

UNIVERSIDADE TIRADENTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE E AMBIENTE

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL COM ÊNFASE NA
QUALIDADE DAS ÁGUAS URBANAS DO MUNICÍPIO DE
ARACAJU/SE**

CARINA SIQUEIRA DE SOUZA

Aracaju
Agosto - 2023

UNIVERSIDADE TIRADENTES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SAÚDE E AMBIENTE

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL COM ÊNFASE NA
QUALIDADE DAS ÁGUAS URBANAS DO MUNICÍPIO DE
ARACAJU/SE**

Tese de doutorado submetida à banca
examinadora para a obtenção do título de
Doutor em Saúde e Ambiente, na área de
concentração Saúde e Ambiente

CARINA SIQUEIRA DE SOUZA

Orientadora:
Dra. Maria Nogueira Marques

Aracaju
Agosto – 2023

S719a Souza, Carina Siqueira de
Avaliação da qualidade ambiental com ênfase das águas urbanas do município de Aracaju/SE/ Carina Siqueira de Souza; orientação [de] Prof. Prof.^a Dr.^a Maria Nogueira Marques – Aracaju: UNIT, 2023.

108 f.il ; 30 cm

Tese (Doutorado em Saúde e Ambiente) - Universidade Tiradentes, 2023

1. Saneamento. 2. Qualidade das águas. 3 Urbanização. 4. Degradação ambiental 5. Indicadores ambientais I. Souza, Carina Siqueira de II. Marques, Maria Nogueira (orient.). III. Universidade Tiradentes. IV. Título.

CDU: 556.18:614.4(813.7)

Bibliotecária Gislene Maria S. Dias CRB-5/1410

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE AMBIENTAL COM ÊNFASE NA QUALIDADE DAS ÁGUAS URBANAS DO MUNICÍPIO DE ARACAJU/SE

Carina Siqueira de Souza

TESE SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
DOUTOR EM SAÚDE E AMBIENTE, NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO SAÚDE E
AMBIENTE.

Aprovada por:

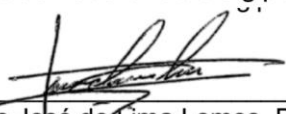
Documento assinado digitalmente
 MARIA NOGUEIRA MARQUES
Data: 18/09/2023 10:59:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Maria Nogueira Marques, D.Sc.
Orientadora

CARLOS
GARCIA:44982054568

Assinado de forma digital por
CARLOS GARCIA:44982054568
Dados: 2023.09.13 15:16:14 -03'00'

Carlos Alexandre Borges Garcia, D.Sc.
Universidade Federal de Sergipe - UFS



Marcos José de Lima Lemes, D.Sc.
University of Manitoba, Winnipeg

Documento assinado digitalmente
 EDNA ARAGAO FARIAS CANDIDO
Data: 13/09/2023 15:30:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Edna Aragão Farias Cândido, D.Sc.
Universidade Tiradentes - UNIT

Documento assinado digitalmente
 RUBENS RISCALA MADI
Data: 14/09/2023 09:57:58-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

RUBENS RISCALA MADI, D.Sc.
Universidade Tiradentes - UNIT

Epígrafe

"Quando o homem aprender a respeitar até o menor ser
da Criação, seja animal ou vegetal, ninguém precisará
ensiná-lo a amar seu semelhante"

Albert Schweitzer

Agradecimentos

À minha família, em especial ao meu marido Francisco Rodrigues, que compartilhou comigo cada momento dessa jornada pelo conhecimento e me apoiou, incentivou e pacientemente me guiou e reestabeleceu meu ânimo. Aos meus filhos, pequenas estrelas da minha vida, que despertam todos os dias a vontade em mim de vencer e que mesmo pequenos tentaram compreender minha ausência enquanto me dedicava à realização deste trabalho.

Aos meus pais, que incansavelmente me estimularam desde criança a estudar e entender que o conhecimento é eterno, absolutamente nada nem ninguém tira de você, a não ser você mesmo.

Aos meus irmãos, que mesmo distante sempre torceram por mim.

À professora Maria Nogueira Marques, por ter aceitado me orientar, mesmo sabendo de todas as dificuldades que iríamos enfrentar, por suas palavras de conforto nos momentos de desespero, por ter sido compreensiva e me ajudado em meio ao período pandêmico e gestação não planejada.

À prof Edna, pelas palavras de conforto dadas nos momentos de desespero, sempre positiva e por suas contribuições na qualificação e em outros momentos da discussão deste projeto.

Aos professores do PSA, pelos ensinamentos sobre a interdisciplinaridade na área de saúde e ambiente que ajudaram no melhor desempenho do meu processo de formação acadêmica.

Ao professor Dr. Carlos Alexandre, por ter se disponibilizado a contribuir com este trabalho não só participando das bancas, mas também na determinação dos metais aqui trabalhados.

Aos meus colegas da coordenação do Instituto Federal de Sergipe, por terem sido compreensivos e terem me ajudado na manutenção da carga horária.

Um agradecimento especial para meu coordenador e amigo Leandro Barros, por ter me ajudado a travar essa batalha institucional e ter me ajudado na construção dos mapas deste trabalho.

Às minhas amigas e guerreiras, Florilda, Erika e Bárbara, por terem me acompanhado no laboratório durante essa longa jornada, sempre me auxiliando e conduzindo as análises com todo o cuidado e dedicação. Esse trabalho não existiria se não fosse vocês. Muito obrigada!

Aos meus alunos, outra parte essencial no desenvolvimento deste trabalho, que envolveu tanta gente e disseminou bastante conhecimento. Um abraço para: Thaise, Thaisa,

Felippe, Hallana, Maurício, Geovane, Natasha, Fernanda e Ana Alice. Um agradecimento especial para Yago, que me acompanhou na saga até o último instante, tanto nas coletas, quanto nas análises até o TCC e artigo. Se esqueci alguém é resquício do COVID, mas estou eternamente agradecida a todos e desejo muito sucesso na vida profissional de cada um.

Ao Instituto Federal de Sergipe, por ter fornecido a infraestrutura necessária para o desenvolvimento das análises laboratoriais no Laboratório de Saneamento Ambiental – Labsan.

À Universidade Tiradentes e ao Instituto de Tecnologia e Pesquisa - ITP, por proporcionar ensino de qualidade através de professores qualificados e infraestrutura adequada.

A Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, por promoverem a formação de recursos humanos em áreas estratégicas para o desenvolvimento nacional, através do aporte de recursos financeiros para a implementação de projetos, programas e redes de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), a exemplo do Programa de Saúde e Ambiente.

A todos os alunos da minha turma, pela experiência e troca de conhecimentos, pelo ambiente amistoso no qual convivemos e solidificamos os nossos conhecimentos, o que foi fundamental na elaboração deste trabalho de conclusão de curso.

A todos que participaram e contribuíram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, enriquecendo o meu processo de aprendizado.

Muito obrigada!

Sumário

1	Introdução	15
2	Objetivos	16
2.1	Objetivo geral	16
2.2	Objetivos específicos	17
3	Revisão da Literatura	17
3.1	Urbanização e infraestrutura hidrossanitária	17
3.2	Qualidade das águas superficiais.....	20
3.3	Índice de Qualidade Ambiental.....	24
4	Material e Métodos.....	27
4.1	Área de Estudo	27
4.2	Determinação dos parâmetros de Qualidade Ambiental.....	29
4.2.1	Amostragem	29
4.2.2	Métodos analíticos.....	31
4.3	Características da localidade	33
4.3.1	Topografia e clima	34
4.3.2	Infraestrutura e desenvolvimento.....	34
4.3.3	Uso do solo	34
4.4	Avaliação dos dados de Qualidade de Água.....	34
4.4.1	Qualidade das águas.....	34
4.4.2	Variação da qualidade das águas em função dos usos predominantes nas microbacias e sua variação temporal (2019-2021).....	35
4.5	Avaliação da Qualidade Ambiental.....	36
4.5.1	Seleção de conjuntos de dados e fontes de dados.....	36
4.5.2	Índice de Qualidade de Água (WQI)	37
4.5.3	Quociente de perigo de água (WHQ)	38
4.5.4	Área verde (%GA)	39
4.5.5	Índice de Qualidade Ambiental (EQI).....	39
5	Resultados e Discussão	39

5.1	Caracterização da área de influência dos pontos de amostragem	39
5.2	Parâmetros físico-químicos e microbiológicos.....	51
5.2.1	Nitrogênio amoniacal, Nitrito e nitrato	61
5.2.2	Coliformes termotolerantes.....	64
5.2.3	Metais traço.....	66
5.3	Correlação existente entre a qualidade da água e área de influência.....	73
5.4	Mapeamento da Qualidade Ambiental	81
5.4.1	Relação entre os indicadores	81
5.4.2	Análise do impacto da urbanização na qualidade ambiental.....	82
6	Conclusões	92
7	Perspectivas futuras.....	93
	Referências.....	94
	APÊNDICE A	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades físico-químicas e microbiológicas monitoradas para determinar a qualidade das águas superficiais	23
Tabela 2: Média dos parâmetros de qualidade de água das 8 (oito) amostras nos 15 pontos estudados. Os espaços em branco correspondem a parâmetros que não foram possíveis de se determinar por limitações metodológicas	52
Tabela 3: Média anual dos valores de Sólidos Totais Dissolvidos (g/L) e Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	54
Tabela 4: Valores mínimo, máximo, média, variância e desvio padrão do parâmetro pH das 8 amostras realizadas.....	57
Tabela 5: Dados descritivos dos valores de DQO (mg/L) nos pontos estudados	60
Tabela 6: Concentrações de metais traço de acordo com grupos formados por ACP.....	72
Tabela 7: Matriz de correlação de Pearson dos parâmetros físicoquímicos estudados	74
Tabela 8: Valores dos <i>loadings</i> dos componentes principais	76
Tabela 9: Índice de áreas verdes (IAV) em m^2/hab dos anos de 2019, 2020 e 2021	84
Tabela 10: Ingestão crônica diária (mg/Kg/d) de diferentes metais pesados através da ingestão de água	88
Tabela 11: Pesos (w) obtidos da ACP para o cálculo do WHQ	88
Tabela 12: Pesos (w) obtidos da ACP para o cálculo do Índice de Qualidade Ambiental.....	90
Tabela 13: Estatística descrita dos parâmetros físico, químicos e biológicos do período de 2019 a 2021.....	106

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Pontos de coleta com as coordenadas e respectivos bairro e local de desagüe .	29
Quadro 2: Quadro resumido dos métodos analíticos utilizados (continuação)	32
Quadro 3: Faixa de medição, resolução e exatidão dos metais, nitrito e nitrato medidos no Fotômetro Multiparâmetro.....	32
Quadro 4: Conjunto de variáveis, sua notação, definição e fonte para a construção do indicador de qualidade ambiental	37
Quadro 5: Parâmetros utilizados para o cálculo da Ingestão Diária Crônica (CDI) e suas referências.....	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Dados sobre o saneamento básico no Brasil em 2021	18
Figura 2: Parâmetros utilizados no cálculo do Índice de Qualidade Ambiental Canadense (Can-IQA)	25
Figura 3: Mapa topográfico da Mesorregião Leste Sergipano	28
Figura 4: Distribuição espacial dos pontos de amostragem nos corpos d'água urbanos de Aracaju/SE.....	30
Figura 5: Espacialização dos pontos de coleta em uma imagem de satélite	40
Figura 6: Distribuição do uso e ocupação do solo do município de Aracaju/SE	41
Figura 7: Ponto P1 de amostragem localizado no bairro Treze de Julho.....	42
Figura 8: Ponto P2 de amostragem localizado no bairro Getúlio Vargas.....	43
Figura 9: Ponto P3 de amostragem localizado no bairro Industrial.....	44
Figura 10: Ponto P4 de amostragem localizado no bairro Santo Antônio	45
Figura 11: Ponto P5 de amostragem localizado no bairro Santos Dumont.....	45
Figura 12: Ponto P6 de amostragem localizado no bairro José Conrado de Araújo	45
Figura 13: Ponto P7 de amostragem localizado no bairro Jabotiana.....	46
Figura 14: Ponto P8 de amostragem localizado no bairro Ponto Novo	47
Figura 15: Ponto P9 de amostragem localizado no bairro Santa Maria.....	48
Figura 16: Ponto P10 de amostragem localizado no bairro Zona de Expansão	48
Figura 17: Ponto P11 de amostragem localizado no bairro Aruana.....	49
Figura 18: Ponto P12 de amostragem localizado Jabotiana , Rio Poxim.....	50
Figura 19: Ponto P13 de amostragem localizado Jabotiana, Rio Poxim.....	50
Figura 20: Ponto P14 de amostragem localizado São Conrado, Rio Poxim	50
Figura 21: Ponto P15 de amostragem localizado Inácio Barbosa, Rio Poxim	50
Figura 22: Salinidade média nos pontos de coleta em função do ano.....	53
Figura 23: Variação da temperatura em °C nos pontos estudados representada a partir de um gráfico boxplot	54
Figura 24: Variação da concentração de oxigênio dissolvido (mg/L) nos pontos estudados	55
Figura 25: Presença de alevinos no ponto de coleta P2 nas proximidades de um ponto de lançamento clandestino de efluentes	56
Figura 26: Gráfico da variação média anual da Turbidez (NTU) nos pontos estudados	58
Figura 27: Variação da concentração de fósforo em mg/L nos pontos estudados.....	59
Figura 28: Estatística descritiva (min, máx e média) do parâmetro Cloreto (mg/L) nos pontos estudados	60
Figura 29: Variação da concentração de NH_3 (mg/L) nos pontos salinos e salobros.....	61
Figura 30: Variação da concentração de NH_3 (mg/L) nos pontos doces.....	62

Figura 31: Variação NO_2 (mg/L) nos pontos estudados em 2019 e 2020	63
Figura 32: Variação sazonal da concentração de NO_3^- , com exceção dos pontos P1 e P12, pois em ambos os valores se encontravam fora da faixa de detecção do aparelho	64
Figura 33: Concentração de coliformes termotolerantes nos pontos de coleta.....	65
Figura 34: Variação da concentração de Al nos pontos estudados em 2021	67
Figura 35: Variação da concentração de Zn nos pontos estudados em 2021	67
Figura 36: Variação da concentração de As nos pontos estudados em 2021	69
Figura 37: Variação da concentração de Fe nos pontos estudados em 2021	69
Figura 38: Variação da concentração de chumbo Pb(mg/L) nos pontos estudados	70
Figura 39: Indicação da similaridade entre os pontos a partir da Análise de Componentes Principais	71
Figura 40: Gráfico dos scores PC1xPC2 da Análise de Componentes Principais da média de todos os dados físicoquímicos dos pontos estudados.....	75
Figura 41: Gráfico dos scores PC1xPC2 da Análise de Componentes Principais da média do período chuvoso dos dados físicoquímicos dos pontos estudados	78
Figura 42: Gráfico dos scores PC1xPC2 da Análise de Componentes Principais da média do período seco dos dados físicoquímicos dos pontos estudados	79
Figura 43: Dendrograma dos pontos a partir das distâncias Euclidianas dos dados físicoquímicos dos pontos estudados.....	80
Figura 44: Dendrograma obtido das variáveis a partir das distâncias Euclidianas	81
Figura 45: Relação entre densidade demográfica (hab/km ²) e o Percentual de Áreas Verdes dos pontos estudados.....	83
Figura 46: Faixa de áreas verdes (%) dos municípios de Aracaju/SE	85
Figura 47: Categorias e ponderações do Índice de Qualidade de Água adaptado (WQI) para a área estudada.....	87
Figura 48: Categorias e ponderações do Quociente de Perigo da Água (WHQ) para a área estudada.....	89
Figura 49: Mapa de Qualidade Ambiental do Município de Aracaju/SE ano 2021.....	91

RESUMO

O crescimento desordenado das cidades sem o planejamento adequado está contribuindo para a redução da qualidade ambiental, pois alteram a qualidade da água, do ar e do solo, podendo vir a prejudicar a saúde da população. Por esta razão, há a necessidade de se monitorar a qualidade ambiental para agilizar a identificação de processos de poluição e nortear as ações governamentais para sua remediação e uma ferramenta que iria contribuir seria o Indicador Ambiental. Neste sentido, o presente trabalho avaliou a influência da urbanização sobre a qualidade ambiental do município de Aracaju/SE a partir de um Indicador Ambiental tendo como base o Índice de Qualidade da água adaptado (WQI), Percentual de áreas verdes (GA%), Quociente de perigo das águas (WHQ) e densidade demográfica (Pop). O Índice de Qualidade Ambiental (EQI) foi calculado utilizando combinação linear ponderada das variáveis Pop, GA%, WQI e WHQ, com pesos obtidos por meio da Análise de Componentes Principais (ACP). Observou-se através dos resultados que as águas urbanas de Aracaju estão poluídas por efluentes domésticos devido a altas concentrações de nutrientes (fósforo e nitrato) e coliformes termotolerantes. Dois grupos foram identificados: o Grupo A (P2 a P6, P8 e P10) influenciado por fósforo, coliformes termotolerantes e cloreto, e o Grupo B influenciado por sólidos dissolvidos no corpo d'água influenciado pela maré (P7, P13 a P15). A partir destes dados, o WQI do município apresentou valores entre 12,71-32,86, enquadrado como péssimo ou ruim. WHQ variou entre 0,05-0,76, sendo os piores pontos P1, P2, P8 e P9. Observou-se uma relação inversamente proporcional à densidade populacional, onde o melhor percentual encontrado foi 53,98%, na Zona de Expansão por possuir menor densidade populacional. Através do mapa de qualidade ambiental gerado a partir do EQI destaca o bairro Treze de Julho e bairro vizinhos, considerados área nobre de Aracaju, como crítico, com EQI=17,55, e os bairros de melhor qualidade são recentemente urbanizados como Zona de Expansão e Jabotiana, EQI=56,30. Sendo assim, com base nesta avaliação, a preservação e recuperação dos recursos naturais e a melhoria da infraestrutura urbana são aspectos essenciais para alcançar uma cidade mais sustentável e com uma melhor qualidade de vida para todos os seus habitantes.

