2.2.	Cianobactérias	17
2.3.	Floração de Cianobactérias	18
2.4.	Cianotoxinas.....	19
2.5.	Análise estatística multivariada e Análise da componente principal	19
3.	METODOLOGIA	21
3.1.	Tipificação do estudo	21
3.2.	Caracterização da área de estudo	21
3.3.	Descrição e localização do reservatório em estudo	22
3.4.	Fonte da base de dados do estudo	23
3.5.	Procedimentos metodológicos.....	24
3.5.1.	<i>Variáveis abordadas no estudo</i>	24
3.5.2.	<i>Abordagem estatística dos dados</i>	25
3.5.3.	<i>Análise da componente principal (ACP)</i>	26
3.5.4.	<i>Razão N/P e Índice de Estado Trófico</i>	27
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1.	Estatística descritiva	29
4.2.	Análise da Componente Principal (ACP)	32
4.3.	Precipitação	34
4.4.	Razão Nitrogênio (N) e fósforo (P).....	35
4.5.	Índice de Estado Trófico – IET	36
5.	CONCLUSÃO.....	37
6.	REFERÊNCIAS	38
	ANEXO 1 – DADOS BRUTOS	44
	ANEXO 2 – TRATAMENTO DOS DADOS.	46

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização do problema

A água é um recurso natural dinâmico e requer uma visão sistêmica, dentro da gestão dos recursos hídricos, pois, por circular por outros sistemas, qualquer alteração pode refletir na quantidade e qualidade da hidrosfera (MOTTER e FOLETO, 2010).

No Brasil, apesar de ser um país rico em recursos hídricos, alto potencial em água potável e conter em seu território cerca de 12% da água doce do nosso planeta, esta água não está distribuída uniformemente em todo o seu território. Possui regiões de extrema secas e escassez, como é o caso da região do semiárido no nordeste brasileiro, e outras com enorme abundância, como é o caso da Amazônia na região norte do país. O acesso à água é um aspecto determinante para o desenvolvimento econômico, social e cultural de uma região. Na região Nordeste do Brasil, o processo de açudagem como política pública de segurança hídrica teve início apenas em 1909 com a instituição da Inspetoria de Obras Contra a Seca (IOCS), tinha como ideologia combater e conviver os efeitos da seca (POMPENET, 2009).

Segundo Suassuna (1993), dentre as alternativas de abastecimento das populações, a açudagem é considerada como uma das mais importantes, a presença de água no solo do sertão traz a esperança de permanência do sertanejo na região. De acordo com a Agência Nacional das Águas (ANA), o Ceará é o estado com maior número de açudes do país, esses reservatórios superficiais representam a esperança de sobrevivência e desenvolvimento das comunidades do semiárido nordestino nos quais estão inseridos, o que minimiza a angústia dos que sofrem com os desafios das secas.

A região do semiárido brasileiro, mais especificamente a região dos Inhamuns no interior do estado Ceará, é identificada como uma região de grandes períodos de estiagem com altas temperaturas e curta quadra chuvosa, e tais condições climáticas tornam a água um recurso natural ainda mais precioso e escasso. 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 da água (ALMEIDA *et al.*, 2007).

Nos últimos anos, em diversos locais do Brasil, tem ocorrido um aumento expressivo de florações de cianobactérias, com a presença de cianotoxinas e outros compostos, incluindo substâncias causadoras de gosto e odor (CETESB, 2013).

A região do semiárido é naturalmente propícia a eutrofização dos seus reservatórios nos períodos de estiagem, por apresentar temperaturas elevadas, alta taxa de evaporação de seus reservatórios com pouca ou nenhuma recarga hídrica, além de receber muita radiação solar devido sua posição geográfica. Além disso, a importância da contagem desses microrganismos ocorre devido à liberação de toxinas prejudiciais à saúde humana devido à presença de cianotoxinas (VIEIRA *et al.*, 2020).

A eutrofização, e conseqüentemente as florações de cianobactérias, são caracterizadas pelo excesso de nutrientes nos corpos d'água, tais como o nitrogênio e fósforo. Pode ser natural ou provocada pelo homem. A primeira ocorre de maneira lenta e devido aos nutrientes do solo carregados pelas chuvas. As fontes de nutrientes mais importantes para a eutrofização antrópica são as águas residuárias (domésticas e industriais), as águas que escoam de irrigação com carregamento de fertilizantes químicos e o escoamento superficial, que mobiliza nutrientes do solo (MARGALEF, 1983; ESTEVES, 2011).

A partir deste processo de nutrição dos corpos d'água ocorre a floração. Pode ocorrer o aumento tanto de espécies quanto de número de indivíduos, mas à medida que o grau de eutrofização aumenta, algumas espécies se tornam predominantes em detrimento de outras, como algumas espécies de cianobactérias (REYNOLDS, 2006; ESTEVES, 2011).

Muitas das espécies de cianobactérias produtoras de toxinas estão diretamente associadas com o processo de eutrofização em ambientes aquáticos (GLIBERT e BURKHOLDER, 2011). Fernandes *et al.* (2009) citam que fatores abióticos como temperatura da água, intensidade de luz e quantidade de nutrientes (fósforo e nitrogênio) funcionam como estopim para produção de toxinas por esses microrganismos. Esse processo acontece devido à floração de cianobactérias produtoras de cianotoxinas, essas substâncias presentes na água são danosas à saúde das populações de outros organismos, tais como: animais aquáticos e seres humanos que utilizam esta água contaminada pelas toxinas.

A referida situação acontece com frequência nos reservatórios de abastecimento público no estado do Ceará, semiárido brasileiro, inclusive com o Açude Carnaubal, pertencente à bacia hidrográfica do Poti-Longá, o qual será estudado com maior profundidade no presente trabalho. Entre os meses de julho e dezembro há uma grande deterioração da qualidade da água por causa dos fatores mencionados acima, como: alto índice de evaporação, baixa precipitação e altas temperaturas. Segundo Von Sperling (1996) este processo é caracterizado por altas taxas de nutrientes na água causando problemas, como a proliferação de algas, que pode causar anaerobiose de corpos d'águas, mortandade de peixes, elevados custos no tratamento de água, toxicidade das algas, redução na navegação e capacidade de transporte, entre outros.

1.2. Objetivos

1.2.1. Geral

- a) Associar parâmetros hidroclimáticos e de qualidade da água do reservatório Carnaubal em Crateús, para definir os principais fatores intervenientes nas florações algais.

1.2.2. Específicos

- a) Compilar e avaliar o conjunto de dados hidroclimáticos e de monitoramento da qualidade da água no reservatório;
- b) Aplicar modelo estatístico de associação ao conjunto de variáveis para descrever os fatores de maior correlação no processo de florações de cianobactérias;
- c) Identificar os parâmetros mais influentes na eutrofização das águas no açude.
- d) Utilizar os dados de qualidade da água para identificar o nutriente limitante e para obter a classificação de estado trófico do reservatório.

1.3. Justificativa

Devido à aceleração do processo de eutrofização, muitos reservatórios no estado do Ceará, incluindo o açude Carnaubal, estão perdendo ou reduzindo sua capacidade de abastecimento de populações, e restringindo os seus usos múltiplos e até mesmo manutenção da vida aquática devido a deterioração da qualidade da água. A redução da qualidade da água torna-se um problema para a concessionária responsável pelo abastecimento humano e para os crateuenses, pois o açude Carnaubal é usado como único manancial para abastecimento público das zonas urbanas e em algumas zonas rurais, motivação pela qual desenvolveu-se esse estudo, com intuito de conhecer os principais fatores que estão relacionados com tais florações de cianobactérias.

Trata-se de um fenômeno natural, porém, vem sendo acelerado nas últimas décadas, provavelmente por interferência antrópica. No entanto, acredita-se que fatores hidroclimáticos também estão associados ao florescimento algal. Assim, o emprego da associação estatística pode contribuir para esclarecer quais fatores apresentam maiores interferências no processo da eutrofização no semiárido cearense.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Águas superficiais e abastecimento público

A água, em qualidade adequada e em quantidade suficiente, é de extrema importância para atender as necessidades do cotidiano da humanidade e é um dos recursos naturais mais essenciais à sobrevivência humana, para proteção de sua saúde, assim como para propiciar o desenvolvimento econômico. As águas superficiais empregadas em sistemas de abastecimento geralmente são originárias de um curso de água natural (GUIMARÃES, CARVALHO e SILVA, 2007).

Von Sperling (2005) destaca que a qualidade da água pode ser transformada por condições naturais e por ações antrópicas. Ainda segundo o autor, a qualidade da água pode ser retratada por meio de parâmetros, que determinam suas características físicas, químicas e biológicas, denominados de parâmetros de qualidade água (VON SPERLING, 2007).

Para Siqueira e Oliveira-Filho (2005) existem diversas formas de liberação de efluentes oriundas de atividades humanas, dentre as quais, destacam-se: os efluentes da produção agrícola, efluentes domésticos, industriais e gerados pela chuva. Muitos mananciais de superfície estão propícios a apresentarem eutrofização, devido a esse tipo de atividade humana, que provoca o aumento da matéria orgânica e outros nutrientes. 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).

Ainda segundo Siqueira e Oliveira-Filho (2005), a eutrofização provocada pelo aumento de nutrientes nos ecossistemas aquáticos, aumenta a produtividade do corpo hídrico, e como consequência, os corpos hídricos passam da condição de oligotróficos e mesotróficos para eutróficos e hipereutróficos. Essa contaminação é provocada pela falta de saneamento básico, cujos despejos são lançados nos rios sem nenhum tratamento (CIRILO, 2015).

Von Sperling (2005) define também que a eutrofização é o crescimento em excesso de plantas aquáticas, a níveis tais de se tornarem causadoras de interferências para o uso dos corpos d'água. O processo de eutrofização ocorre principalmente em lagos e represas, pois oferecem às condições de turbidez e velocidades adequadas para o crescimento de cianobactérias, de algas e outras plantas. A presença de nitrogênio e fósforo é importante para o desenvolvimento do fitoplâncton, incluindo as cianobactérias. Esses nutrientes são indispensáveis para a constituição celular e o metabolismo, levando à síntese de moléculas importantes (DE SOUZA BEGHELLI, FRASCARELI, *et al.*, 2016).

Segundo a Portaria 888/2021, em vigor desde 07 de abril de 2021, é exigido que os sistemas de abastecimento supridos por mananciais superficiais monitorem as cianobactérias no ponto de captação de água mensalmente, sem que se deixe de fazer o controle correto das condições da água, pois, uma vez que a análise aponte um valor onde a concentração de clorofila-a seja igual ou superior ao máximo de 10 µg/L, exige-se uma nova coleta e análise de fitoplâncton. Se a contagem de células de cianobactérias representarem 10% ou mais de fitoplâncton, deve então ser realizado o monitoramento semanal no manancial e no ponto de captação.

2.2. Cianobactérias

As cianobactérias constituem o maior e mais diverso grupo dos microrganismos procarióticos, podem ser filamentosas ou cocóides, ocorrendo isoladamente ou em colônias. Não possuem núcleo nem estruturas definidas sendo, mas apresentam fotossíntese oxigênica, algumas são unicelulares, poucas são filamentosas e raras formam placas e colônias irregulares (SILVA *et al.*, 2013).

