



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CAMPUS RUSSAS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

WANESSA COSTA MAGALHÃES

**CORRELAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE UM CORPO
HÍDRICO SUPERFICIAL LOCALIZADO NO SEMIÁRIDO CEARENSE: A
ESTATÍSTICA MULTIVARIADA COMO FERRAMENTA**

RUSSAS-CE

2023

WANESSA COSTA MAGALHÃES

CORRELAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE UM CORPO
HÍDRICO SUPERFICIAL LOCALIZADO NO SEMIÁRIDO CEARENSE: A
ESTATÍSTICA MULTIVARIADA COMO FERRAMENTA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
do Campus Russas da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Orientadora: Profa. Dra. Daniela Lima
Machado da Silva.

RUSSAS- CE

2023

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)

- M169c Magalhães, Wanessa Costa Magalhães.
Correlações entre os parâmetros físico-químicos de um corpo hídrico superficial localizado no semiárido cearense: a estatística multivariada como ferramenta / Wanessa Costa Magalhães Magalhães. – 2023.
65 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Campus de Russas, Curso de Engenharia Civil, Russas, 2023.
Orientação: Prof. Dr. Daniela Lima Machado da Silva..
1. qualidade da água. 2. monitoramento. 3. semiárido cearense. 4. análise multivariada. I. Título.
CDD 620
-

WANESSA COSTA MAGALHÃES

CORRELAÇÕES ENTRE OS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DE UM CORPO
HÍDRICO SUPERFICIAL LOCALIZADO NO SEMIÁRIDO CEARENSE: A
ESTATÍSTICA MULTIVARIADA COMO FERRAMENTA

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia Civil
do Campus Russas da Universidade Federal
do Ceará, como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.

Aprovada em: / / .

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Daniela Lima Machado da Silva (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC) - Campus Russas

Profa. Dra. Silvia Viana Teles (Avaliadora Interna)
Universidade Federal do Ceará (UFC) - Campus Russas

Profa. Dra. Amanda Paiva Farias (Avaliadora Externa)
Universidade Federal do Maranhão – Campus de Balsas

A Deus,

Por nunca ter soltado minha mão em nenhum momento durante minha jornada, aos meus pais por terem feito parte desse propósito e ao meu namorado, por todo companheirismo e amor. Venceremos juntos.

AGRADECIMENTOS

Sou grata a Deus por tudo. Por ter me dado forças quando perdi a fé durante os anos de graduação, por ter me dado sabedoria e vitalidade nos dias ruins e por ter me proporcionado momentos incríveis ao lado de pessoas que levarei para o resto da vida.

Sou grata aos meus pais por todo o apoio, propósito e suporte.

Sou grata aos meus amigos da minha cidade natal e ao meu namorado, por ter deixado toda essa trajetória mais leve e com ótimas lembranças.

Sou grata à orientadora, Profa. Daniela Lima Machado da Silva, por toda sua dedicação e prontidão na orientação desse trabalho, e durante todo o decorrer da graduação.

Sou grata à Patrícia, técnica do laboratório de Saneamento do campus de Russas, por todo auxílio e paciência durante a realização das análises.

Sou grata a mim, por não ter desistido. Se eu estou escrevendo isso, é porquê eu consegui.

“Mil cairão ao teu lado, dez mil à tua direita,
mas tu não serás atingido” (Salmos, 91:7).

RESUMO

A água é uma substância indispensável para a existência de qualquer organismo, visto que seu uso está cada vez mais integrado ao setor econômico, abrangendo desde a irrigação em cultivos até sua aplicação em processos industriais e domésticos. Trata-se de um recurso finito e vulnerável, crucial para a preservação da vida, o fomento do desenvolvimento e a sustentabilidade ambiental. No entanto, para garantir condições favoráveis ao ser humano, é imperativo realizar verificações quanto à sua qualidade, dado que as condições sanitárias são afetadas com base na premissa de que determinados parâmetros. A qualidade da água varia, sobretudo, em função da natureza do solo de origem, das condições climáticas e de fatores humanos, como o despejo doméstico, especialmente proveniente de efluentes municipais e industriais. Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo monitorar os parâmetros físico-químicos do Riacho Araibú, localizado no semiárido cearense, e aplicar métodos de análises multivariadas para as variáveis atuais e para e antigas do mesmo local e também dos parâmetros. A proposta é analisar e depois justificar de maneira simplificada e coerente entre os resultados, considerando a análise conjunta e compreendendo o comportamento e a influência dos parâmetros individualmente em cada período. As coletas para as análises foram realizadas entre os meses de abril a agosto, com amostras em um ponto distribuídas ao longo desses cinco meses. Os parâmetros analisados abrangem pH, condutividade elétrica, resíduos totais e turbidez. Nesse contexto, aplica-se a análise estatística multivariada, utilizando o método de correlação de Pearson, Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise Hierárquica de Agrupamento (HCA) com o propósito de avaliar a qualidade da água em três períodos distintos. O objetivo é identificar os principais grupos e suas correlações, justificando de forma simplificada e coerente os eventos significativos observados, obtendo resultados coerentes para cada dado ao longo dos anos de análises, mas que em diversas situações o riacho não apresentou alterações significativas, mantendo índices elevados de poluição, escassez de água e presença de sólidos dissolvidos. Entretanto, observou-se que, as temperaturas estão mais elevadas, acelerando os processos e contribuindo para a diminuição do volume de água no riacho e chegando a sua seca total posteriormente.

Palavras-chave: qualidade da água; monitoramento; semiárido cearense; análise multivariada.

ABSTRACT

Water is an indispensable substance for the existence of any organism, as its use becomes increasingly integrated into the economic sector, ranging from irrigation in crops to its application in industrial and domestic processes. It is a finite and vulnerable resource, crucial for life preservation, development promotion, and environmental sustainability. However, to ensure favorable conditions for humans, it is imperative to conduct checks on its quality, given that sanitary conditions are affected based on certain parameters. The quality of water varies primarily due to the nature of the soil, climatic conditions, and human factors, such as domestic discharge, especially from municipal and industrial effluents. In this context, the present study aims to monitor the physico-chemical parameters of Riacho Araibú, located in the semi-arid region of Ceará, and apply multivariate analysis methods for both current and historical variables at the same location and also for the parameters. The proposal is to analyze and then justify in a simplified and coherent manner among the results, considering joint analysis and understanding the behavior and influence of the parameters individually in each period. Collections for the analyses were conducted between April and August, with samples taken at a specific point distributed over these five months. The analyzed parameters include pH, electrical conductivity, total residues, and turbidity. In this context, multivariate statistical analysis is applied, using the Pearson correlation method, Principal Component Analysis (PCA), and Hierarchical Cluster Analysis (HCA) to assess water quality in three distinct periods. The objective is to identify the main groups and their correlations, justifying in a simplified and coherent manner the observed significant events, obtaining consistent results for each data over the years of analysis. In various situations, however, it was observed that the stream did not show significant changes, maintaining high pollution levels, water scarcity, and the presence of dissolved solids. Nevertheless, it was noted that temperatures are higher, accelerating processes and contributing to the decrease in water volume in the stream, eventually leading to its complete dryness.

Keywords: water quality; monitoring; semi-arid region of Ceará; multivariate analysis.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 - Segurança Hídrica da Região Nordeste	10
Figura 2 - Espelhos D'água do Estado do Ceará (2017)	22
Figura 3 - Principais desafios que diminuem a Segurança Hídrica no Estado do Ceará.....	27
Figura 4 - Comparação de resultados aferida em 2021 e 2022 no Estado do Ceará.....	29
Figura 5 - Escala de IQA.....	29
Figura 6 - Plano de Monitoramento.....	33
Figura 7 - Localização do município de Russas - CE.....	34
Figura 8 - Mapa de zoneamento urbano de Russas-CE com detalhamento do riacho Araibú..	35
Figura 9a - Areia de construção.....	36
Figura 9b - Mata ciliar retirada.....	36
Figura 9c - Mapa ciliar retirada.....	37
Figura 9d - Resíduos sólidos ao redor do trecho.....	37
Figura 10 - Estiagem prolongada.....	37
Figura 11 - Casas no leito do riacho.....	38
Figura 12 - Criação de animais no leito do riacho.....	38
Figura 13 - Resíduos sólidos lançados nas margens.....	39
Figura 14a - Ponto de coleta (Riacho Araibú).....	40
Figura 14b - Coordenadas do ponto de coleta.....	40
Figura 15 - Calendário de chuvas.....	41
Figura 16a - Amostras.....	42
Figura 16b - Coleta das amostras para análises.....	42
Figura 17a - Amostras 1 e 2 padrão.....	43
Figura 17b - Turbidímetro Digital.....	43
Figura 17c - Soluções de 0, 20, 100 e 800 NTU.....	43
Figura 18 - Procedimento de leitura da condutividade elétrica.....	44
Figura 19a - Estufa a 100°C.....	44
Figura 19b - Cápsulas.....	44
Figura 19c - Pesagem das amostras.....	44
Figura 21 - Correlograma de tempo, pH, condutividade elétrica, turbidez e resíduos totais..	52
Figura 22 - - Correlograma de tempo, pH, condutividade elétrica, turbidez e resíduos totais..	53
Figura 23 - Correlograma de tempo, pH, condutividade elétrica, turbidez e resíduos totais...	54
Figura 24 - Carga fatorial dos atributos.....	55
Figura 25 - Carga fatorial dos atributos (estiagem).....	56
Figura 26 - Carga fatorial dos atributos (período chuvoso).....	57
Figura 27 - Dendrograma de correlação.....	58
Figura 28 - Dendrograma de correlação (estiagem).....	59

Figura 29 - Dendrograma de correlação (período chuvoso).....60

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Projeção das Variações das Demandas Hídricas na Região Nordeste.....	20
Quadro 2 - Classificação das águas e seus principais usos.....	25
Quadro 3 - Interpretação do coeficiente de correlação de Pearson.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados das análises dos dados.....	54
Tabela 2 - Auto vetores das variáveis pelo o método de correlação de Pearson.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA - Agência Nacional da Água

COGERH - Companhia de gestão dos recursos hídricos

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

SAAE – Serviço Autônomo de Água e Esgoto

SOHIDRA – Superintendência de Obras Hidráulicas

PNRH - Plano Nacional de Recursos Hídricos

CONAMA - Conselho nacional de meio ambiente

DBO – Demanda biológica de oxigênio

OD – Oxigênio dissolvido

ETA – Estação de tratamento de água

ETE – Estação de tratamento de esgoto

PNQA - Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

MS – Ministério da Saúde

uT – Unidade de Turbidez

UNT (NTU) - Unidade Nefelométrica de Turbidez (Nephelometric Turbidity Units)

IQ - Índice de Qualidade de Água

SMWW - Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater

ACP – Análise de Componentes Principais

HCA – Análise Hierárquica de Agrupamento

WARD's - Procedimento de agrupamento hierárquico no qual utiliza a medida de similaridade para juntar agrupamentos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	<i>Objetivo geral</i>	17
1.1.2	<i>Objetivos específicos</i>	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	<i>Gerenciamento dos recursos hídricos</i>	17
2.1.1	<i>Panorama de qualidade dos corpos hídricos superficiais do Ceará</i>	21
2.2	<i>Qualidade das águas</i>	23
2.2.1	<i>Legislação</i>	23
2.2.2	<i>Desafios hidrológicos no semiárido cearense</i>	26
2.3	<i>Parâmetros de qualidade da água</i>	28
2.3.1	<i>Parâmetros físico-químicos</i>	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1	<i>Área de estudo</i>	34
3.2	<i>Impactos ambientais no riacho Araibú</i>	396
3.3	<i>Processo de amostragem</i>	39
3.4	<i>Procedimentos Experimentais</i>	40
3.4.1	<i>Coleta das amostras</i>	40
3.4.2	<i>Parâmetros físico-químicos</i>	41
3.5	<i>Análise estatística dos dados</i>	45
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1	<i>Correlação de Pearson</i>	49
4.2	<i>Análise de Componentes Principais (ACP)</i>	53
4.3	<i>Análise Hierárquica de Agrupamento (HCA)</i>	56
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
	REFERÊNCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

Á água é um recurso natural renovável de extrema importância para a vida animal e vegetal, e sua qualidade varia principalmente, em função da natureza do solo de onde são originárias, das condições climáticas e devido a causas humanas, como o despejo doméstico e industrial, que afetam a vida aquática, disseminando doenças e desencadeando escassez, reduzindo o padrão de qualidade do recurso (Setti, 1996). Em função disso, afirma-se que uma análise completa da água natural indicaria a presença de mais de cinquenta constituintes nela dissolvidos ou em suspensão. Esses constituintes, em geral, são sólidos dissolvidos ionizados, gases dissolvidos, compostos orgânicos dissolvidos, matéria em suspensão, incluindo microrganismos e matéria coloidal (Setti, 1996).

Com base nesse contexto, a fim de assegurar a segurança no consumo da água, é imperativo que a mesma passe por uma Estação de Tratamento de Água (ETA), visando adequá-la aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888 de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde (MS). No território brasileiro, o método de tratamento mais amplamente empregado é o convencional, que percorre as fases de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação, sendo que tais processos podem variar conforme as características da água bruta e as condições climáticas, abrangendo os períodos de chuva ou estiagem (Sousa, 2021).

O monitoramento da qualidade da água é um dos principais instrumentos de sustentação de uma política de planejamento e gestão de recursos hídricos, como no semiárido cearense, visto que funciona como um sensor que possibilita o acompanhamento do processo de uso dos corpos hídricos, apresentando seus efeitos sobre as características qualitativas das águas, visando subsidiar as ações de controle ambiental. Com essa visão, é de suma importância monitorar as águas de abastecimento e os corpos hídricos, a fim de assegurar que essas estão dentro do esperado em termo de qualidade para a sua utilização e em caso não estejam, gerar um alerta ao uso inadequado e recorrer a tratamentos para reverter a condição de tal modo que não gere qualquer risco à saúde da população (Freitas, 2002).

Adicionalmente, é indispensável avaliar os mananciais que abastecem as áreas urbanas, uma vez que os riscos associados a estes provêm de diversas fontes, podendo resultar da falta de coleta de esgoto, operação inadequada de poços e outras formas pontuais e difusas de poluição. Este cenário culmina na contaminação dos aquíferos e na degradação das águas subterrâneas, conforme mencionado por Heller (2006). Nesse sentido, esses corpos hídricos

desempenham um papel crucial em regiões onde a escassez de reservas hídricas superficiais é evidente devido às elevadas taxas de evapotranspiração, baixas taxas pluviométricas e prevalência de aquíferos fraturados com índices de produtividade reduzidos. Além disso, a análise da situação revela-se emergente, considerando o contexto atual caracterizado pela mudança climática, períodos prolongados de seca e estiagem. Como é o caso da região semiárida, destacada neste estudo. Desse modo, torna-se imperativo realizar diagnósticos fundamentais com vistas a assegurar condições de saúde adequadas à população e fomentar o desenvolvimento regional.

Comumente, o acompanhamento ambiental resulta na geração de volumes substanciais de dados, cuja análise e interpretação tornam-se desafiadoras em virtude da complexidade das relações entre as variáveis (Liao *et al.*, 2008). Portanto, abordagens multivariadas têm sido eficazmente empregadas para respaldar a administração dos recursos hídricos e extrair informações de relevância a partir dessas extensas bases de dados (Papatheodorou *et al.*, 2006; Melo Júnior *et al.*, 2006; Andrade *et al.*, 2007a, Liao *et al.*, 2008; Zhang *et al.*, 2010).

Os métodos de análise de dados multivariados, amplamente reconhecidos quando a intenção é minimizar o número de variáveis com a menor perda possível de informação (Andrade *et al.*, 2007a; Helena *et al.*, 2000). Destaca-se que o método dos componentes principais figura entre os mais empregados para solucionar questões clássicas de análise fatorial. Esta abordagem propicia a redução do número de variáveis, simplificando a extração de informações de suma importância para a avaliação da qualidade das águas e a gestão da bacia (Andrade *et al.*, 2007a).