Palavras-chave: saneamento; qualidade das águas; urbanização, degradação ambiental; indicadores ambientais.

ABSTRACT

The uncontrolled urban sprawl without proper planning is contributing to the degradation of environmental quality, as it is altering the quality of water, air, and soil, potentially endangering the health of the population. Consequently, there is a pressing need to monitor environmental quality in order to expedite the identification of pollution processes and guide governmental actions for remediation. One instrumental tool that can significantly contribute to this effort is the Environmental Indicator. In this context, the present study assessed the impact of urbanization on the environmental quality of the municipality of Aracaju/SE using a weighted Environmental Indicator. This indicator incorporates the adapted Water Quality Index (WQI), Percentage of Green Areas (GA%), Water Hazard Quotient (WHQ), and population density (Pop). The Environmental Quality Index (EQI) was computed through a weighted linear combination of the variables Pop, GA%, WQI, and WHQ, with weights derived from Principal Component Analysis (PCA). The results have revealed that urban waters in Aracaju are contaminated by domestic effluents, primarily due to elevated concentrations of nutrients (phosphorus and nitrate) and thermotolerant coliforms. Two distinct groups of pollution sources were identified: Group A (P2 to P6, P8, and P10), primarily influenced by phosphorus, thermotolerant coliforms, and chloride, and Group B, characterized by the influence of dissolved solids in the water body, particularly affected by tidal variations (P7, P13 to P15). Based on these findings, the Water Quality Index (WQI) for the municipality ranged from 12.71 to 32.86, categorizing it as "poor" or "bad." The Water Hazard Quotient (WHQ) ranged from 0.05 to 0.76, with the poorest conditions observed at points P1, P2, P8, and P9. An inverse relationship with population density was noted, with the highest percentage of better environmental quality found in the Expansion Zone, where lower population density prevails, at 53.98%. The environmental quality map generated from EQI data highlights the Treze de Julho neighborhood and adjacent areas, considered upscale regions of Aracaju, as critical, with an EQI of 17.55. Conversely, recently urbanized neighborhoods such as the Expansion Zone and Jabotiana exhibit superior environmental quality, with EQI scores of 56.30 and higher. Therefore, based on this assessment, the preservation and restoration of natural resources, coupled with improvements in urban infrastructure, stand as essential imperatives for attaining a more sustainable city and enhancing the overall quality of life for all its residents.

Keywords: sanitation; water quality; urbanization, environmental degradation; Environmental indicators

1 INTRODUÇÃO

A qualidade ambiental é um aspecto importante para o desenvolvimento sustentável das cidades. O mapeamento adequado da qualidade ambiental se torna fundamental para obter resultados eficazes nas análises ambientais voltadas ao planejamento estratégico (MALAH, BAHÍ, 2022). Nesse sentido, é essencial compreender as variáveis ambientais que impactam diretamente a qualidade do meio ambiente urbano (KRISHNAN, FIROZ, 2020; LEAL *et al.*, 2021; SUN *et al.*, 2023).

O crescimento desordenado das cidades, com altas densidades demográficas, tem gerado diversos desafios ambientais. A falta de saneamento básico e industriais desreguladas têm exercido uma grande pressão sobre o meio ambiente, resultando em problemas de poluição e degradação dos recursos naturais. Diante desse cenário, é necessário monitorar a ação antrópica e adotar políticas públicas que visem à redução dos impactos causados pelas atividades humanas no meio ambiente urbano (LISTYANINGRUM *et al.*, 2022).

A qualidade das águas é um dos principais indicadores para avaliar a saúde ambiental de uma cidade. Corpos d'água superficiais, como rios e lagos, são especialmente vulneráveis às ações antrópicas (LI *et al.*, 2016). O processo de urbanização desempenha um papel crucial na qualidade dessas águas, uma vez que influencia diretamente o escoamento superficial e a contaminação proveniente de diferentes usos do solo. Quando a urbanização é realizada de forma inadequada, sem considerar os princípios de desenvolvimento sustentável, ocorrem impactos negativos significativos no meio ambiente urbano (TREVISAN *et al.*, 2020).

No Brasil, as cidades têm crescido de maneira desordenada, com pouca consideração pelo equilíbrio dos ecossistemas. Isso resulta em problemas de qualidade dos rios urbanos e lagos, afetando a biodiversidade e comprometendo a saúde dos ecossistemas aquáticos (RAMOS *et al.*, 2020; SANTANA, 2019; SOUZA *et al.*, 2021). Além disso, a falta de infraestrutura adequada de saneamento básico contribui para a contaminação das águas, representando um risco para a saúde pública (BERENDES *et al.*, 2020; CRUZ *et al.*, 2021).

No contexto brasileiro, é importante ressaltar que a legislação ambiental, como a Lei nº 9.433/1997 (Política Nacional de Recursos Hídricos), estabelecem diretrizes para a gestão e preservação dos recursos hídricos, visando à garantia da disponibilidade e qualidade da água para as gerações presentes e futuras. No entanto, a efetivação dessas diretrizes enfrenta desafios relacionados à falta de monitoramento adequado e à insuficiente gestão integrada dos recursos hídricos em áreas urbanas (GÓIS, 2006; GUIMARÃES, 2021).

No município de Aracaju, localizado no estado de Sergipe, Brasil, a questão da qualidade das águas urbanas também é um tema relevante. Aracaju é a capital do estado de

Sergipe e enfrenta desafios decorrentes do crescimento urbano acelerado, como o aumento da demanda por infraestrutura de saneamento básico, o despejo inadequado de efluentes e o escoamento pluvial ineficiente. Esses fatores contribuem para a contaminação dos corpos d'água que cortam a cidade, impactando negativamente a qualidade da água e a saúde dos ecossistemas aquáticos.

No contexto específico de Aracaju, é importante considerar as características geográficas e ambientais da região. Aracaju está localizada na região Nordeste do Brasil, próxima ao litoral e banhada pelo Oceano Atlântico. A cidade possui uma extensa área de manguezais e rios que atravessam seu território, como o Rio Sergipe, o Rio Poxim e o Rio do Sal. Esses corpos d'água desempenham um papel relevante na biodiversidade local e na provisão de serviços ecossistêmicos para a população (WANDERLEY, 2013).

Além disso, quanto aos aspectos socioeconômicos relacionados à qualidade ambiental em Aracaju, a cidade possui uma economia diversificada, com setores como comércio, serviços, indústria e turismo desempenhando um papel significativo. O turismo, em particular, tem crescido nos últimos anos, atraindo visitantes devido às belas praias e ao patrimônio cultural da região. No entanto, nenhum trabalho voltado para a construção de Indicadores de Qualidade Ambiental com todos esses aspectos foi realizado.

Portanto, a análise da qualidade das águas urbanas associada a dados de uso e ocupação do solo são essenciais para compreender os fatores ambientais que influenciam os corpos d'água dentro do contexto da infraestrutura urbana. A avaliação desses fatores é fundamental para identificar as principais fontes de contaminação e desenvolver estratégias de planejamento e gestão ambiental que visem à melhoria da qualidade ambiental urbana.

Considerando a relevância desse tema, é necessário realizar estudos abrangentes da qualidade das águas urbanas, levando em consideração critérios específicos de qualidade no município de Aracaju, estado de Sergipe. Essas informações embasarão decisões estratégicas para promover a saúde ambiental das cidades, além de contribuir para a conservação dos ecossistemas e a melhoria da qualidade de vida da população.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar a influência da urbanização sobre a qualidade ambiental no município de Aracaju/SE.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a tendência temporal da qualidade das águas urbanas no município de Aracaju/SE;
- Avaliar a variação espacial de poluentes nos corpos d'água urbanos em função da topografia, clima, e usos específicos da terra;
- Identificar quais das variáveis estudadas que mais influenciam na redução da qualidade ambiental do município;
- Desenvolver um indicador de qualidade ambiental para o município de Aracaju a partir de dados primários e secundários disponíveis.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Urbanização e infraestrutura hidrossanitária

A urbanização e a infraestrutura hidrossanitária possuem uma interdependência estreita, visto que a urbanização é um processo que envolve a expansão de áreas urbanas com necessidade de infraestrutura e serviços básicos para atender à crescente demanda populacional (LI *et al.*, 2016). Dentre esses serviços, destacam-se o fornecimento de água potável, o saneamento básico e a gestão das águas pluviais (BRASIL, 2007). Essa relação se faz necessária para garantir o bem-estar da população, prevenção de doenças, e preservação do meio ambiente (MASSA, CHIAVEGATTO FILHO, 2020).

Em áreas urbanas com alta densidade populacional, a infraestrutura hidrossanitária pode ser sobrecarregada, o que pode levar a uma série de problemas, tais como o escoamento insuficiente das águas pluviais, inundações, a poluição dos corpos de água e a disseminação de doenças transmitidas pela água. Alguns centros urbanos possuem rede de infraestrutura, mas se encontra envelhecida, desatualizada ou inadequada por estar desprovida de financiamento, tecnologia e pessoal treinado para gerenciar os sistemas de água e esgoto (CAPPS *et al.*, 2016).

A inadequada infraestrutura de água potável e saneamento agrava os riscos à saúde nos centros urbanos. Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU, 2020), 4,2 bilhões de pessoas vivem sem acesso a saneamento básico e mais da metade da população não tem acesso a sistema de esgotamento sanitário e cerca de 40% dos habitantes do globo vivem sem água e sabão para lavar as mãos. A Organização Mundial de Saúde (OMS) ratifica estes dados ao destacar que uma em cada 3 pessoas não tem acesso a água potável e duas em cada cinco pessoas não tem lavatório básico com água e sabão (WHO, 2019).

No Brasil, apesar de mais de 80% da população viver em áreas urbanas, ainda existem muitas regiões com deficiências na infraestrutura hidrossanitária. Dados do Sistema Nacional

de Informações sobre Saneamento - SNIS (2022) apontam que apenas 55,8% da população brasileira é atendida com rede de esgoto, sendo que a população urbana possui um percentual maior de cobertura de 64,1% (Figura 1).



Figura 1: Dados sobre o saneamento básico no Brasil em 2021

Fonte: SNIS (2022)

Além disso, dos municípios brasileiros que tratam seus esgotos, 70% deles removem a carga orgânica gerada abaixo do percentual exigido pela Resolução CONAMA 430/2011, que é de 60%, tampouco removem os patógenos (BRASIL, 2017a). Esta realidade favorece os agravos à saúde pública como aumento dos casos de dengue, diarreias, helmintoses, que são classificadas como Doenças Relativas ao Saneamento Ambiental Inadequado (DRSAI) (OLIVEIRA *et al.*, 2020).

No Brasil, as doenças associadas a falta de saneamento mais comuns são cólera, febres tifoide e paratifoide, amebíase, diarreia e gastroenterite de origem infecciosa presumível, esquistossomose e outras doenças infecciosas intestinais. Estas doenças são responsáveis por 2,35% das internações totais no Brasil, gerando uma parcela de 0,7% dos gastos totais do Sistema Único de Saúde (SUS) com internações no ano de 2015. Dessas internações, 43,4% foram de pessoas com 10 anos ou mais de idade (PAIVA, SOUZA, 2018).

A inadequação da infraestrutura hidrossanitária, juntamente com a ausência de políticas eficazes de gestão de recursos hídricos e manejo adequado de resíduos sólidos, tem como consequência direta o aumento do contato primário da população com as águas urbanas contaminadas com poluentes, vetores de doenças e compostos químicos orgânicos (BERENDES *et al.*, 2020). As águas presentes em ambientes urbanos, como rios, córregos, lagos, lagoas e reservatórios desempenham um papel importante no funcionamento das

idades, fornecendo recursos essenciais, como água potável, além sua função ecológica e estética.

Uma variedade de atividades pode ser desenvolvida nas margens dos corpos hídricos urbanos, abrangendo setores como agricultura, pecuária, pesca, turismo e lazer, extração mineral e indústria. Essas atividades aproveitam a proximidade dos corpos d'água para acessar os recursos hídricos e explorar os serviços ecossistêmicos oferecidos por eles (REVERTE *et al.*, 2020). No entanto, é crucial ressaltar que a realização dessas atividades deve estar em conformidade com as regulamentações ambientais e legais aplicáveis, a fim de minimizar os impactos negativos nos ecossistemas aquáticos e garantir a sustentabilidade a longo prazo. A falta de conformidade das atividades desenvolvidas nos corpos hídricos com as respectivas classificações e enquadramentos resulta na introdução indiscriminada de diversos poluentes nos sistemas aquáticos.

Nos centros urbanos, as atividades mais comuns desenvolvidas às margens dos rios são voltadas para recreação e infraestrutura urbana, que incluem construção de avenidas, ciclovias, parques e espaços de lazer. Entretanto, estes espaços podem conter ocupações irregulares. A população de baixo poder aquisitivo, sem ter alternativa de moradia de qualidade, é forçada a ocupar áreas ambientalmente frágeis e perigosas como a margem de rios. As ocupações irregulares prejudicam a estrutura e função dos corpos d'água urbanos em virtude da supressão da mata ciliar e a promoção do arraste de material particulado para as águas urbanas, além de ocorrer descarte irregular de efluente doméstico (BERENDES *et al.*, 2020).

As principais fontes de poluição orgânica, físicoquímica e bacteriológica do meio ambiente, principalmente das águas urbanas, são provenientes de suprimento urbano e industrial de resíduos, descarga de efluentes industriais e domésticos proveniente de Estações de Tratamento de Efluente Doméstico (ETE) e o escoamento superficial de águas pluviais em áreas urbanas (CARVALHO *et al.*, 2015), o que acarreta em perda da biodiversidade por causa da degradação do ambiente natural (JUNIOR, 2019) e pode inviabilizar os usos atuais e futuros dos recursos hídricos a jusante do lançamento (PEIXOTO *et al.*, 2017).

Os poluentes produzidos em áreas urbanas têm provocado desequilíbrios e perda de diversidade nos ecossistemas. Os ecossistemas costeiros vêm reduzindo o número de espécies de fitoplânctons em virtude da urbanização das regiões costeiras e do aporte maciço de efluentes domésticos, industriais e agroindustriais (MISHRA *et al.*, 2021). Esta mesma fonte de poluição gera redução de disponibilidade das águas para abastecimento humano e dessedentação de animais, eutrofização, degradação do habitat de espécies aquáticas, redução do número de espécies de peixes (ALVES *et al.*, 2019).

De acordo como SNIS (2022), o Estado de Sergipe apresentou os seguintes dados para esgotamento sanitário: 38,28% do esgoto urbano é coletado, sendo que deste montante 72,36% são tratados. No tocante à cidade de Aracaju, esta dispõe de forma *in natura* 49,40% dos efluentes domésticos gerados nos rios e córregos que cortam a cidade (BRASIL, 2017b). Estes riachos e córregos compõem a macrodrenagem com mais de 70 canais que deságuam nos diversos corpos hídricos presentes na região da capital, tendo como rios principais o Poxim, Sergipe, Santa Maria, do Sal, além do oceano, lagoas e mangues (SERGIPE, 2010).

No município de Aracaju, Santana *et al.* (2015) desenvolveu um estudo integrado através de diagnóstico, monitoramento ambiental e gestão das águas urbanas da microbacia do Canal Airton Teles, localizado nas proximidades da foz do rio Sergipe. A metodologia empregada envolveu a identificação das características fisiográficas da microbacia, bem como a identificação, através de visitas técnicas, dos pontos críticos da área de drenagem do canal que pertence à bacia hidrográfica do rio Sergipe.