De acordo com Azevedo (1998) as cianobactérias têm sua origem estimada em cerca de 3,5 bilhões de anos, onde fósseis foram descobertos em rochas sedimentares encontradas no noroeste da Austrália, estão entre os organismos pioneiros na Terra, sendo provavelmente os primeiros produtores primários de matéria orgânica a liberarem oxigênio elementar na atmosfera primitiva. A presença de clorofila e consequente capacidade fotossintética de algas e plantas são atribuídas a um evento endossimbiótico entre uma cianobactéria e um protista, tendo a posterior “domesticação” da cianobactéria dado origem à organela (CAVALIER SMITH 1982).

As cianobactérias possuem uma série de adaptações ecológicas ao longo de sua evolução, que envolvem suas características fisiológicas e estruturais. Entre estas, destaca-se a eficiente cinética de captação de carbono e nutrientes, a capacidade de fixação do nitrogênio atmosférico e a presença de aerótopos em muitas espécies planctônicas (MELCHER, 2007).

Em condições ambientais desfavoráveis, como alterações bruscas na temperatura, algumas cianobactérias podem formar esporos adaptativos, os acinetos, e permanecer inativa até que melhore suas chances de sobrevivência (MACEDO e MOLINA, 2008).

Outra característica marcante desses organismos é a capacidade de algumas cianobactérias fixarem o nitrogênio do ar, sob condições limitadas de nitrogênio, mas com outros nutrientes disponíveis, isso é possível devido à presença de uma estrutura adaptativa

chamada heterócito, que são células especializadas para a fixação de nitrogênio, o que torna essas algas de extrema importância no ciclo do nitrogênio (HAIDER *et al.*, 2003).

2.3. Floração de Cianobactérias

As florações podem ser de dois tipos: as “scums”, ou natas, que apresentam elevada concentração de clorofila-a, duração de poucas horas ou dias e espessura de poucos milímetros, e as “hyperscums”, com massa flutuante de células de espessura variando entre 50 a 75 cm, densamente compactada, que impede o movimento de água entre as células (CETESB, 2013).

As florações de cianobactérias ocorrem quando há o desenvolvimento de densas populações desses organismos, as florações ou “*blooms*” formam uma densa camada de células com vários centímetros de profundidade na superfície dos corpos d’água (FUNASA, 2003). Esta capacidade de flutuabilidade é proporcionada devido à presença de uma estrutura celular chamada aerótopo ou vesícula de gás, permitindo a movimentação ao longo da coluna d’água para absorver luz e realizar a fotossíntese (MÓNACO, 2008).

A ocorrência de florações de cianobactérias nos corpos d’água utilizados para abastecimento urbano pode representar um sério risco à saúde da população, em razão da capacidade destes organismos produzirem potentes toxinas (CETESB, 2013).

O primeiro relato de intoxicação de animais causada por floração de cianobactérias é de 1878, na Austrália, com a morte de diversos animais. Desde então, os registros de ocorrência de florações em reservatórios utilizados para abastecimento público têm sido frequentes no mundo todo (CETESB, 2013).

Para Bittencourt-Oliveira e Molica (2003) florações são crescimentos maciços e descontrolados da comunidade desse ecossistema. As florações podem ocasionar alterações na qualidade de água do manancial conferindo gosto e odor desagradáveis e problemas nos sistemas de tratamento de água. Devido a esta problemática o monitoramento da qualidade da água deve ser intensificado conforme recomendado pelo Ministério da Saúde (DE JÚLIO, FIORAVANTE, *et al.*, 2010). Representam um sério problema para as estações de tratamento de água, pois podem causar perda de carga dos filtros e alteração no odor e no sabor da água tratada, pela produção de geosmina e o MIB - 2-metilisoborneol que são compostos metabólicos desses organismos (CETESB, 2013).

Para Glibert e Burkholder (2011), muitas florações de cianobactérias potencialmente produtoras de cianotoxinas estão associadas ao aumento da eutrofização, porém, nem todas as espécies respondem igualmente às alterações no ambiente. Vários gêneros

e espécies de cianobactérias que formam florações são citados na literatura como potenciais produtores de toxinas altamente potentes, denominadas cianotoxinas (CETESB, 2013). Ainda segundo a CETESB (2013), o monitoramento das cianobactérias tóxicas e cianotoxinas nos mananciais de água para abastecimento público é imprescindível para identificar os locais com risco potencial.

2.4. Cianotoxinas

As cianotoxinas são substâncias tóxicas produzidas por cianobactérias que causam muitos danos à saúde humana e a vários organismos aquáticos. Estas toxinas podem ser classificadas como: neurotóxicas, hepatotóxicas ou dermatotóxicas (CETESB, 2013):

- neurotoxinas - são compostos alcalóides de ação rápida, produzidos por vários gêneros de cianobactérias, cuja característica é o bloqueio neuromuscular;
- hepatotoxinas - são as causadoras mais comuns de intoxicações, toxinas apresentam ação mais lenta, causando a morte entre poucas horas e poucos dias, em decorrência de hemorragia hepática e choque hipovolêmico.
- lipopolissacarídeos - são componentes da membrana celular das cianobactérias, e são endotoxinas pirogênicas, capazes de produzir irritações na pele e alergias.

De acordo com Oliveira (2005), sob condições normais, apenas uma porção dessas toxinas é liberada pelas células viáveis para a água. Contudo, quando ocorre a lise da célula, seja pelo decaimento natural ou por ação de agentes químicos que promovem a ruptura da célula, a toxina intracelular é liberada para a coluna d'água.

2.5. Análise estatística multivariada e Análise da componente principal

O propósito da análise multivariada é simplificar ou facilitar a interpretação de fenômenos estudados que contenham muitas variáveis, já que quanto maior o número de variáveis, mais complexa torna-se a análise por métodos comuns. A análise multivariada corresponde a um grande número de métodos e técnicas que utilizam, simultaneamente, todas as variáveis na interpretação teórica do conjunto de dados obtidos (NETO, 2004).

Existem vários métodos de análise multivariada, com finalidades bem diversas entre si e são escolhidos de acordo com os objetivos da pesquisa, pois sabe-se que a análise multivariada é uma análise exploratória de dados, prestando-se a gerar hipóteses, e não tecer

confirmações a respeito dos mesmos. Embora, às vezes, possa ser utilizada para confirmação dos eventos (HAIR, *et al*, 2004).

O método escolhido para ser aplicado a este estudo foi o método de Análise da Componente Principal (ACP), que possibilita investigações com um grande número de dados disponíveis e identifica os responsáveis pelas maiores variações entre os resultados, sem perdas significativas de informações, pois transforma um conjunto original de variáveis em outro conjunto de dimensões equivalentes. Esta construção de novas variáveis sintéticas, é obtida pela combinação linear das variáveis iniciais, por meio dos fatores (BOUROCHE, 1982).

O objetivo desse método é a redução do conjunto de dados, principalmente quando os dados são constituídos de um grande número de variáveis inter-relacionadas. O primeiro estágio da ACP é a conversão da matriz $n \times p$ de dados em uma matriz quadrada, onde n é o número de indivíduos e p representa um conjunto de variáveis que é representada pela matriz de variância-covariância Σ , essa definição mostra que os CP, são não correlacionados e possuem variâncias iguais ao autovalor de Σ (JOHNSON & WICHERN, 1992).

Para determinar das componentes principais, é necessário calcular a matriz de variância-covariância (Σ), encontrar os autovalores e os autovetores e, por fim, escrever as combinações lineares, que serão as novas variáveis. O primeiro componente corresponde ao maior eixo da elipse (CP1) e o eixo de menor variância (CP2) é perpendicular ao eixo maior e chama-se segundo componente principal (REGAZZI, 2001).

Como as CPs são ortogonais, é possível examinar as relações entre amostras e variáveis através dos gráficos dos *loadings* e dos escores, cujos eixos são componentes principais nos quais os dados são projetados. O estudo conjunto de *loadings* e escores ainda permite estimar a influência de cada variável em cada amostra (SANTOS, SANTOS, e OLIVEIRA, 2008).

3. METODOLOGIA

3.1. Tipificação do estudo

Conforme Gil (2017), a presente pesquisa pode ser classificada como aplicada, pois busca gerar conhecimentos para emprego prático e dirigido à solução de problemas específicos, com resultados imediatos. Quanto ao método ou abordagem metodológica caracteriza-se como quantitativa, porque emprega medidas padronizadas e sistemáticas, reúne respostas pré-determinadas, viabiliza a comparação e a análise de medidas estatísticas de dados. De acordo com os objetivos, a pesquisa se enquadra como exploratória, aproximando o pesquisador do problema objeto da pesquisa, para permitir a construção de hipóteses ou tornar a questão mais clara, como ocorre no estudo de caso (GIL, 2010).

3.2. Caracterização da área de estudo

O município de Crateús, situado na região do sertão dos Inhamuns, Figura 1, no noroeste do estado do Ceará, a cerca de 350 km de Fortaleza, tem como bioma predominante a caatinga. A sede da cidade é cortada pelo rio Poti, pertencente à Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba, única bacia do estado do Ceará que não deságua no próprio estado.

Figura 1: Localização do município de Crateús – CE.

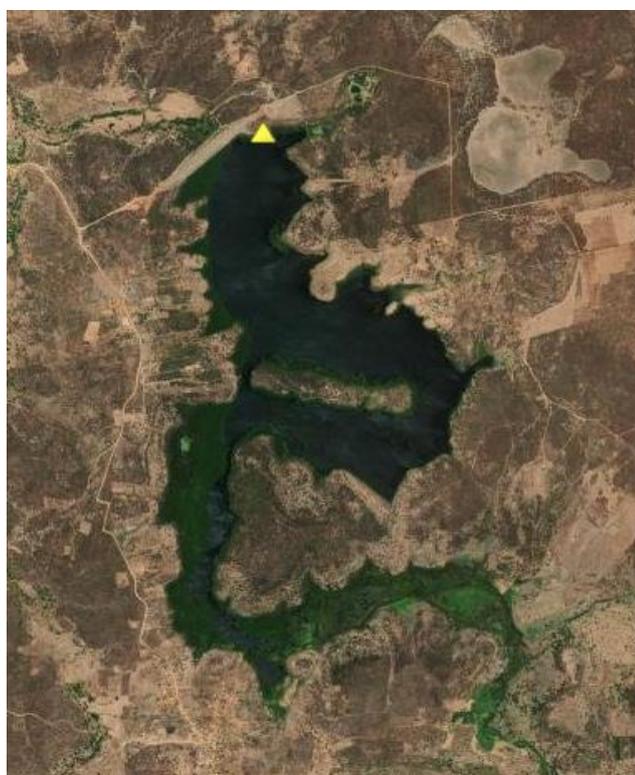


Fonte: Raphael Lorenzeto de Abreu.

O clima de Crateús é tropical quente semiárido com índice pluviométrico de 740 milímetros por ano, com chuvas concentradas de janeiro a maio, de acordo com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), e temperatura média anual de 27°C, com tempo de insolação de aproximadamente 2665 horas anuais.

O Açude Carnaubal, Figura 2, está totalmente inserido no território do município de Crateús, é parte integrante do sistema hidrográfico do rio Parnaíba. A bacia hidrográfica do açude Carnaubal, drena uma área de 2.067,68 Km², e possui como principal afluente o rio Poti (COGERH, 2011).

Figura 2: Contorno do Açude Carnaubal, município de Crateús-CE.