Portanto, o presente estudo teve como abordagem, realizar a análise multivariada nos parâmetros físico-químicos de um riacho, localizado no município de Russas-CE, considerando os cenários de quadra chuvosa e estiagem presentes nos desenvolvimentos dos estudos anteriores e no cenário atual.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Analisar as correlações obtidas entre os parâmetros físico-químicos do Riacho Araibú localizado em Russas-CE, empregando a estatística multivariada.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar a qualidade da água do Riacho Araibú por meio dos seguintes parâmetros físico-químicos: pH, condutividade elétrica, turbidez, e sólidos totais, de modo a investigar possíveis fontes de poluição;
- Analisar as correlações entre os parâmetros utilizando os métodos de correlação de Pearson, Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise Hierárquica de Agrupamento (HCA);
- Comparar o comportamento dos dados em cenários de estiagem e seca, de modo a verificar a influência da sazonalidade nas correlações obtidas.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Gerenciamento dos recursos hídricos

A expressão gestão de recursos hídricos, é definida, em sentido amplo, como a forma pela qual se busca equacionar e resolver as questões da escassez relativa da água. Na qual se engloba na gestão as seguintes funções: planejamento, administração e regulamentação, como sendo um conjunto de atividades que incluem fiscalizar concessões de uso, monitorar a quantidade e a qualidade da água (Barth, 1987).

O uso da água é indispensável para a sobrevivência humana e o desenvolvimento socioeconômico. A mesma desempenha um papel vital na saúde pública, na agricultura, na indústria, na geração de energia, no transporte, no lazer e em muitos outros aspectos da vida cotidiana. Além disso, a gestão adequada dos recursos hídricos contribui para a sustentabilidade ambiental e o crescimento econômico, promovendo a conservação da biodiversidade, a segurança alimentar e a geração de empregos, auxiliando no desenvolvimento econômico do país.

Existem projetos, como o Projeto de Lei nº1922/22 que estabelece que o acesso à água e ao esgotamento sanitário são direitos humanos e que devem nortear as políticas públicas de saneamento básico no país, Tal como, a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) que subdivide o uso da água em: consuntivos - retirada, consumação e utilização da água de forma diretamente, como no caso da indústria, irrigação e mineração - , e não consuntivos - não efetua a extração direta de água, mas estão condicionados à preservação das condições naturais ou da operação da infraestrutura hídrica, a exemplo do turismo e das atividades de lazer.

Entre os usos da água, existem alguns que, devido às suas vazões demandadas, merecem maior atenção nas avaliações da região Nordeste, especificamente no Estado do Ceará, tais como: irrigação, abastecimento humano (urbano e rural) e criação de animais. Isso se deve à sua maior prioridade legal em épocas de escassez hídrica, conforme estabelecido pela Lei Federal nº 9.433/1997, que institui a Política Nacional dos Recursos Hídricos. Além disso, os usos industriais e sua potência para os usos no turismo, recreação e lazer também devem ser considerados como relevantes nas bacias hidrográficas do estado (Mdr, 2021).

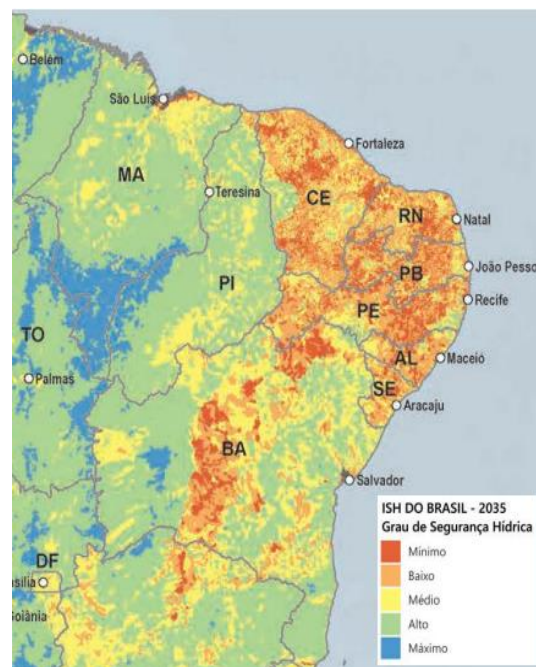
Outrossim, o Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) estabelecido pela lei federal citada anteriormente, visa orientar as gestões das águas no país através de resoluções, revisões e planos de ações de melhorias de gerenciamento dos recursos hídricos, logo, foi elaborado o Plano PNRH 2022-2040, visando a implementação da Política Nacional dos Recursos Hídricos e da atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), contendo todos os estados e o Distrito Federal e suas bacias hidrográficas. O mesmo conta com estratégias e ações de melhorias de gerenciamento dos recursos hídricos, onde o atual PNRH foi aprovado em 2022, pela Resolução CNRH nº 232, de 22 de março de 2022.

Os graus de segurança hídrica do Ceará são bastante preocupantes pois essa situação vem se agravando não só pela crescente pressão sobre os mananciais, resultantes do exponencial e desordenado crescimento metropolitano e interiorano, mas pelo que agrega a um complicador inerente e natural do SAB (Semiárido Brasileiro), pela qualidade das águas disponíveis, restringindo o abastecimento às populações (Rabelo, 2022).

“(...) a capacidade de fornecer, de forma segura, água com qualidade e quantidade, e com a capacidade de lidar com os riscos, causados principalmente pelas secas que assolam o nosso Estado.” (Especialista em Semiáridos Brasileiro).

O mapa da Figura 1 representa os graus de segurança hídrica para o nordeste informados pela ANA (2019) para as regiões em 2035, através do plano de ação do PNRH, onde mostra que o estado do Ceará subsiste em graus mínimos de baixa segurança. O mesmo acontece com a região central da Bahia e praticamente todo o território dos estados de Alagoas, Paraíba, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe.

Figura 1 - Segurança Hídrica da Região Nordeste



Fonte: ANA (2019).

Em situações desfavoráveis, duas possibilidades se apresentam: a continuidade da tendência atual, sugerindo um aumento da população nas cidades até aproximadamente 2040, ou uma diminuição da população nas áreas rurais. No melhor cenário, existe uma tendência de aumento da população urbana e rural, acima das taxas tendenciosas, que são taxas esperadas para o ano de 2040, mas não de forma expressiva, como mostra o Quadro 1.

Reg	Vermelho	Amarelo	Verde
Características	Estagnação econômica, sem investimentos na dimensão socioambiental.	Crescimento tendencial da economia e dos investimentos na dimensão socioambiental.	Crescimento tendencial da economia, com crescentes investimentos na dimensão socioambiental
Abastecimento Público Urbano	Mantém tendência (cenário Amarelo)	Incremento de 0,21% (2021) a 0,08% (2040) ao ano e de 0,24 m ³ /s (2021) a 0,10 m ³ /s (2040) ao ano.	O aumento da população é compensado com a redução de perdas na distribuição, mantendo-se as demandas hídricas tendenciais
Abastecimento Público Rural	Redução da demanda hídrica, devido ao êxodo rural;	Incremento de -0,59% (2021) a -0,68% (2040) ao ano e de -0,09 m ³ /s (2021 a 2040) ao ano.	Redução da demanda, acompanhando a tendência da população rural, devido às restrições ambientais.
Criação de Animais	Redução da demanda hídrica, devido aos menores rebanhos, ou a transição para rebanhos de menor porte;	Incremento de 2,50% (2021) a 0,96% (2040) ao ano e de 0,68 m ³ /s (2021) a 0,36 m ³ /s (2040) ao ano.	
Irrigação	As barreiras ambientais importadas pelos países importadores de produtos agrícolas desestimulam a expansão das áreas irrigadas, fazendo-as menor que no cenário Tendencial (Amarelo)	Incremento de 3,56% (2021) a 2,18% (2040) ao ano e de 8,64 m ³ /s (2021 a 2040) ao ano	As restrições ambientais limitam o aumento das áreas agrícolas; porém, aquelas já estabelecidas poderão optar em parte pela irrigação, em regiões onde ela possa trazer aumentos de produtividade, identificadas no Atlas de Irrigação (ANA, 2021); porém, a busca de maior eficiência de uso de água, imposta pelo cenário Verde, faz com que a expansão da demanda hídrica seja similar à do cenário Tendencial (Amarelo).
Indústria	Como no cenário Tendencial.	Incremento de 3,58% (2021) a 1,03% (2040) ao ano e de 1,15 m ³ /s (2021) a 0,73 m ³ /s (2040) ao ano.	Expansão da indústria que acompanha as tendências de investimento na bioeconomia, acima do cenário Tendencial (Amarelo)
Turismo, Lazer, Recreação	Mantendo a tendência (cenário Amarelo)		Grande afluxo de turismo nacional e internacional, incentivado pelas práticas de conservação e de bioeconomia adotadas nestes cenários.

Quadro 1 – Projeção das Variações das Demandas Hídricas na Região Nordeste.

Fonte: Ministério de Desenvolvimento Regional - MDR, (2021).

2.1.1 Panorama de qualidade dos corpos hídricos superficiais do Ceará

A avaliação da qualidade da água tem ganhado cada vez mais destaque em todo o mundo, devido à crescente necessidade de água para abastecimento e uso na agricultura, bem como à progressiva perda da potabilidade dos recursos hídricos disponíveis. A definição da qualidade da água varia de acordo com a sua finalidade, pois diferentes parâmetros físicos, químicos e biológicos devem ser considerados para cada caso. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), classifica os corpos d'água em nove categorias, com base nos limites máximos permitidos de certos parâmetros e no tipo de uso previsto para a água, o que se chama de 'enquadramento'. Isso desempenha um papel importante na gestão dos corpos hídricos superficiais, como lagos, riachos, pântanos, rios, etc. As águas superficiais doces, salobras e salinas são classificadas, de acordo com a resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, segundo a qualidade requerida para usos distintos.

Os recursos hídricos passaram por mudanças na qualidade de suas águas ao longo dos anos, o que afetou diretamente a capacidade de utilização em várias áreas (Arruda, Rizzi e Miranda, 2015). No entanto, a preocupação com a qualidade da água foi amplamente reconhecida, de modo que, a qualidade é tão importante quanto a quantidade de água disponível (Abbasi, 2012). Nesse contexto, uma maneira fundamental de identificar mudanças na qualidade da água é através do monitoramento contínuo dos corpos hídricos (Oliveira, 2016; Lima e Santos, 2016; Santos, 2018), incluindo a análise das variações climáticas, como chuvas incomuns, secas prolongadas e inundações, que afetam tanto a qualidade quanto a disponibilidade da água (FUNCEME, 2022).

Portanto, existem mais de 92.129 espelhos d'água no Estado do Ceará, e destes, mais de 5 mil reservatórios possuem área maior que 5 ha (Mi, FUNCEME, 2007). Esses reservatórios seriam a fonte principal de abastecimento de todas as populações difusas. Sua utilização é voltada principalmente, para o uso doméstico e para rebanhos, mas o aproveitamento desta água armazenada nos açudes, rios e riachos é pequeno por várias razões, dentre elas:

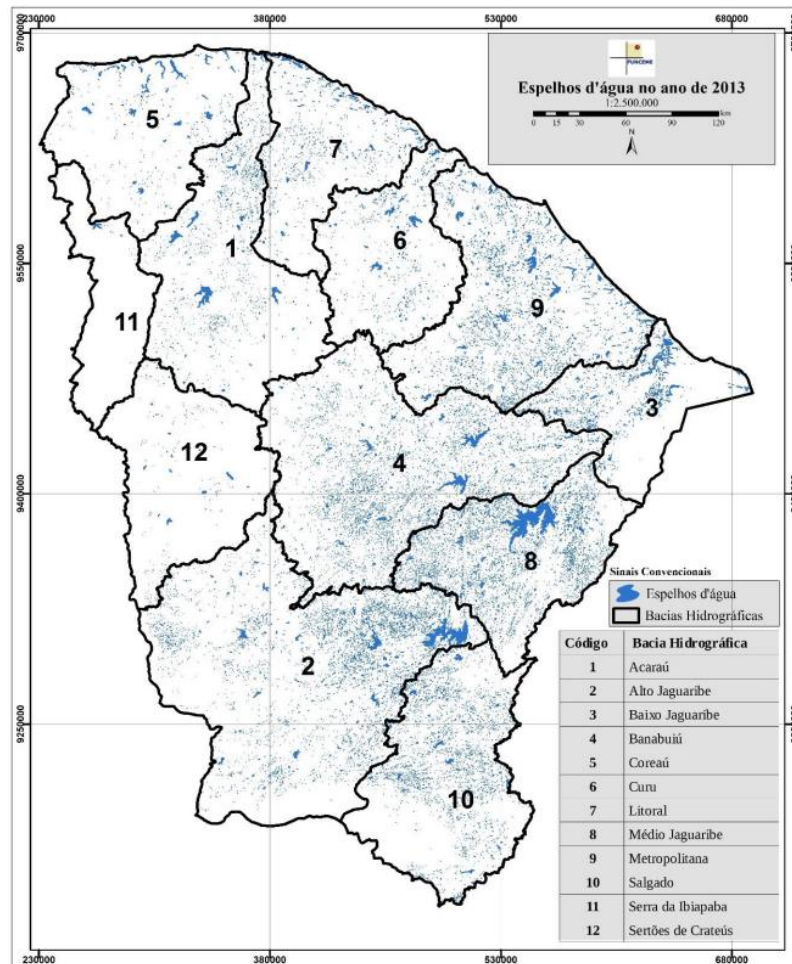
- Localização (resulta em muitos casos em salinização alta, impossibilitando seu aproveitamento);
- Alta evaporação (podendo chegar a 3m por ano, consumindo a maior parte do volume);
- Dificuldade de acesso por parte da população;

A ausência da tradição de irrigação e a falta de acesso ao crédito, que faz com que o uso da água dos açudes se restrinja muitas vezes, principalmente, à pecuária. Um aproveitamento diversificado

dos açudes (irrigação, pecuária, piscicultura) permite um maior aproveitamento da água (Molle e Cadier, 1992).

Estas justificativas influenciam diretamente na qualidade futura dos corpos hídricos superficiais, mostrado na figura 2, onde possuem todos os espelhos d'água de todo o estado cearense.

Figura 2 - Espelhos D'água do Estado do Ceará (2013)



Fonte: FUNCEME (2013)

É notório que todas as bacias hidrográficas possuem uma grande área territorial em hectares, podendo ser destacado o Baixo Jaguaribe com 7.670 ha e 788 espelhos d'água, onde nesse contingente, possui o riacho de estudo.

2.2 Qualidade das águas

2.2.1 Legislação

A qualidade da água superficial está vinculada a fatores naturais como padrão de precipitações, geologia, escoamento superficial e vegetação arbórea. Da mesma maneira que os fatores humanos como liberação de resíduos, tanto de fontes específicas como disseminadas, gestão do solo, entre outros (ANA, 2017; Piazza *et al.*, 2018). De acordo com Pessoa (2013), fontes de poluição pontuais são características por terem origem identificável, sendo possível o controle da qualidade, frequência e quantidade do efluente nos seus lançamentos. Poluentes de fontes disseminadas chegam aos cursos de água através do fluxo superficial, originado em eventos de precipitações intensas e/ou prolongadas. Portanto, durante os períodos chuvosos, particularmente nas primeiras chuvas, há uma grande contribuição de poluição disseminada para os corpos de água (Coelho *et al.*, 2017). Como exemplos de fontes de poluição disseminada podem ser mencionados setores industriais, que despejam seu resíduo na rede de drenagem pluvial ou de esgoto, dificultando a identificação da localização e origem dos contaminantes, bem como atividades agrícolas e saneamento, especialmente conexões clandestinas.

O monitoramento ambiental de longo prazo possibilita o conhecimento de tendências de evolução da qualidade, viabilizando o diagnóstico do corpo de água (Piazza *et al.*, 2018). Com o propósito de delinear os planos de ação, visando estabelecer a gestão dos recursos hídricos, é essencial conhecer a qualidade atual e o uso previsto das águas, de modo a poder determinar os critérios requisitados para a sua melhora, logo, existe o ‘enquadramento’, instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos para assegurar a qualidade dos recursos hídricos em diferentes usos.






A Resolução CONAMA nº 357/2005 classifica os corpos de água em: doce, salgada e salobra. Os corpos hídricos de água doce são classificados em cinco categorias. A classe especial é a que possui melhor qualidade da água e usos mais restritivos. Em ordem decrescente de qualidade da água, há as classes 1, 2, 3 até a 4. As águas salobras possuem salinidade entre 0,5 a 30%, e é dividida em quatro categorias, com a melhor qualidade para a classe especial e a pior para a classe 3.