Outro trabalho que versou diretamente com a qualidade das águas urbanas do município de Aracaju foi o de Silva *et al.* (2016). Este avaliou a qualidade das águas dos canais de drenagem urbana no município em doze pontos nos meses de janeiro, fevereiro e abril de 2016, a partir das variáveis: pH, turbidez, oxigênio dissolvido (OD), temperatura da água, Sólidos Totais Dissolvidos (STD), condutividade, salinidade e nitrogênio amoniacal. O resultado encontrado foi que a qualidade das águas dos canais analisados apresentou-se influenciada pelas condições climáticas locais, pela falta de saneamento básico e atividades antrópicas.

3.2 Qualidade das águas superficiais

A qualidade das águas superficiais é um tema de extrema relevância no campo da ciência ambiental e da gestão dos recursos hídricos. As águas superficiais, que incluem rios, lagos, lagoas e reservatórios, desempenham um papel vital nos ecossistemas aquáticos e são fontes essenciais de abastecimento de água para consumo humano, agricultura, indústria e outros usos. Apesar de mais de 70% da superfície do planeta Terra estar coberta por água apenas 2,5 % são de água doce, estando 70% deste quantitativo inacessível, congelados nas regiões árticas e antárticas e em topos de montanhas. Apenas cerca de 1,2 % dessa água é considerada água doce superficial, disponível para utilização e consumo (USGS, 2019).

Além da água doce disponível ser reduzida, há a questão desta água estar mal distribuída na superfície do planeta. O Brasil, por exemplo, é detentor de 12% das reservas de água doce do mundo, mas 73,2% de todo o volume de água produzido concentrado no norte do país, principalmente na bacia amazônica, onde se encontram 11,46% da população (estimativa do IBGE para 2021). O nordeste brasileiro concentra apenas 5% do montante de

água superficial e concentra cerca de 24,4% da população estimada para 2021 no país (LIMA, 2001; LIMA 2019; IBGE, 2021).

Quando se discute a quantidade de água disponível, o Brasil está em uma condição confortável quando comparado a países localizados no continente africano ou no oriente médio. No entanto, está ocorrendo a degradação da qualidade deste recurso natural, principalmente em virtude da pressão antrópica exercida pelo processo de urbanização (TROMBONI, DODDS, 2017; MELLO *et al.*, 2020; CERQUEIRA *et al.*, 2020; LUO *et al.*, 2020; NAFI'SHEHAB *et al.*, 2021).

A boa qualidade da água é essencial para a saúde humana, o desenvolvimento social e econômico. O monitoramento da qualidade da água possui papel importante neste contexto, uma vez que a qualidade da água vem se deteriorando à medida que as populações crescem, e garantir suprimentos e uso de água seguros para a população está desafiador (UN-WATER, 2021). Sua qualidade é determinada por uma série de fatores físicos, químicos e biológicos. A presença de poluentes, como nutrientes em excesso, sedimentos, substâncias tóxicas, microorganismos patogênicos e materiais orgânicos em decomposição, pode comprometer a qualidade e a saúde dos corpos d'água (SHIBATA *et al.*, 2004; LIANG *et al.*, 2019). A poluição das águas superficiais pode ter origem tanto em fontes pontuais, como efluentes industriais e esgotos tratados inadequadamente, quanto em fontes difusas, como a agricultura intensiva e o escoamento urbano (PAK *et al.*, 2021). Além disso, eventos climáticos extremos, como chuvas intensas, podem resultar no carreamento de poluentes para os corpos d'água, afetando ainda mais a qualidade das águas superficiais (GALFI *et al.*, 2016; BHURTUN *et al.*, 2019).

A alteração da qualidade das águas está associada ao processo de transformação ambiental, decorrente do processo de uso da terra, mudança dos cursos d'água, assim como alteração do comportamento social em áreas urbanas, a exemplo da pandemia do coronavírus em 2020 que influenciou na qualidade das águas em vários locais do mundo em virtude do isolamento social (YUNUS *et al.*, 2020). A falta de saneamento nos centros urbanos é um dos principais responsáveis por alterações físico-químicas e biológicas da água, tornando-a inapropriada para usos mais restritos, como potabilidade, e usos menos restritos como irrigação (BU *et al.*, 2014; YU *et al.*, 2016; MELLO *et al.*, 2018; BISIMWA *et al.*, 2022).

Os impactos da má qualidade das águas superficiais urbanas são significativos e abrangem várias áreas. Além dos efeitos na saúde humana, seja através da contaminação da água a partir do seu uso direto (KRAMER *et al.*, 2022; LIANG *et al.*, 2022) ou por propagação de doenças transmitidas pela água (AHMED *et al.*, 2019), a poluição das águas superficiais afeta negativamente a biodiversidade aquática e os ecossistemas associados (LUO *et al.*, 2018), contribuindo para a perda de habitat, redução da diversidade de espécies, alteração dos ciclos naturais e desequilíbrio dos ecossistemas (XIE *et al.*, 2018; WU *et al.*, 2019).

A avaliação da qualidade das águas superficiais é realizada por meio de monitoramento sistemático, envolvendo a coleta de amostras e a análise de parâmetros físico-químicos e biológicos. Essas informações permitem a identificação de áreas críticas, a detecção de tendências de degradação e a implementação de medidas de controle e mitigação. Sob o olhar de Khan e Wen (2021), a química das águas superficiais reflete as várias influências externas como aportes atmosféricos à litologia das baías, insumos antropogênicos e condições climáticas. Por esta razão, Villas-Boas *et al.* (2017) destacam a necessidade de caracterizar as condições da água da bacia hidrográfica para que haja uma gestão da qualidade da água eficaz e limitar a degradação futura da qualidade da água nas escalas de captação e local (MIGUEL-CHINCHILLA *et al.*, 2019).

O monitoramento da qualidade da água consiste na obtenção de um conjunto de dados físicos, químicos e biológicos de um determinado corpo d'água, incluindo sua variação espacial e temporal (ALVES *et al.*, 2018). Os parâmetros escolhidos em um monitoramento nem sempre observam o rol elencado na legislação nacional. No Brasil, a Resolução CONAMA 357/2005 dispõe sobre estes parâmetros de qualidade das águas doces, salobras e salinas, para fins de classificação e enquadramento, sendo todos obrigatórios para enquadramento dos corpos d'água (CONAMA, 2005).

A escolha dos parâmetros para monitoramento está associada à identificação dos usos atuais do corpo d'água e da análise do uso e ocupação do solo na área de influência, assim como de um diagnóstico prévio da qualidade da água (MACHADO *et al.*, 2019; DENG, 2019). Em relação aos parâmetros físico-químicos, os mais habituais são temperatura, pH, condutividade e percentual de saturação de oxigênio dissolvido; nutrientes inorgânicos a exemplo do nitrato (NO_3^-), nitrito (NO_2^-), amônia nas suas variações ($\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$) e íons dissolvidos de cálcio, potássio, magnésio, sódio e bicarbonato (CERQUEIRA *et al.*, 2020), conforme se observa na Tabela 1.

Para Liu *et al.* (2018), o consumo de oxigênio e nutrientes são os poluentes mais importantes nos últimos anos. Assim, nitrogênio total (NT), nitrogênio amoniacal ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), nitrato ($\text{NO}_3^-\text{-N}$), fósforo total (PT) e fosfato reativo solúvel (SRP) foram selecionados para representar os nutrientes; e a demanda química de oxigênio (DQO) foi a variável representativa para a matéria orgânica do consumo de oxigênio. Chang *et al.* (2015) chegaram à conclusão de que nitrogênio amoniacal seria o parâmetro de qualidade mais correlacionado com outros parâmetros responsáveis pela deterioração da qualidade da água na área de estudo.

Huang *et al.* (2021) trabalharam com vários parâmetros, mas fósforo total (PT) e amônia ($\text{NH}_3\text{-N}$) se destacaram por serem coletivamente responsáveis por mais de 85% das incidências identificadas como condições prejudiciais ao meio ambiente.

Tabela 1: Propriedades físico-químicas e microbiológicas monitoradas para determinar a qualidade das águas superficiais

Parâmetros																	
Referências	T	pH	CE	OD	SST	STD	Turbidez	NT	DQO/COT	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	NO ₂	P	PO ₄ ⁻³	CF	Clorofila a	Outros parâmetros
Strathmann <i>et al.</i> (2016)	X	X	X	X			X		X	X	X	X	X	X			
Ouyang (2005), Khan e Wen (2021); Zhang <i>et al.</i> (2019)	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
Zhang <i>et al.</i> (2021)															X		
Mello et al (2018)	X			X	X			X					X				
Zhang <i>et al.</i> (2017)	X	X		X			X	X	X	X			X			X	
Alves <i>et al.</i> (2018)	X	X	X	X	X				X	X	X		X		X		cor, alcalinidade, dureza, DBO, sódio, potássio, cálcio, magnésio, bicarbonato, sulfato, cloreto,
			X	X	X	X	X	X					X		X		
Silva <i>et al.</i> (2020)			X	X	X	X	X	X					X		X		DBO
Huang <i>et al.</i> (2021)				X					X	X			X				
Bostnmaneshrad <i>et al.</i> (2016)	X	X	X				X		X					X	X		Coliformes totais, sólidos totais,
Xu <i>et al.</i> (2019)	X	X	X	X							X		X				DBO
Ding <i>et al.</i> (2016)	X		X	X				X	X	X	X		X			X	
Liu et al (2018)			X		X					X							Partícula de nitrogênio
Shi <i>et al.</i> (2019)																	
Wu <i>et al.</i> (2019)								X		X	X		X				

Além de poluentes convencionais, os rios também podem ser poluídos por substâncias orgânicas emergentes, como compostos perfluorados (PFCs) e éteres difenílicos polibromados (PBDEs) (YUAN *et al.*, 2018), assim como microplásticos, cujos efeitos na saúde humana e nos ecossistemas ainda estão sendo investigados (MAYNARD *et al.*, 2021). KISTEMANN *et al.* (2016) destacaram a importância de se estudar também patógenos como *Salmonella*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Legionella pneumophila*, *Campylobacter*, *Leptospira*, enterovírus e parasitas protozoários, além dos organismos indicadores fecais (FIOs), conforme exigido pela Diretiva Europeia de Águas Balneares, para se garantir as condições higiênicas das águas do rio no tocante à balneabilidade.

A compreensão destes parâmetros proporciona uma gestão eficaz da qualidade das águas superficiais que requer a adoção de abordagens integradas e multidisciplinares. Isso envolve a implementação de políticas ambientais e regulamentações adequadas, o fortalecimento dos sistemas de tratamento de esgotos e efluentes industriais, o incentivo a práticas agrícolas sustentáveis, o controle do uso do solo nas áreas de captação de água, a conscientização pública sobre a importância da conservação dos recursos hídricos e a promoção da participação ativa das partes interessadas (GIRI, 2021).

Em suma, a qualidade das águas superficiais é um aspecto fundamental para a sustentabilidade dos ecossistemas aquáticos e para a saúde humana. A compreensão dos principais desafios e a implementação de medidas adequadas são essenciais para garantir a proteção e o uso sustentável desses recursos preciosos.

3.3 Índice de Qualidade Ambiental

A qualidade ambiental engloba as condições de um ambiente que interage com a cultura, sociedade, aspectos sociais e situação econômica, bem como o espaço em que ocorre essa interação (WIENS; SILVA, 2009). Com o objetivo de fornecer dados de sustentabilidade em todo o mundo, o *Yale Center for Environmental* e o *Center for International Earth Science Information* desenvolveram o *Environmental Performance Index 2020* (EPI). Esse índice avaliou 180 países com base em seu desempenho em relação à mudança climática, saúde ambiental e vitalidade do ecossistema (WOLF *et al.*, 2022). No entanto, os indicadores utilizados são bastante abrangentes e podem apresentar limitações em sua aplicação.

Um estudo realizado por Nance *et al.* (2021) associou o *Environmental Quality Index* (EQI) à promoção da saúde humana e conservação ambiental. Eles descobriram que uma pior qualidade ambiental, medida pelo EQI, estava associada a maiores chances de esofagite eosinofílica (EoE), seguindo possivelmente uma relação não linear. A análise dos subdomínios do EQI indicou que essa associação era principalmente explicada pela pior

qualidade da água, enquanto a pior qualidade do ar e da terra estavam associadas a menores chances de EoE.

No contexto do Canadá, foi desenvolvido o *Canadian Environmental Quality Index* (Can-EQI), que consiste em uma revisão abrangente, seleção e integração numérica de nove variáveis provenientes de cinco domínios ambientais (PM_{2,5}, NO₂, NDVI, distância de lâmina d'água, comprimento da estrada, distância até usinas, radiação UV média anual e onda de calor). O Can-EQI é apresentado como um único valor, onde valores mais altos indicam melhores condições ambientais desejáveis (DAVIS *et al.*, 2022). A seleção desses nove parâmetros do Can-EQI foi baseada na disponibilidade de dados, relevância das variáveis e consulta a especialistas nas respectivas áreas, considerando também sua influência na saúde ao longo da vida. Os domínios abrangem qualidade do ar externo, ambientes naturais, ambientes construídos, qualidade das águas, radiação e clima. A Figura 2 destaca os parâmetros incluídos na lista final.

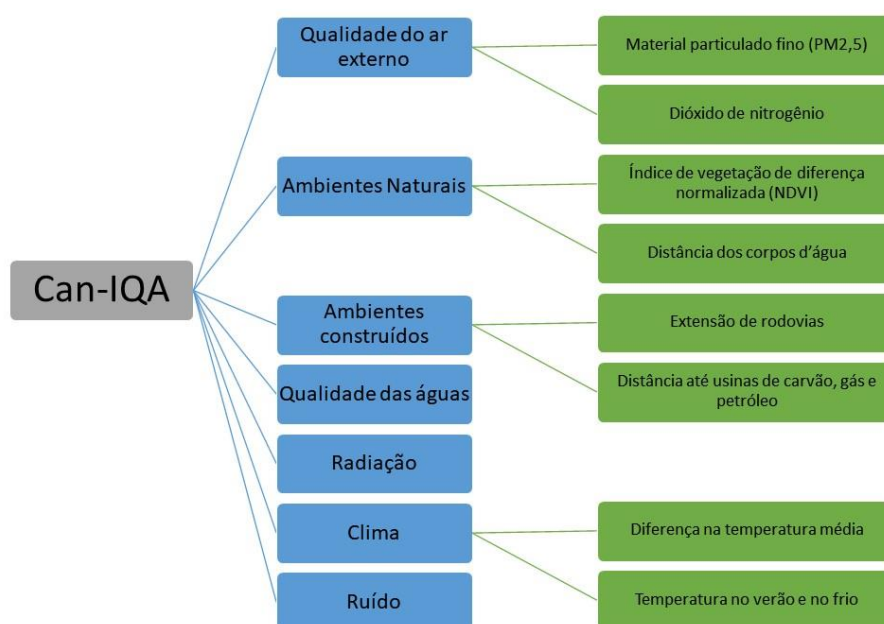


Figura 2: Parâmetros utilizados no cálculo do Índice de Qualidade Ambiental Canadense (Can-IQA)

Fonte: Adaptado de DAVIS *et al.*, 2022

O Índice de Qualidade Ambiental desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA) engloba informações sobre poluentes atmosféricos, qualidade da água, instalações perigosas, agricultura, uso de pesticidas, densidade de estradas, amenidades e desvantagens, crime e fatores de vizinhança, entre outros (OWUSU *et al.*, 2022). Essas informações são combinadas para caracterizar cinco domínios ambientais: ar, água, terra, ambiente construído e sociodemográfico.

No Brasil, os Índices de Qualidade Ambiental estão associados a indicadores de saneamento básico, níveis de urbanização e cobertura vegetal, a exemplo do adotado pelo Município de Altamira/PA, cujo índice é composto por 5 indicadores: esgotamento sanitário,

abastecimento de água, limpeza pública urbana, pavimentação de vias e cobertura vegetal. LEAL *et al.*, (2021) calcularam o Índice de Qualidade Ambiental (IQA) para a cidade de Marabá/PA, levando em consideração indicadores de segurança pública, abastecimento de água, disposição de efluentes, limpeza pública e pavimentação das vias. A segurança pública é considerada um direito estabelecido pelo ordenamento jurídico e está diretamente relacionada à qualidade de vida da população, uma vez que sua falta afeta a ordem pública e causa prejuízos à vida, liberdade e direito de propriedade, entre outros. O abastecimento de água e a disposição de efluentes estão associados a problemas de saúde pública, e a má disposição de efluentes pode resultar em poluição ambiental. A limpeza pública está relacionada à proteção da saúde pública e à qualidade ambiental por meio da coleta e disposição adequadas dos resíduos sólidos urbanos.

Diferentemente de outros países como os EUA e Canadá, nos quais os órgãos ambientais federais tiveram a preocupação de desenvolver um Índice de Qualidade Ambiental para ser utilizado como referência nacional, no Brasil apenas foi instituído o Programa de Qualidade Ambiental Urbana na pasta do Ministério do Meio Ambiente (MMA). A diretriz desse programa é a promoção da melhoria da qualidade ambiental, da conservação e do uso sustentável de recursos naturais, levando em consideração os custos e os benefícios ambientais. No entanto, o documento disponibilizado não apresenta indicadores ou índices para monitoramento do programa, cabendo aos estados indicar se alguma ação foi realizada (MMA, 2022a).