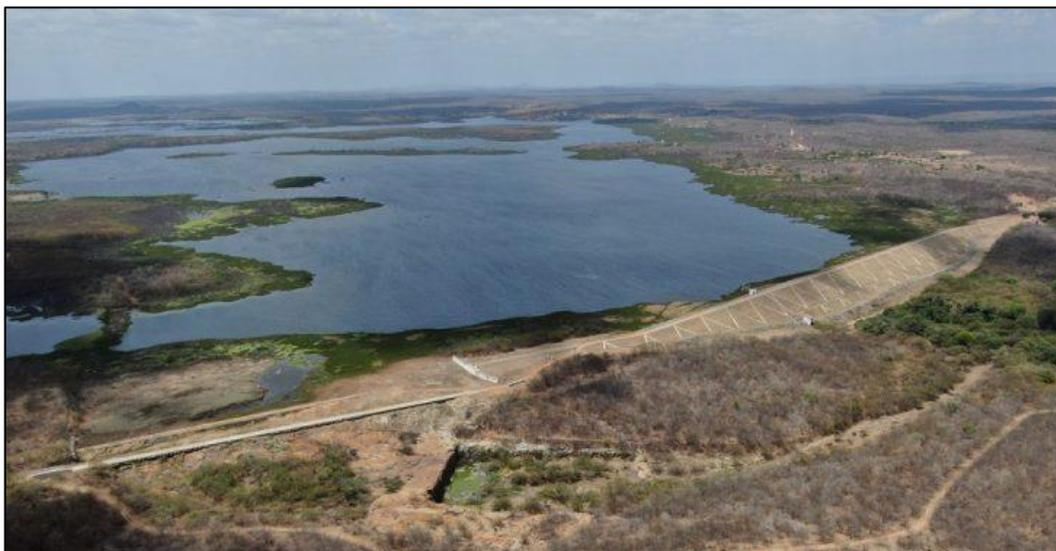
Fonte: FUNCEME. Disponível em: <http://funceme.br/hidro-ce-app/reservatorios/volume>. Acessado em: 14/10/2022.

3.3. Descrição e localização do reservatório em estudo

De acordo com a COGERH (2011), as microbacias que banham o município de Crateús são relativamente pequenas e curtas, pois seus rios e riachos nascem no próprio município desaguando no rio Poti, e todos são intermitentes, secam na estação seca. Os principais reservatórios superficiais são: Açude Carnaubal, Açude Realejo e Açude de Fronteiras, todos monitorados pela Companhia de Gestão e Recursos Hídricos do Estado do

Ceará (COGERH). Dentre os quais, destaca-se o açude Carnaubal ou Grota Grande, como também é conhecido. O açude Carnaubal, Figura 3, foi concluído no ano de 1990 e tem capacidade máxima de acumulação de água de 87,7 milhões de m³ e represa o leito do Riacho do Meio, um afluente do rio Poti, no distrito de Santo Antônio dos Azevedos. Sua construção foi fundamental para minimizar os problemas com falta de água frequentes no município.

Figura 3: Açude Carnaubal, município de Crateús-CE.



Fonte: CARNAUBAL, Danilo Florindo. Tirada em 24/09/2020.

Segundo dados da COGERH (2021), o reservatório tem uma demanda de 120 L/s da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), sendo o abastecimento de Crateús feito totalmente pelo Açude Carnaubal. Além dessa demanda, o açude ainda abastece uma demanda do Sistema Integrado de Saneamento Rural (SISAR) de 2 L/s para abastecimento de comunidades no entorno do reservatório e também de 8 L/s para usos difusos na sua bacia hidráulica, totalizando uma demanda de 130 L/s, sem citar as taxas de evaporação que são altas nesta região. Atualmente o reservatório se encontra com 48% da sua capacidade de armazenamento (COGERH, 2022).

3.4. Fonte da base de dados do estudo

O estudo foi realizado a partir de um banco de dados de qualidade da água bruta fornecidos pela COGERH, presentes no Anexo 1, Tabela 8, através do método de monitoramento convencional utilizado na companhia. Também foram utilizados os dados

hidroclimáticos do INMET, coletados na estação automática de Crateús, código A342, a partir do site (<https://portal.inmet.gov.br/>), que se encontram no Anexo 1, Tabela 9.

O monitoramento, tanto quantitativo, quanto qualitativo, acontece de uma forma descentralizada através das gerências regionais localizadas em todo o estado do Ceará (COGERH, 2018), no caso, os dados utilizados foram da agência da companhia situada na cidade de Crateús.

Conforme GGERH (2018), o programa de monitoramento de recursos hídricos é realizado através do Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA), no estado do Ceará teve início em 2016, e em 2017 a Rede de Monitoramento da Qualidade da Água (RMQA) realizou campanhas trimestrais (fevereiro, maio, agosto e novembro) nos açudes geridos pela companhia, as informações de qualidade de água obtidas em campo foram medidas com sonda multiparâmetro da YSI, modelos 6600-V2 e EXO-01, e as amostragens para análise foram coletadas a 0,3 m da superfície.

O estudo contemplou vinte e oito parâmetros, a partir dos dados obtidos com as análises do monitoramento da qualidade da água do reservatório Carnaubal, no período de quatro anos, do ano 2018 até o ano de 2021.

3.5. Procedimentos metodológicos

Para melhor compreensão dos resultados foram utilizados neste trabalho ferramentas matemáticas como Análise Estatística de Multivariadas, Análise de Componentes Principais, Índice de Estado Trófico e Razão N/P para obter o Índice de Qualidade da Água e os níveis de trofia e como se relacionam com as florações de cianobactérias no reservatório.

3.5.1. Variáveis abordadas no estudo

As variáveis físicas analisadas nesse estudo foram: temperatura da água, cor verdadeira, turbidez, sólidos totais, sólidos totais dissolvidos e transparência. As variáveis químicas foram: potencial hidrogeniônico, demanda bioquímica de oxigênio, alcalinidade por bicarbonato, cloretos, sulfatos, nitrogênio total, ortofosfatos, sódio total, magnésio total, potássio total, cálcio total, ferro total, fósforo total, condutividade específica e oxigênio dissolvido. As variáveis biológicas aplicadas ao estudo foram: densidade de cianobactérias e clorofila-a. E as variáveis hidroclimáticas foram: pluviometria, radiação, velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar.

As variáveis físicas, químicas, biológicas e hidroclimáticas do reservatório foram averiguadas a partir de uma análise exploratória dos dados brutos utilizando medidas de tendência central (média) e de posição (desvio padrão e coeficiente de variação) de modo a permitir uma base de dados com sentido e adequação aos objetivos e às hipóteses da investigação pretendida.

3.5.2. *Abordagem estatística dos dados*

Testes estatísticos e análise multivariada de dados foram utilizadas para detectar possíveis padrões entre as variáveis, que foram realizadas pelo *software* PAleontological STatistics – PAST versão 4.11 e Excel.

Nos dados obtidos do período de 2018 a 2021, foi verificado a presença de dados *outliers*, que são caracterizados pelo distanciamento aberrante de um dado em relação aos demais, para isso utilizou-se o gráfico *Box plot* através do programa computacional PAST, estes foram excluídos e preenchidos com a mediana correspondente a cada parâmetro, para eliminar qualquer falha na leitura dos dados pelos *softwares* utilizados para análise. Em seguida, os dados foram divididos em períodos seco e chuvoso.

Para verificar a normalidade dos dados, aplicou-se o teste de Shapiro-Wilk, sendo que os valores de *p-value* > 0,05 indicam que os dados possuem uma distribuição normal. O método de Shapiro-Wilk calcula uma estatística *W* relacionada com a probabilidade de a amostra trabalhada possuir uma distribuição normal (XAVIER, 2014).

Como são vinte e oito variáveis que apresentam unidades de medidas diferentes, foi necessário padronizá-las a unidade adimensional, para isso utilizou-se o escore padrão, denominado escore-z, calculado pela equação 1, adequando esses valores para aplicar os testes subsequentes.

$$Escore - Z = \frac{\text{Concentração da variável} - \bar{x}}{\sigma} \quad (1)$$

Em que:

Escore-Z: Escore padrão de cada variável;

\bar{x} : Média aritmética da variável;

σ : Desvio-padrão amostral da variável.

Para uma população com dados amostrais com distribuição normal ou paramétrica, utiliza-se o teste ANOVA (*Analysis of Variance*). 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. O teste de Kruskal-Wallis é análogo ao ANOVA, uma vez que ele não implica em nenhuma restrição sobre comparação (SILVA E BOGONI, 2015).

O teste de Kruskal-Wallis é utilizado na comparação de três ou mais amostras independentes. Ele nos indica se há diferença entre pelo menos dois deles, a hipótese é rejeitada se o valor de *p-value* é inferior a 0,05 (5% de significância), não há evidência de dominância estocástica entre as amostras (VILELA JUNIOR, 2003).

Caso os dados sejam não paramétricos, com relações não lineares, utiliza-se para a análise o coeficiente de Spearman (*r_S*), que descreve a relação entre as variáveis através de uma função monotética, o *r_S* avalia se quando o valor de uma variável aumenta ou diminui, o valor da outra variável também aumenta ou diminui. Para interpretarmos esta relação, o coeficiente da correlação de Spearman gera um número que varia de -1 a +1. Quanto mais próximo dos extremos (-1 ou 1), maior é a força da correlação e os valores próximos de 0 indicam correlações mais fracas ou inexistentes, conforme apresentado em (SIEGEL, 1975).

3.5.3. Análise da componente principal (ACP)

Verificou-se 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). Para isso aplicou-se o teste de esfericidade de Bartlett, junto com o teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO).

O resultado do teste de Bartlett 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).

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).

O KMO foi usado por Pereira (2014) para modelar índices de qualidade de água por ACP, usando faixas de variação para aplicação, Tabela 1.

Tabela 1: 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).

A partir dos testes realizados teremos a Análise da Componente Principal (ACP) é um método baseado na matriz de covariância ou na matriz de correlação, visa a redução, eliminação de sobreposições e escolha dos parâmetros mais representativos de dados, através de combinações lineares das variáveis originais.

Qualquer matriz simétrica real, tem autovalores reais, λ_k ($k=1, \dots, p$) – onde λ é o autovalor correspondente da matriz de covariância – e seus autovetores correspondentes podem ser definidos para formar um conjunto de vetores de coeficientes usada para mostrar que o conjunto completo de autovetores para obter novas combinações lineares. Estas são chamadas de componentes principais, que tem 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).

Para os resultados foram utilizados os gráficos de dispersão dos tratamentos em função dos escores dos componentes principais em espaço bi ou tridimensional.

3.5.4. Razão N/P e Índice de Estado Trófico

A partir dos dados de qualidade da água obtidos pela COGERH, foi determinado o nutriente limitante do reservatório de acordo com os períodos do ano (seco e chuvoso). De acordo com Von Sperling (2005), o agente limitante de um determinado ambiente é aquele que limita o crescimento de uma determinada população, ou seja, em baixas concentrações do nutriente limitante, o crescimento populacional apresenta-se baixo e vice-versa. As concentrações totais de nitrogênio e fósforo devem ser divididas pelas suas respectivas massas atômicas (14,007 e 30,974), sendo depois realizada a razão de N e P.

Através desses dados, também foi determinado o Índice de Estado Trófico de Lamparelli (IET_{Lamp}), equação 4, que foi calculado baseado em concentrações de fósforo total e clorofila-*a* pelas equações 2 e 3, em unidades de $\mu\text{g/L}$.

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

$$IET (PT) = 10 \left\{ 6 - \left[1,17 - 0,42 \left(\frac{\ln(PT)}{\ln(2)} \right) \right] \right\} \quad (3)$$

$$IET_{Lamp} = \frac{IET (Clo - a) + IET (PT)}{2} \quad (4)$$

Em que:

PT: 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.