As águas salinas possuem salinidade igual ou superior a 30% e são divididas em quatro classes, da mesma forma que as salobras. Quando um corpo hídrico for enquadrado como classe especial, deverão ser mantidas as condições naturais. Enquanto as demais classes possuem seus padrões e condições que devem ser atendidos (Brasil, 2005; ANA, 2013).

Em relação à água doce, além das condicionantes básicas para qualidade da água, há também parâmetros específicos com seus valores limites. A água doce classe 1 e 2 utiliza a mesma listagem de parâmetros, apresentando uma lista extra para água que é utilizada para pesca ou cultivo de organismos para fins de consumo intensivo. A classe doce 3 possui uma tabela própria de padrões e seus limites, possuindo valores máximos mais flexíveis. A água doce 4 observa apenas algumas condições e padrões (Brasil, 2005).

As águas salobras de classe 1 precisam obedecer a algumas condições e padrões mais elementares. Além disso, há uma tabela de parâmetros inorgânicos e orgânicos com valores máximos permitidos. Sendo que as águas salobras destinadas à pesca ou cultivo de organismos para fins de consumo intensivo possuem restrição maior para arsênio total e alguns parâmetros orgânicos. As águas salobras de classe 2 possuem condições mais flexíveis e uma tabela própria com menor variedade de padrões a serem controlados. A classe 3 é a menos restritiva (Brasil, 2005). Logo, estas classificações estão evidenciadas no Quadro 2, abaixo.

CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS E SEUS PRINCIPAIS USOS

	 CLASSE 1	 CLASSE 2	 CLASSE 3	 CLASSE 4	 CLASSE ESPECIAL
DADOS RETIRADOS DA RESOLUÇÃO CONAMA nº 357 de 2005	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4	CLASSE ESPECIAL
ÁGUAS DOÇES	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento para consumo humano, após tratamento simplificado; • Proteção das comunidades aquáticas; • Recreações de contato primário, como natação e mergulhos; • Irrigação de hortaliças e frutas consumidas cruas e com casca; • Proteção das comunidades aquáticas em terras Indígenas 	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; • Proteção das comunidades aquáticas e recreação de contato primário; • Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esportes e lazer, com contato direto com o público; • Aquicultura e à atividade de pesca. 	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional ou avançado; • Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras. • Pesca amadora; • Recreação de contato secundários; • Dessedentação de animais; 	<ul style="list-style-type: none"> • Navegação; • Harmonia paisagística. 	<ul style="list-style-type: none"> • Abastecimento para consumo humano, com desinfecção; • Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas; • Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral.
ÁGUAS SALOBRAS	<ul style="list-style-type: none"> • Recreação de contato primário; • Proteção das comunidades aquáticas; • Aquiculturas e à atividade de pesca; • Abastecimento para consumo humano após tratamento avançado; • Irrigação de hortaliças e frutas consumidas cruas e com casca; • Irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer com contato físico direto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pesca amadora; • Recreação de contato secundário. 	<ul style="list-style-type: none"> • Navegação; • Harmonia paisagística. 		<ul style="list-style-type: none"> • Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; • Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.
ÁGUAS SALINAS	<ul style="list-style-type: none"> • Recreação de contato primário; • Proteção das comunidades aquáticas; • Aquicultura e à atividade de pesca. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pesca amadora; • Recreação de contato secundário. 	<ul style="list-style-type: none"> • Navegação; • Harmonia paisagística. 		<ul style="list-style-type: none"> • Preservação dos ambientes aquáticos em unidades de conservação de proteção integral; • Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas.

Quadro 2 – Classificação das águas e seus principais usos.

Fonte: Adaptado. Resolução CONAMA nº 357 de 2005.

Para cada um dos usos e classes de qualidade foram estipuladas condições e critérios por meio de variáveis descritivas e quantitativas (CETESB, 2018), tais como materiais não naturais à deriva, óleos e gorduras, substâncias que causam sabor ou aroma indesejados, pigmentos provenientes de atividades humanas, resíduos sólidos e; valores de pH, demanda biológica de oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), compostos orgânicos, metais totais e dissolvidos, densidade de cianobactérias, teor de clorofila, entre outros (Brasil, 2005) onde são estabelecidos limites aceitáveis de concentração. O valor máximo admissível das variáveis para cada categoria de água é chamado de padrão de excelência. (CETESB, 2018).

Portanto, o Ministério da Saúde por meio do anexo XX da Portaria de Consolidação n 5 de 2017, que estabelece diretrizes sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água e seu nível de potabilidade aplicada à água destinada ao consumo humano, proveniente de sistemas e alternativas de abastecimento de água, com o objetivo de garantir que a água seja consumida dentro de padrões aceitáveis, para que seja evitado doenças causado por corpos hídricos poluídos prejudicando a sociedade e os animais.

2.2.2 Desafios hidrológicos no semiárido cearense

O termo qualidade da água não se restringe a determinação de certo grau de pureza da água, mas de suas características desejáveis para os diferentes usos. Essas características (físicas, químicas e biológicas) podem ser alteradas por poluentes de diversas origens sendo que a sobrecarga pode comprometer a disponibilidade e a qualidade da água para a população humana (Silva, 2015; Oliveira, 2016).

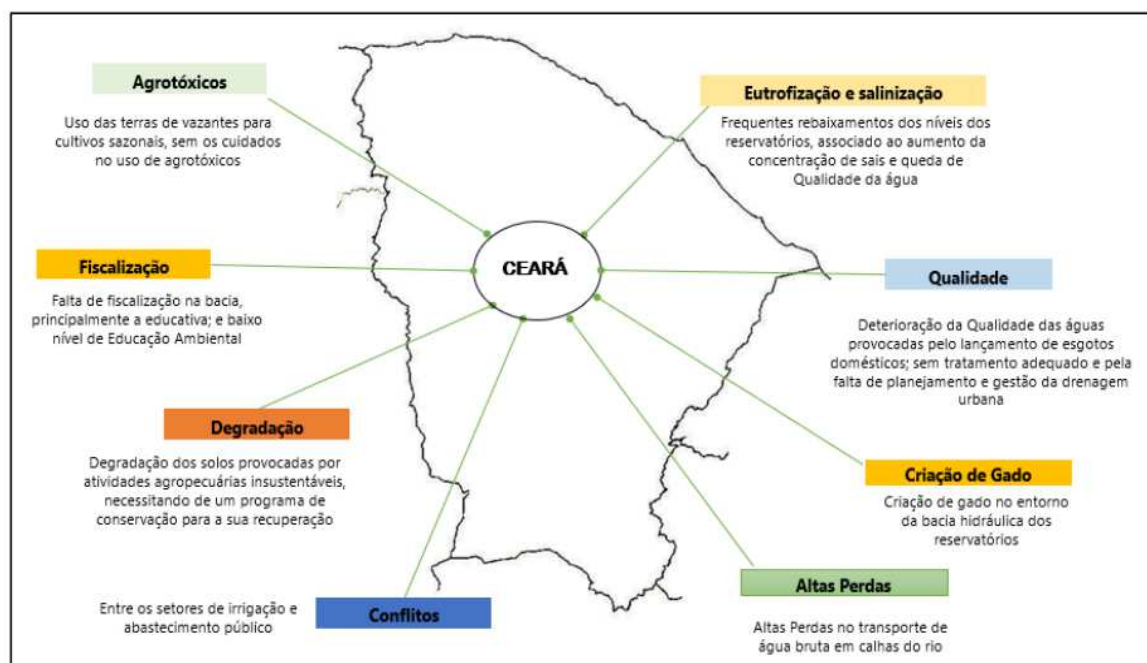
Um dos principais fatores que influenciam na qualidade e na disponibilidade dos recursos hídricos para o estado é a seca. As ações estruturantes implantadas no Ceará ao longo dos anos não foram suficientes para garantir o enfrentamento das mesmas, visto que, no período de 2012 a 2016, foi tido como a pior crise enfrentada, desde o ano de 1910. Essa situação de risco continua preocupante, pois segundo os dados do Sistema Nacional de Informação de Saneamento (SNIS), em 2018, menos de 65% dos domicílios ligados à rede geral tinham disponibilidade diária de água, enquanto o índice de perdas foram 25,08%. Já em relação ao serviço de coleta e transporte de esgoto, apenas 25,15% da população do Estado era atendida, sendo que destes apenas 35,43% era tratado (Brasil, 2019).

Dessa forma, planejar respostas às secas a longo prazo requer o desenvolvimento de uma abordagem holística e proativa que propicie a visão e análise dos diversos riscos, que seja capaz de propor ações sistemáticas antecipadas e que permitam uma melhor convivência com

o semiárido. Em suma, os conceitos de qualidade hídrica definidos pelos estudos destacam a preocupação com a capacidade de fornecer, de forma acessível, água com qualidade e quantidade, considerando a capacidade de gerir os riscos. Esses conceitos convergem para o conceito adotado na pesquisa e que serviu de base para a construção de correlações entre períodos diferentes de análises.

Rabelo (2021) realizou um estudo dos estados do interior do Ceará acerca dos níveis de poluição dos corpos hídricos e foi possível constatar que as circunstâncias que mais agravavam os níveis de poluição nos corpos hídricos superficiais era não só pelas as características sócio naturais inerentes da região semiárida, mas pela crescente pressão sobre os mananciais e sistemas de abastecimento de água. Essa pressão crescente é resultante do exponencial crescimento populacional, desmatamento, eutrofização, salinidade, o uso de agrotóxicos na agricultura, perdas na distribuição, descarga de efluentes industriais e domésticos não tratados, como ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Principais desafios que diminuem a Segurança Hídrica no Estado do Ceará



Fonte: Rabelo (2021).

Em suma, pode-se concluir que essas problemáticas se relacionam com os desafios enfrentados nos últimos anos e podem refletir diretamente na insegurança e qualidade hídrica do estado, sendo atribuídos a vários fatores baseados em sua: infraestrutura de estocagem da água; arranjos institucionais da Gestão dos Recursos Hídricos no Estado do Ceará e na sua

capacidade técnica ligados à gestão de recursos hídricos da COGERH, FUNCEME e SOHIDRA.

A respeito da história da qualidade das águas, a ANA deu início ao Programa Nacional de Avaliação da Qualidade das Águas (PNQA) que se propõe a explicar o conhecimento sobre a qualidade das águas superficiais no Brasil, orientando na elaboração de políticas públicas para a recuperação da qualidade de corpos hídricos, contribuindo assim com a gestão sustentável deste recurso. Apesar da existência desses padrões, a utilização de corpos hídricos tanto para uso pessoal, quanto para econômico no âmbito da pesca, não se restringe a tais limites, o que se gera, em grande escala, a disseminação de variantes virais principalmente quando nos referimos à água de mananciais destinados ao consumo humano, uma vez que sua contaminação por micro-organismos patógenos de origem animal ou humana, pode torná-la um transmissor de agentes causadores de doenças infecciosas e parasitárias.

Cada atividade antrópica impacta nos recursos hídricos de formas específicas, destacar destacando-se, principalmente, os impactos gerados pelo esgoto doméstico que apresentam matéria orgânica biodegradável, microrganismos, nutrientes, fósforo, óleo, graxa, detergentes, metais, etc. Lixiviado de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos podem alcançar concentrações até 100 vezes maiores que do esgoto doméstico derivado da biodegradação; e também podem ser observados grandes impactos derivados da mineração, principalmente, devido a presença de metais pesados, tais como mercúrio e arsênio (Silva, 2015).

2.3 Parâmetros de qualidade da água

A qualidade da água reflete as condições ambientais da bacia hidrográfica, sendo assim, conhecer as características de qualidade da água amplia o conhecimento ecológico do ecossistema e possibilita detectar alterações provenientes da atividade humana (Souza e Gastaldini, 2021). Sendo assim, tem sido papel da Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) monitorar a qualidade da água acumulada nos reservatórios do Ceará, e o sistema de tratamento é responsabilidade da CAGECE e do Sistema Autônomo de Água e Esgoto (SAAE).

Após a pandemia, alguns projetos de monitoramento retornaram a serem aplicados no Brasil, como o Observando Rios, feito pelo SOS Mata Atlântica, realizado em 2021 e 2022, categorizando a qualidade da água segundo sua aplicação no Índice de Qualidade das Águas (IQA) com parâmetros de percepção que permitem que a sociedade realize o levantamento, de acordo com a legislação vigente, utilizando 16 parâmetros do IQA: temperatura da água,

temperatura do ambiente, turbidez, espumas, lixo flutuante, odor, material sedimentares, peixes, larvas e vermes vermelhos, larvas e vermes escuros e transparentes, coliformes totais, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), potencial hidrogeniônico (pH), fosfato (PO₄) e nitrato (NO₃). Como principal resultado, foram levantados os principais resultados com números totais e percentuais, conforme média da qualidade da água aferida em no Estado do Ceará (Figura 4). Na Figura 5, as informações foram resumidas por escala de IQA variando de qualidade péssima à ótima.

Figura 4 - Comparação de resultados aferida em 2021 e 2022 no Estado do Ceará.

RESULTADOS	2021		2022	
ÓTIMA	0	0,0%	0	0,0%
BOA	0	0,0%	0	0,0%
REGULAR	2	100,0%	2	100,0%
RUIM	0	0,0%	0	0,0%
PÉSSIMA	0	0,0%	0	0,0%
TOTAL	2	100,0%	2	100,0%

Fonte: SOS MATA ATLÂNTICA. Observando Rios (2023).

Figura 5 - Escala de IQA.



Fonte: SOS MATA ATLÂNTICA. Observando Rios (2023).

É importante observar que as propriedades físicas não podem ser completamente dissociadas da composição química. Certos parâmetros, tradicionalmente classificados como propriedades físicas, mensuram as características resultantes da presença de determinados constituintes na água. Nesta pesquisa, foram realizadas medições de turbidez, condutividade elétrica e resíduos totais para todas as amostras coletadas.

Por outro lado, os ensaios com parâmetros químicos são fundamentados na análise da qualidade da água por meio de sua composição química, a qual é influenciada pela presença de diversos constituintes de origem natural ou antrópica. Esses parâmetros químicos são empregados em diversas circunstâncias para monitorar e avaliar a qualidade de água potável, água natural e água residual. Além disso, tais parâmetros são essenciais para definir os processos de tratamento mais eficazes e avaliar os riscos à saúde humana decorrentes da presença de componentes químicos prejudiciais.

2.3.1 Parâmetros físico-químicos

2.3.1.1 Potencial hidrogeniônico

O potencial hidrogeniônico (pH), representa a medida da concentração hidrogeniônica da solução, ou seja, a quantidade de íons H^+ presente em solução. Segundo Brown, Lemay Junior e Bursten (2005), a concentração molar de H^+ (aq) em uma solução aquosa geralmente é muito pequena. Pelo pH pode-se dizer se uma solução é ácida, neutra ou alcalina. A escala de pH varia de 0 a 14 a 25 °C. Dessa forma, a uma temperatura de 25°C:

- a) Se $[H^+] > [OH^-]$ tem-se uma solução ácida, com valores de $pH < 7$;
- b) Se $[H^+] = [OH^-]$ tem-se uma solução neutra, com valor de $pH = 7$;
- c) Se $[H^+] < [OH^-]$ tem-se uma solução básica, com valores de $pH > 7$.

Segundo a Portaria MS 2914/ 2011, o valor desse parâmetro deve estar entre 6,0 a 9,5 no sistema de distribuição de água. Dessa forma, o pH é importante nas etapas dos processos de tratamento de água, bem como, coagulação, floculação e desinfecção. Ademais, esse parâmetro responde a fatores de origem natural e antropológica, interferindo na oxidação de matéria orgânica, absorção de gases da atmosfera, fotossíntese e processo erosivo, e de despejos inadequados de resíduos domésticos e industriais. Todas essas reações poderão comprometer o controle das estações de tratamento de água (ETA) e de distribuições se possuírem valores muito elevados, causando incrustações e corrosões, se os valores forem baixos.