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), órgão consultivo e deliberativo do MMA, está com uma proposta em andamento desde sua última reunião em 2007, Processo nº 02000.003276/2003-26, para o desenvolvimento de Indicadores de Implementação de Normas Ambientais (CONAMA, 2022). No entanto, o MMA gerencia um Portal de Dados Abertos que inclui indicadores Ambientais Nacionais atualizados regularmente por Grupos de Trabalho (MMA, 2022b).

Alguns estados brasileiros, como São Paulo, produzem Relatórios de Qualidade Ambiental anuais que abordam diversos indicadores nos diferentes domínios da área ambiental, todavia, até o momento, não foi desenvolvido um Índice de Qualidade Ambiental específico para avaliar a integração entre desses indicadores e comparar sua evolução ao longo do tempo (SÃO PAULO, 2022).

No Brasil, a construção de um Índice de Qualidade Ambiental enfrenta várias dificuldades. A principal delas, bastante comum no contexto brasileiro, é a escassez de informações atualizadas para estabelecer dados específicos de um local, como um bairro ou mesmo uma parte dele. Muitas vezes, as informações não são registradas para avaliações futuras e os dados distribuídos por distrito nem sempre estão disponíveis (WIENS; SILVA, 2009).

Construir um índice para avaliar a qualidade ambiental requer combinar indicadores heterogêneos e atribuir pesos a estes. Os pesos dos indicadores significam sua importância relativa, o que é de suma importância para a construção do índice. Várias são as ferramentas e técnicas utilizadas para determinar os pesos e integrar os parâmetros em um único índice de qualidade ambiental. As técnicas utilizadas atualmente são: Processo Analítico Hierárquico, Lógica Fuzzy, Sistemas de Informações Geográficas (GIS), Regressão Geograficamente Ponderada, Análise dos Componentes Principais (ACP), dentre outras. Técnicas de análise de componentes principais, análise fatorial e sobreposição GIS são usadas em diferentes domínios para avaliação da qualidade ambiental urbana, bem como demonstrar a possibilidade de estudo de gestão da qualidade da água de superfície (OUYANG, 2005, VILLAS-BOAS *et al.*, 2017, ZHANG, LINBO *et al.*, 2019, ERVINIA *et al.*, 2019, MAHANTY *et al.*, 2023). A análise de cluster é um método usado para classificar as áreas em diferentes classes com caráter homogêneo para melhorar o desempenho ambiental, desenvolvendo políticas mais eficientes e adequadas (AKINBILE, OMONIYI, 2018, ALVES *et al.*, 2018, LIU *et al.*, 2018, ZHANG *et al.*, 2021, ALI *et al.*, 2022). Outra técnica conhecida como lógica fuzzy foi utilizada para projetar e avaliar os índices de qualidade ambiental. Entre essas diferentes técnicas de ponderação, o ACP foi utilizado no presente estudo, pois é um método que pode ser empregado com sucesso no caso de muitas variáveis independentes, mas nenhuma variável dependente. (KRISHNAN, FIROZ, 2020).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de Estudo

A área de estudo é o município de Aracaju, capital de Sergipe, que está localizado na região nordeste do Brasil com área territorial de 182,16 km², população estimada em 648.939 pessoas em 2018, densidade demográfica de 3.140,65 hab/km², área urbanizada em 2019 de 84,57km², de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (IBGE, 2019).

A cidade está inserida no domínio do clima tropical Atlântico do Nordeste Oriental, influenciado por massas de ar úmidas provenientes do oceano Atlântico e pela Zona de Convergência Intertropical. Este clima e a localização em uma faixa litorânea fazem com que Aracaju apresente um período seco, de setembro a fevereiro, e um chuvoso, de março a agosto (SANTANA, 2019).

O município de Aracaju apresenta altitude mínima de - 2 m, altitude máxima de 95 m e altitude média de 7m, conforme Figura 3. Trata-se de uma área bastante plana, propensa ao

acúmulo de água de chuvas que escoam através de duas microbacias: a do Rio Sergipe e a do Rio Vaza Barris (MOTA, 2017).

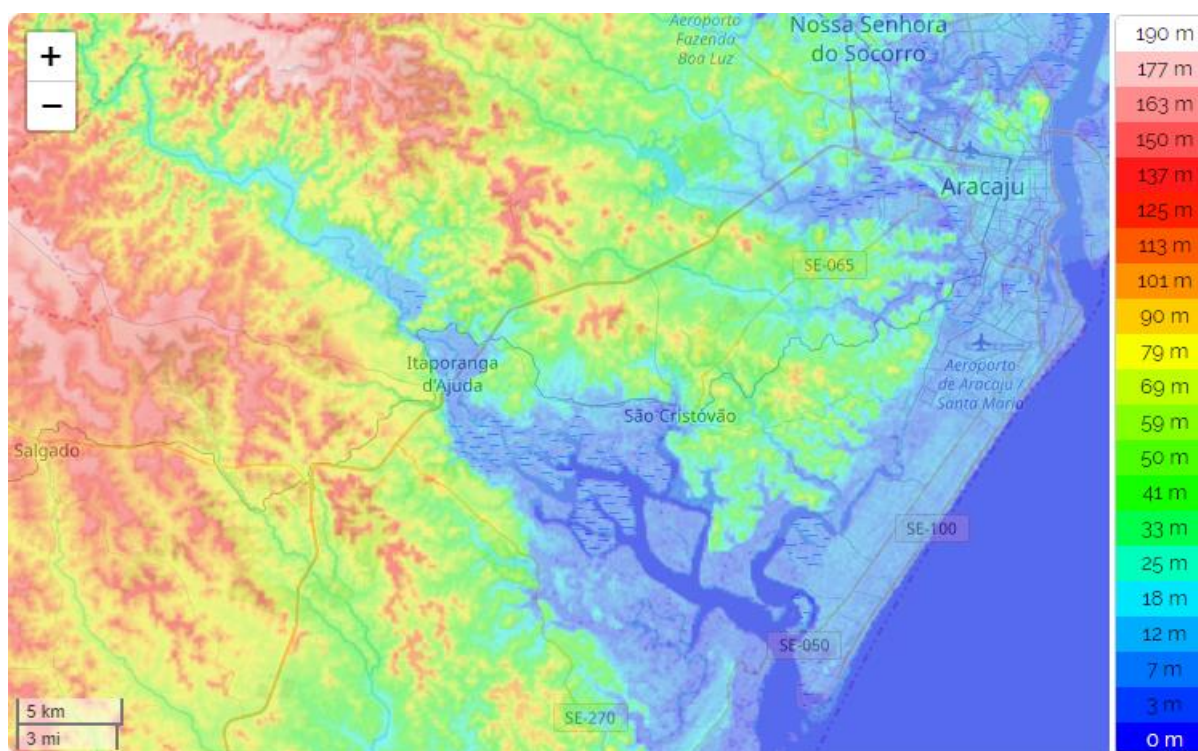


Figura 3: Mapa topográfico da Mesorregião Leste Sergipano

Fonte: TOPOGRAPHIC-MAP.COM (2019)

O município de Aracaju é composto por uma macrodrenagem com mais de 70 canais que deságuam nos diversos corpos hídricos presentes na região da capital, como rios Poxim, Sergipe, Santa Maria, do Sal, além do oceano, lagoas e mangues (ARACAJU, 2016). Atualmente, a Empresa Municipal de Obras e Urbanização (EMURB), que coordena o sistema de drenagem de águas pluviais de Aracaju, desenvolve a delimitação das áreas contribuintes aos sistemas de drenagem municipais, visando a delimitação das microbacias urbanas que aportam aos diferentes canais e redes de macrodrenagem (SERGIPE, 2010).

O principal corpo d'água que corta a cidade de Aracaju é o Rio Poxim, que compreende o curso de água formado pela confluência do Poxim-Açu e Poxim-Mirim, e perto de sua nascente é juntado por outro afluente, o rio Pitanga. Em seus trechos finais passa por áreas urbanas dos municípios de São Cristóvão, Nossa Senhora do Socorro e Aracaju, onde recebe efluentes *in natura* de origem doméstica e industrial fontes (GARCIA *et al.*, 2009).

4.2 Determinação dos parâmetros de Qualidade Ambiental

4.2.1 Amostragem

Para o planejamento amostral foram definidos a quantidade e localização geográfica dos pontos de amostragem; parâmetros, número e tipo de amostras; frequência de amostragem; métodos de coleta, manuseio, preservação e transporte das amostras, técnicas para determinação dos parâmetros; dentre outras ações.

Os critérios para a definição dos pontos de amostragem seguiram os princípios fundamentais da representatividade e abrangência espacial. Foram definidos 15 pontos de amostragem (Quadro 1) após visita a campo e análise espacial através de imagens de satélite fornecidos pelo Google Earth, tendo como critério: a acessibilidade ao local, a bacia de macrodrenagem ao qual o curso d'água pertence, bairro do município, o local de desagüe e área com intensa urbanização. A distribuição espacial dos pontos de amostragem está representada na Figura 4.

Quadro 1: Pontos de coleta com as coordenadas e respectivos bairro e local de desagüe

PONTOS	COORDENADAS		BAIRROS	LOCAL DE DESAGUE
	UTM/WGS84 (Fuso 24L)			
	Longitude E	Latitude S		
P ₁	713387.00	8790978.00	13 de julho	Rio Sergipe
P ₂	711604.00	8792675.00	Getúlio Vargas	Rio Sergipe
P ₃	712977.00	8795212.00	Industrial	Rio Sergipe
P ₄	712977.00	8794080.00	Santo Antônio	Rio Sergipe
P ₅	709474.00	8795932.00	Santos Dumont	Rio Aratu
P ₆	708737.00	8793721.00	Olaria	Rio Aratu
P ₇	708893.00	8789206.00	Jabotiana	Rio Poxim
P ₈	710899.00	8790958.00	Ponto Novo	Rio Poxim
P ₉	707743.00	8784885.00	Santa Maria	Rio Santa Maria
P ₁₀	708725.00	8782388.00	Zona de Expansão	Rio Santa Maria
P ₁₁	710637.00	8781157.00	Aruana	Oceano
P ₁₂	707956.00	8791888.00	Jabotiana	Oceano
P ₁₃	708956.00	8789968.00	Jabotiana	Oceano
P ₁₄	709810.00	8787863.00	Orlando Dantas	Oceano
P ₁₅	710955.00	8788062.00	Inácio Barbosa	Oceano

Fonte: De autoria própria (2019)

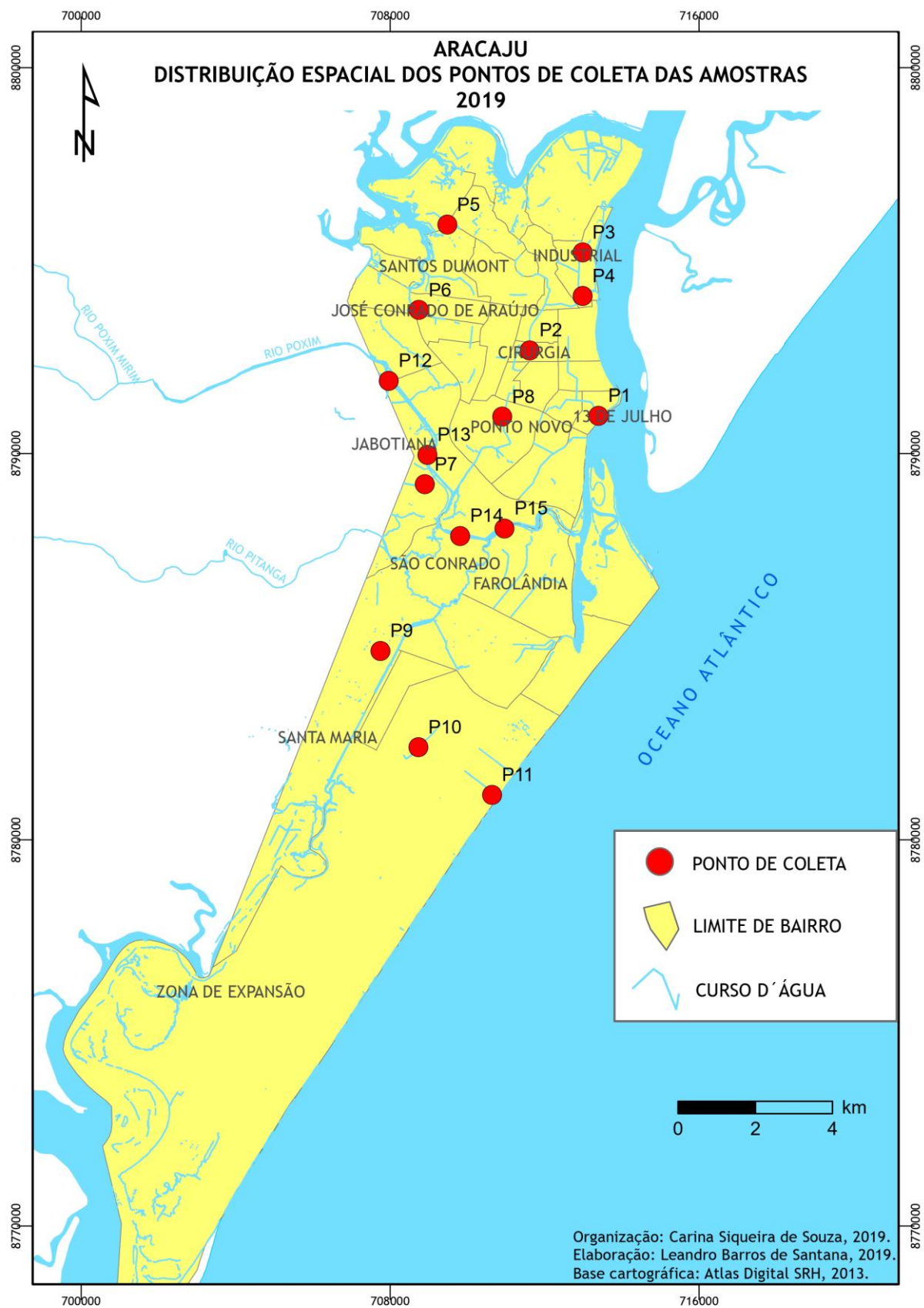


Figura 4: Distribuição espacial dos pontos de amostragem nos corpos d'água urbanos de Aracaju/SE
 Fonte: Leandro Barros de Santana (2019)

Com o propósito de observar o comportamento dos contaminantes nos períodos seco e chuvoso, as coletas das amostras foram realizadas trimestralmente no decorrer de 36 meses do desenvolvimento do projeto, totalizando 12 coletas, durante o período de maré baixa. Por motivo de força maior, o cronograma de coletas do ano de 2020 e 2021 sofreu alteração em virtude da pandemia pelo novo coronavírus, SARS-CoV2. Houve a perda de duas coletas referentes ao início do período chuvoso.

Todas as amostras foram coletadas e devidamente conservadas seguindo a metodologia descrita no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* - SMEWW (APHA, 2012), Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (BRANDÃO *et al.*, 2011) e NBR 9898:87, que dispõe sobre Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores (ABNT, 1987), para os seguintes parâmetros físico-químicos: demanda química de oxigênio (DQO), cloretos, fósforo total, nitrito e nitrato; metais dissolvidos: alumínio (Al), arsênio (As), bário (Ba), cádmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), ferro (Fe), potássio (K), lítio (Li), manganês (Mn), magnésio (Mg), molibdênio (Mo), sódio (Na), níquel (Ni), chumbo (Pb), estrôncio (Sr), vanádio (V) e zinco (Zn), além dos parâmetros biológicos: coliformes termotolerante (FUNASA, 2006).

A escolha dos parâmetros físico-químicos e biológicos foi baseada na Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água superficiais (CONAMA, 2005), nos parâmetros de qualidade de água adotados pela Agência Nacional de Águas (ANA) no cálculo de Indicadores de Qualidade das Águas (IQA) (BRASIL, 2020), assim como nos parâmetros utilizados na literatura para monitoramento e controle da qualidade das águas (OUYANG, 2005, AKINBILE, OMONIYI, 2018, ALVES *et al.*, 2018, KEBEDE *et al.*, 2020).

4.2.2 Métodos analíticos

a) Parâmetros físico-químicos

Os parâmetros físico-químicos determinados no planejamento foram medidos através da sonda multiparâmetro da marca HORIBA, modelo U-52 G, onde foi possível aferir por sensor: pH, turbidez, oxigênio dissolvido (OD), temperatura da água, condutividade, sólidos totais dissolvidos (STD) e salinidade. No laboratório de Saneamento – LABSAN, do Instituto Federal de Sergipe – IFS, foram analisados, conforme SMEWW (APHA, 2012), demanda química de oxigênio (DQO), cloretos, fósforo total, alumínio dissolvido, cobre dissolvido, manganês dissolvido, ferro total e cromo, conforme métodos apontados no Quadro 2.