A partir do cálculo o Índice de Estado Trófico (IET) de Lamparelli (2004), pela equação 4, classificou-se o reservatório de Carnaubal, segundo sua categoria de estado trofia a partir das ponderações apresentadas na tabela 2, e suas características.

Tabela 2: Ponderação Índice de Estado Trófico.

Categoria de ET	Ponderação
Ultraoligotrófico	$IET \leq 47$
Oligotrófico	$47 < IET \leq 52$
Mesotrófico	$52 < IET \leq 59$
Eutrófico	$59 < IET \leq 63$
Supereutrófico	$63 < IET \leq 67$
Hipereutrófico	$67 < IET$

Fonte: Lamparelli (2004).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Estatística descritiva

O teste de normalidade Shapiro-Wilk indicou que os dados são não paramétricos e dos vinte e oito parâmetros estudados, cinco deles tem valor de $p < 0,05$, que são: sulfatos, demanda bioquímica de oxigênio, ferro total, fósforo total e ortofosfato.

O resultado do cálculo da aplicação do escore-z para os vinte e oito parâmetros consta no Anexo 2, Tabela 10. Em seguida aplicou-se o coeficiente de Spearman (rS), seu resultado está disponível no Anexo 2, Tabela 11, para a análises das correlações entre as variáveis.

Dos vinte e oito parâmetros restaram apenas seis, que são: nitrogênio, sódio, potássio, sólidos dissolvidos totais, contagem de cianobactérias e precipitação. Destes contagem de cianobactérias possuía *outlier* no semestre de 2021.1 que foi substituído pela mediana. Os dados escolhidos estão na tabela 2, adequados às para os testes subsequentes.

Tabela 3: Dados selecionados para o estudo, com aplicação do escore-z.

Semestre	Nitrogênio	Sódio	Sól. Dissolv.	Cont. Cianob.	Precipitação	Potássio
2018.1	2,174	-1,464	-1,849	-1,219	0,891	-1,554
2018.2	0,605	-1,200	-0,933	-0,902	-0,703	-0,680
2019.1	-0,206	-0,717	-0,323	-0,539	0,386	0,398
2019.2	-0,369	0,119	0,613	1,144	-1,104	-0,388
2020.1	-0,206	0,470	0,654	-0,772	1,680	0,194
2020.2	-0,693	0,822	0,308	1,263	-0,982	0,194
2021.1	-1,072	0,822	0,247	0,075	0,436	-0,097
2021.2	-0,233	1,147	1,284	0,951	-0,605	1,931

Fonte: Autora (2022).

Após a exclusão de fatores não significativos para a análise, aplicou-se novamente coeficiente de Spearman (rS) nas variáveis selecionadas, cujos resultados estão presentes na Tabela 4, mostrando os níveis de correlação entre elas.

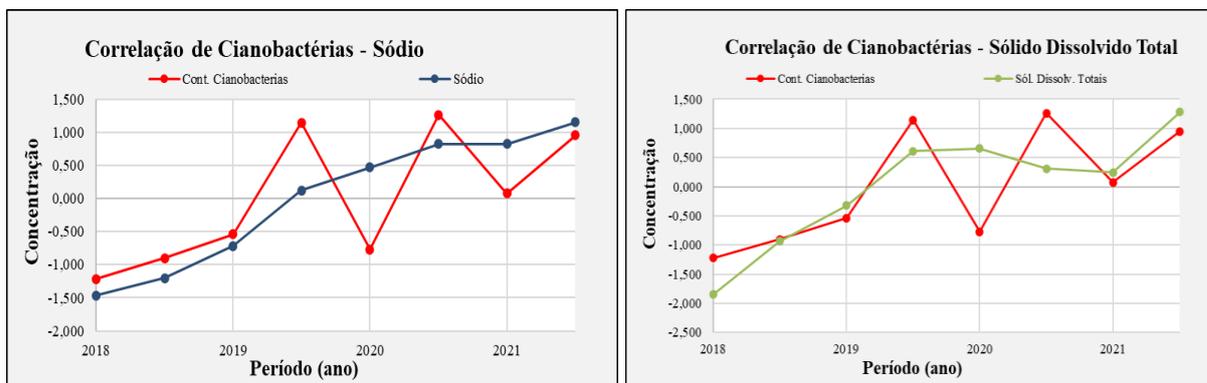
Tabela 4: Matriz de correlação de Spearman (rS) para as variáveis selecionadas.

Spearman rS	Nitrogênio	Sódio	Sól. Dissolv.	Cont. Cianob.	Precipitação	Potássio
Nitrogênio	1,00					
Sódio	-0,78	1,00				
Sól. Dissolv.	-0,50	0,80	1,00			
Cont. Cianob.	-0,85	0,73	0,62	1,00		
Precipitação	0,37	-0,14	-0,14	-0,67	1,00	
Potássio	-0,37	0,71	0,67	0,49	0,00	1,00

Fonte: Autora (2022).

Ainda na Tabela 4, nota-se que, durante o período de 2018 a 2021 no reservatório de Carnaubal, a correlação entre contagem de cianobactérias e potássio foi de baixa a moderada e positiva ($rS = 0,49$). Houveram também correlações fortes e positivas de contagem de cianobactérias com Sódio ($rS = 0,73$), isso pode ser devido ao bom desenvolvimento que esses organismos mantêm na presença de salinidade, ainda que esse fator seja limitante ao seu desenvolvimento em grandes concentrações. E com sólidos dissolvidos totais ($rS = 0,62$), que aumentam quando as cianobactérias também aumentam, pois estas ficam postas na coluna d'água aferindo assim o aumento de sólidos dissolvidos totais. Estas correlações estão detalhadas na Figura 4.

Figura 4: Correlações com coeficientes de Spearman (rS) positivas.



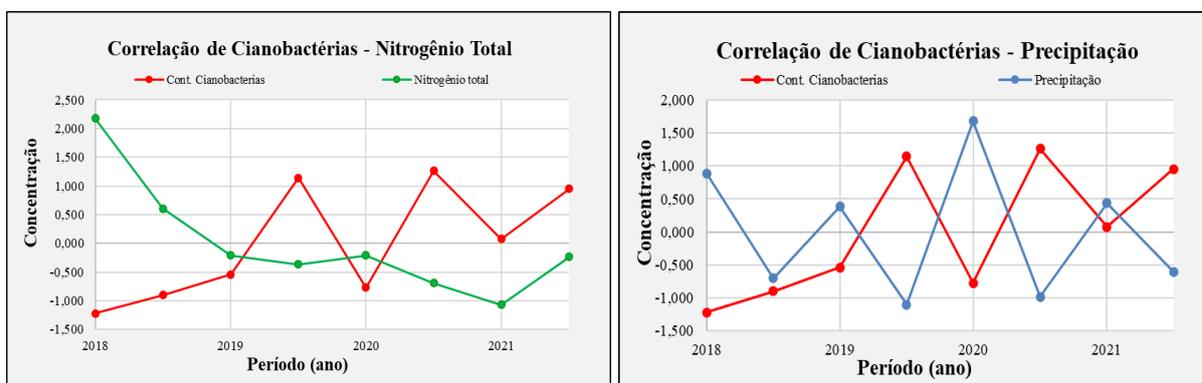
Fonte: Autora (2022).

Ao observar a Figura 4, pode ser visto que os parâmetros crescem no mesmo sentido, quando um aumenta o outro também aumenta, mostrando a correlação positiva. Como

estas relações apesar de serem fortes, ainda há algumas divergências em um ponto específico do gráfico, em 2020.1, onde a contagem de cianobactérias foi baixa e os parâmetro sódio e sólidos dissolvidos totais permanecem em alta, que coincide com o período de maior precipitação ao longo do estudo.

Ainda observando a Tabela 4, consta que houveram correlações fortes e negativas com nitrogênio total ($r_s = -0,85$) e a com precipitação ($r_s = -0,67$) de acordo com o coeficiente de Spearman (r_s). Para melhor análise, tem-se os gráficos presentes na Figura 5.

Figura 5: Correlações com coeficientes de Spearman (r_s) negativas.



Fonte: Autora (2022).

Como mostra a Figura 5, os parâmetros crescem e decrescem em sentido oposto, quando um cresce o outro diminui. Ainda na Figura 5, é possível perceber a sazonalidade das florações, com picos de concentração nos períodos secos (julho a dezembro) e diminuindo nos períodos chuvosos (janeiro a junho). Isso acontece pela diluição de cianobactérias com a entrada de novas chuvas, ou seja, diminui a sua concentração com o aumento da precipitação. O nitrogênio é um dos nutrientes necessários para o desenvolvimento das cianobactérias e diminui quando a população de cianobactérias aumenta, provavelmente devido ao maior consumo.

Em seguida fez-se o Teste de Kruskal-Wallis. O resultado está presente na Figura 6, e afirma que “Não há diferença significativa entre as médias das amostras”.

Figura 6: Resultado do teste de Kruskal-Wallis.

Kruskal-Wallis test for equal medians	
H (chi2):	0,1327
Hc (tie corrected):	0,1327
p (same):	0,9997
There is no significant difference between sample medians	

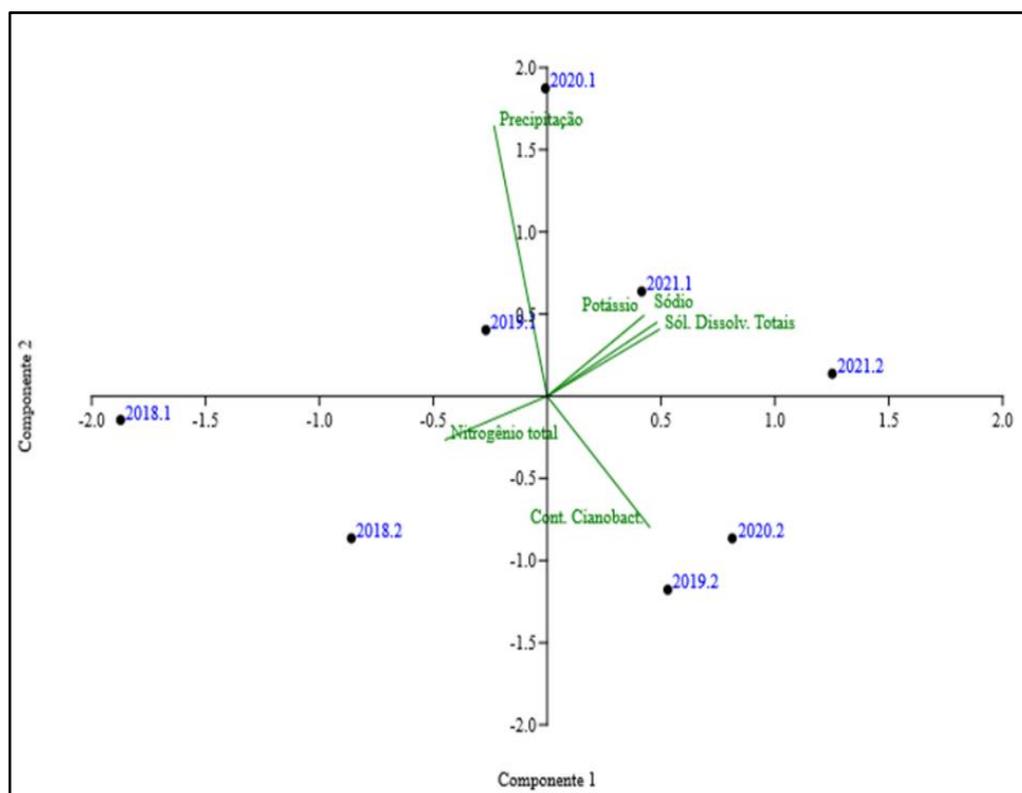
Fonte: Autora (2022).