2.3.1.2 Condutividade Elétrica

A condutividade elétrica não tem valor limite estabelecido na resolução normativa do CONAMA N° 357/2005, e pode ser afetada pela quantidade de chuva na região. A mesma está

relacionada com a capacidade da passagem livre de corrente elétrica, resultando na presença de cátions e ânions na água de maneira direta, ou seja, quanto maior a sua concentração, maior será a condutividade aferida em análise, e de forma indiretamente, podendo aferir a quantidade de sais presentes na água, possibilitando melhores respostas (Ciência. ifes, 2023).

A unidade usual para expressar este parâmetro é o microsiemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e sua importância é fundamental, pois a concentração de íons depende diretamente do volume de precipitação que o corpo hídrico recebeu como aporte. Logo, para possíveis reconhecimentos de impactos ambientais que ocorram por lançamentos de resíduos industriais, domésticos, ou provenientes de mineração, apesar de não determinar, especificamente, qual íons está presente na amostra, os sedimentos estão mais aparentes se houver baixos índices de precipitação e intemperismo químico acentuado de rochas.

2.3.1.3 Turbidez

A turbidez é a interferência da concentração das partículas suspensas na água, medida por meio do efeito da dispersão da luz que elas causam. A análise desse parâmetro permite verificar, a concentração de partículas coloidais presentes na água, a partir do princípio de quantidade de luz dispersa, dando como resposta a turbidez na unidade de NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*) para medir o nível de turvação, mas de maneira genérica, a unidade que expressa a turbidez também é citada como uT (Unidade de Turbidez).

Quando os compostos em suspensão não são de natureza química tóxica, a turbidez é apenas uma questão de inadequação estética, porém quando tem microrganismos associados a essas partículas suspensas, dificulta o tratamento da água, pois reduz a eficiência dos desinfetantes (De Paula, 2009).

A presença de sólidos em suspensão, podendo ser de origem natural, como as algas, microrganismos, ou o próprio solo, ou de origem antropogênica como os despejos domésticos e industriais são os principais determinantes. Esses efluentes conferem uma aparência turva à água, sendo que as fontes antropogênicas não provocam, diretamente, grandes implicações sanitárias; já os despejos domésticos ou industriais, podem implicar na presença de compostos tóxicos e matéria orgânica não solúvel. Por fim, a redução da passagem de luz causa decréscimo da taxa fotossintética dos seres autótrofos, prejudicando o ecossistema aquático (Sperling, 2017).

2.3.1.4 Resíduos/Sólidos Totais

Os sólidos correspondem a toda matéria que permanece na água como resíduo após a evaporação, secagem ou calcinação da amostra a uma temperatura pré-estabelecida durante um período fixado. Podem ser conceituados como o resíduo que resta na cápsula após a evaporação, de uma porção de amostra e sua posterior secagem em estufa a 103-105°C, até alcançar um peso constante. A medição dos sólidos totais é importante para definir as condições ambientais, baseado na premissa de que estes sólidos podem causar danos à vida aquática em geral, como por exemplo, a diminuição da incidência de luz, aumento da sedimentação no leito dos rios, causando mortandade de organismos na base da cadeia alimentar, ou também danificar os leitos de desova de peixes. Os sólidos podem reter bactérias e resíduos orgânicos no fundo dos rios, promovendo decomposição anaeróbia (FAET, 2023).

As características de gosto e odor têm contribuição direta dos compostos orgânicos e inorgânicos, os quais são oriundos de decomposição de vegetais, descargas de efluentes, gerando eutrofização e crescimento excessivo de algas. Tais características, podem afetar diretamente o uso da água, pois prejudicam a recreação, o lazer, o turismo e quanto aos organismos vivos, gera um envenenamento dos mesmos (Santos; PPRH, 2015). Os sólidos em suspensão são a quantidade de sólidos determinada com a secagem do material retirado por filtração da amostra, através de um filtro de seringa micro-malha de 0,45 micrômetros, que é dado em mg/L. Os sólidos representam um grande problema devido ao volume separado e acumulado que os mesmos podem causar em um corpo hídrico superficial, devido a lançamentos de resíduos e esgotos, além da difícil destinação final, podem gerar possíveis transtornos ambientais irreversíveis (Jordão; Pessôa, 2011).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

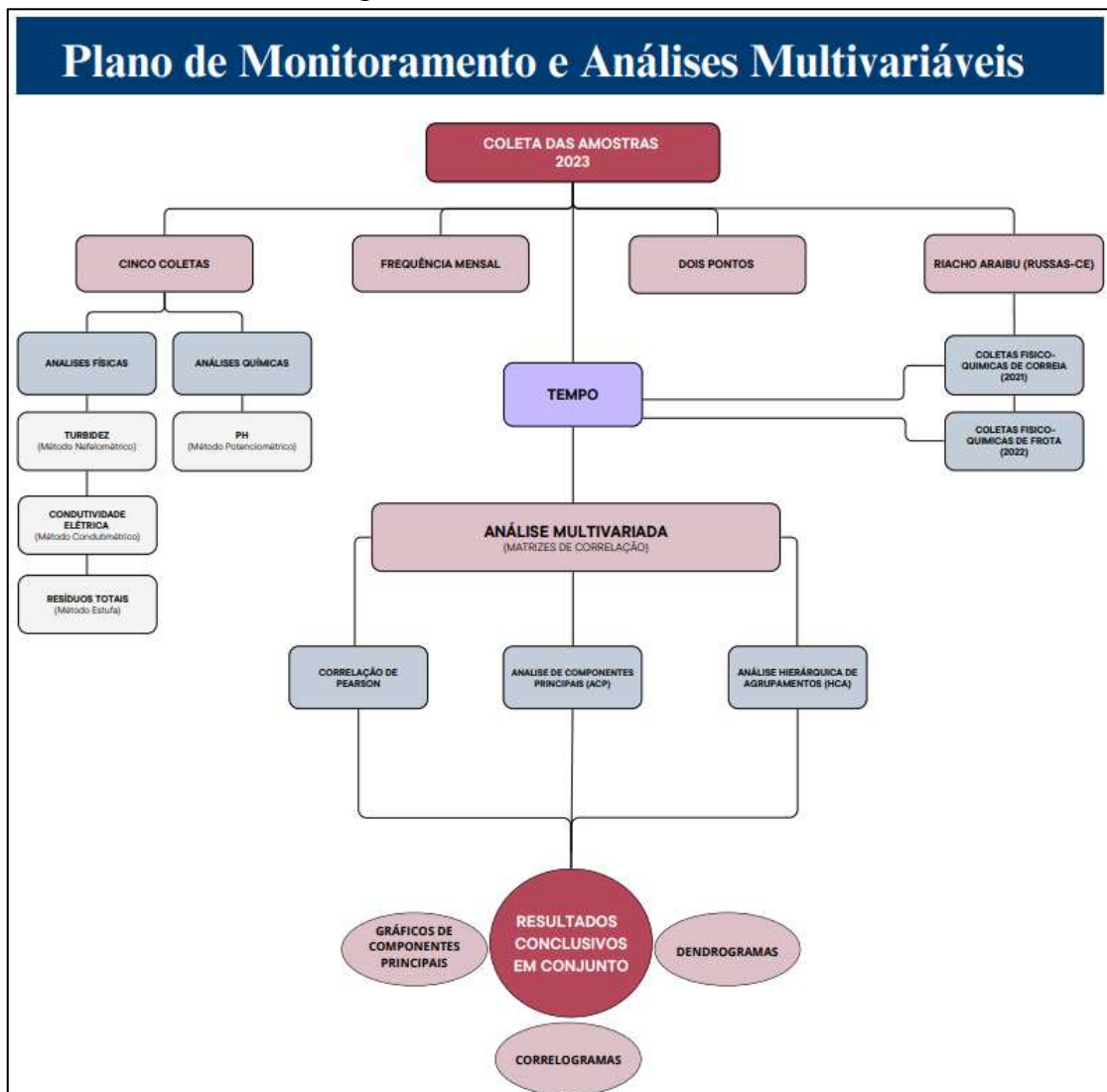
Esta pesquisa teve como objetivo principal, o monitoramento do riacho Araibú durante o período de abril a agosto de 2023, por meio da coleta e análise de dados. No entanto, no início do mês de agosto, devido a fatores externos, foi iniciada uma obra no local com o propósito de construir uma passagem molhada para veículos e pedestres, o que resultou na impossibilidade de acesso à área de estudo. Além disso, as atividades de drenagem, executadas por meio de bombas, provocaram alterações no fluxo da água. Essas circunstâncias adversas, somadas à interrupção do acesso ao trecho de estudo levaram à necessidade de interromper a pesquisa no

quinto mês, mesmo que a intenção inicial fosse a obtenção de dados ao longo de no mínimo seis meses.

Diante desse cenário, a aplicação da análise multivariada foi essencial para proporcionar uma compreensão mais aprofundada do comportamento dos dados. A abordagem adotada incluiu a análise de dados anteriores realizados nas mesmas condições e locais de coleta, abrangendo um período de 25 meses. Este período contemplou variações sazonais, considerando tanto a quadra chuvosa quanto o período de estiagem.

A Figura 6 apresenta um esquema detalhado do plano de monitoramento, proporcionando uma visão abrangente do desenvolvimento da pesquisa. Essa representação visual é fundamental para a compreensão da metodologia adotada e contribui para a clareza na exposição dos procedimentos realizados.

Figura 6 – Plano de Monitoramento



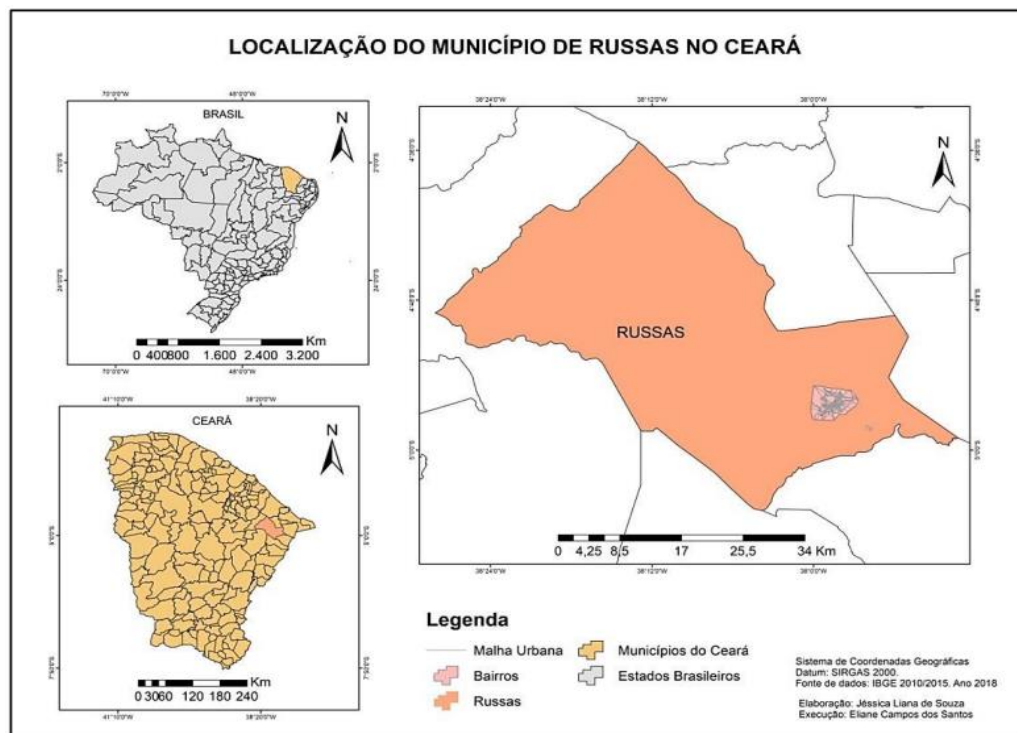
Fonte: Autor próprio (2023).

3.1 Área de estudo

O objeto de estudo contempla um trecho do Riacho Araibú, situado na cidade de Russas localizado na mesorregião do Jaguaribe, microrregião do Baixo Jaguaribe, a 166 km de Fortaleza pela BR-116 e a 127 km de Mossoró, no Rio Grande do Norte. Este corpo hídrico se projeta por vários municípios vizinhos, como Jaguaruana e Itaiçaba, e é de suma importância para todas as regiões citadas, devido aos setores da agricultura, pecuária e pescas amadoras.

Predomina, em todo o município (Figura 7), o recobrimento por caatinga, clima tropical quente semiárido com média anual de 862 mm de precipitação pluviométrica, temperatura média de 24 a 36 °C, área geográfica total de 1.611,091 km² e população de 72.928 habitantes (IBGE, 2022).

Figura 7 – Localização do município de Russas - CE



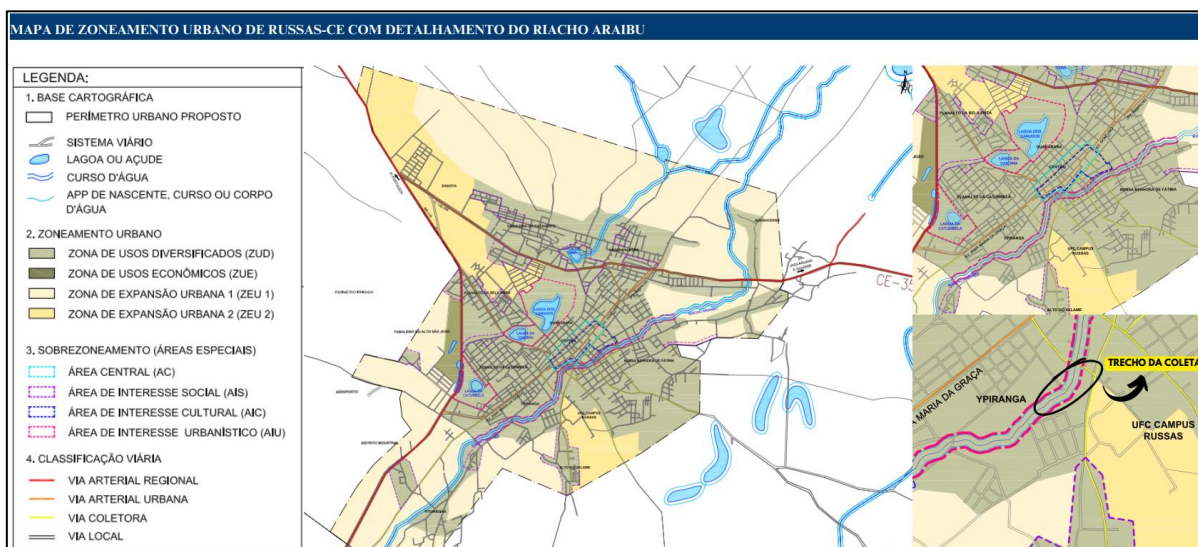
Fonte: IBGE (2018)

Apesar da média a alta densidade da rede hidrográfica, o clima semiárido brasileiro e o grande período consecutivo de baixas pluviosidades fazem com que a grande maioria dos cursos d'água existentes no território de Russas encontre-se seca, assim como os açudes. O açude de Santo Antônio de Russas em Bonhu (Boqueirão), por exemplo, encontra-se totalmente seco, o que promoveu a desativação da estação de tratamento de água ali existente. O Riacho Araibú,

possui um regime intermitente, seu fluxo de água depende do escoamento superficial. Por permanecer seco a maior parte do ano, houve um avanço do crescimento urbano no seu entorno, dando início a sérios problemas ambientais e sociais (Oliveira, 2001).

O riacho mencionado é classificado como intermitente, considerado o braço seco do Rio Jaguaribe, que percorre a uma distância em linha reta de aproximadamente 36 km nos municípios de Russas, Jaguaruana e Itaiçaba. além de possuir uma proteção da Legislação Nacional, recebe grande atenção na Legislação Municipal, a começar pela perspectiva de perenização, prevista na Lei Orgânica e no Plano Diretor Participativo. Apesar de apresentar uma ampla extensão linear, evidenciado na Figura 8, o baixo volume de aporte e altas taxas de evapotranspiração, não é considerado um grande reservatório hídrico.

Figura 8 – Mapa de zoneamento urbano de Russas-CE com detalhamento do riacho Araibú.



Fonte: Adaptado. Plano Diretor Municipal e de Mobilidade Urbana de Russas-CE (2018).