Quadro 2: Quadro resumido dos métodos analíticos utilizados (continuação)

PARÂMETROS	UNIDADES	MÉTODOS UTILIZADOS
Temperatura	°C	Leitura direta - Sonda Multiparâmetros Horiba modelo - U-52G
pH	--	Leitura direta - Sonda Multiparâmetros Horiba modelo - U-52G
Turbidez	NTU	Leitura direta - Sonda Multiparâmetros Horiba modelo - U-52G
Condutividade	µS/cm	Leitura direta - Sonda Multiparâmetros Horiba modelo - U-52G
Sólidos Totais Dissolvidos - STD	mg/L	Leitura direta - Sonda Multiparâmetros Horiba modelo - U-52G
Salinidade	‰	Leitura direta - Sonda Multiparâmetros Horiba modelo - U-52G
Cloretos	mg/L	Método de Mohr
Demanda Química de Oxigênio -DQO	mg/L	SMEWW, 2012 , 5220 D - Refluxo Fechado, Método Colorimétrico
Fósforo total	mg/L	SMEWW, 2012, 4500P E - Método do Ácido Ascórbico

b) Nitrito, nitrato e metais

A determinação dos nutrientes nitrito (NO_2^-) e nitrato (NO_3^-) foram realizadas utilizando o Fotômetro Multiparâmetro Micro20 da Akso®. As especificações do equipamento para as análises mencionados estão no Quadro 3.

Quadro 3: Faixa de medição, resolução e exatidão dos metais, nitrito e nitrato medidos no Fotômetro Multiparâmetro

PARÂMETROS	FAIXA MEDIÇÃO	DE	RESOLUÇÃO	EXATIDÃO
Nitrito (NO_2^-)	0,01 a 1,80 ppm		0,01 ppm	±5%
Nitrato (NO_3^-)	0,12 a 5,00 ppm 5,1 a 30,0 ppm		0,01ppm 0,1ppm	±15%

Fonte: Akso® (2019)

c) Coliformes termotolerantes (CETESB L5.202)

Um dos indicadores fecais e bacteriológicos mais utilizados na literatura para detectar contaminação por fezes são os coliformes termotolerantes. Estes integram o elenco de parâmetros para o cálculo dos índices de qualidade de água (AKINBILE, OMONIYI, 2018, SILVA, *et al.*, 2020) e monitoramento da qualidade de águas superficiais e subterrâneas

(FLYNN *et al.*, 2016, STRATHMANN *et al.*, 2016, ABDALLA, KHALIL, 2018, AKINBILE, OMONIYI, 2018, ALVES *et al.*, 2018, KHAN *et al.*, 2018, ACHARYA *et al.*, 2020).

Os coliformes termotolerantes foram analisados de acordo com a técnica de filtração em membrana descrita em APHA (2012). As amostras de água dos corpos d'água foram filtradas em membrana de nitrocelulose estéril (47 mm de diâmetro, 0,45 µm de porosidade). A membrana foi colocada em meio de cultura m-FC ágar em placas de Petri estéreis. Amostras controle foram processadas da mesma forma para garantir a qualidade da água de diluição e descartar qualquer possível contaminação externa. As placas foram incubadas invertidas a $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ durante 24 ± 2 horas. As colônias foram contadas em microscópio estereoscópico (ampliação 10x). Colônias azuis com brilho metálico foram consideradas indicativas de coliformes termotolerantes. O resultado é expresso em UFC.100 mL⁻¹ ou em Log10 UFC. 100 mL⁻¹.

d) Metais

Para subsidiar discussões sobre metais dissolvidos Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Fe, K, Li, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Sr, V e Zn, P foram registrados. Amostras de água (100mL) foram coletadas a no máximo 0,5 m da superfície, filtradas através de membranas estéreis de nitrocelulose (porosidade de 0,45 µm) ainda em campo, e imediatamente acidificadas com solução de ácido nítrico a 1,5%, sendo posteriormente armazenadas a 4°C. As concentrações dos metais foram então determinadas empregando-se um Espectrômetro de Emissão Óptica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES), da Varian 720-ES. O material de referência foi usado para garantir a validação dos dados e precisão do método analítico. As recuperações variaram de 84 a 105% para todos os metais em relação aos valores certificados. Todos os reagentes eram de grau analítico e todas as soluções foram preparadas com água ultrapura.

4.3 Características da localidade

A qualidade das águas urbanas é influenciada pelas características da área a montante do ponto de amostragem. Sendo assim, fez-se necessária a compreensão das dinâmicas de urbanização que influenciaram nos pontos de coleta e seus efeitos sobre a qualidade ambiental do município, tendo como referência as águas urbanas, uma vez que esta tem o papel de concentrador de contaminantes. O levantamento destas características foi baseada na metodologia empregada por SHI *et al.* (2019) que subdividiu estas variáveis independentes em 4 categorias: topografia, clima, infraestrutura e desenvolvimento, e uso do solo.

4.3.1 Topografia e clima

Foram coletadas informações referentes a elevação (m), percentual de declive (%), precipitação (mm) de fontes oficiais vinculadas ao município de Aracaju e dos mapas temáticos do Banco de Dados Geoespacial do Estado de Sergipe, acessíveis por meio do Atlas Digital de Sergipe. Estes dados foram utilizados como parâmetros para a análise da tendência espacial, associados a qualidade das águas.

A precipitação (mm) foi obtida no sítio do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). A periodicidade de coleta foi associada ao período de monitoramento da qualidade das águas urbanas, com a finalidade de avaliar o seu efeito sobre os parâmetros analisados.

4.3.2 Infraestrutura e desenvolvimento

Foram analisadas variáveis independentes: infraestrutura de drenagem (%), percentual de área verde (%), sistema de tratamento de esgoto (%). Estes dados foram coletados em base de dados governamentais, fontes secundárias, a exemplo do Sistema Nacional de Informações (SNIS), Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), associado a análise de imagens de satélite de uso gratuito do Google Earth ® e do Landsat.

4.3.3 Uso do solo

Para esta categoria, foi utilizado o Atlas Digital de Recursos Hídricos de Sergipe, desenvolvido pela Secretaria Estadual do Meio Ambiente e de Recursos Hídricos de Sergipe – SEMARH no ano de 2014, dados do IBGE (2021) e MapBiomas. Para atualização dos dados, foram levantados através de imagens de satélite de uso gratuito do Google Earth ®.

4.4 Avaliação dos dados de Qualidade de Água

4.4.1 Qualidade das águas

Após a coleta dos dados há a necessidade tratá-los, espacializar e interpretar os mesmos. Para proceder a uma avaliação mais completa dos dados originais, foram utilizados recursos de estatística descritiva univariada antes da análise multivariada, que envolveu o cálculo dos valores mínimo e máximo, média, desvio padrão, e os percentis (25, 50 - mediana e 75) dos parâmetros de qualidade da água para cada local de monitoramento. A distribuição dos dados foi verificada aplicando-se o teste de normalidade Shapiro-Wilk com nível de significância de 5%.

Os testes estatísticos Kruskal-Wallis e Mann-Whitney U foram utilizados para avaliar as diferenças e caracterizar a variabilidade, nos casos onde os dados não tiveram comportamento normal. O teste de correlação não paramétrica de Spearman também foi aplicado para descrever as covariações entre as concentrações.

A inferência estatística foi realizada por correlação de Pearson, Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise de Agrupamento Hierárquico (ACH), utilizando o software livre PAST versão 4.03 (HAMMER *et al.*, 2001).

A correlação linear de Pearson tem a finalidade de verificar o grau de dependência ou independência de uma variável em relação a outra de forma positiva ou negativa (DEVORE, 2018). A ACP tem por objetivo reduzir, eliminar sobreposições e a escolha das formas mais representativas dos dados a partir de combinações lineares das variáveis originais. Por fim, a ACH analisa um conjunto de dados em termos de grupos definidos de maneira hierárquica, de acordo com a similaridade observada entre variáveis ou amostras, servindo de ferramenta complementar para ACP, conforme explica Carvalho *et al.* (2015). A análise de componentes principais (ACP) foi conduzida para reduzir a dimensionalidade dos conjuntos de dados e definir os principais fatores que explicam a variação nas propriedades físico-químicas dos corpos d'água estudados.

Os resultados encontrados foram comparados aos limites estabelecidos pela legislação ambiental vigente, Resolução CONAMA 357/2005, com fulcro na classificação legal dos corpos d'água objeto de pesquisa em face dos parâmetros estudados (CONAMA, 2005).

4.4.2 Variação da qualidade das águas em função dos usos predominantes nas microbacias e sua variação temporal (2019-2021)

A variabilidade espacial da qualidade da água superficial foi analisada por meio de técnicas estatísticas multivariadas, teste não paramétrico de Kruskal-Wallis e análises de violações dos padrões estabelecidos para parâmetros de qualidade da água recomendados pela legislação. Todos os cálculos matemáticos e estatísticos foram realizados usando o Microsoft Office Excel 2010 e o software livre PAST versão 4.03 (HAMMER *et al.*, 2001).

Para eliminar a influência das diferentes unidades de medida e tornar os dados adimensionais, os dados foram padronizados por meio de transformação em escala z (subtração da média e divisão pelo desvio padrão de cada variável), que gera variáveis com média 0 e desvio padrão de 1 e fornece-lhes a mesma escala (Liu *et al.* 2018; Zhang *et al.* 2021).

A análise de agrupamento hierárquico (ACH) agrupa as observações de acordo com suas semelhanças ou dissimilaridades para que o resultado mostre alta homogeneidade dentro de um grupo e alta heterogeneidade entre os grupos (AKINBILE; OMONIYI, 2018). Os

resultados da ACH foram ilustrados usando um dendrograma, que representa clusters e permite que a similaridade entre eles seja visualizada (AFED ULLAH *et al.*, 2018). Neste estudo, a ACH foi realizada no conjunto de dados normalizado seguindo o método de ligação completa, usando a distância euclidiana como medida de similaridade.

Para identificar diferenças significativas entre as medianas dos parâmetros de qualidade da água para os grupos formados pela ACH, foi aplicado um teste não paramétrico de Kruskal-Wallis, seguido de um teste de comparações múltiplas (quando aplicável) a um nível de significância (α) de 5%. Assim, puderam ser identificados os parâmetros responsáveis por diferenciar os grupos formados pelo ACH. O teste de Kruskal-Wallis foi aplicado individualmente para cada parâmetro.

4.5 Avaliação da Qualidade Ambiental

4.5.1 Seleção de conjuntos de dados e fontes de dados

O conjunto de dados de potenciais indicadores para a construção do índice de qualidade ambiental foi levantado nos níveis federal, estadual e municipal. O conjunto de dados em escala federal foi identificado por meio de repositórios de dados construídos pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE; <https://cidades.ibge.gov.br/>), MapBiomas (<https://mapbiomas.org/>) e Conselho Nacional do Meio Ambiente (<http://conama.mma.gov.br/>). Os dados estaduais e municipais foram coletados a partir de dados abertos de suas secretarias de meio ambiente. Dados de qualidade da água também foram coletados em 15 pontos espalhados pela cidade.

As variáveis apontadas na literatura foram excluídas deste estudo pelos seguintes motivos: (1) o banco de dados aberto com informações ambientais possui informações limitadas; (2) as variáveis existentes são pouco monitoradas, gerando lacunas. O conjunto finalizado de variáveis foi derivado por adição/exclusão da variável com base na disponibilidade de dados para as variáveis. O conjunto de dados utilizado neste estudo foi coletado de diferentes fontes, conforme Quadro 4.

Quadro 4: Conjunto de variáveis, sua notação, definição e fonte para a construção do indicador de qualidade ambiental

VARIÁVEIS	NOTAÇÃO VARIÁVEL	DEFINIÇÃO	FONTE DE DADOS E PRÉ-PROCESSAMENTO
Densidade populacional (pop/sq.km)	Pop	Medição da população por unidade de área	Site do Censo 2010 do IBGE
Área verde (%)	GA	É uma taxa que representa a quantidade de área verde	MapBiomass
Índice de Qualidade da Água	WQI	Índice que representa a qualidade da água com base em parâmetros físico-químicos como coliformes termotolerantes, pH, fósforo total, temperatura da água, turbidez e OD.	Os dados foram coletados <i>in situ</i> e analisados em laboratório
Quociente de perigo de água	WHQ	Este índice representa o nível de periculosidade da água devido à presença de metais (Al, As, Fe, Mn, P, Pb, Zn)	

4.5.2 Índice de Qualidade de Água (WQI)

A qualidade da água dos rios que cortam as cidades é um importante indicador a ser adicionado ao Índice de Qualidade Ambiental. Estudos anteriores indicaram que as características da captação, incluindo uso da terra, geologia e propriedades do solo, clima e hidrologia, poluição podem influenciar a variabilidade espacial nas respostas da qualidade da água (BHURTUN *et al.*, 2019). Assim, sete parâmetros foram utilizados na construção do índice único de qualidade da água baseado na significância ambiental de um parâmetro de qualidade da água (coliformes termotolerantes, pH, fósforo total, temperatura da água, turbidez e OD).

Estatísticas descritivas foram calculadas para cada variável para entender as características e a variação dos dados (DENG, 2019). A estatística descritiva dos dados foi calculada utilizando o PAST v.4.03 (HAMMER *et al.*, 2001). Esses dados foram então verificados quanto à presença de normalidade. A verificação da normalidade foi feita pelo teste de Shapiro Wilk. A hipótese nula para o teste de Shapiro Wilk foi que os dados seguem a distribuição normal. O valor de p do teste de Shapiro Wilk deve ser maior que 0,05, para que os dados sigam uma distribuição aproximadamente normal. Os dados com comportamento não normal foram normalizados.

A metodologia de construção do índice com base na ACP foi escolhida porque os parâmetros utilizados no cálculo do Índice de Qualidade da Água adotado pelo governo brasileiro diferem daqueles determinados.

As medidas de cada parâmetro de qualidade da água foram primeiramente convertidas para um subíndice adimensional (S_i). Um fator de ponderação normalizado (w_i) para cada parâmetro de qualidade da água foi determinado independentemente pela ACP, de modo que $\sum w_i = 1$. Finalmente, o WQI foi calculado pela agregação dos subíndices e fatores de ponderação para todos os parâmetros de qualidade da água (n), $WQI = \sum_{i=1}^n w_i S_i$. Os valores do IQA variaram de 0 a 100.

4.5.3 Quociente de perigo de água (WHQ)

Esse índice foi baseado na Ingestão Diária Crônica (CDI) usada para estimar o nível de perigo humano associado à ingestão de certas substâncias perigosas de eventos diários crônicos (AHMED, Jamil *et al.*, 2021, AVIGLIANO, SCHENONE, 2015, CCANCCAPA-CARTAGENA *et al.*, 2021, SETIA *et al.*, 2020). O valor do CDI indica a quantidade de substâncias químicas ingeridas e foi calculado pela eq.1 com base nos parâmetros especificados no Quadro 5.

$$CDI = \frac{C_w \times IngR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad \text{eq.1}$$

O quociente de perigo de água (WHQ) foi calculado a partir da eq. 2 onde W representa o peso atribuído a cada parâmetro, com base em autovalores para cada componente principal e carga fatorial para cada parâmetro a partir dos resultados da ACP e representa a importância relativa de cada parâmetro individual de qualidade da água para fins ambientais e de saúde.

$$WHQ = \sum \frac{S_w}{CDI} \times 100 \times w_i \quad \text{eq.2}$$

Quadro 5: Parâmetros utilizados para o cálculo da Ingestão Diária Crônica (CDI) e suas referências

PARÂMETROS	SÍMBOLOS	UNIDADES	REFERÊNCIA
Concentração de produtos químicos na água	C_w	mg L ⁻¹	-
Taxa de ingestão de água	IngR	L dia ⁻¹	USEPA (2010)
Frequência de exposição	EF	dia ano ⁻¹	USEPA (2010)
Duração da exposição	ED	ano	USEPA (2010)
Peso corporal do indivíduo exposto	BW	kg	IBGE (2010)
Período de tempo durante o qual a dose é calculada em média	AT	dia	USEPA (2010)
Valor padrão admissível do produto químico	S_w	mg/L	CONAMA (2005)

4.5.4 Área verde (%GA)

As coleções de mapas de uso da terra foram baixadas dos mosaicos da série Landsat para o ano de 2021 do projeto Mapbiomas (SOUZA JR *et al.*, 2020). As imagens foram redesenhadas para a projeção métrica UTM Sirgas 2000 para cálculos de área através da contagem dos pixels. Para realizar a contagem das áreas verdes, as classes temáticas disponíveis nas coleções foram agrupadas em uma única classe para o cálculo dos pixels, com resolução espacial original de 30 metros.