4.2. Análise da Componente Principal (ACP)

Com o intuito de obter uma análise fatorial adequada da amostra, realizou-se mais um teste, o Teste de esfericidade de Bartlett, cujo resultado aferido no teste de esfericidade foi positivo, com $p = 0,02$ e possuindo um KMO igual a 0,67, o que mostra a aplicabilidade da análise estatística multivariada por componentes principais (ACP) que afirma como “Regular”, de acordo com Pereira (2014).

A partir dos critérios de Kaiser (1958), as componentes principais serão consideradas apenas se os autovalores forem maiores ou iguais a 1 ($\lambda_1 \geq 1,0$). A componente principal 1 teve o autovalor igual a ($\lambda = 4,11$) e explica 68,55% da variância total, já a componente principal 2 teve o autovalor igual a ($\lambda = 1,14$) e variância de 18,96 %, gerando uma variância acumulativa de 87,51%. A Figura 7 mostra a análise de componentes principais do açúcar Carnaubal, de acordo com as variáveis selecionadas.

Figura 7: Análise das CPs do açúcar Carnaubal no período de 2018 a 2021.



Fonte: Autora (2022).

Os pesos de ponderação das componentes principais indicam as variáveis mais relevantes para a análise. Neste caso as variáveis mais relevantes foram sólidos dissolvidos totais (0,467), sódio (0,456) e contagem de cianobactérias (0,427).

Verifica-se que no eixo da componente 1, os sólidos dissolvidos totais, sódio e potássio crescem na medida que a concentração de nitrogênio total diminui. E a contagem de cianobactérias aumentam, enquanto o nitrogênio total diminui. Acrescenta-se que o nitrogênio total é o nutriente limitante no reservatório, em relação ao fósforo total, de acordo com o cálculo da razão N/P realizado nesse estudo, indicando que os nutrientes se depositam mais pelo arraste de sedimentos dos processos erosivos e substrato de possíveis áreas irrigadas provocados pelas chuvas, do que com esgoto doméstico.

Para Beló (2015) estudando a comparação de floração de cianobactérias e níveis de parâmetros físicos, químicos e biológicos na represa de Alagados, Ponta Grossa – PR, conclui que os compostos nitrogenados geralmente estão associados a ações antrópicas e que setores agrícola e agropecuário devem tomar precauções, pois o mesmo se encontra presente tanto nos dejetos animais como na formulação da maioria dos fertilizantes.

No uso do solo para agricultura e pecuária explora áreas próximas a rios e lagos, promovendo o desmatamento de bacias hidrográficas, processos erosivos, lixiviação de nutrientes, empobrecimento das pastagens nativas e redução de reservas de água; o uso indiscriminado de pesticidas e fertilizantes, ocasionando a eutrofização (REBOUÇAS, BRAGA e TUNDISI, 2006).

No eixo da componente 2, as concentrações de cianobactérias e nitrogênio reduzem a partir do aumento das precipitações. Durante o período chuvoso a concentração de cianobactérias diminuiu e a concentração de nitrogênio total também teve uma redução, isso podem ter acontecido devido a diluição do nutriente a partir do aumento da precipitação. Enquanto que as concentrações de potássio e sódio e sólidos dissolvidos totais, aumentam com as precipitações.

O regime de chuvas pode alterar a qualidade da água, pois dependendo da precipitação, pode ocorrer transporte de material carregado pelas águas precipitadas, através do escoamento superficial, para os corpos d'água, alterando as concentrações de compostos químicos presentes na coluna d'água (BELÓ, 2015).

A entrada de águas das chuvas pode ter gerado um aumento de compostos como sódio e potássio, o potássio é um nutriente muito utilizado na agricultura, que também pode estar atrelada a sedimentos erodidos e da decomposição química de suas fontes de origem

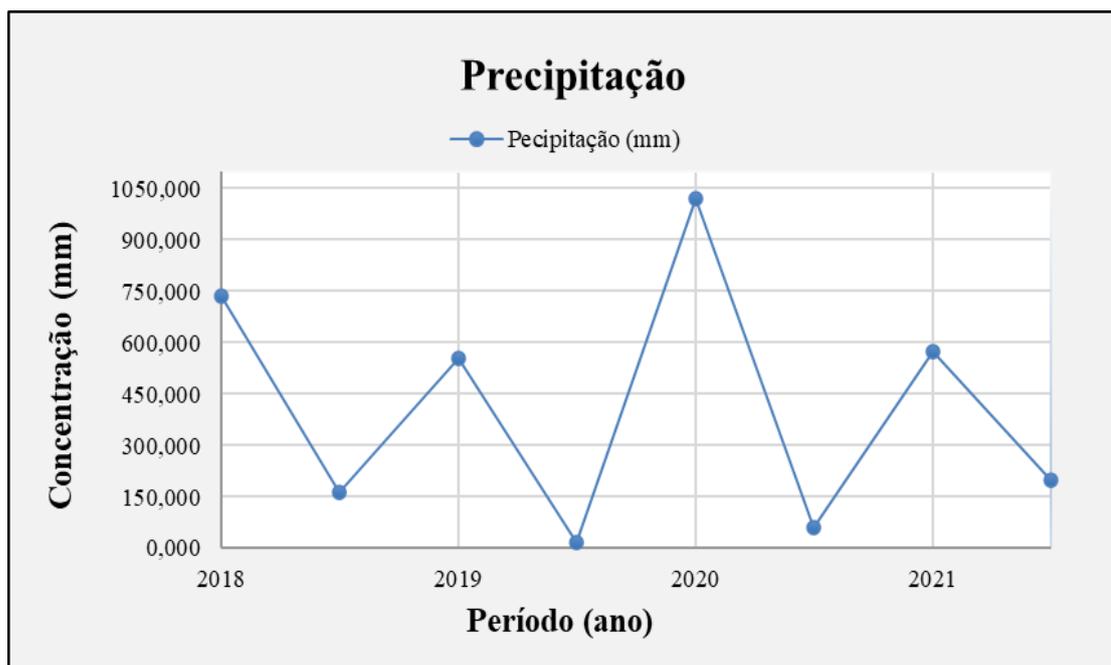
(FARIAS E MARTINS FILHO, 2013). E com a entrada destes sedimentos aumentam também os sólidos dissolvidos na coluna d'água.

4.3. Precipitação

Analisando o somatório das precipitações semestrais que ocorreram no reservatório Carnaubal em Crateús, no período de 2018.1 a 2021.2, é possível constatar que as maiores precipitações semestrais ocorreram durante os primeiros semestres de cada ano, denominado como período chuvoso e as baixas precipitações foram do período seco, tal como o esperado.

Conforme a Figura 8, apenas em 2020.1 ocorreu uma precipitação superior a 1000 mm, maior acúmulo, e em 2019.2, foi inferior a 20 mm, menor acúmulo.

Figura 8: Precipitação pluviométrica na área do reservatório Carnaubal.



Fonte: Autora (2022).

Para Ferreira e Oliveira (2021) após a quadra chuvosa no semiárido, há uma redução considerável do nível de chuvas, com precipitações pontuais e de pouca intensidade que ocorrem no segundo semestre do ano. Isso pode ser aferido na Figura 8. Isso pode ocasionar na diminuição da qualidade da água, devido a maior concentração dos compostos químicos presentes na coluna d'água, provocadas pela alta evaporação e altas temperaturas e retirada de água para abastecimento público.

Por isso o índice pluviométrico tem papel importante no estudo da eutrofização, visto que pode influenciar tanto o aumento quanto a redução de nutrientes envolvidos no processo (SOSNOVSKY e QUIRÓS, 2006).

4.4. Razão Nitrogênio (N) e fósforo (P)

A razão N/P foi utilizada para correlacionar nitrogênio total e o fósforo total, ela indica o nutriente limitante no reservatório, é feita usando a ponderação da Tabela 4.

Tabela 5: Ponderação para razão N/P.

RAZÃO N/P	
N/P > 50	P Limitante
20 < N/P < 50	Colimitantes
N/P < 20	N Limitante

Fonte: Autora (2022).

Os resultados do cálculo das razões estão presentes na Tabela 5, e mostram que apenas no semestre 2018.1 o fósforo foi o nutriente limitante, haja visto que no referido semestre, aferiu-se a existência e remoção do *outlier* de fósforo, como grande discrepância dos demais dados amostrais. Verificou-se que o nitrogênio foi o agente limitante nos semestres de 2018.2 e 2020.1, nos demais períodos estudados mostrou-se como colimitantes entre os nutrientes, apresentou esse comportamento no maior número de amostras. A partir dos dados de fósforo total em µg/L pode se obter o Índice de Qualidade da Água (IQA).

Tabela 6: Relação Nitrogênio e Fósforo.

Semestre	Fósforo	Nitrogênio	N/P Molar L1	Classificação	IQA
2018.1	0,050	1,700	75,186	P Limitante	Médio
2018.2	0,160	1,120	15,479	N Limitante	Muito Pobre
2019.1	0,070	0,815	25,746	Colimitantes	Pobre
2019.2	0,050	0,760	33,613	Colimitantes	Médio
2020.1	0,330	0,820	5,495	N Limitante	Muito Pobre
2020.2	0,030	0,640	47,176	Colimitantes	Bom
2021.1	0,035	0,500	31,591	Colimitantes	Bom
2021.2	0,050	0,810	35,824	Colimitantes	Médio

Fonte: Autora (2022).

Os valores N:P para os anos de 2018 a 2021 não possuem homogeneidade, mas ainda assim o nitrogênio apresenta-se mais vezes como nutriente limitante. Isso indica que a carga de nutriente trazida pelas chuvas a partir dos sedimentos é superior à de matéria orgânica, fazendo com que haja mais fósforo que nitrogênio no meio. O nitrogênio presente pode ser de origem natural, decomposição de organismos mortos, ou antrópico, fertilizantes da agricultura.

4.5. Índice de Estado Trófico – IET

Os resultados do IET_{Lamp} do reservatório estão presentes na Tabela 7, é visto que nas campanhas realizadas de 2018.1 a 2019.2 e em 2021.2 na categoria de supereutrófico, na campanha seguinte 2020.1 houve um aumento no estado de trofia e se classificou como hipereutrófico e nos períodos subsequentes 2020.2 e 2021.1 se configurou como eutrófico.

Tabela 7: Índice de Estado Trófico – IET.

Semestre	Clorofila-A (µg/L)	Fósforo (µg/L)	IET Lamp.	Classificação IET
2018.1	10,560	50,000	64,183	Supereutrófico
2018.2	4,005	159,000	65,310	Supereutrófico
2019.1	14,770	70,000	66,025	Supereutrófico
2019.2	11,050	51,000	64,354	Supereutrófico
2020.1	15,710	334,000	70,911	Hipereutrófico
2020.2	6,990	33,000	61,912	Eutrófico
2021.1	9,515	35,000	62,847	Eutrófico
2021.2	15,180	47,000	64,886	Supereutrófico

Fonte: Autora (2022).

De acordo com Lamparelli (2004), o reservatório apresentou-se grande durante o período do estudo, de 2018.1 a 2021.2, classificou-se como supereutrófico, que são corpos d'água com alta produtividade em relação às condições naturais, de baixa transparência, em geral afetados por atividades antrópicas, com frequentes alterações na qualidade da água, como a ocorrência de episódios florações de algas, queda na concentração de oxigênio dissolvido e interferências nos seus múltiplos usos.