Dentro desse contexto, o Plano Estratégico de Recursos Hídricos do Ceará (2018) planeja uma obra de infraestrutura hídrica direcionada à perenização do Riacho Araibú, na qual visa beneficiar os municípios por qual o rio percorre, findando o abastecimento das comunidades ribeirinhas, elevação do lençol freático e destinação dos todos os efluentes domésticos para a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Russas. O resultado esperado é otimizar o manejo dos recursos hídricos na região russana, conforme é relatado no Caderno Regional da Sub-bacia do Rio Jaguaribe.

Essa pesquisa, teve como início da sua coleta de resultados em abril de 2023 e agosto de 2023, ocorrendo a interferência de um fator externo que modificou o volume de água armazenada no trecho do riacho analisado.

Nas Figuras 9-a, 9-b, 9-c e 9-d encontram-se ilustradas as etapas da obra e as modificações no riacho analisado, o que justifica a descontinuidade do monitoramento. A referida obra terá como objetivo interligar bairros que são considerados periféricos, porém tem apresentado um crescimento populacional significativo. Desse modo, a passagem molhada irá agregar na valorização dos imóveis e maior desenvolvimento das áreas vizinhas.

Figura 9a – Areia de construção



Figura 9b – Mata ciliar retirada

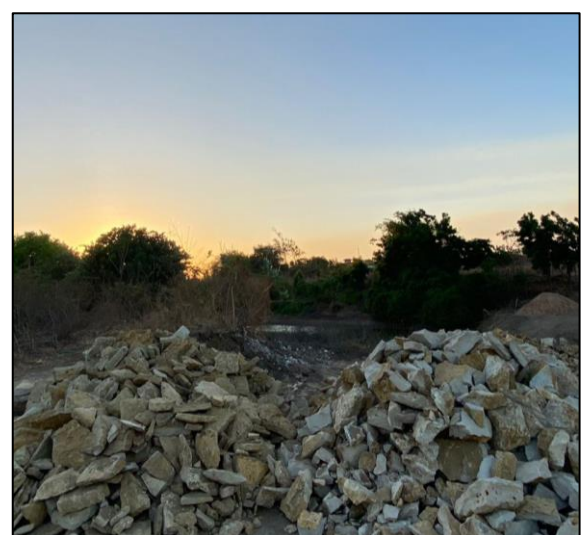


Fonte: Autor próprio (2023)

Figura 9c – Mata ciliar retirada



Figura 9d – Resíduos sólidos ao redor do trecho



Fonte: Autor próprio (2023)

3.2 Impactos ambientais no riacho Araibú

O Riacho Araibú vem passando por um processo acentuado de assoreamento há, aproximadamente, trinta anos (Correia, 2021), processo este que fica evidente ao final da estiagem (Figura 10). Com a construção de habitações na área das margens, retirada da vegetação mata ciliar e lançamentos de esgotos domésticos provocou a contaminação da área e do lençol freático. Além disso, observa-se a criação de animais no leito do riacho (Figura 12), disposição de resíduos sólidos, o que agrava mais ainda o cenário de degradação ambiental.

Figura 10 – Estiagem prolongada.



Fonte: Autor próprio (2023).

Figura 11 – Casas no leito do riacho.



Fonte: Autor próprio (2023).

Figura 12 - Criação de animais no leito do riacho.



Fonte: Autor próprio (2023).

Figura 13 – Resíduos sólidos lançados nas margens.



Fonte: Autor próprio (2023).

Diante dos fatos demonstrados, pode-se constatar que o riacho Araibú carece de medidas que promovam a preservação ambiental, fazendo com que estudos que visem o monitoramento da qualidade do referido corpo hídrico, em seu nível superficial e subterrâneo, sejam emergentes. Esse monitoramento vem sendo realizado pela UFC – Campus Russas, iniciando

com os estudos de Correia (2021), seguido de Frota (2022) e Vieira (2022). Ambas as pesquisas comprovaram a poluição do lençol freático da bacia de drenagem do Riacho, mesmo após ao final da quadra chuvosa.

3.3 Processo de amostragem

O trecho do riacho Araibú não apresenta grande extensão de área molhada, sendo assim, os pontos de coleta foram escolhidos numa área reduzida, considerando o trecho com mais acúmulo de água e de fácil acesso, conforme se observa na Figura 14-A. Logo, considerando esses critérios, as amostras foram capturadas nas coordenadas $4^{\circ} 56' 48''$ S e $37^{\circ} 58' 39''$ W (Figura 14-B). As coletas foram realizadas às 13:00, de abril a agosto de 2023.

Figura 14a – Ponto de coleta (Riacho Araibú)



Fonte: Autor próprio (2023).

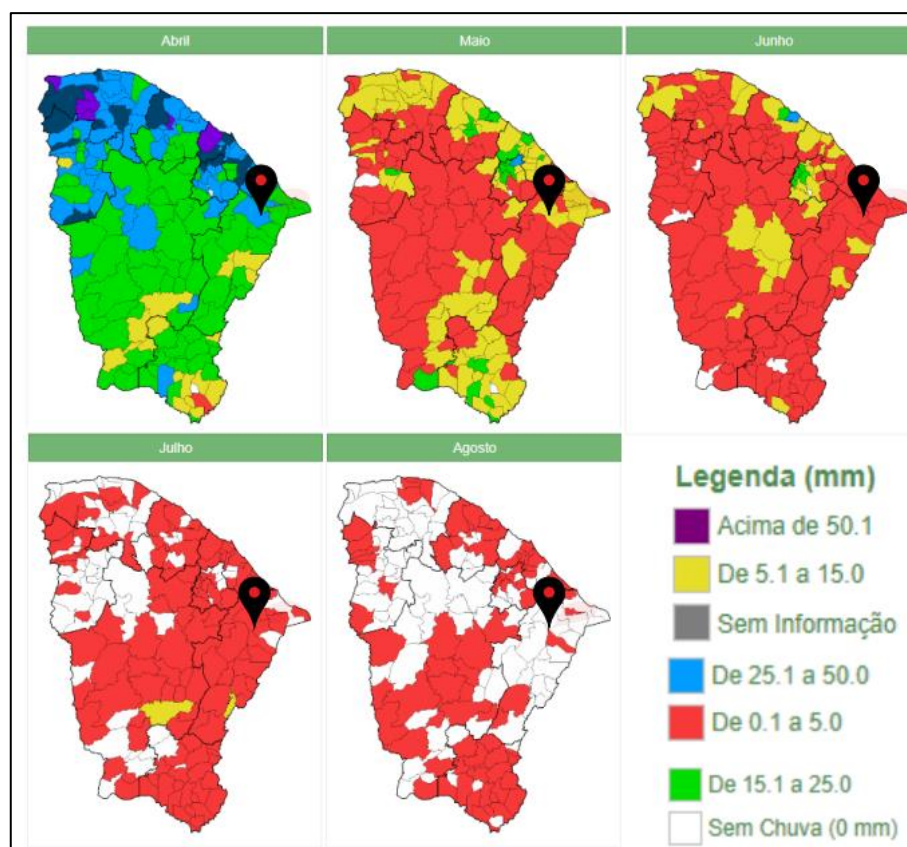
Figura 14b – Coordenadas do ponto de coleta.



Fonte: Adaptado. Google Earth (2023).

Sabendo que a qualidade da água dos corpos hídricos superficiais está diretamente ligada ao regime de chuvas, foram levantadas as precipitações totais ocorridas durante a pesquisa. Durante o período de monitoramento, de acordo com o calendário pluviométrico elaborado pela FUNCEME, a precipitação foi inexistente (sem chuvas) no último mês de análise e apresentou variações significativas no primeiro semestre do ano, alcançando uma média de 25,1 mm a 50,0 mm no primeiro mês do período chuvoso no Ceará (Figura 15). Entretanto, as precipitações diminuíram progressivamente ao longo dos meses, marcando fim da quadra chuvosa.

Figura 15 – Calendário de chuvas.



Fonte: Adaptado. Calendário de chuvas. FUNCEME (2023).

3.4 Procedimentos Experimentais

3.4.1 Coleta das amostras

As coletas foram realizadas no ponto descrito anteriormente sempre no mesmo horário, às 13:00h, mensalmente por 5 (cinco) meses. O volume coletado era de, aproximadamente, 300 ml em frascos de propileno, previamente esterilizados com álcool etílico 70%, manuseados com luvas cirúrgicas (Figura 16-b). Após a coleta, as amostras eram transportadas em caixas térmicas para o Laboratório de Saneamento na UFC - Campus Russas. Que era destinado às análises dos parâmetros físico-químicos (figura 16-a), a fim de realizar a determinação dos parâmetros físico-químicos.

Figura 16a – Amostras



Figura 16b – Coleta das amostras para análises.



Fonte: Autor próprio (2023).

3.4.2 Parâmetros físico-químicos

Para essa pesquisa, os parâmetros escolhidos foram pH, alcalinidade, condutividade elétrica e sólidos totais. Para melhor compreensão do comportamento dos dados diante de um período de tempo maior possível, buscou-se escolher os parâmetros que estavam presentes nos estudos anteriores acerca do monitoramento da qualidade do Riacho Araibú, que em ordem cronológica foram Correia (2021), Vieira (2022) e Frota (2023). Em cada uma dessas análises, empregou-se um par de amostras, buscando uma avaliação mais precisa dos parâmetros examinados neste projeto. Ademais, atentou-se para que todos os instrumentos fossem devidamente calibrados antes das análises.

- *Turbidez*

Na determinação da turbidez, foi utilizado o Método Nefelométrico, que se baseia na comparação da quantidade de luz dispersa pela amostra com a quantidade da luz dispersa por uma suspensão de referência padrão nas mesmas condições. As Figuras 17-a, 17-b e 17-c ilustram as amostras, o equipamento modelo TU430 da AKSO e quatro suspensões padrão que o acompanham. As suspensões padrão foram utilizadas para a calibração do Turbidímetro durante todo o período de desenvolvimento da pesquisa.

Figura 17a – Amostras 1 e 2 Figura 17b - Turbidímetro Digital TU430 Figura 17c - Soluções padrão de 0, 20, 100 e 800 NTU



Fonte: Autor próprio (2023).

O procedimento consistiu, inicialmente, na realização da calibração do Turbidímetro, empregando as quatro soluções padrão que acompanharam o equipamento, com valores de 0, 20, 100 e 800 NTU. A calibração foi executada conforme as instruções de operação do fabricante, sempre assegurando que o nefelômetro fornecesse leituras estáveis em cada um dos passos. A segunda etapa envolveu a verificação da presença de sedimentos grosseiros que pudessem se depositar rapidamente. Em seguida, observou-se também a presença de floculação para avaliar a necessidade de agitar a amostra e dissolver esses agregados.

Posteriormente, foram transferidos 20 mL para a cubeta, com precaução para evitar a formação de bolhas de ar. Após esse transcurso, procedeu-se à verificação quanto à existência de ranhuras, manchas decorrentes do manuseio ou condensação na superfície externa. Os procedimentos descritos estão em conformidade com as diretrizes do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2023)*, com o propósito de assegurar uma medição reproduzível e precisa.

- *Condutividade Elétrica*

As análises foram conduzidas utilizando o condutivímetro Tecnopon mCA-150. É válido observar que foram seguidas as instruções específicas do fabricante quanto à calibração e ao uso, conforme indicado pelas normativas do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2023)*. Nesse sentido, para calibrar o equipamento, utilizou-se uma solução padrão fornecida com o próprio medidor, com um valor igual a 149.9 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Após a calibração, procedeu-se à lavagem da célula com água destilada e realizaram-se as medições.

Figura 18 – Procedimento de leitura da condutividade elétrica.



Fonte: Autor próprio (2023).

- *Sólidos Totais*

A determinação dos resíduos totais seguiu as recomendações estabelecidas pela NBR 10664 (ABNT, 1989) onde diz que: "material remanescente na cápsula após a evaporação parcial da amostra e subsequente secagem em estufa à temperatura escolhida, até a massa constante". Baseado nisso, foram utilizados 50 ml de cada amostra replicada em cápsulas de alumínio higienizadas, pesadas antes e depois de serem colocadas na estufa a uma temperatura de 100°C por 24 horas, de modo a obter, ao final, o peso dos resíduos totais, conforme ilustrado na Figuras 19-a, 19-b e 19-c.

Figura 19a– Estufa a 100°C

Figura 19b – Cápsulas

Figura 19c – Pesagem das amostras



Fonte: Autor próprio (2023).

- *pH*

Inicialmente, procedeu-se à calibração do equipamento Tecnoyon mPA-210 (Figura 20-b) utilizando três soluções tampão fornecidas pelo fabricante, que incluíam soluções de pH 4 e pH 7 (Figura 20-a). Em seguida, utilizando uma proveta para uma mensuração mais precisa, foram retirados 50 ml da amostra, os quais foram transferidos para um béquer também de 50 ml. É relevante ressaltar que todas as medições foram realizadas em duplicata.

De acordo com as diretrizes fornecidas pelo fabricante e pelas normativas do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2023)*, procedeu-se à remoção do eletrodo da solução de armazenamento, realizando o enxágue subsequente com água destilada. Posteriormente, o eletrodo foi meticulosamente seco com material macio antes de ser inserido na amostra para a execução da medição. Além disso, empregou-se o medidor de pH/ET portátil para obter uma comparação dos resultados (Figura 20-c).

Figura 20a - Solução tampão com pH 4 e 7



Figura 20b - pHmetro de bancadas



Figura 20c – Medidor de pH portátil



Fonte: Repositório UFC (2022).

3.5 Análise estatística dos dados

Com o intuito de obter resultados mais aprofundados e conclusivos das análises realizadas, surgiu a necessidade de examinar os parâmetros dos anos anteriores do Riacho Araibú, integrando os mesmos dados físico-químicos em períodos de estiagem e chuvoso. Diante disso, identificou-se que o método mais eficaz seria a implementação da análise multivariada entre os resultados de todas as fases. Em função do conjunto de variáveis analisadas, optou-se pelo uso do conjunto de dados proveniente do ano de 2021 (estudo de Correia), Frota (2022) e o presente estudo em 2023, os quais compartilham o mesmo agrupamento de parâmetros (pH, turbidez, condutividade elétrica e resíduos totais).

A aplicação de análises multivariadas e matrizes de correlações proporcionou uma compreensão mais ampla e ilustrativa para o desenvolvimento deste trabalho. A análise multivariada, em suas diversas capacidades, permite, entre outros benefícios, reduzir a representação dimensional dos dados, organizando-os em uma estrutura que facilita a visualização global dos resultados, ao mesmo tempo em que preserva as informações relevantes e elimina aquelas consideradas irrelevantes e/ou redundantes (Rencher; Christensen, 2012).

Portanto, este método, abrange a utilização de técnicas de tratamento estatístico e métodos multivariados como a correlação de Pearson, análise de componentes principais (ACP) e análise hierárquica de agrupamento (HCA), que utilizando o *software Minitab 21.4.1* foi possível obter as análises dos dados e matrizes para as representações dos resultados.

O cálculo dos coeficientes da correlação de Pearson foi realizado para medir estaticamente a associação entre duas variáveis linearmente relacionadas com o objetivo de avaliar as suas intensidades entre si, através de suas correlações formando uma matriz com as análises exploratórias multivariadas. Logo, o intuito é avaliar a correlação existente entre os parâmetros dos estudos, através de métodos matemáticos, para distinguir qual o grau de influência ou de similaridade no comportamento entre eles. Em síntese, o cálculo de Pearson indica se, à medida que um atributo sofre alteração, o outro terá um comportamento linear e previsível a partir dos seus resultados, sendo positivo ou negativo, e esses resultados são gerados a partir Equação 1:

Equação 1 – Coeficiente de correlação de Pearson

$$p = \frac{Cov\ x,y}{S_x S_y} = \frac{\sum(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{Y})^2}}$$

Onde,

Cov (x e y) é a covariância entre as covariáveis;

Sx e Sy são, respectivamente, o desvio-padrão de x e de y;

Xi é o valor de x para cada i;

\bar{x} é a média de x;

\bar{Y} é a média de y.