Também foi utilizado o Índice de Áreas Verdes (IAV), que é a relação entre o valor da área caracterizada como área verde sobre a população residente (m^2/hab). Foram utilizados dados da população estimada dos bairros onde estão localizados os pontos para 2019, 2020 e 2021 (ARACAJU, 2022). Devido à sua associação com fatores demográficos, é fundamental que o público tenha acesso às áreas verdes, que devem cumprir não apenas funções ambientais, mas também atender plenamente às demandas sociais por lazer e conforto. Assim, o Índice de Áreas Verdes (IAV) pode ser utilizado como um indicador de qualidade de vida, evidenciando a importância de disponibilizar espaços verdes acessíveis e de alta qualidade para a população (RAMOS *et al.*, 2020), tendo a Organização Mundial da Saúde recomendado o valor de $12m^2/hab$ a quantidade de áreas verdes para qualidade ambiental.

4.5.5 Índice de Qualidade Ambiental (EQI)

A construção do EQI seguiu a metodologia utilizada por Krishnan e Firoz (2020). O índice de qualidade ambiental para cada ponto da área de estudo foi calculado utilizando-se uma combinação linear ponderada de densidade populacional (Pop), área verde (GA), WQI e WHQ. Os pesos foram obtidos por meio da Análise de Componentes Principais (ACP).

Cinco classificações foram apresentadas com base nos valores do EQI: Qualidade ambiental excelente (79-100), Qualidade ambiental boa (51-79), Qualidade ambiental média (36-51), Qualidade ambiental ruim (19-36), Qualidade ambiental muito ruim (0-19).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização da área de influência dos pontos de amostragem

Os 15 pontos de amostragem (Quadro 1) foram espacializados na Figura 5. A escolha foi baseada em função da tendência de crescimento urbano (WANDERLEY, 2013), sendo alocados pontos nos bairros que surgiram nos últimos 30 anos como Zona de expansão (P9 e P10), Aruana (P11) e Jabotiana (P7 e P13), além dos bairros mais antigos (P2 a P6). Outro critério foi sua localização em função da macrodrenagem ao qual o curso d'água pertence

(todos os pontos), no caso o rio Sergipe, e a acessibilidade ao local. Também se optou por estudar a qualidade das águas do rio Poxim (P12 a P15) ao recortar a cidade de Aracaju e ser o maior afluente do rio Sergipe. Em todos os pontos a água flui o ano inteiro, exceto no P11 que secou no verão em uma única coleta.



Figura 5: Espacialização dos pontos de coleta em uma imagem de satélite

Fonte: Google Earth (2023)

A partir das visitas *in loco*, os impactos ambientais da cidade de Aracaju ocorrem como consequência de um processo de urbanização desordenado. Trata-se de uma cidade onde preponderam residências, áreas comerciais e pequenas fábricas, não existem complexos industriais de grande porte. Ainda existem regiões agrícolas em Aracaju, principalmente nas áreas limítrofes com os municípios de São Cristóvão e Nossa Senhora do Socorro, mas que vem perdendo espaço para a construção de áreas residenciais. A área ocupada pela agricultura somada a de pastagem compreendem 16,8 % do território, sendo 52,28% área urbanizada e os outros 30,92% de área engloba rios, lagoas, manguezal, campo alagado, formação florestal, praia, duna dentre outras, como se observa na Figura 6. A cultura que prevalece é o cultivo do Coco-baía, que, de acordo como os dados referentes ao Monitoramento da Cobertura e Uso da Terra divulgado pelo IBGE, ainda ocupa 25 ha do território aracajuano, entretanto sofreu uma perda de aproximadamente 94,5% do seu território de cultivo quando se compara o ano de 2021 ao de 2005 (IBGE, 2021) e contribuiu com 0,16% do PIB do município. Mesmo com esta pequena área e produção agrícola, para o IBGE e administração pública municipal, Aracaju possui uma população 100% urbana.

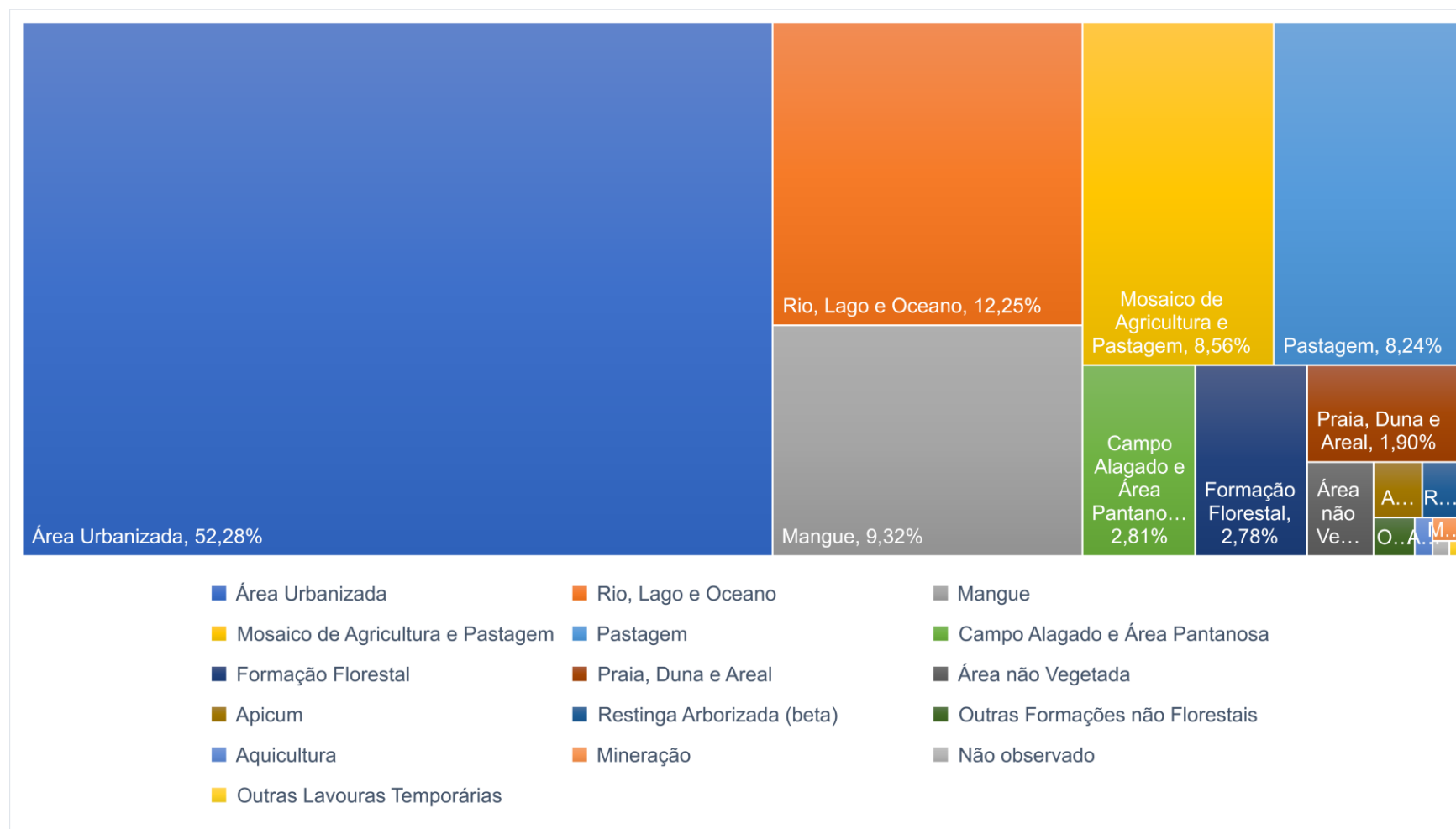


Figura 6: Distribuição do uso e ocupação do solo do município de Aracaju/SE

Fonte: MapBiomias (2020)

Problemas com alagamentos no município são constantes em virtude da diferença de cotas do terreno ser baixa (altitude mínima de -2 m, altitude máxima de 95 m e altitude média de 7m), possuir problemas de dimensionamento e uso inadequado da rede de drenagem, alto grau de impermeabilização do solo e desmatamentos para usos urbanos. De acordo com Aracaju (2014), foram identificadas 40 áreas com ocorrência frequente de acúmulo de água durante as precipitações. Sendo os pontos que mais se destacam os bairros Treze de Julho, Salgado Filho, São José, Pereira Lobo, Siqueira Campos, América, Porto Dantas, Cidade Nova, Coroa do Meio e Atalaia.

O ponto P1 está localizado na Zona Sul da cidade no bairro Treze de Julho, onde a amostra foi captada de um canal que percorre uma grande Avenida denominada Anízio de Azevedo (Figura 7). As águas deste canal são decorrentes de origem natural doce e da água do mar em virtude da oscilação da maré, águas pluviais e contribuições de lançamentos clandestinos de esgotos/efluentes dos bairros Grageru, Jardins, Salgado Filho e Treze de Julho. Trata-se de uma área com ocupação diversificada com residências, uma grande quantidade de clínicas e prestadores de serviços na área de saúde, escolas, um estádio e centro poliesportivo e shopping.



Figura 7: Ponto P1 de amostragem localizado no bairro Treze de Julho

Fonte: De autoria própria (2019)

Não há arborização às margens do corpo d'água do ponto P1 e a vegetação que se observa na Figura 7 é manguezal que nasceu furtivamente entre as placas de concreto do canal. Visualmente é uma água bastante turva, que no decorrer das coletas oscilava entre as cores verde e preto, prevalecendo o preto após as obras de construção do Calçadão da Praia Formosa, que alterou a dinâmica de deposição de sedimentos, o que dificultou o aporte de água do mar.

O ponto P2 está localizado no bairro Getúlio Vargas (Figura 8). Originalmente este canal era um riacho, mas que foi canalizado para recepcionar as águas pluviais e recebe alguns lançamentos clandestinos de efluentes. O canal percorre o bairro Suissa, Pereira Lobo e parte do Cirurgia, que ainda são bairro predominantemente residenciais. O fluxo de água é contínuo e não possui arborização no trecho de coleta. Visualmente a água possui baixa turbidez, detectou-se presença de alevinos e garças.



Figura 8: Ponto P2 de amostragem localizado no bairro Getúlio Vargas

Fonte: De autoria própria (2019)

O ponto P3 está localizado no bairro Industrial e recebe contribuições de águas dos bairros da zona norte do município. Trata-se de um corpo d'água canalizado e que na maior parte do seu percurso se encontra coberto. Assim como o ponto P1, suas águas sofrem influência direta da maré, mas não são tão turvas e a lâmina d'água quando a maré está baixa é de no máximo 15 centímetros. Trata-se de uma área de uso mista, tendo um comércio muito atuante, pequeno complexo industrial e grande circulação de veículos, mas ainda possui muitas residências.



Figura 9: Ponto P3 de amostragem localizado no bairro Industrial

Fonte: De autoria própria (2019)

Os pontos P4 e P5 estão localizados na mesma avenida, sendo que o P4 fica no Bairro Santos Antônio e o P5 no Santos Dumont, mas são corpos d'água que possuem origem distinta. O P4 recebe contribuições dos bairros: 18 do Forte, Palestina e Santo Antônio (Figura 10). O P5 é uma ramificação do riacho do Cabral que adentra pelo bairro Soledade e recebe contribuições dos Santos Dumont e Cidade Nova, seguindo seu percurso pelo Bairro Cidade Nova (Figura 11). Há uma diferença entre os dois em termos de hidrodinâmica, P5 está em uma cota mais alta e o trecho é plano, enquanto o P4 está na cota mais baixa tendo uma velocidade de escoamento maior, inclusive com vários pontos de turbilhonamento. Os bairros que influenciam as águas do P4 são residenciais, enquanto o P5 estava próximo de uma área de intenso comércio.



Figura 10: Ponto P4 de amostragem localizado no bairro Santo Antônio

Fonte: De autoria própria (2021)



Figura 11: Ponto P5 de amostragem localizado no bairro Santos Dumont

Fonte: De autoria própria (2021)

O ponto P6 está localizado no bairro José Conrado de Araújo (Figura 12). É um corpo d'água natural derivado do Riacho do Cabral que foi canalizado e recorta os bairros Jardim Centenário, Olaria e parte do José Conrado de Araújo. É um ponto que é influenciado pela má disposição dos resíduos sólidos urbanos e falta de esgotamento sanitário de alguns imóveis.



Figura 12: Ponto P6 de amostragem localizado no bairro José Conrado de Araújo

Fonte: De autoria própria (2021)

No bairro Jabotiana foram alocados dois pontos P7 (Figura 13) e P13 (Figura 19), sendo que o P7 é um afluente do rio Poxim que foi canalizado e recebe águas do sistema de drenagem e efluentes do referido bairro até finalizarem as obras de esgotamento sanitário e o P13 está localizado no rio Poxim. O percurso do corpo d'água é arborizado e possui uma série de pontos de lançamento de efluentes domésticos como se observa na Figura 13, além de passar nas proximidades de um cemitério, devidamente licenciado e ser uma área alvo de constantes inundações.



Figura 13: Ponto P7 de amostragem localizado no bairro Jabotiana

Fonte: De autoria própria (2021)

O ponto P8 foi alocado em meio a uma área residencial de classe média. O canal no ponto de coleta está aberto com a presença de vegetação às margens, mas a maior parte dele é coberto (Figura 14). O seu fluxo é contínuo, sem turbilhonamento, com lâmina d'água de 10 cm. O ponto P8 recebe contribuições dos bairros Ponto Novo e parte do Luzia.



Figura 14: Ponto P8 de amostragem localizado no bairro Ponto Novo

Fonte: De autoria própria (2021)

Os bairros de urbanização mais recente são o Santa Maria, representado pelo P9 (Figura 15), Zona de Expansão pelo P10 (Figura 16) e Aruana pelo P11 (Figura 17). O bairro Santa Maria apresenta falta de saneamento básico e a própria população dispõe seus resíduos dentro do canal e em suas margens de forma inadequada, como se observa na Figura 15. Como às margens do canal existe uma área verde foi possível visualizar animais pastando. O mesmo ocorre na Zona de Expansão, mas menor incidência.



Figura 15: Ponto P9 de amostragem localizado no bairro Santa Maria

Fonte: De autoria própria (2021)



Figura 16: Ponto P10 de amostragem localizado no bairro Zona de Expansão

Fonte: De autoria própria (2021)

O ponto P11 está localizado num dos canais naturais de drenagem das lagoas existentes no bairro Aruana. É de difícil acesso para coletar e medir os parâmetros necessários à caracterização, mas tem sua importância por estar sendo impactado pelo processo de construção de uma série de condomínios fechados nas suas proximidades. A análise dessas águas também serve de referência de qualidade das águas que escoam das lagoas naturais da região.



Figura 17: Ponto P11 de amostragem localizado no bairro Aruana

Fonte: De autoria própria (2021)

O rio Poxim, maior corpo d'água que recorta o município de Aracaju e percorre cerca de 11,8 km até o encontro com a foz do Rio Sergipe, foi monitorado em 4 pontos, do P12 ao P15. O P12, Figura 18, está localizado no limite entre o município de Aracaju e São Cristóvão, onde existe uma barragem onde as águas do Poxim são coletadas para tratamento e posterior abastecimento da população. É o ponto onde o rio Poxim adentra o município de Aracaju. Cerca de 2,3 km após o P12, demarcou-se o P13 que é influenciado pelas atividades antrópicas desenvolvidas no bairro Jabotiana (Figura 19). O ponto P14 se encontra a aproximadamente 2,9 km do ponto P13, no bairro São Conrado (Figura 20), logo em seguida, após 1,3 km fica o P14 (Figura 21). Por se tratar de um rio com maior porte, optou-se por coletar das pontes existentes que cruzavam o rio Poxim.



Figura 18: Ponto P12 de amostragem localizado Jabotiana , Rio Poxim

Fonte: De autoria própria (2021)



Figura 19: Ponto P13 de amostragem localizado Jabotiana, Rio Poxim

Fonte: De autoria própria (2021)



Figura 20: Ponto P14 de amostragem localizado São Conrado, Rio Poxim

Fonte: De autoria própria (2021)



Figura 21: Ponto P15 de amostragem localizado Inácio Barbosa, Rio Poxim

Fonte: De autoria própria (2021)

5.2 Parâmetros físico-químicos e microbiológicos

Os valores médios dos resultados obtidos para os 11 parâmetros estão apresentados na Tabela 2 foram comparados aos valores de referência indicados na legislação brasileira vigente a Resolução CONAMA 357/2005 (a estatística descritiva se encontra na Tabela 13 do Apêndice A). De uma forma geral, todos os pontos exibiram uma água com qualidade comprometida, seja por excesso de matéria orgânica, material em suspensão, fósforo ou ainda sólidos dissolvidos.