Isso indica que mesmo com grandes precipitações e o açude atingindo seu nível máximo de cota hídrica, ainda assim possuem altos índices de trofia. Isso pode ser indício de que haja interferência antrópicas, tais como: áreas irrigadas, carreamento de nutrientes por

escoamento superficial durante a quadra chuvosa e captação de grandes volumes de água para abastecimento público, pois como já mencionado anteriormente este reservatório é responsável pelo abastecimento da cidade de Crateús e também atende algumas demandas do SISAR.

5. CONCLUSÃO

A partir da análise estatística multivariada de componente principal empregadas neste estudo, pode-se aferir que o parâmetro nitrogênio total, sólidos dissolvidos totais e precipitação foram os fatores que apresentaram maiores impactos nas correlações com as florações das cianobactérias no reservatório. Mesmo essas correlações sendo negativas, que é uma relação inversamente proporcional, implica em dizer que a contagem de cianobactérias diminuía durante o período chuvoso e o contrário também pode ser observado no período seco.

Os parâmetros sódio e sólidos dissolvidos totais, aumentam com o crescimento da população de cianobactérias, mostrando a relação proporcional entre eles. Haja visto que com o aumento de organismo, aumento as partículas suspensas na coluna d'água. De forma inesperada a clorofila-a não foi um parâmetro importante para as florações de cianobactérias, pois se mostrou com correlação nula.

Tendo em vista as classificações alcançadas para o manancial neste estudo, conclui-se que há interferência humana no reservatório analisado e isto pode ter acentuado as florações das cianobactérias. Os nutrientes fósforo total e nitrogênio total mantiveram altas concentrações e rápida reciclagem no reservatório, e estiveram quase todo o período estudado sendo colimitantes no crescimento e desenvolvimento da população algal. Mesmo que o nitrogênio tenha se mostrado o nutriente limitante por mais períodos.

O manancial classificou-se a maior parte do tempo como supereutrófico, apontando a grande oferta de nutriente e massa algal, que interfere na qualidade da água e traz prejuízos econômicos e a saúde da população. Com tudo, a população também é importante e essencial para a manutenção dos ecossistemas, em especial, o aquático. Neste contexto, medidas como o uso racional da água, redução na produção agrícola nas margens do reservatório e cobrança dos representantes para elaborar soluções eficientes para minimizar o impacto ambiental, podem auxiliar na manutenção da qualidade da água do reservatório, que é usado para abastecer a população de Crateús.

Esse tipo de estudo é necessário e de grande contribuição para o conhecimento dos fatores que estão interferindo na proliferação das cianobactérias, no reservatório Carnaubal, já que este é o manancial utilizado pela CAGECE para o abastecimento hídrico nos municípios de Crateús, e estas florações estão diretamente ligadas a qualidade da água fornecida a população.

Além da elucidação dos processos naturais e antrópicos que possam estar relacionados ao evento. Podendo ser feito planos de gerenciamento de recursos hídricos mais certos utilizando os resultados dessa pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

ANA - **Indicadores de qualidade - Índice do estado trófico (IET)**. Brasília, [200-a]. Disponível em: <http://portalpnqa.ana.gov.br/indicadores-estado-trofico.aspx>; Acesso em: 05 julho 2022.

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.

AZEVEDO, S. M. F. O.; VASCONCELOS, V. **Toxinas de cianobactérias: causas e consequências para a saúde pública**. Medicina online, v. 3, n. 1, p. 1-19, 1998.

BAPTISTA, J. G. (1986). **Mapas Geohistóricos**. [S.l.]: Projeto Petrônio Portella. 180 pág.

BELÓ, A. **Comparação de floração de cianobactérias e níveis de parâmetros físicos, químicos e biológicos na represa de Alagados, Ponta Grossa - PR/** Andressa Beló. – Curitiba, 2015. 168 f.: il. color.; 30 cm.

BITTENCOURT-OLIVEIRA, M. C.; MÓLICA, R. **Cianobactéria invasora**. Revista Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento, v.30 (Jan-Jun), p.82-90, 2003.

BOUROCHE, J. M.; SAPORTA, G. **Análise de dados**. Rio de Janeiro: Zahar, 1982.

BRASIL. **Conselho Nacional de Meio Ambiente**. Resolução nº. 357, de 17 de março de 2005.

CAVALIER-SMITH, T. **As origens dos plastídios**. Biological Journal of the Linnean Society, v. 17, n. 3, pág. 289-306, 1982.

CETESB (São Paulo). **Manual de cianobactérias planctônicas: legislação, orientações para o monitoramento e aspectos ambientais**. CETESB; Maria do Carmo Carvalho ... [et al.]. -- São Paulo: CETESB, 2013. 47 p.: il. color.; 14 x 21cm. -- (Série Manuais, ISSN 0103-2623).

CHEN, P. Y.; POPOVICH, P. M. **Correlation: parametric and nonparametric measures**. London: Sage, 2002. 95p.

CIRILO, J. A. **Crise hídrica: desafios e superação**. Revista USP, n. 106, p. 45-58, 2015.

COGERH. **Anuário do Monitoramento Qualitativo dos Principais Açudes do Estado do Ceará 2017**. Fortaleza: Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), 2018. 243 p. il.

COGERH. **Atlas dos Recursos Hídricos do Ceará**. Disponível em: <http://atlas.cogerh.com.br>. Acesso em: 06 de julho de 2022.

COGERH. **Sertões de Crateús: Comissão Gestora discute vazões aprovadas para o Açude Carnaubal**. Disponível em: <https://portal.cogerh.com.br/serto-es-de-crateus-comissao-gestora-discute-vazao-aprovada-pelo-cbhsc-na-alocacao-do-acude-carnaubal>. Acesso em: 06 de julho de 2022.

COSTELLOE, J. F.; POWLING, J.; REID, J. R. W.; SHIEL, R. J.; HUDSON, P. **Diversidade de algas e assembleias em rios da zona árida da Bacia do Lago Eyre, Austrália**. River Research and Applications, v. 21, n. 2-3, pág. 337-349, 2005.

DE JULIO, M. *et al.* **Remoção de cianobactérias e saxitoxinas de água de manancial brasileiro eutrofizado**. Ingeniería del agua, v. 17, n. 2, pág. 137-153, 2010.

DE SOUZA BEGHELLI, F. G. *et al.* **Evolução do estado trófico ao longo de 15 anos em um reservatório tropical com baixas concentrações de nitrogênio e predominância de cianobactérias**. Poluição da Água, do Ar e do Solo, v. 227, n. 3, pág. 1-15, 2016.

ESTEVES, F. A. (2011). **Fundamentos de Limnologia**. Rio de Janeiro 2011, Interciência. 826p.

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.

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, 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

FILHO, J. (2013). **Nas Águas do Rio Poti**. Teresina - Crateús - Fortaleza - Brasília: Editora Brasil. pp. 47-51.

FRANÇA, L. C. J. **Mapa de localização da Bacia do Parnaíba.** Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Mapa-de-localizacao-da-Bacia-do-Parnaiba-Piaui-com-hidrografia-ocorrente_fig21_324213862 Acesso: 06 de julho de 2022.

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.

FUNASA. **Cianobactérias tóxicas na água para consumo humano na saúde pública e processos de remoção em água para consumo humano,** Brasília, 2003.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 6. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

GLIBERT, P. M.; BURKHOLDER, J. M. Floração de algas nocivas e eutrofização: “estratégias” para absorção de nutrientes e crescimento fora da zona de conforto de Redfield. **Revista Chinesa de Oceanologia e Limnologia**, v. 29, n. 4, pág. 724-738, 2011.

GUIMARÃES, A. J. A.; CARVALHO, D. F. de; SILVA, L. D. B. da. **Saneamento básico.** Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Capit%204%20parte%202.pdf>. Acesso em: 15 de junho de 2022.

HAIDER, S. *et al.* **RETIRADO: Toxinas cianobacterianas: uma crescente preocupação ambiental.** *Chemosphere*, v. 52, n. 1, pág. 1-21, 2003.

HAIR, J. F.; ANDERSON, et al. **Análise multivariada de dados.** 5. ed. Porto Alegre, 2005.

INMT. **Normais Climatológicas do Brasil.** Instituto Nacional de Meteorologia. Consultado em 05 de julho de 2022.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied multivariate statistical analysis.** 3. ed. New Jersey: Prentice-Hall, 1992.

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.

MACEDO, A.; MOLINA, A. J. **Controle da floração de cianobactérias e a redução de incidências de gosto e odor na água tratada do Sistema Produtor Alto Tietê.** Sistema de

Abastecimento de Água do Estado de São Paulo – SABESP. Divisão de Recursos Hídricos Metropolitanos Leste – MARL, São Paulo – SP, 2008.

MARGALEF, R. **Limnologia**. Ediciones Omega, Barcelona 1983, 1010p.

MELCHER, S. S. **Estudos morfológicos e moleculares de cianobactérias potencialmente tóxicas dos gêneros *Cylindrospermopsis*, *Aphanizomenon* e *Raphidiopsis* (Nostocales)**. São Paulo, 2008. 204 p. Il, 2007.

MÓNACO L. **Cianobactérias - Algas Azuis**. La Atmósfera, Geoquímica, 2008. Disponível em: <http://www.aquahobby.com/cgi-sys/defaultwebpage.cgi>. Acesso em: 19 de junho de 2022.

MOTTER, A. F. C.; FOLETO, E. M. **Um olhar sobre a gestão dos recursos hídricos: o caso do comitê de gerenciamento da bacia hidrográfica dos rios Santa Rosa, Santo Cristo e Turvo - Noroeste do Rio Grande do Sul**. Perspectiva, Erechim, v. 34, n.126, p.143-155, 2010.

NETO, M. M. J. **Estatística multivariada**. *Revista de Filosofia e Ensino*. Disponível em: http://www.criticanarede.com/cien_estatistica.html. Acesso em: 9 maio 2022.

OLIVEIRA, J. M. B. **Remoção de *Cylindrospermopsis raciborskii* por meio de Sedimentação e Flotação: Avaliação em Escala de Bancada**. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DT085/05, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2005, 122p.

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.

POMPONET, A.S. **100 anos de DNOCS: marchas e contramarchas da convivência com as secas**. *Conj. & Planej.*, Salvador, n.162, p.58-65, jan./mar. 2009.

PORTARIA GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021, Ministério da Saúde/Gabinete do Ministro, Publicado em: 07/05/2021 | Edição: 85 | Seção: 1 | Página: 127. Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 04 de julho de 2022.

REGAZZI, A. J. INF 766 - Análise multivariada. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Departamento de Informática, 2001. 166p. Apostila de disciplina.

RIBEIRO, J. W.; ROOKE, J. M. S.: **Saneamento Básico e sua relação com o Meio Ambiente e a Saúde Pública**. Disponível em: <https://www.ufjf.br/analiseambiental/files/2009/11/TCC-SaneamentoSa%C3%BAde.pdf>. Acesso em: 15 de junho de 2022.

SBG – CPRM. **Serviço Geológico do Brasil**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br>. Acesso: 06 de julho de 2022.

SIEGEL, S. **Estatística não-paramétrica: para as ciências do comportamento**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1975. 350 p.