O resultado da equação 1 do coeficiente de correlação depende do valor numérico e do sinal que ele possui, logo, o mesmo varia de -1 a +1, onde, quanto mais próximo de 1 mais diretamente correlacionado positivamente a variável estará, quanto mais próximo de zero, é considerado inexistente, e mais próximo de -1, é inversamente correlacionada, como ilustrado no quadro 3.

Quadro 3 – Interpretação do coeficiente de correlação de Pearson

Valor do coeficiente p	Interpretação
-1	Correlação negativamente perfeita
-1 a -0,90	Correlação negativa muito forte
-0,89 a -0,70	Correlação negativa forte
-0,69 a -0,40	Correlação negativa moderada

-0,39 a -0,20	Correlação negativa fraca
-0,19 a 0,00	Correlação negativa muito fraca
0,00	Correlação nula ou inexistente
0,00 a 0,19	Correlação positiva muito fraca
0,20 a 0,39	Correlação positiva fraca
0,40 a 0,69	Correlação positiva moderada
0,70 a 0,89	Correlação positiva forte
0,90 a +1	Correlação positiva muito forte
+1	Correlação positivamente perfeita

Fonte: Batista, Medium (2021).

O segundo método utilizado foi a de Análise de Componentes Principais (ACP), por ser um mecanismo que ajuda na elaboração de hipóteses gerais e é capaz de separar a informação importante da redundante. Seu principal objetivo é reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados, preservando ao mesmo tempo o máximo da informação (Rencher; Christensen, 2012).

A utilização desse método permite extrair os dados originais e transformar em variantes modificadas a partir de combinações lineares, logo, a partir de um conjunto de dados em combinações, é possível uma interpretação visual mais bem-posta, devido à redução de dados sem a perda significativa de dados, e com fácil interpretação dos mesmos (Minitab, 2023).

E, por fim, o método de Análise Hierárquica de Agrupamento (HCA), por outro lado, é empregado para analisar um conjunto de dados em termos de grupos definidos de maneira hierárquica, de acordo com a similaridade observada entre variáveis ou amostras. Este método atua como uma ferramenta complementar ao ACP. Neste trabalho, a HCA foi conduzida com base nos dados normalizados, utilizando o método Ward's como método hierárquico aglomerativo, enquanto a medida de similaridade empregada foi a distância Euclidiana normalizada.

A partir dos cálculos realizados, obteve-se o dendrograma, o qual permite avaliar o grau de similaridade entre as variáveis ou agrupamentos distintos. Em outras palavras, a análise de agrupamento hierárquico possibilita obter uma visualização mais precisa dos grupos formados a partir dos resultados obtidos nos três períodos dos parâmetros físico-químicos dos estudos. Esses grupos, entre si, exibem características semelhantes e podem ser percebidos de

maneira simplificada através do dendrograma, que, como o próprio nome sugere, (dendro = árvore), é um tipo específico de diagrama ou representação icônica que organiza determinados fatores e variáveis. Nele, os grupos com características mais específicas se interligam, e quanto mais próximos entre si, mais correlacionados eles estão.

Portanto, entender como o estudo em conjunto vai se comportar ao analisar realizar a análise multivariada é muito importante. Isso nos ajuda a entender como a água se comportou ao longo do tempo. Com os resultados, podemos ter uma visão mais clara de como os dados reais se agruparam, qual a relação entre eles e se algo mudou na água do local.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados dos parâmetros físico-químicos foram coletados em vários períodos distintos que teve início no mês de agosto de 2021, caracterizando como o período seco e indo até agosto de 2023, passando por ciclos de inverno e estiagens prologadas, abrangendo um intervalo de 757 dias. Os atributos físico-químicos considerados nesta investigação foram: pH, Turbidez, Condutividade elétrica (CE) e Sólidos Totais (ST)

Na tabela 1, mostra-se os dados utilizados nos três métodos de correlação e formação de grupos de variáveis, onde os resultados dos atributos foram colocados em colunas, e em linhas os dias das coletas com seus determinados períodos, totalizando uma matriz de 5 por 15, exatamente coerente, pois são 5 amostras por cada período: as cinco primeiras do estudo de Correia (2021), seis a dez do Frota (2022) e onze a 15 do presente trabalho.

Tabela 1 – Resultados das análises dos dados.

Parâmetros físico-químicos					
Tempo (dias)		Potencial hidrogeniônico (pH)	Condutividade Elétrica (MS/m)	Turbidez (NTU)	Resíduos Totais (mg/L)
04/08/2021	0	8,3	4,3	33,75	2100
08/09/2021	35	8,7	5,6	42,65	2700
26/10/2021	83	9,6	9,8	206	3970
04/11/2021	92	9,3	10,9	179,55	7580
07/12/2021	125	9,5	17,7	249,5	14570
15/01/2022	164	8,3	17,23	76,8	12860
15/02/2022	195	7,4	19,78	77,55	15810
15/03/2022	223	7,2	1,213	29,4	500
15/04/2022	254	7,9	2,66	10,16	660
15/05/2022	284	8,8	2,96	10,16	500
24/04/2023	628	8,8	2,76	32,67	159,5
17/05/2023	651	8,1	3,54	32,32	124
20/06/2023	685	8,3	3	36,97	106,5
20/07/2023	715	8,8	4,45	72,8	2420
31/08/2023	757	8,1	4,75	54,17	199,5

Fonte: Autor próprio (2023)

Todas as ferramentas aplicadas no desenvolvimento dos resultados foram implementadas no Minitab, um software livre de ambiente e desenvolvimento integrado para R que possui uma linguagem de programação para gráficos e cálculos estatísticos (Team, 2016). Então, os resultados são aplicados nos métodos primeiramente de forma conjunto, com todos os períodos juntos e depois pelo período de estiagem, depois na quadra chuvosa.

4.1 Correlação de Pearson

Os resultados das análises preliminares, que visaram testar a adequacidade dos dados à ACP, possibilitaram o emprego de tal metodologia. Ao testar a hipótese de que a matriz de correlação é uma matriz identidade foi verificado a existência de correlações significativas entre as variáveis utilizando a fórmula de Pearson. Os parâmetros que possuíram maior número de correlações (Tabela 2) tiveram maior importância na composição das componentes principais (CPs) como mostra em negrito, valores próximos de 1 ou -1 possuem uma correlação maior entre grupos.

Tabela 2 – Auto vetores das variáveis pelo o método de correlação de Pearson.

Variável	CP1	CP2	CP3	CP4	CP5
pH	0,285	-0,782	0,046	-0,552	0,036
Condutividade Elétrica	0,526	0,299	-0,292	-0,223	-0,707
Tempo	-0,36	-0,174	-0,916	-0,013	0,042
Turbidez	0,497	-0,371	-0,135	0,773	0,024
Resíduos Totais	0,516	0,363	-0,236	-0,221	0,705

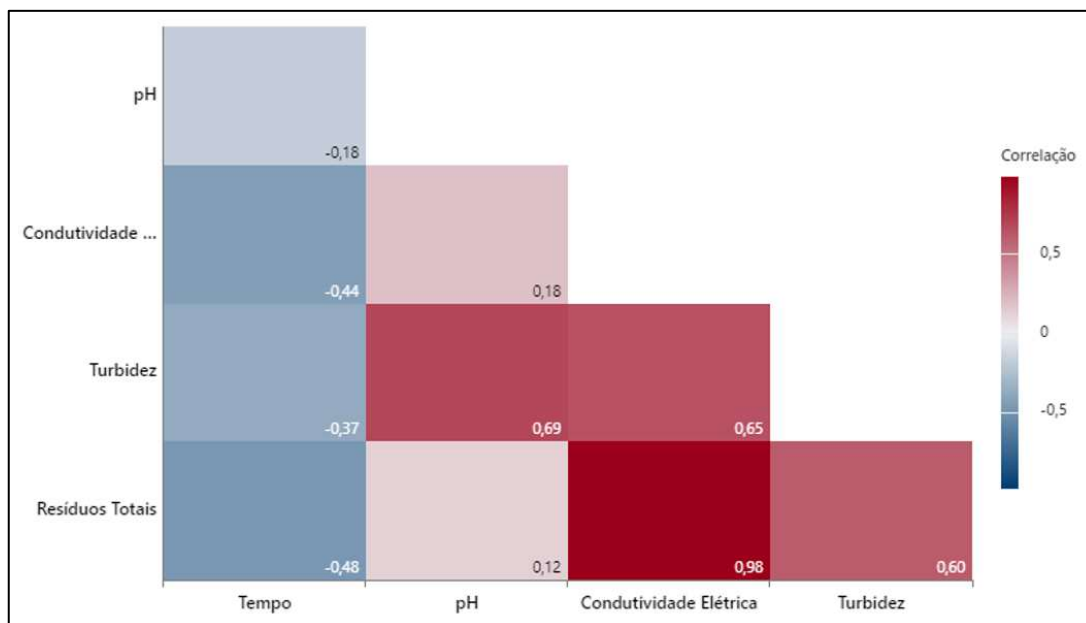
Fonte: Autor próprio (2023).

Na tabela 2 é mostrado que dos 25 coeficientes de correlação, 20% do total de pares, apresentaram valores no intervalo $\pm 0,6 \leq |p| \leq 0,9$ \pm , caracterizados, segundo Callegari-Jacques (2003), como de correlação forte. O percentual 28 % encontra-se no intervalo $\pm 0,3 \leq |p| \leq 0,6$ \pm caracterizados como de correlação moderada e 52% com correlação quase inexistente devido a sua aproximação com zero.

- *Todos os períodos juntos*

A Figura 21 apresenta a matriz de correlação (correlograma) para os atributos analisados, para valores significativos com $p < 0,05$, com destaque para as correlações fortes, reduzindo os grupos e simplificando os resultados. Logo, a correlação dos grupos está representada no correlograma a partir de cores, onde quanto maior o contraste da cor, mais forte é sua correlação.

Figura 21 – Correlograma de tempo, pH, condutividade elétrica, turbidez e resíduos totais.

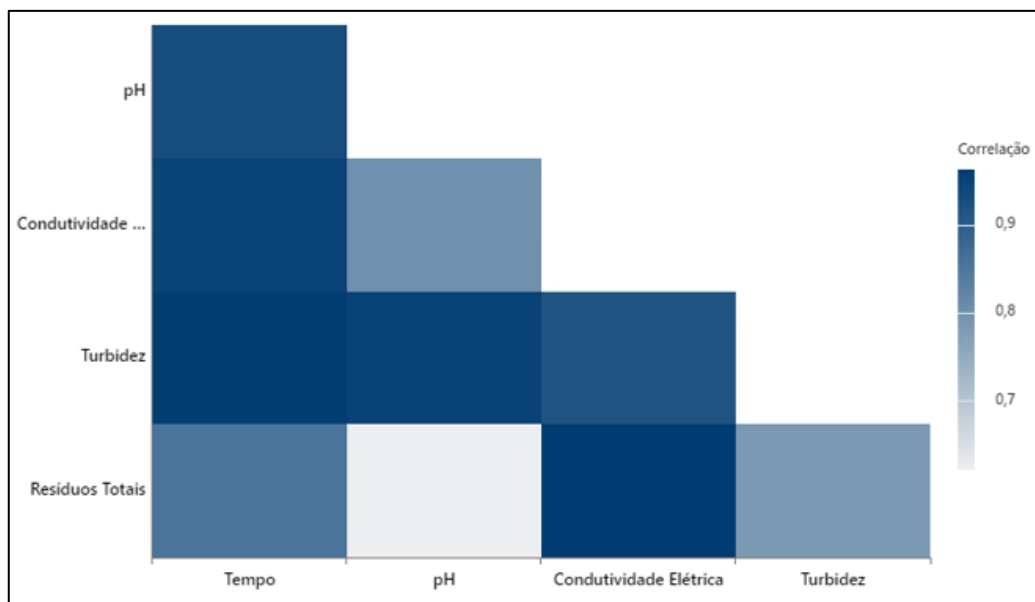


Fonte: Autor próprio (2023).

A matriz de correlação mostra que os resíduos totais possuem uma correlação forte com a CE e moderada com a turbidez, indicando a presença de matéria orgânica e íons dissolvidos na água interferem diretamente na passagem da luz pela água. Além disso, a correlação do pH com o tempo é fraca no primeiro princípio, a medida que o processo de eutrofização avança, o meio fica mais básico (pH aumenta) e com essa eutrofização avançando, acarreta no aumento de algas, que promove aumento da turbidez, onde a mesma apresentou correlação moderada a forte com o pH e CE, sugerindo que este atributo é possivelmente, proveniente de substâncias orgânicas, despejos de efluentes e nutrientes. Por fim, a correlação da CE com o tempo, que devido à falta de chuvas, as águas não foram se renovando e as mesmas ficaram mais propensas a diminuir, logo, possuem mais esquissos de sólidos dissolvidos e altas temperaturas.

- *Período de Estiagem*

Figura 22 - Correlograma de tempo, pH, condutividade elétrica, turbidez e resíduos totais.



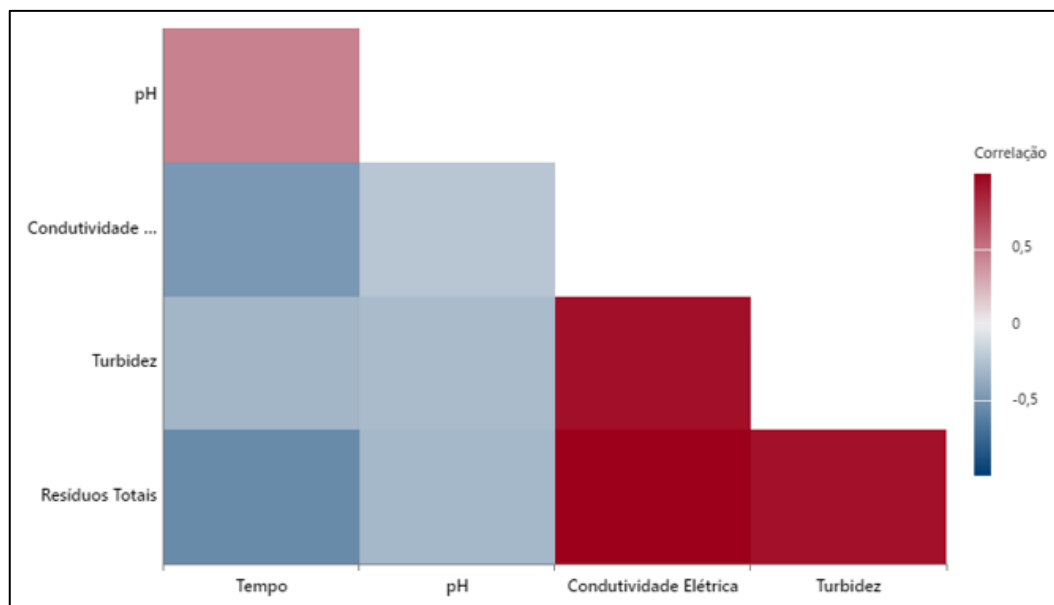
Fonte: Autor próprio (2023).

A matriz de correlação evidencia que praticamente, os mesmos parâmetros aplicados no correlograma anterior, possuem correlações fortes como neste, tendo os resíduos totais mantendo uma correlação forte tanto com a Condutividade Elétrica (CE) quanto com o tempo, indicando que a prolongada estiagem resulta na evaporação da água do riacho, gerando maiores concentrações de sólidos dissolvidos, o que dificulta a penetração da luz. A turbidez, por sua vez, revela uma forte correlação com o tempo, causando o escurecimento dos afluentes, e o pH com a CE, sugerindo que esse atributo é provavelmente originado de substâncias orgânicas, descargas de efluentes e excesso de nutrientes, todos correlacionados com o decorrer do tempo, especialmente durante a temporada de seca intensa.

Além disso, a correlação entre a CE e o tempo indica que, devido à escassez de chuvas, as águas não foram renovadas, tornando-as mais propensas à redução e apresentando maior concentração de sólidos dissolvidos e temperaturas elevadas, conforme já mencionado na problemática descrita no correlograma apresentado na Figura 21. Logo, a sazonalidade climática não influenciou na correlação entre os parâmetros.

- *Período de Quadra chuvosa*

Figura 23 - Correlograma de tempo, pH, condutividade elétrica, turbidez e resíduos totais.



Fonte: Autor próprio (2023).