Tabela 2: Média dos parâmetros de qualidade de água das 8 (oito) amostras nos 15 pontos estudados. Os espaços em branco correspondem a parâmetros que não foram possíveis de se determinar por limitações metodológicas

Pontos	T(°C)	pH	cond (µS/cm)	Turbidez (NTU)	OD (mg/L)	STD (g/L)	Salinidade (%)	DQO (mg/L)	NH ₃ (mg/L)	Fósforo total (mg/L)	Coliformes (UFC/100mL)	Coliformes (logUFC/100mL)	Cloreto (mg/L)
1	30,77	7,35	30,91	52,19	1,87	14,60	1,55		16,31	4,80	1,72E+07	6,37	9,48E+03
2	32,73	7,78	0,73	74,21	3,80	0,45	0,03	198,26	25,35	6,31	1,35E+07	6,41	1,21E+02
3	30,42	7,28	4,43	132,73	2,11	2,72	0,26	128,13	14,98	8,06	9,60E+07	7,71	1,78E+02
4	30,53	7,30	0,60	122,75	2,55	0,36	0,03	236,21	11,72	7,65	2,28E+09	7,62	6,55E+02
5	30,25	7,17	0,95	209,06	1,63	0,59	0,05	123,44	11,05	4,09	1,37E+08	8,04	2,43E+02
6	30,10	7,04	0,81	100,34	1,76	0,49	0,04	225,55	10,82	6,07	7,62E+07	7,59	2,40E+02
7	29,66	7,06	13,95	60,38	2,40	8,51	0,88	231,27	5,77	2,16	1,89E+07	6,58	3,61E+03
8	31,40	7,41	0,71	123,51	6,48	0,51	0,04	156,37	39,41	6,87	5,76E+07	7,50	8,19E+01
9	31,01	7,27	0,89	248,12	2,57	0,54	0,04	219,03	55,71	8,43	7,54E+07	7,55	2,57E+02
10	30,19	7,43	0,88	103,59	2,72	0,54	0,04	105,02	60,86	8,10	4,60E+06	6,71	9,12E+01
11	28,96	6,75	0,69	127,52	5,30	0,44	0,03	93,18	18,54	1,10	2,58E+05	3,83	1,95E+02
12	27,15	6,97	0,51	63,04	3,05	0,33	0,02	11,31	16,12	0,53	4,32E+03	2,50	7,95E+02
13	27,75	7,00	10,34	44,25	2,38	6,19	0,66	428,37	14,01	1,08	3,71E+05	4,87	2,56E+03
14	27,94	6,89	10,14	63,02	2,40	5,84	0,62	111,17	30,03	1,51	7,87E+05	5,08	2,55E+03
15	28,37	7,02	11,59	64,27	2,53	6,36	0,70	41,07	21,85	1,40	6,87E+05	5,57	4,16E+03

Os resultados apontaram para uma classificação diversificada em termos de salinidade. Ao analisar a média de salinidade por ano, 9 dos pontos apresentados foram considerados de água doce, sendo o ponto P1 salino e os pontos 3, 7, 13 a 15 considerados como salobros (Figura 22). No entanto, a depender da estação, seca ou chuvosa, e da intensidade da maré, nenhum dos pontos pode ser considerado doce.

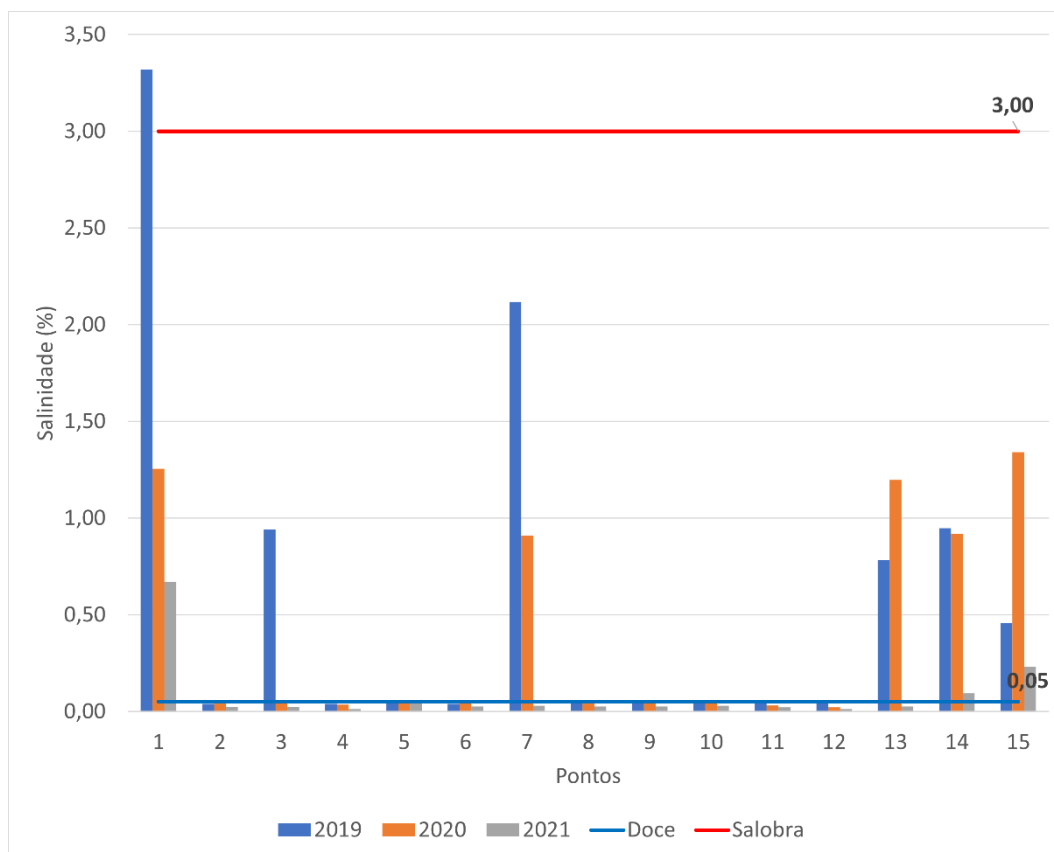


Figura 22: Salinidade média nos pontos de coleta em função do ano

Os Sólidos Totais Dissolvidos (STD) e a condutividade foram realizadas utilizando a sonda multiparâmetro, sendo assim, os valores mensurados apresentam o mesmo padrão de comportamento da salinidade em todas as amostras. Os STD e a condutividade apresentaram valores altos nos pontos 1, 7 e 13 a 15, ao analisar a média anual de 2019 a 2021 em relação aos outros pontos, observar a Tabela 3, por causa da influência da maré e da descarga de efluentes domésticos (GARCIA *et al.*, 2009). Nos pontos de água doce/salobra, a média dos pontos P2, P4, P6, P11 e P12 não ultrapassaram o limite imposto pela legislação brasileira para água doce de 500mg/L para águas superficiais Classes 1 a 3, sendo que os outros podem ter ultrapassado por causa do lançamento indevido de efluentes domésticos (CONAMA, 2005).

Tabela 3: Média anual dos valores de Sólidos Totais Dissolvidos (g/L) e Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)

Pontos	Sólidos Totais Dissolvidos (g/L)			Condutividade ($\mu\text{S/cm}$)		
	2019	2020	2021	2019	2020	2021
1	30,47 $\pm$ 9,05	11,40 $\pm$ 14,21	7,21 $\pm$ 6,27	50,43 $\pm$ 15,53	37,25 $\pm$ 24,95	11,55 $\pm$ 10,18
2	0,52 $\pm$ 0,20	0,53 $\pm$ 0,25	0,33 $\pm$ 0,03	0,82 $\pm$ 0,30	0,89 $\pm$ 0,28	0,52 $\pm$ 0,06
3	9,48 $\pm$ 12,78	0,57 $\pm$ 0,27	0,36 $\pm$ 0,05	15,31 $\pm$ 20,68	1,03 $\pm$ 0,20	0,56 $\pm$ 0,09
4	0,49 $\pm$ 0,63	0,43 $\pm$ 0,19	0,20 $\pm$ 0,02	0,76 $\pm$ 0,32	0,70 $\pm$ 0,26	0,39 $\pm$ 0,18
5	0,62 $\pm$ 0,76	0,57 $\pm$ 0,32	0,58 $\pm$ 0,26	0,97 $\pm$ 0,31	0,96 $\pm$ 0,39	0,91 $\pm$ 0,40
6	0,54 $\pm$ 0,63	0,59 $\pm$ 0,29	0,36 $\pm$ 0,05	0,85 $\pm$ 0,19	1,04 $\pm$ 0,23	0,56 $\pm$ 0,09
7	20,37 $\pm$ 30,00	8,69 $\pm$ 14,21	0,42 $\pm$ 0,15	33,26 $\pm$ 22,54	14,38 $\pm$ 23,15	0,65 $\pm$ 0,23
8	0,60 $\pm$ 0,79	0,58 $\pm$ 0,29	0,37 $\pm$ 0,09	0,94 $\pm$ 0,42	0,70 $\pm$ 0,35	0,58 $\pm$ 0,14
9	0,63 $\pm$ 0,82	0,70 $\pm$ 0,37	0,32 $\pm$ 0,16	0,98 $\pm$ 0,42	1,23 $\pm$ 0,35	0,49 $\pm$ 0,26
10	0,65 $\pm$ 0,82	0,61 $\pm$ 0,42	0,39 $\pm$ 0,12	1,02 $\pm$ 0,36	1,05 $\pm$ 0,54	0,61 $\pm$ 0,20
11	0,68 $\pm$ 1,10	0,41 $\pm$ 0,24	0,29 $\pm$ 0,04	1,06 $\pm$ 0,92	0,68 $\pm$ 0,32	0,45 $\pm$ 0,07
12	0,59 $\pm$ 1,02	0,30 $\pm$ 0,08	0,19 $\pm$ 0,02	0,92 $\pm$ 0,97	0,45 $\pm$ 0,13	0,29 $\pm$ 0,03
13	8,02 $\pm$ 15,73	10,81 $\pm$ 18,03	0,35 $\pm$ 0,13	12,93 $\pm$ 17,63	18,39 $\pm$ 29,76	0,55 $\pm$ 0,20
14	9,54 $\pm$ 18,52	8,04 $\pm$ 12,31	1,17 $\pm$ 0,51	15,41 $\pm$ 20,55	14,94 $\pm$ 18,84	1,84 $\pm$ 0,80
15	5,13 $\pm$ 7,23	10,78 $\pm$ 15,98	2,75 $\pm$ 1,06	8,20 $\pm$ 4,88	21,12 $\pm$ 23,86	4,34 $\pm$ 1,71

Quanto à temperatura das amostras, a média de todos os pontos foi de $29,82 \pm 2,54^\circ\text{C}$ tendo como temperatura mínima $24,57^\circ\text{C}$ e máxima $36,35^\circ\text{C}$, reflexo da temperatura da cidade e dos locais de amostragem. A temperatura do ar em Aracaju varia de 23°C nos meses mais frios e chegam a alcançar 34°C nos meses mais quente, justificando a variação encontrada (ARACAJU, 2014). Nos corpos d'água de baixa profundidade, como o caso dos pontos P2 e P8, e que tinham pouca cobertura vegetal apresentaram as maiores temperaturas, Figura 23, enquanto os corpos d'água com maior vazão e profundidade apresentaram temperaturas mais baixas a exemplo dos pontos no rio Poxim.

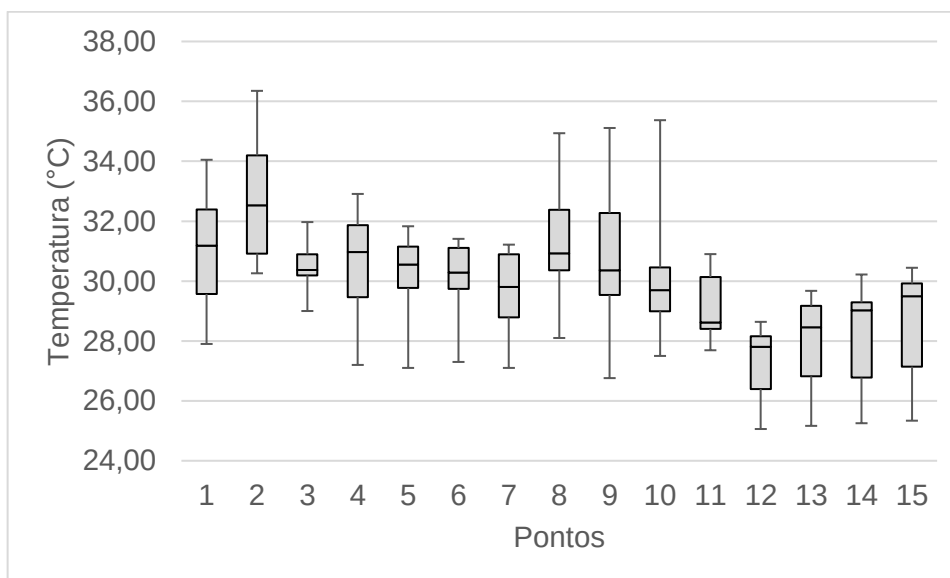


Figura 23: Variação da temperatura em $^\circ\text{C}$ nos pontos estudados representada a partir de um gráfico boxplot

Ao analisar a Figura 24, o parâmetro oxigênio dissolvido (OD) nos corpos d'água dos pontos estudados apresentaram concentrações de OD inferiores a 4 mg/L em grande parte das coletas, com exceção de P2 e P11 que alcançaram mais de 50% dos valores acima deste limite. Alves e Garcia (2006) constataram baixas concentrações, muito próximas do zero no estuário do rio Poxim em virtude dos despejos sanitário dos conjuntos habitacionais da vizinhança e de efluentes de indústrias do Distrito Industrial de Aracaju. Em P2 se observou o desenvolvimento de alevinos nas proximidades de bocas de lobo com pontos clandestinos de lançamento de efluentes, possivelmente domésticos, como se observa na Figura 25.

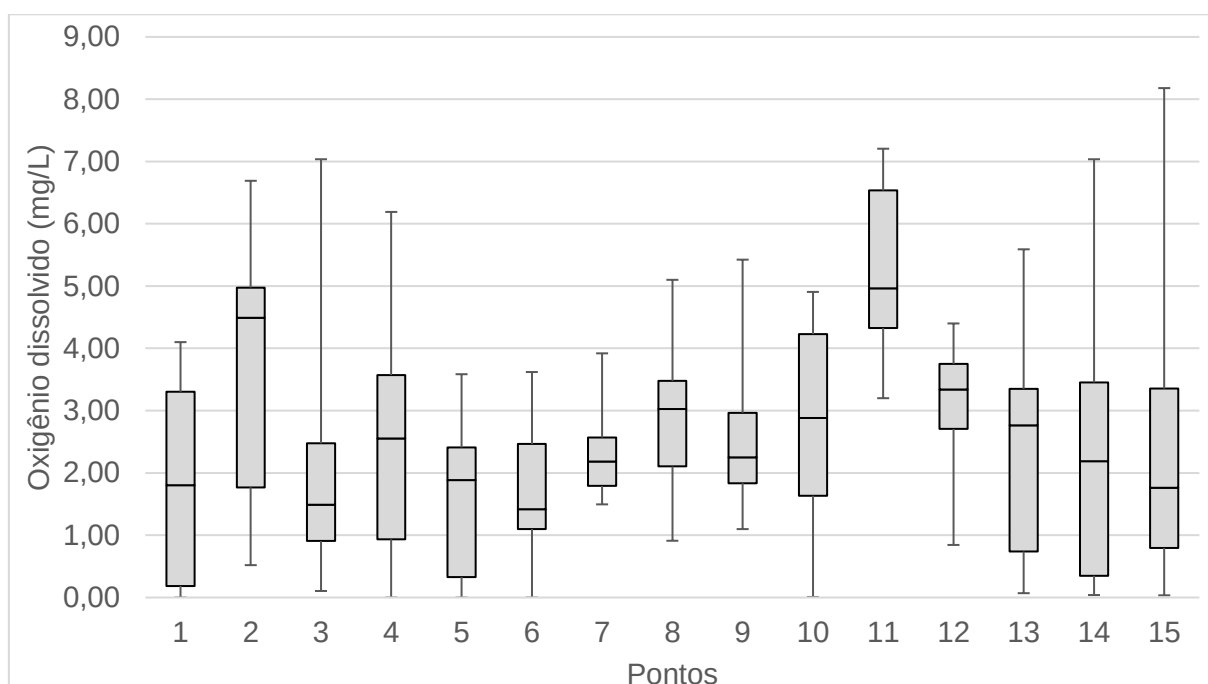


Figura 24: Variação da concentração de oxigênio dissolvido (mg/L) nos pontos estudados



Figura 25: Presença de alevinos no ponto de coleta P2 nas proximidades de um ponto de lançamento clandestino de efluentes

A oscilação do pH está disposta na Tabela 4, sendo que os valores das amostras ficaram compreendidos entre 5 e 9, sendo a média dos pontos $7,13 \pm 1,06$, com valor mínimo de 5,15, máximo 8,96. Como os dados não são normais, o teste de Kruskal-Wallis indicou que não há diferença significativa entre os dados, não havendo contribuições atípicas nos pontos estudados para alterar o pH de forma expressiva. Essas faixas de pH estão em acordo com a legislação vigente, faixa de 6 a 9 (CONAMA, 2005). Daltro Filho *et al.* (2014) encontrou os valores de pH no rio Poxim de 6,8 a 7,3 na faixa que corresponde aos pontos P12 a P15 estudados neste trabalho P12 ($6,97 \pm 0,65$), P13 ($7,00 \pm 0,69$), P14 ($6,89 \pm 0,60$) e P15 ($7,02 \pm 0,65$).