SILVA, A. P. C. **Biomonitoramento da qualidade da água e percepção ambiental na bacia hidrográfica Apodi-Mossoró, RN**. 2013. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

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 em: <http://www.liaaq.ccb.ufsc.br/files/2013/10/Aula-4.pdf>. Acesso: 25 de setembro de 2022.

SIQUEIRA, D. B.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. **Cianobactérias de água doce e saúde pública: uma revisão**. Universitas: Ciências da Saúde, v. 3, n. 1, p. 109-127, 2005.

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.

SOSNOVSKY, A.; QUIRÓS, R. **El estado trófico de pequeñas lagunas pampeanas, su relación con la hidrología y el uso de la tierra**. Ecología Austral, v. 16, n. 2, 2006.

SUASSUNA, JOÃO. **A pequena e média açudagem no semiárido nordestino: uso da água para produção de alimentos**. Fundação Joaquim Nabuco. Recife, 1993.

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.

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.

VILELA JUNIOR, G.B. **Conteúdos ministrados na disciplina Estatística em cursos de graduação e pós graduação**. Campinas: UNIMEP / Metrocamp, 2003.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária da Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243 p.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Estudos e Modelagem da Qualidade da Água de Rio.** 1ªed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/UFMG, 2007.

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

ANEXO 1 – DADOS BRUTOS

Tabela 8: Dados da qualidade da água bruta do Carnaubal, fornecidos pela COGERH.

COD. ESTACAO	CODIGO ANTERIOR	UF	Latitude	Longitude	Altitude	ENTIDADE_RESPONSAVEL	CORPO_DAGUA	AMBIENTE
634	CRN-01	CE	-5,282240391	-40,66904831	296	COGERH	Carnaubal	2

CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE ESTUDO						PARÂMETROS FÍSICOS						PARÂMETROS BIOLÓGICOS	
VISITA	DATA	AMOSTRA	CORPO	PONTO	PROF	Sól. Dissolv. Totais	Sólidos Totais	Cor Verdadeira	Temperat. Água	Transparência	Turbidez Lab	Clorofila-a	Cont. Cianobacterias
						g/L	mg/L	mgPt/L	°C	m	NTU	µg/L	Células/mL
12318	abr/18	49644	Carnaubal	CRN-01	0,300	90,000	176,000	80,000	29,310	2,300	86,700	32,760	4792,000
12319	jul/18	49647	Carnaubal	CRN-01	0,300	120,000	131,000	60,000	27,850	2,200	2,860	7,010	4392,000
12320	out/18	49650	Carnaubal	CRN-01	0,300	150,000	146,000	30,000	28,200	1,800	7,630	1,000	35934,000
13153	jan/19	51237	Carnaubal	CRN-01	0,300	180,000	186,000	25,000	29,900	1,800	3,460	17,610	23437,000
13154	abr/19	51240	Carnaubal	CRN-01	0,300	150,000	182,000	30,000	29,900	2,000	2,860	11,930	51902,000
13156	nov/19	51246	Carnaubal	CRN-01	0,300	211,000	274,000	20,000	29,050	2,600	3,520	11,050	119016,000
14044	jan/20	52862	Carnaubal	CRN-01	0,300	213,000	185,000	20,000	28,600	3,500	4,410	15,710	26399,000
14047	dez/20	52871	Carnaubal	CRN-01	0,300	196,000	173,000	25,000	28,670	1,200	1,990	6,990	124769,000
35711	jan/21	61529	Carnaubal	CRN-01	0,300	197,000	144,000	25,000	28,580	0,900	2,170	8,960	90848,000
35712	abr/21	61532	Carnaubal	CRN-01	0,300	189,000	211,000	20,000	30,090	5,100	2,000	10,070	330946,000
35714	dez/21	61538	Carnaubal	CRN-01	0,300	244,000	249,000	20,000	28,330	7,800	4,320	15,180	109726,000

CARACTERIZAÇÃO DAS AMOSTRAS DE ESTUDO						PARÂMETROS QUÍMICOS														
VISITA	DATA	AMOSTRA	CORPO	PONTO	PROF	Cond. Elét.	Alcal. Bicarbonato	Cálcio	Cloretos	Sulfatos	DBO	Ferro	Fósforo Total	Magnésio	Nitrogênio total	OD Sonda	Ortofato	pH	Potássio	Sódio
						µS/cm	mg/L CaCO3	mg/L Ca	mg/L Cl	mg/L	mg/L O2	mg/L Fe	mg/L P	mg/L Mg	mg/L	mg/L O2	mg/L	.	mg/L K	mg/L Na
12318	abr/18	49644	Carnaubal	CRN-01	0,300	138,000	49,790	11,130	7,350	23,360	16,350	5,600	0,542	3,220	1,700	0,270	0,320	7,050	8,000	5,000
12319	jul/18	49647	Carnaubal	CRN-01	0,300	187,000	77,710	16,800	8,430	7,680	2,580	0,560	0,197	4,800	1,088	3,610	0,140	7,760	9,000	6,000
12320	out/18	49650	Carnaubal	CRN-01	0,300	250,000	104,070	22,380	10,000	7,680	2,000	0,420	0,121	7,810	1,150	5,120	0,020	7,850	10,000	7,000
13153	jan/19	51237	Carnaubal	CRN-01	0,300	293,500	129,000	27,050	10,960	7,680	2,070	0,210	0,048	11,310	1,038	6,700	0,020	8,010	13,690	11,490
13154	abr/19	51240	Carnaubal	CRN-01	0,300	208,700	86,180	18,030	7,350	10,000	2,000	0,240	0,092	7,380	0,588	4,020	0,040	7,540	9,000	7,000
13156	nov/19	51246	Carnaubal	CRN-01	0,300	286,200	123,130	26,320	11,960	10,000	2,000	0,460	0,051	9,460	0,762	5,720	0,020	7,480	10,000	14,000
14044	jan/20	52862	Carnaubal	CRN-01	0,300	320,400	136,330	28,280	12,450	10,000	2,000	0,260	0,334	10,440	0,820	3,720	0,020	7,480	11,000	16,000
14047	dez/20	52871	Carnaubal	CRN-01	0,300	279,900	100,850	22,050	23,000	10,000	2,000	0,200	0,033	8,550	0,640	4,420	0,020	7,500	11,000	18,000
35711	jan/21	61529	Carnaubal	CRN-01	0,300	298,100	110,980	22,940	26,820	10,000	2,000	0,200	0,033	8,850	0,600	2,920	0,020	8,100	10,000	17,000
35712	abr/21	61532	Carnaubal	CRN-01	0,300	304,200	103,250	23,790	26,160	10,000	2,000	0,200	0,037	8,290	0,400	6,170	0,020	7,840	11,000	19,000
35714	dez/21	61538	Carnaubal	CRN-01	0,300	355,200	124,740	24,080	33,240	1,400	2,000	0,220	0,047	10,590	0,813	5,100	0,020	8,100	13,980	19,850

Fonte: COGERH, 2022.

Tabela 9: Dados hidroclimáticos de Crateús, coletados no site do INMET.

REGIAO:	UF:	ESTACAO:	CODIGO	LATITUDE:	LONGITUDE:	ALTITUDE:
NE	CE	CRATEUS	A342	-5,18666666	-40,67222221	298,19

PARÂMETROS AMBIENTAIS					
MÉDIA MENSAL	PRECIPITAÇÃO	RADIAÇÃO	TEMP. MÉDIA AR	UMIDADE REL. AR	VELOCIDADE VENTO
DATA	mm	Kj/m²	(°C)	%	m/s
jan/18	0,99	757,89	28,52	53,64	2,27
fev/18	7,14	765,02	26,38	70,57	1,87
mar/18	7,49	819,75	26,57	73,03	1,69
abr/18	8,00	762,95	25,46	77,94	1,47
mai/18	0,84	801,63	26,17	67,67	1,70
jun/18	0,24	813,67	26,55	55,38	1,85
jul/18	0,18	822,92	27,37	49,41	1,80
ago/18	0,00	883,05	28,19	44,20	1,95
set/18	0,00	987,51	29,42	43,79	2,43
out/18	0,60	990,52	29,56	50,42	2,33
nov/18	0,01	936,78	30,05	47,25	2,51
dez/18	4,43	843,06	27,16	69,92	1,69
jan/19	2,28	838,86	27,48	67,25	1,89
fev/19	3,88	808,91	25,74	76,54	1,67
mar/19	4,59	839,85	24,78	85,47	1,39
abr/19	5,98	674,78	24,85	88,54	1,33
mai/19	1,34	796,40	26,53	78,34	1,55
jun/19	0,37	757,18	26,77	65,82	1,75
jul/19	0,10	1427,91	28,75	53,94	2,60
ago/19	0,00	1181,93	29,54	47,00	2,43
set/19	0,31	1013,75	29,30	49,13	2,36
out/19	0,00	1013,08	29,58	48,93	2,50
nov/19	0,02	956,15	29,98	49,67	2,48
dez/19	0,14	904,71	29,84	51,97	2,48
jan/20	4,51	747,16	27,29	73,92	1,82
fev/20	6,93	802,54	26,19	82,28	1,53
mar/20	13,88	815,31	26,00	85,01	1,44
abr/20	5,11	770,27	26,27	83,84	1,50
mai/20	2,97	654,24	25,80	82,48	1,47
jun/20	0,12	731,87	25,97	70,44	1,92
jul/20	0,14	825,85	26,91	56,69	2,01
ago/20	0,00	969,99	28,07	47,89	2,16
set/20	0,00	957,44	28,95	47,53	2,25
out/20	0,00	1005,86	29,84	47,62	2,53
nov/20	1,87	880,45	28,83	58,57	2,07
dez/20	0,02	856,77	29,24	52,41	2,32
jan/21	1,47	730,73	28,15	61,93	2,09
fev/21	7,26	751,70	27,01	72,16	1,75
mar/21	5,85	782,28	25,94	80,17	1,67
abr/21	2,71	788,06	26,37	76,48	1,76
mai/21	1,82	735,35	25,54	76,26	1,74
jun/21	0,14	840,14	27,43	60,05	1,82
jul/21	0,15	812,88	27,41	55,65	2,17
ago/21	0,01	914,46	28,62	47,16	2,28
set/21	0,04	970,91	29,72	48,50	2,45
out/21	2,98	947,93	29,91	50,42	2,27
nov/21	2,68	863,62	29,61	53,52	2,35
dez/21	0,57	800,69	29,45	56,15	2,58

Fonte: INMET, 2022.

Anexo 2 – Tratamento dos dados.

Tabela 10: Médias semestrais e cálculo do escore-z.