A matriz de correlação revela que os resíduos totais mantêm uma correlação forte tanto com a Condutividade Elétrica (CE) quanto com a turbidez, indicando a possível presença de sais dissolvidos e ionizados na água, juntamente com resíduos e sólidos em suspensão, provavelmente originados por matéria orgânica ou variações de temperatura. Contudo, observa-se uma redução acentuada na correlação entre o pH, evidenciando que as precipitações estão atenuando a acidez da água.

A turbidez, por sua vez, apresenta uma correlação significativa com a CE, sugerindo que esse atributo possivelmente decorre de despejos de efluentes, como anteriormente documentado no estudo de Frota (2022). Em conclusão, verifica-se uma diminuição na correlação entre a CE e o tempo, assim como no pH em relação ao tempo, não havendo correlações significativas, obtendo uma comparativa oposta dos resultados do trabalho de Andrade (2007), objeto de pesquisa que foi destacado nas referências e que possuiu todos os seus resultados com correlações acima de 0,5.

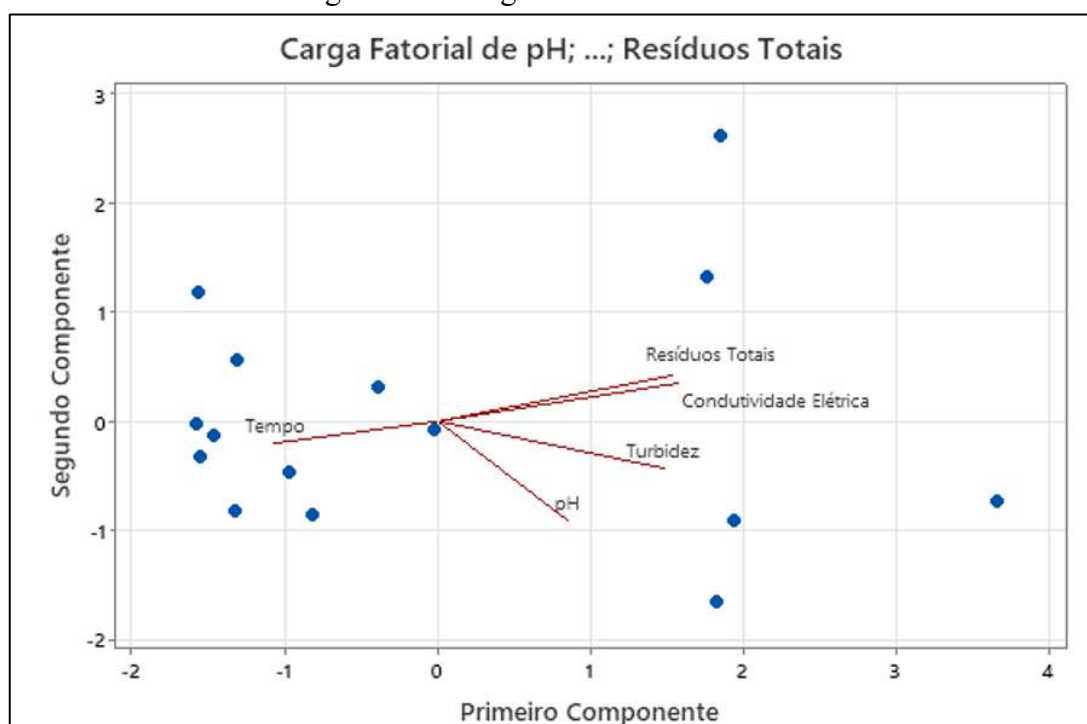
4.2 Análise de Componentes Principais (ACP)

Com a finalidade de aprimorar a interpretação dos dados multivariados, optou-se por excluir amostras praticamente inexistentes, visando evitar poluição no gráfico que ilustra as análises de componentes principais.

- *Todos os períodos juntos*

Portanto, o gráfico das cargas apresentado na Figura 24 apresenta todos os componentes principais sendo independentes entre si, ou seja, não possuindo correlações, por serem perpendiculares entre si, indicando a independência de um componente com o outro na repetitividade, sendo representadas de maneira linear.

Figura 24 – Carga fatorial dos atributos.



Fonte: Autor próprio (2023).

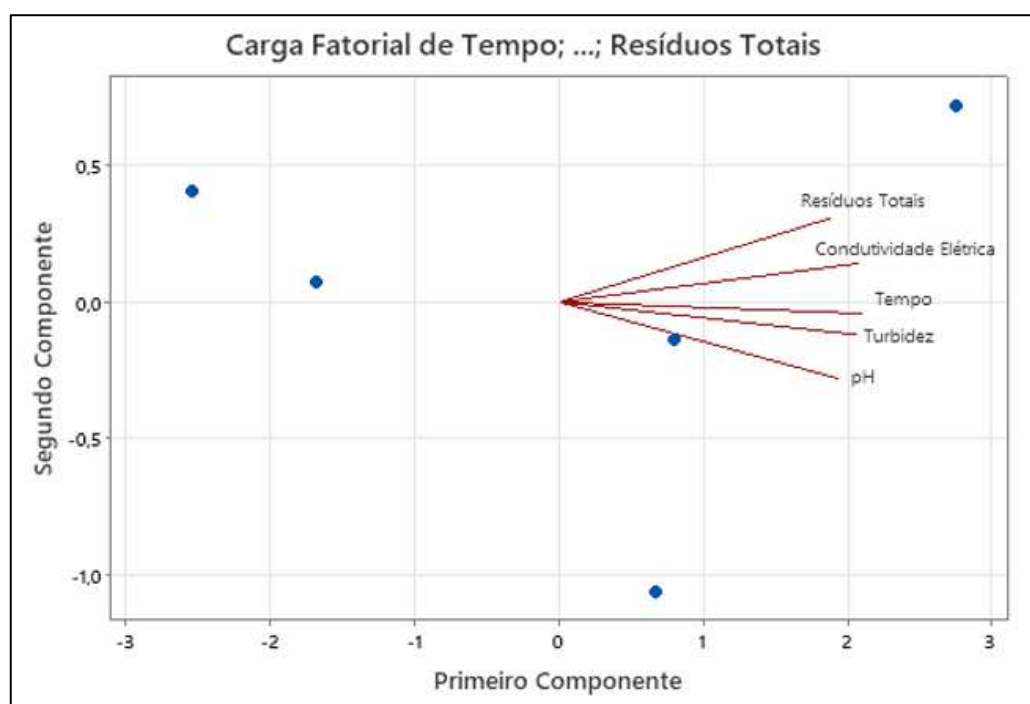
Os pontos de cor azul representam os autovetores, indicativos das medidas em x e y das cargas fatoriais nas análises. Estes pontos circundam o eixo zero, situado nos eixos x e y, no início das linhas vermelhas. Quanto mais afastados do eixo zero, maior é o valor associado. O comportamento das cargas variáveis está vinculado à relação entre o primeiro e o segundo componente, conforme retratado no gráfico, sendo que a formação dos agrupamentos ocorre com base na inclinação das linhas.

Como evidenciado, os sólidos totais e a condutividade elétrica compartilham a mesma direção e apresentam uma inclinação semelhante, permitindo combiná-los e formar um grupo. Situação análoga ocorre com a turbidez e o pH, cujas direções coincidem, embora os ângulos não sejam idênticos, estando, contudo, próximos entre si. Por fim, o tempo assume uma direção oposta, sendo inversamente correlacionado com os resíduos totais, por possuírem um ângulo de

180 graus. Resultados semelhantes é comparado com o trabalho de Lacerda (2010), onde sua análise de componentes principais resultou na formação de três grupos, evidenciando ainda mais que as variações das características físico-químicas se agrupam. Portanto, o gráfico combinado na figura demonstra que quando uma linha é acentuadamente distante do ponto zero, tal indica uma influência mais pronunciada. Nesse contexto, as linhas não convergem em dimensões, resultando em uma ordem de influência $CE > RT > \text{Turbidez} > \text{pH} > \text{Tempo}$.

- *Período de Estiagem*

Figura 25 - Carga fatorial dos atributos (estiagem).

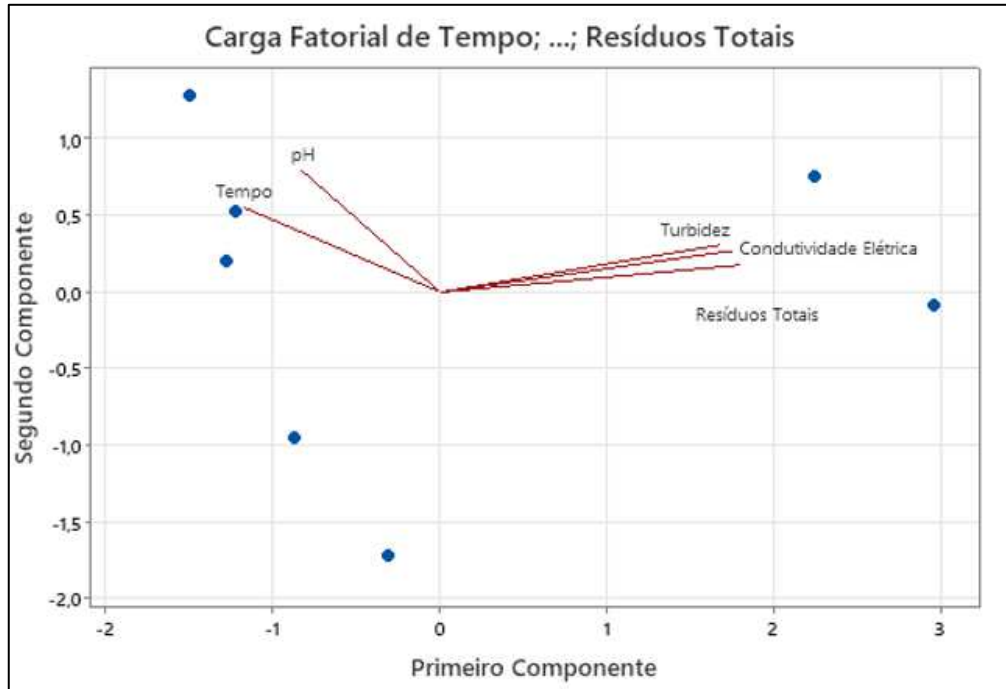


Fonte: Autor próprio (2023).

Observa-se que o padrão das cargas variáveis diverge notavelmente da representação anterior, possuindo uma convergência com os resultados de Lacerda (2010), a respeito da formação de grupos. Os sólidos totais, a condutividade elétrica, o pH, a turbidez e o tempo, por sua vez, agora compartilham a mesma direção e apresentam uma inclinação semelhante, possibilitando a combinação e formação de um único grupo. A discrepância entre eles reside na distância em relação ao eixo zero, que reflete sua influência, resultando na sequência $\text{Tempo} > \text{CE} > \text{RT} > \text{Turbidez} > \text{pH}$. Destaca-se que o tempo emerge como o fator mais influente, justificando que o período de seca impactou de maneira significativa todos os demais elementos, provocando seus aumentos.

- *Período de Quadra chuvosa*

Figura 26 - Carga fatorial dos atributos (período chuvoso).



Fonte: Autor próprio (2023).

Conforme observado, os resíduos totais, a condutividade elétrica e a turbidez compartilham a mesma direção e exibem uma inclinação similar, permitindo sua combinação e formação de um grupo coeso. Uma situação semelhante se verifica com o tempo e o pH, cujas direções coincidem e estão em proximidade formando um ângulo positivo diferente de 180 graus; o mesmo padrão é observado com o tempo, uma vez que ambos estão próximos.

Considerando suas dimensões lineares, a ordem de influência se destacaria da seguinte maneira: CE > RT > Turbidez > Tempo > pH.

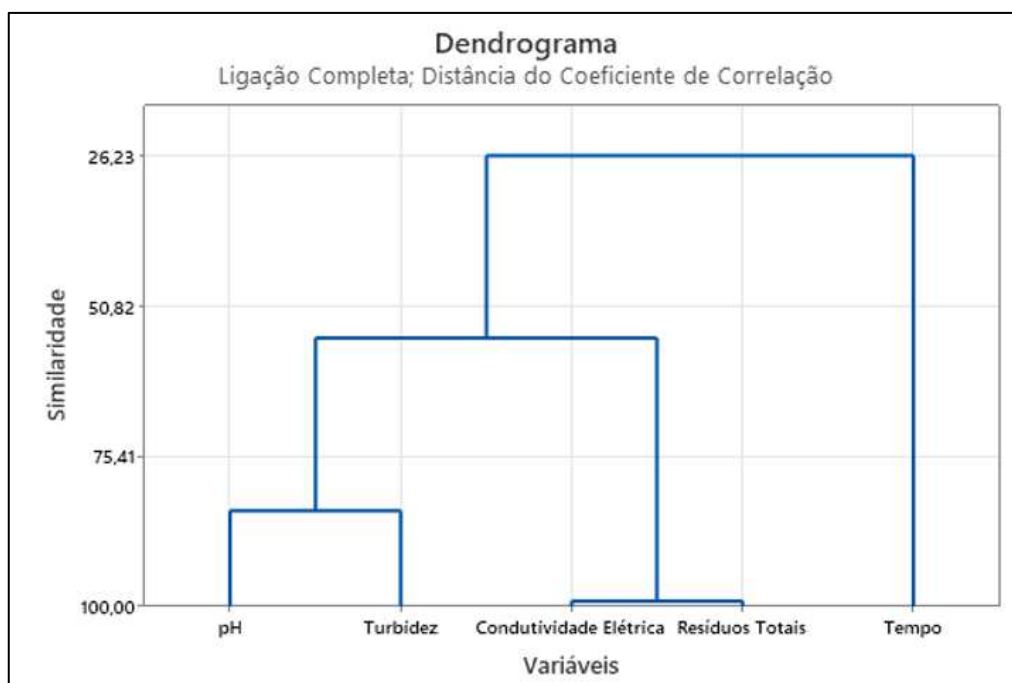
4.3 Análise Hierárquica de Agrupamento (HCA)

- *Todos os períodos juntos*

No dendrograma apresentado na Figura 27, as linhas verticais representam as medidas de similaridades e as linhas horizontais representam as medidas de variáveis utilizadas no monitoramento, então, empregando-se as distâncias Euclidianas, as quais foram

responsáveis para formação de agrupamentos entre as variáveis em termos de similaridades de acordo os dados normalizados, temos que as ligações entre essas variáveis são consequências dos resultados da correlação de Pearson, destacado na figura 21.

Figura 27 – Dendrograma de correlação.



Fonte: Autor próprio (2023).

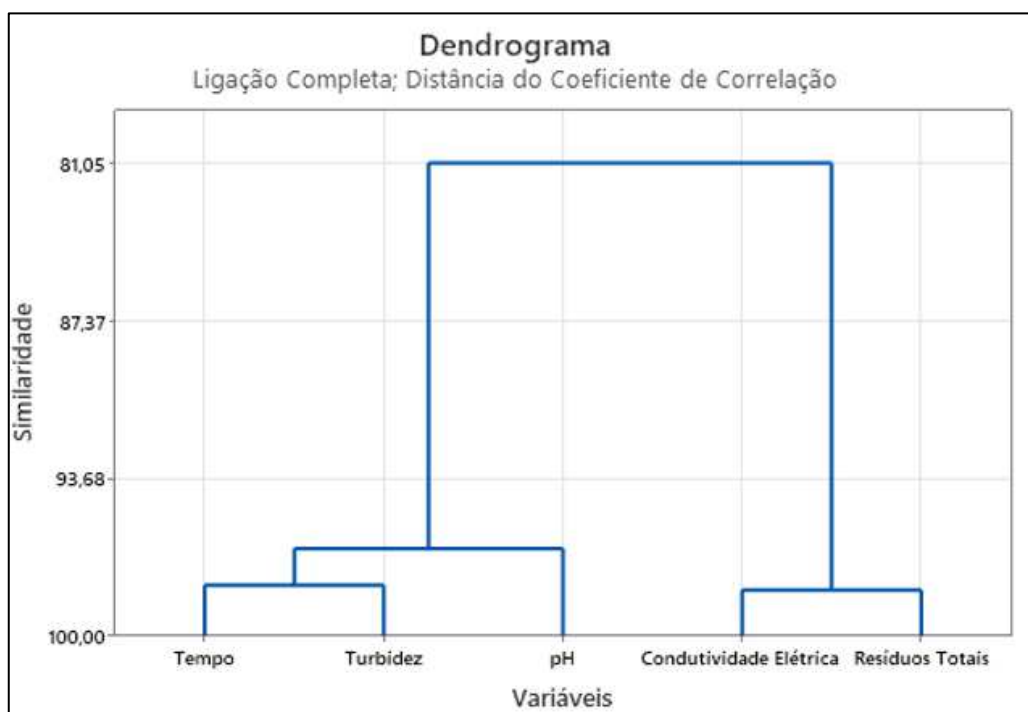
A representação no dendrograma segue a seguinte lógica: grupos com similaridades são conectados com base em suas correlações previamente calculadas. Assim, ao considerar o valor mais elevado, observa-se que a condutividade elétrica e os sólidos totais apresentam uma similaridade de 0,98 ou 98%, refletida na proximidade da linha correspondente junto ao índice 100. O mesmo princípio se aplica às demais variáveis, sendo que o valor subsequente destaca a correlação entre a turbidez e o pH, atingindo 0,69 ou 69%, indicando sua posição no gráfico.