SEMESTRE	Cond. Elét.	Alcal. Bicarbonato	Cálcio	Cloretos	Sulfatos	DBO	Ferro	Fósforo Total	Magnésio	Nitrogênio total	OD Sonda	Ortofato	pH	Potássio	Sódio	Sól. Dissolv. Totais	Sólidos Totais	Cor Verdadeira	Temperat. Água	Transparência	Turbidez Lab	Clorofila-a	Cont. Cianobacterias	Precipitação	Radiação	Temp. Med. Ar	Umíd. Rel. Ar	Veloc. Vento	
2018.1	138,000	49,790	11,130	7,350	10,000	2,000	0,230	0,050	3,220	1,700	4,760	0,020	7,050	8,000	5,000	90,000	176,000	25,000	29,310	2,300	3,160	10,560	4792,000	735,800	786,818	26,608	66,372	1,808	
2018.2	218,500	90,890	19,590	9,215	7,680	2,290	0,490	0,160	6,305	1,120	4,365	0,020	7,805	9,500	6,500	135,000	138,500	27,500	28,025	2,000	5,245	4,005	20163,000	161,600	910,640	28,625	50,832	2,118	
2019.1	251,100	107,590	22,540	9,155	8,840	2,035	0,225	0,070	9,345	0,815	5,360	0,030	7,775	11,345	9,245	165,000	184,000	27,500	29,900	1,900	3,160	14,770	37669,500	553,904	785,997	26,025	76,993	1,597	
2019.2	286,200	123,130	26,320	11,960	10,000	2,000	0,460	0,050	9,460	0,760	5,720	0,020	7,480	10,000	14,000	211,000	274,000	20,000	29,050	2,600	3,520	11,050	119016,000	17,259	982,090	29,498	50,107	2,475	
2020.1	320,400	136,330	28,280	12,450	10,000	2,000	0,260	0,330	10,440	0,820	3,720	0,020	7,480	11,000	16,000	213,000	185,000	20,000	28,600	3,500	4,410	15,710	26399,000	1020,000	753,565	26,253	79,662	1,613	
2020.2	279,900	100,850	22,050	23,000	10,000	2,000	0,200	0,030	8,550	0,640	4,420	0,020	7,500	11,000	18,000	196,000	173,000	25,000	28,670	1,200	1,990	6,990	124769,000	61,045	916,060	28,640	51,785	2,223	
2021.1	301,150	107,115	23,365	26,490	10,000	2,000	0,200	0,035	8,570	0,500	4,545	0,020	7,970	10,500	18,000	193,000	177,500	22,500	29,335	3,000	2,085	9,515	67383,000	572,038	771,377	26,740	71,175	1,805	
2021.2	355,200	124,740	24,080	33,240	10,000	2,000	0,220	0,050	10,590	0,810	5,100	0,020	8,100	13,980	19,850	244,000	249,000	20,000	28,330	2,100	4,320	15,180	109726,000	196,972	885,082	29,120	51,900	2,350	
MÉDIA	268,806	105,054	22,169	16,608	9,565	2,041	0,286	0,097	8,310	0,896	4,749	0,021	7,645	10,666	13,324	180,875	194,625	23,438	28,903	2,325	3,486	10,973	63739,688	414,827	848,954	27,689	62,353	1,999	
DEV. PAD	67,137	26,661	5,187	9,636	0,863	0,102	0,119	0,103	2,455	0,370	0,632	0,004	0,335	1,716	5,687	49,157	44,272	3,256	0,611	0,709	1,138	4,162	48337,802	360,183	84,752	1,414	12,601	0,338	
COEF. VAR	0,250	0,254	0,234	0,580	0,090	0,050	0,415	1,061	0,295	0,413	0,133	0,166	0,044	0,161	0,427	0,272	0,227	0,139	0,021	0,305	0,326	0,379	0,758	0,868	0,100	0,051	0,202	0,169	
Z-SCORE																													
SEMESTRE	Cond. Elét.	Alcal. Bicarbonato	Cálcio	Cloretos	Sulfatos	DBO	Ferro	Fósforo Total	Magnésio	Nitrogênio total	OD Sonda	Ortofato	pH	Potássio	Sódio	Sól. Dissolv. Totais	Sólidos Totais	Cor Verdadeira	Temperat. Água	Transparência	Turbidez Lab	Clorofila-a	Cont. Cianobacterias	Precipitação	Radiação	Temp. Med. Ar	Umíd. Rel. Ar	Veloc. Vento	
2018.1	-1,948	-2,073	-2,128	-0,961	0,504	-0,400	-0,469	-0,456	-2,073	2,175	0,018	-0,354	-1,777	-1,554	-1,464	-1,849	-0,421	0,480	0,667	-0,035	-0,287	-0,099	-1,219	0,891	-0,733	-0,764	0,319	-0,564	
2018.2	-0,749	-0,531	-0,497	-0,767	-2,184	2,457	1,722	0,614	-0,817	0,607	-0,607	-0,354	0,478	-0,679	-1,200	-0,933	-1,268	1,248	-1,436	-0,459	1,546	-1,674	-0,902	-0,703	0,728	0,662	-0,914	0,354	
2019.1	-0,264	0,095	0,071	-0,773	-0,840	-0,055	-0,511	-0,261	0,422	-0,218	0,967	2,475	0,388	0,396	-0,717	-0,323	-0,240	1,248	1,633	-0,600	-0,287	0,912	-0,539	0,386	-0,743	-1,176	1,162	-1,190	
2019.2	0,259	0,678	0,800	-0,482	0,504	-0,400	1,469	-0,456	0,468	-0,367	1,537	-0,354	-0,493	-0,388	0,119	0,613	1,793	-1,056	0,241	0,388	0,030	0,019	1,144	-1,104	1,571	1,280	-0,972	1,410	
2020.1	0,768	1,173	1,178	-0,431	0,504	-0,400	-0,216	2,268	0,868	-0,205	-1,628	-0,354	-0,493	0,195	0,470	0,654	-0,217	-1,056	-0,495	1,658	0,812	1,138	-0,772	1,680	-1,125	-1,015	1,374	-1,141	
2020.2	0,165	-0,158	-0,023	0,663	0,504	-0,400	-0,722	-0,651	0,098	-0,691	-0,520	-0,354	-0,433	0,195	0,822	0,308	-0,488	0,480	-0,381	-1,588	-1,315	-0,957	1,263	-0,982	0,792	0,673	-0,839	0,665	
2021.1	0,482	0,077	0,231	1,026	0,504	-0,400	-0,722	-0,602	0,106	-1,070	-0,322	-0,354	0,971	-0,097	0,822	0,247	-0,387	-0,288	0,708	0,953	-1,232	-0,350	0,075	0,436	-0,915	-0,671	0,700	-0,573	
2021.2	1,287	0,738	0,368	1,726	0,504	-0,400	-0,553	-0,456	0,929	-0,232	0,556	-0,354	1,359	1,932	1,147	1,284	1,228	-1,056	-0,937	-0,318	0,733	1,011	0,951	-0,605	0,426	1,012	-0,830	1,040	

Fonte: Autora, (2022).

Tabela 11: Cálculo do coeficiente de variância de Speraman's (rS).

Speraman's rS	Cond. Elét.	Alcal. Bicarbonato	Cálcio	Cloreto	Sulfatos	DBO	Ferro	Fósforo Total	Magnésio	Nitrogênio total	OD Sonda	Orotato	pH	Potássio	Sódio	Sól. Dissolv. Totais	Sólidos Totais	Cor Verdadeira	Temperat. Água	Transparência	Turbidez Lab	Clorofila-a	Cont. Cianobacterias	Precipitação	Radiação	Temp. Med. Ar	Umid. Rel. Ar	Veloc. Vento					
Cond. Elét.	1																																
Alcal. Bicarbonato	0,857	1																															
Cálcio	0,857	0,952	1																														
Cloreto	0,857	0,900	0,524	1																													
Sulfatos	0,514	0,296	0,405	0,483	1																												
DBO	-0,514	-0,296	-0,405	-0,483		1																											
Ferro	-0,289	0,060	0,084	-0,554	-0,497	0,497	1																										
Fósforo Total	-0,049	0,317	0,220	-0,415	-0,527	0,527	0,778	1																									
Magnésio	0,881	0,976	0,905	0,571	0,296	-0,296	-0,012	0,220	1																								
Nitrogênio total	-0,575	-0,299	-0,431	-0,755	-0,463	0,463	0,612	0,687	-0,335	1																							
OD Sonda	-0,024	0,119	0,095	-0,143	0,078	-0,078	-0,036	-0,298	0,238	-0,144	1																						
Orotato	-0,247	0,082	-0,082	-0,412	0,540	0,000	0,254	0,082	0,166	0,412		1																					
pH	0,431	0,168	0,084	0,655	-0,267	0,267	-0,339	-0,147	0,299	-0,392	0,012	0,083	1																				
Potássio	0,659	0,683	0,491	0,563	0,078	-0,078	-0,430	-0,012	0,743	-0,367	0,144	0,415	0,512	1																			
Sódio	0,862	0,563	0,551	0,970	0,517	-0,642	-0,454	0,635	-0,783	-0,036	-0,249	0,578	0,705		1																		
Sól. Dissolv. Totais	0,929	0,881	0,857	0,762	0,514	-0,514	-0,157	-0,024	0,905	-0,503	0,048	-0,247	0,252	0,671	0,802	1																	
Sólidos Totais	0,667	0,833	0,833	0,286	0,436	-0,436	0,096	0,122	0,857	-0,252	0,571	0,082	-0,024	0,431	0,359	0,714	1																
Cor Verdadeira	-0,815	-0,729	-0,815	-0,593	-0,776	0,776	0,069	0,076	-0,729	0,391	-0,111	0,514	0,050	-0,242	-0,578	-0,828	-0,778	1															
Temperat. Água	-0,228	-0,143	-0,095	-0,310	0,109	-0,109	-0,374	-0,317	-0,167	-0,204	0,900	0,577	-0,216	-0,012	-0,180	-0,357	0,119	0,210	1														
Transparência	0,452	0,429	0,595	0,167	0,483	-0,483	0,181	0,244	0,333	-0,072	-0,143	-0,412	-0,216	-0,228	0,072	0,286	0,476	-0,679	0,048	1													
Turbidez Lab	0,144	0,335	0,275	-0,108	-0,384	0,384	0,800	0,835	0,311	0,548	-0,240	-0,166	0,072	-0,072	-0,229	0,192	-0,174	-0,695	0,275		1												
Clorofila-a	0,915	0,833	0,714	0,143	0,327	-0,327	0,060	0,415	0,810	0,096	0,238	0,247	-0,108	0,575	0,252	0,619	0,810	-0,605	0,071	0,429	0,287	1											
Cont. Cianobacterias	0,500	0,357	0,405	0,643	0,405	-0,405	-0,458	-0,634	0,429	-0,850	0,333	-0,082	0,263	0,491	0,731	0,619	0,357	-0,383	0,024	-0,238	-0,443	0,000	1										
Precipitação	0,071	0,095	0,048	-0,143	0,156	-0,156	-0,120	0,366	0,000	0,371	-0,381	0,082	-0,180	0,000	-0,144	-0,143	-0,024	-0,082	0,238	0,524	0,072	0,429	-0,667	1									
Radiação	-0,228	-0,262	-0,214	-0,024	-0,047	0,047	0,193	-0,366	-0,167	-0,144	0,357	-0,247	-0,060	-0,216	-0,036	0,024	-0,048	0,049	-0,310	-0,500	-0,036	-0,452	0,500	-0,929	1								
Temp. Med. Ar	0,286	0,071	0,167	0,476	0,312	-0,312	0,000	-0,464	0,190	-0,443	0,286	-0,577	0,216	-0,048	0,407	0,429	0,238	-0,432	-0,452	-0,095	0,048	-0,238	0,643	-0,786	0,810	1							
Umid. Rel. Ar	0,214	0,310	0,214	-0,024	0,078	-0,078	-0,277	0,317	0,214	0,132	-0,262	0,412	-0,036	0,371	0,060	0,024	0,095	-0,012	0,405	0,333	-0,096	0,548	-0,381	0,881	-0,952	-0,857	1						
Veloc. Vento	0,228	0,036	0,120	0,407	0,314	-0,314	0,036	-0,442	0,156	-0,361	0,299	-0,581	0,145	-0,084	0,343	0,395	0,238	-0,416	-0,467	-0,120	0,066	-0,238	0,599	-0,778	0,838	0,994	-0,874	1					

Fonte: Autora, (2022).