Para as correlações moderadas, como a entre turbidez e resíduos totais, a abordagem recomendada consiste em conectar apenas esses dois grupos na representação dendrográfica, conforme realizado. Resta, então, a variável do tempo, cuja inclusão requer o cálculo da média de similaridade entre os grupos. No dendrograma, os grupos com características mais específicas são interligados, sendo que a proximidade entre eles indica uma correlação mais forte. Nesse contexto, estes resultados possuem características comparativas com o estudo de Carvalho (2015), obtendo variáveis com similaridades altas, responsáveis pela formação dos agrupamentos. Por fim, o tempo destacado no dendrograma, apresenta uma correlação mais

significativa entre a condutividade elétrica e os resíduos totais, justificando sua proximidade na ligação. De maneira indireta, também se conecta ao pH e à turbidez, devido aos valores moderados de correlação ao longo do tempo, conforme evidenciado nos resultados.

- *Período de Estiagem*

Figura 28 - Dendrograma de correlação (estiagem).



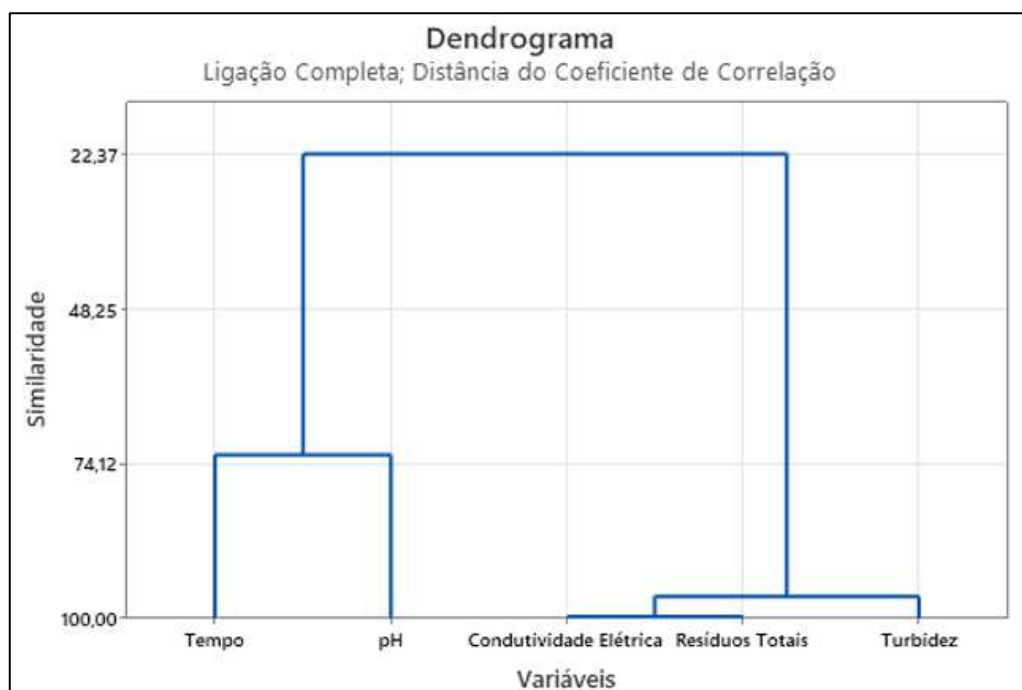
Fonte: Autor próprio (2023).

Ao considerar o valor mais elevado, verifica-se que a condutividade elétrica e os resíduos totais apresentam uma similaridade superior a 0,9 ou 90%, o que é evidenciado pela proximidade da linha correspondente ao índice 100. O mesmo princípio é aplicado à correlação entre a turbidez com o tempo e o pH. Contudo, no correlograma, a relação turbidez-tempo é priorizada, constituindo, assim, um grupo. Para tal agrupamento, é necessário realizar o cálculo da média de similaridade entre os grupos, revelando sua proximidade e a possibilidade de interligação com uma similaridade também superior a 90%.

Por fim, a conexão entre os dois grupos finais é estabelecida em virtude da correlação entre a turbidez e a condutividade elétrica, que atinge aproximadamente 0,85 ou 85%, conforme ilustrado na Figura 22.

- *Período de Quadra chuvosa*

Figura 29 - Dendrograma de correlação (período chuvoso).



Fonte: Autor próprio (2023).

Observou-se que os resíduos totais e a condutividade elétrica exibem uma similaridade muito significativa, como evidenciado pela proximidade da linha correspondente ao índice 100. O mesmo princípio é aplicado à correlação entre o tempo e o pH, embora apresentem similaridades moderadas. No entanto, a turbidez demonstra uma correlação forte com os resíduos totais, conforme retratado na figura 23. Sua associação, entretanto, é definida pelo cálculo da média de similaridade entre os grupos, revelando proximidade e a possibilidade de interligação com um grupo já formado. Desta forma, entre todos os grupos, a turbidez mantém uma ligação mais robusta com a condutividade elétrica e os resíduos totais. Apesar de não compartilhar uma similaridade igual ao grupo, sua representação gráfica mostra-se ligeiramente superior à deles. O mesmo princípio se aplica à conexão dos dois grupos, onde a correlação que os une é a entre o pH e os resíduos totais.

Portanto, todos os resultados relativos ao plano de monitoramento e às coletas das análises dos parâmetros físico-químicos, tais como pH, condutividade, turbidez e resíduo total, exibiram uma tendência crescente ao longo dos meses abrangidos pelo estudo e mostraram que todas as amostras atenderam os limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021 e Resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005. O notável incremento observado nesses resultados ao longo desse período pode ser atribuído ao quadro de baixas

precipitações, visto que a pesquisa foi conduzida durante uma fase de escassa pluviosidade. A associação desse fator com a significativa taxa de evapotranspiração na região resulta em um aumento considerável na concentração de impurezas, sedimentos e metais dissolvidos, em virtude da redução do volume de água no Riacho Araibú.

Em relação a aplicação da análise multivariada nas coletas dos períodos diversos, incluindo a estiagem e quadra chuvosa, resultou em várias decorrências, entre elas:

- As técnicas de correlação promoveram a redução no número de dados que não seriam de utilidade benéfica para os parâmetros de qualidade de água, facilitando a compreensão e a correlação dos três períodos distintos e seus principais feitos durante o tempo;
- Os dados em períodos individuais proporcionaram resultados decorrentes, pois mostrou a possibilidade de avaliação de distintas frequências de monitoramento;
- As correlações fortes da condutividade elétrica, resíduos totais e turbidez estão relacionadas aos possíveis sais dissolvidos e ionizados presentes na água, juntamente com sólidos em suspensão, provavelmente causados por matéria orgânica, ou mudanças de temperaturas;

As correlações do pH com o tempo estão relacionadas com os períodos chuvosos ou a ausência deles, na qual a chuva favorece o escoamento dos compostos dissolvidos, resultando em uma maior diluição e neutralização da água, e a seca intensificada atividade fotossintética, com a floração de plantas na superfície do riacho e a alteração do pH.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foi avaliado a qualidade da água do Riacho Araibú através dos parâmetros físico-químicos, obtendo valores divergentes ao processo de estiagem do ano de 2021, principalmente nos índices de condutividade elétrica e resíduos totais, indicando que o período chuvoso em 2022 contribuiu para uma maior dissolução dos sais no riacho e na diminuição de sólidos dissolvidos;

Outrossim, foi analisado as correlações dos parâmetros em todos os métodos de forma separadamente e agrupados, na qual os parâmetros da condutividade elétrica, turbidez e resíduos totais foram os mais destacados devido as suas fortes correlações entre si, evidenciando que a poluição, dissolução de sais, partículas de solos submersas, processo de eutrofização e a falta de chuvas, proporcionam escurecimento da água e custos mais elevados no processo de tratamento;

As correlações obtiveram resultados similares em alguns parâmetros, como na condutividade elétrica, resíduos totais e turbidez, que sempre mantiveram-se fortes ou moderados, obtendo uma redução maior nas correlações entre o pH e o tempo, destacando ainda mais a mudança em relação ao período chuvoso e a estiagem, na qual o comportamento dos parâmetros eram verificados a partir da influência da sazonalidade nas correlações obtidas.

Dessa forma, a aplicação da análise estatística multivariada nos dados obtidos por meio da Análise de Componentes Principais (ACP) e da Análise Hierárquica de Agrupamento (HCA), aliada à utilização da correlação de Pearson, desempenhou um papel crucial como uma ferramenta exploratória na análise e interpretação dos dados originais. Essa abordagem possibilitou a extração de informações relevantes, identificando semelhanças e diferenças nas amostras de águas superficiais de anos anteriores (2021 e 2022), correlacionando-as com os parâmetros analisados no presente estudo.

Conclui-se que, mesmo ao correlacionar os dados ao longo dos anos de análises, diversas situações no riacho não apresentaram alterações significativas, mantendo índices elevados de poluição detectados por vários indicativos no processo de eutrofização, escassez de água e presença de sólidos dissolvidos. Entretanto, observou-se que, desta vez, as temperaturas estão mais elevadas, acelerando os processos e contribuindo para a diminuição do volume de água no riacho e chegando ao seu esvaziamento total posteriormente.

REFERÊNCIAS

Barth, F. T. **Fundamentos para a gestão de recursos hídricos**. In: Modelos para gerenciamento de recursos hídricos. São Paulo, Nobel/ ABRH, 1987.

CAMPOS, José Nilson Beserra; DE PPB VIEIRA, Vicente. **Gerenciamento dos recursos hídricos: a problemática do Nordeste**. Revista de Administração Pública, v. 27, n. 2, p. 83 a 91-83 a 91, 1993.

GIRARDI, Rubia. **Parâmetros de qualidade de água de rios e efluentes presentes em monitoramentos não sistemáticos**. Revista de Gestão de Água da América Latina, v. 16, n. 2019, 2019.

SILVA, Lidiane Bittencourt da. **Avaliação dos parâmetros da qualidade de água produzida na estação de tratamento de água oeste**. 2017.

PONCE, Francisco de Assis Martins *et al.* **Análise temporal da água para abastecimento público do Município de Juazeiro do Norte-CE**. 2019.

RABELO, Nosliana Nobre. **Análise da segurança hídrica no Estado do Ceará: subsídios para o planejamento e gestão dos Recursos Hídricos**. 2022.

DE SOUZA RAMOS, Adolfo; DE OLIVEIRA, Vicente de Paulo Santos; DE REZENDE ARAÚJO, Thiago Moreira. **Qualidade da água: parâmetros e métodos mais utilizados para análise de água de recursos hídricos superficiais**. Holos Environment, v. 19, n. 2, p. 205-219, 2019.

CEARÁ, Assembléia Legislativa. **Cenário atual dos recursos hídricos do Ceará**. Conselho de altos estudos e assuntos estratégicos, Assembléia Legislativa do Estado do Ceará, 2008.

SOUZA, Marielle Medeiros de; GASTALDINI, Maria do Carmo Cauduro. **Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 19, p. 263-274, 2014.

DE MEDEIROS, Cleyber Nascimento *et al.* **Os recursos hídricos do Ceará: integração, Gestão e potencialidades.** 2011.

ARVALHO, R. A ; OLIVEIRA, M. C. V. **Princípios básicos de saneamento do meio.** São Paulo. 3ªed.: editora SENAC. São Paulo, 2003

DE FREITAS FERNANDES, Jaiane *et al.* **Análise da qualidade da água do rio Jaguaribe, em um trecho situado no município de Jaguaribe, Ceará, Brasil.** Semina: Ciências Biológicas e da Saúde, v. 40, n. 2, p. 215-226, 2019.

ATLÂNTICA, SOS Mata. **Observando os Rios.** <http://sosobsriosal.znc.com.br/> Acessado em, v. 3, n. 12, p. 2022, 2023.

GADELHA, Francisca Jucileuza Sousa *et al.* **Verificação da Presença de Nitrito em Águas de Consumo Humano da Comunidade de Várzea do Cobra em Limoeiro do Norte-Ce.** Reunião Anual da SBPC, v. 57, p. 2, 2005.

CARVALHO, Maria Renata Soares. **Avaliação dos impactos ambientais no riacho Araibú na cidade de Russas: trecho de Pitombeira 1.** 2018.

BANDEIRA, Marta Maria Lima. **Áreas de Preservação Permanente: Análise sobre o riacho Araibu em Russas-CE e seus desdobramentos na legislação municipal, na perspectiva da educação ambiental.** 2013.

DE SOUZA FRAGA, Micael *et al.* **Avaliação da qualidade das águas superficiais na circunscrição hidrográfica do rio Piranga utilizando análise estatística multivariada e não-paramétrica.** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 14, n. 02, p. 694-710, 2021.

DA COSTA, Celme Torres F. *et al.* **Análise multivariada aplicada ao estudo hidroquímico das águas subterrânea na bacia sedimentar do Araripe-CE.** Águas Subterrâneas, v. 34, n. 2, 2020.

GUEDES, Hugo AS et al. **Aplicação da análise estatística multivariada no estudo da qualidade da água do Rio Pomba, MG.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 16, p. 558-563, 2012.

ANDRADE, Eunice Maia de et al. **Fatores determinantes da qualidade das águas superficiais na bacia do Alto Acaraú, Ceará, Brasil.** Ciência Rural, v. 37, p. 1791-1797, 2007.

FUNCEME. **Calendário de Chuvas do Estado do Ceará.** 2023. Disponível em: <http://www.funceme.br/app-calendario/mensal/municipios/media/2023>. Acesso em: 10 de Novembro de 2023

DA FRANCA, Raimunda Moreira et al. **Análise multivariada dos parâmetros de qualidade das águas subterrâneas em Juazeiro do Norte–CE (Brasil).** Águas Subterrâneas, v. 32, n. 1, p. 106-113, 2018.

ROCHA, César Henrique Barra; PEREIRA, Amanda Maia. **Análise multivariada para seleção de parâmetros de monitoramento em manancial de Juiz de Fora, Minas Gerais.** Revista Ambiente & Água, v. 11, p. 176-187, 2016.

MAIA, Kelly Prado; SILVA, Gilmare Antônia da; LIBÂNIO, Marcelo. **Aplicação de análise multivariada no estudo da frequência de amostragem e do número de estações de monitoramento de qualidade da água.** Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 24, p. 1013-1025, 2019.

CARVALHO, Fábio Israel M. et al. **Avaliação da qualidade das águas subterrâneas de Belém a partir de parâmetros físico-químicos e níveis de elementos traço usando análise multivariada.** Revista Virtual de Química, v. 7, n. 6, p. 2221-2241, 2015.

DE ALMEIDA, Clauderi Rodrigues et al. **Estatística multivariada aplicada na avaliação dos parâmetros químicos e físico-químicos da água engarrafada do município de Belém-PA.** Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 6, p. 40002-40014, 2020.

Fonseca JS, Martins GA. **Curso de estatística.** 6 ed. São Paulo:Atlas, 1996

BAIRD, R.; RICE, E.; EATON, A. Standard methods for the examination of water and wastewaters. **Water Environment Federation, Chair Eugene W. Rice, American Public Health Association Andrew D. Eaton, American Water Works Association, 2017.**