Tabela 4: Valores mínimo, máximo, média, variância e desvio padrão do parâmetro pH das 8 amostras realizadas

Pontos	Min	Max	Média	Variância	Desvio padrão
P1	5,70	8,10	7,35	0,76	0,87
P2	6,02	8,96	7,79	1,06	1,03
P3	5,15	8,42	7,28	1,40	1,18
P4	5,31	8,50	7,31	1,15	1,07
P5	5,19	8,34	7,17	1,22	1,11
P6	5,32	8,21	7,04	0,99	0,99
P7	6,04	8,14	7,06	0,51	0,72
P8	6,39	8,90	7,41	0,93	0,96
P9	6,24	8,70	7,27	0,67	0,82
P10	6,14	8,40	7,44	0,73	0,86
P11	5,41	7,58	6,75	0,77	0,88
P12	5,61	7,98	6,97	0,65	0,81
P13	5,67	7,97	7,00	0,69	0,83
P14	5,81	7,84	6,89	0,60	0,77
P15	5,68	8,14	7,02	0,65	0,80

Em relação a turbidez, os dados encontrados variaram em função da sazonalidade ($p_{\text{chuvoso}} = 1,51\text{E-}06$ e $p_{\text{seco}} = 7,60\text{E-}05$) e da localização dos pontos ($p = 4,13\text{E-}05$), não apresentando um padrão. São muitas variáveis que interferem nos sólidos suspensos, como atividades de dragagem dos canais, chuvas, maré, presença de algas, não sendo possível definir o que levou a tamanha divergência entre os valores encontrados.

Ao observar a Figura 26, em 2019 a média da turbidez foi maior que nos demais anos, exceto no P11. Do ponto de vista legal, a Resolução CONAMA 357/2005 trabalha com 2 limites para a turbidez. O primeiro seria uma turbidez abaixo de 40 NTU (unidade nefelométrica de turbidez), para águas doces de classe 1, e até 100 NTU para águas doces classe 3, quando se trata de águas salobras e salinas turbidez deve estar virtualmente ausentes. Nenhum dos corpos d'água dos pontos estudados se enquadrariam no primeiro limite. Os pontos P1, P7, P13 e P14 abaixo de 100 NTU.

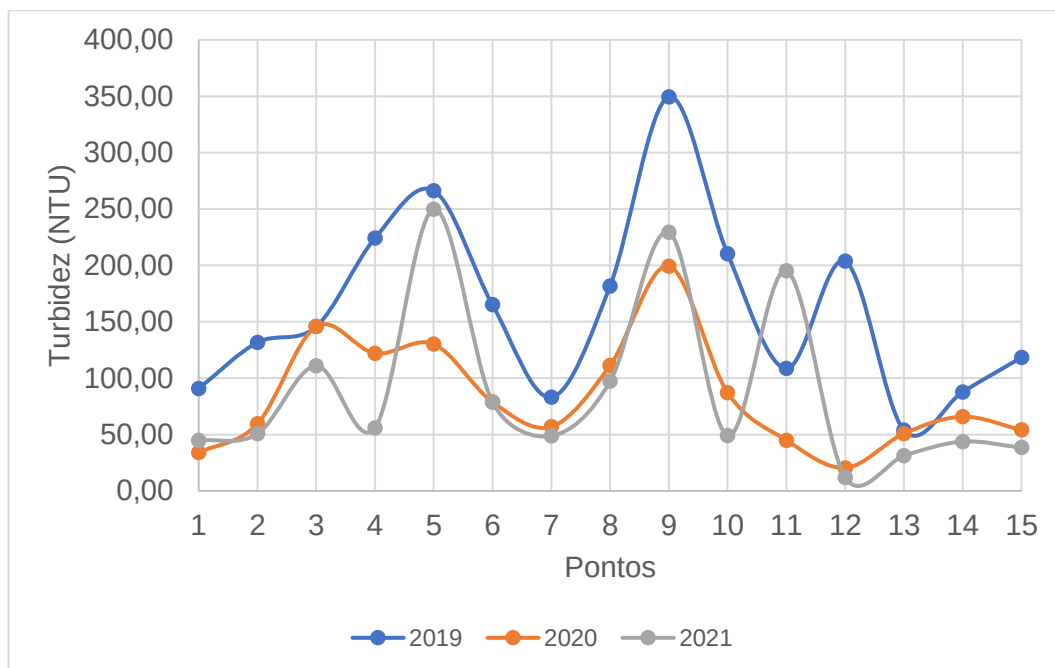


Figura 26: Gráfico da variação média anual da Turbidez (NTU) nos pontos estudados

Analisando de forma individualizada a turbidez nos pontos, os localizados no rio Poxim apresentaram melhor qualidade de água, sendo o P12 o que se sobressaiu com valores abaixo de 40 NTU em 7 das 8 amostras, uma vez que as águas são coletadas após um reservatório. Canais com maior vazão, apresentaram médias inferiores a 100 NTU como ocorreu nos pontos 1 e 7. Nos outros pontos a alta turbidez é reflexo da presença de partículas de diversas naturezas como areia, silte, detritos de matéria orgânica depositada ao fundo, lodo e algas.

Com relação à concentração de fósforo nas amostras coletadas, o limite de qualidade estabelecido para água doce em situações menos restritivas, Classe 4, é de 0,15 mg/L, enquanto para águas salobras e salinas de Classe 3 seria de 0,093 mg/L. Tendo como base tais limites, todos os pontos encontram-se acima do valor estipulado de qualidade de água (Figura 27). Esta alta concentração é reflexo do lançamento de efluentes domésticos clandestinos no curso dos corpos d'água, como ocorre nos corpos d'água do estado de Sergipe conforme constatado por CRUZ *et al.*, (2019). É importante ressaltar que o fósforo é um fator limitante para o crescimento das algas, em vez do nitrogênio, sendo necessário o seu controle para evitar a redução da qualidade das águas em virtude do fenômeno da eutrofização (CHANG *et al.*, 2020).

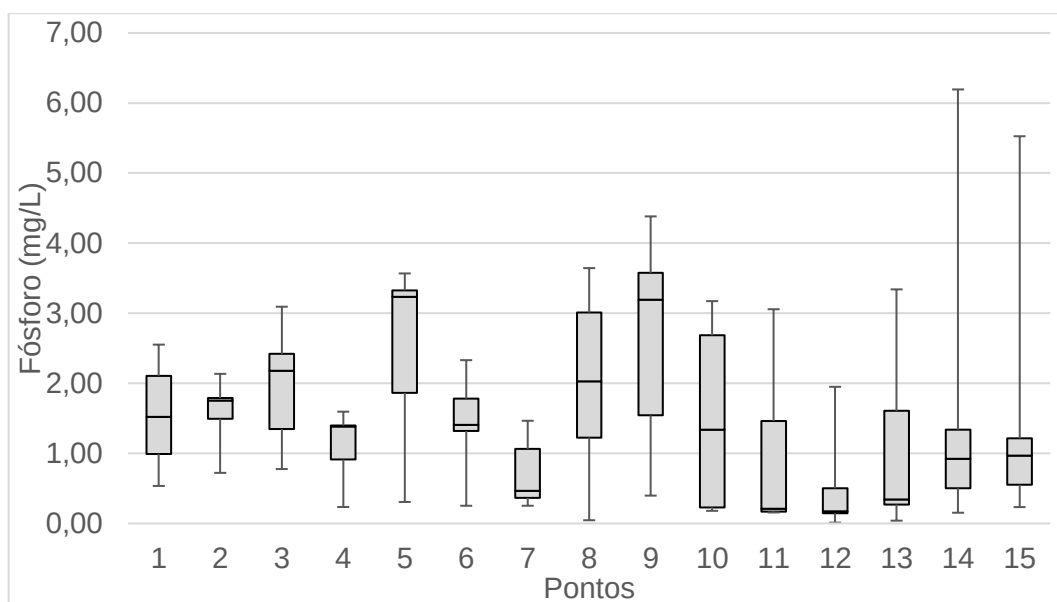


Figura 27: Variação da concentração de fósforo em mg/L nos pontos estudados

A análise de matéria orgânica através da demanda química de oxigênio (DQO) possui algumas limitações, por isso que a discussão deve ser realizada em consonância com o parâmetro cloreto (Figura 28). O cloreto é o maior interferente neste método não sendo indicado para concentrações acima de 2000 mgCl⁻/L. Como as águas trabalhadas sofrem influência da maré e do lançamento de efluentes domésticos com altas concentrações de cloreto, os pontos críticos foram o 1, 7, 13 a 15, havendo a necessidade de utilizar-se de outro método para determinar a concentração de matéria orgânica, a exemplo da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) ou carbono orgânico total (COT), o que não foi possível para este trabalho.

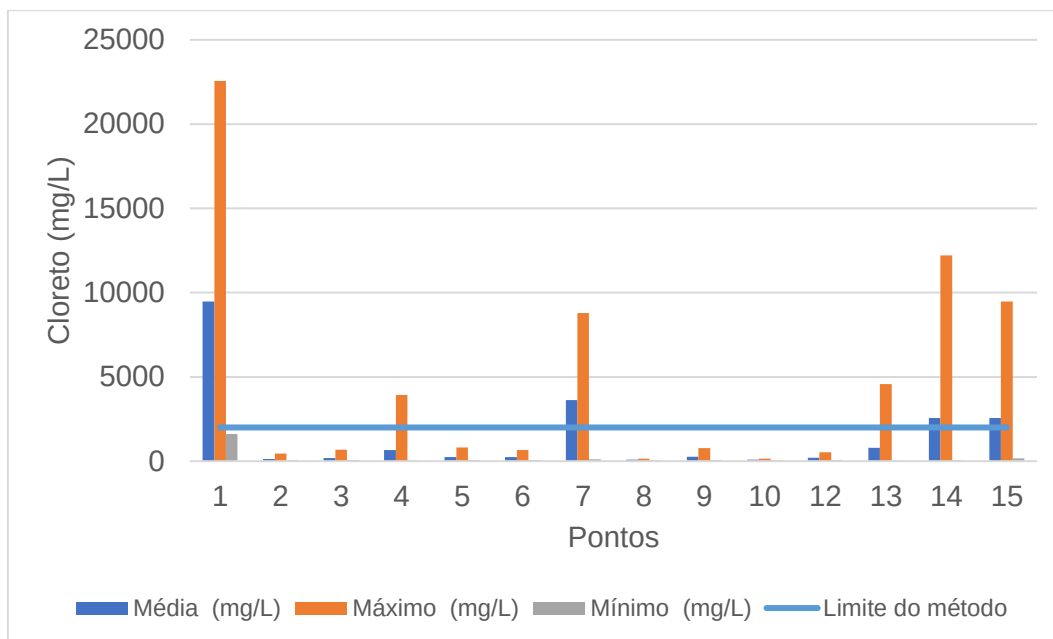


Figura 28: Estatística descritiva (min, máx e média) do parâmetro Cloreto (mg/L) nos pontos estudados

Não foi possível mensurar a concentração de matéria orgânica em todos os pontos em virtude das altas concentrações de cloreto nas amostras dos pontos 1, 7, 13 a 15. No entanto, Wanderley (2013) e Daltro Filho *et al.* (2014) constataram que as ocupações nos bairros Jabotiana e Inácio Barbosa possuem elevados índices de poluição por esgoto doméstico nas águas do Poxim em 2013, sendo que a situação de poluição por matéria orgânica ainda persiste até a finalização deste estudo, pois ainda estão realizando obras de esgotamento sanitário na área. Nos outros pontos, os menores valores de DQO ocorreram em P12 (Tabela 5) com mínima de zero e máxima de 22,62mg/L, enquanto nos outros pontos foram encontrados valores máximos acima de 1000 mg/L, cujo pico foi verificado em setembro de 2020, após o retorno parcial das atividades durante a pandemia do COVID-19.

Tabela 5: Dados descritivos dos valores de DQO (mg/L) nos pontos estudados

Pontos	Min (mg/L)	Max (mg/L)	Média (mg/L)	Desvio Padrão (mg/L)
2	11,36	1169,38	198,26	162,02
3	68,76	195,07	128,13	22,39
4	29,93	1211,58	236,21	163,08
5	60,32	240,28	123,44	22,48
6	24,87	1127,17	225,55	150,69
8	38,37	350,58	156,37	50,49
9	84,68	498,89	219,03	56,60
10	5,89	350,58	105,02	62,77
11	15,86	170,50	93,18	77,32
12	0,00	22,62	11,31	11,31

5.2.1 Nitrogênio amoniacal, Nitrito e nitrato

Os pontos identificados como de água salina e salobra (Pontos 1, 3, 7, 13 a 15), independente do período climático, apresentaram concentração de NH_3 superior a $0,7\text{mgNH}_3/\text{L}$ (concentração estabelecida pela Resolução CONAMA 357/05 para águas salobras e salinas de acima da classe 2), conforme Figura 29. A única exceção destes pontos com concentração de $0,5\text{mgNH}_3/\text{L}$ foi o P7, por se tratar de um período chuvoso.

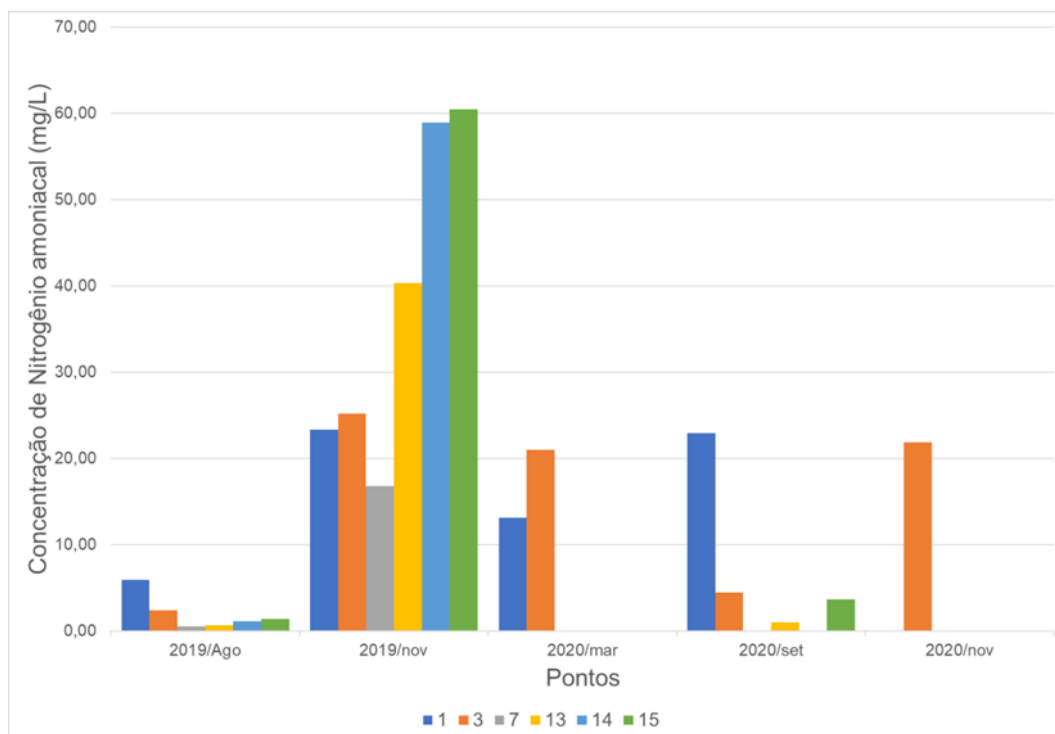


Figura 29: Variação da concentração de NH_3 (mg/L) nos pontos salinos e salobros

Em relação aos pontos de água doce, as médias de concentração ultrapassaram o que a norma nacional considera como uma água natural de qualidade, $3,7\text{mgNH}_3/\text{L}$ para $\text{pH} < 7,5$, entretanto se observou que nos períodos de chuva há uma redução na concentração deste constituinte provavelmente em virtude do processo de diluição, Figura 30. Os pontos P9 e P10 estão localizados em áreas sem esgotamento sanitário e que apresentaram valores altos no início do período chuvoso de 2020, coincidindo com o período de *lockdown* instituído pelo governo estadual como medida sanitária contra Covid-19. Corroborando com esta constatação, Chang *et al.* (2015) destaca que este é um parâmetro bastante representativo de deterioração da qualidade da água por esgoto sanitário.

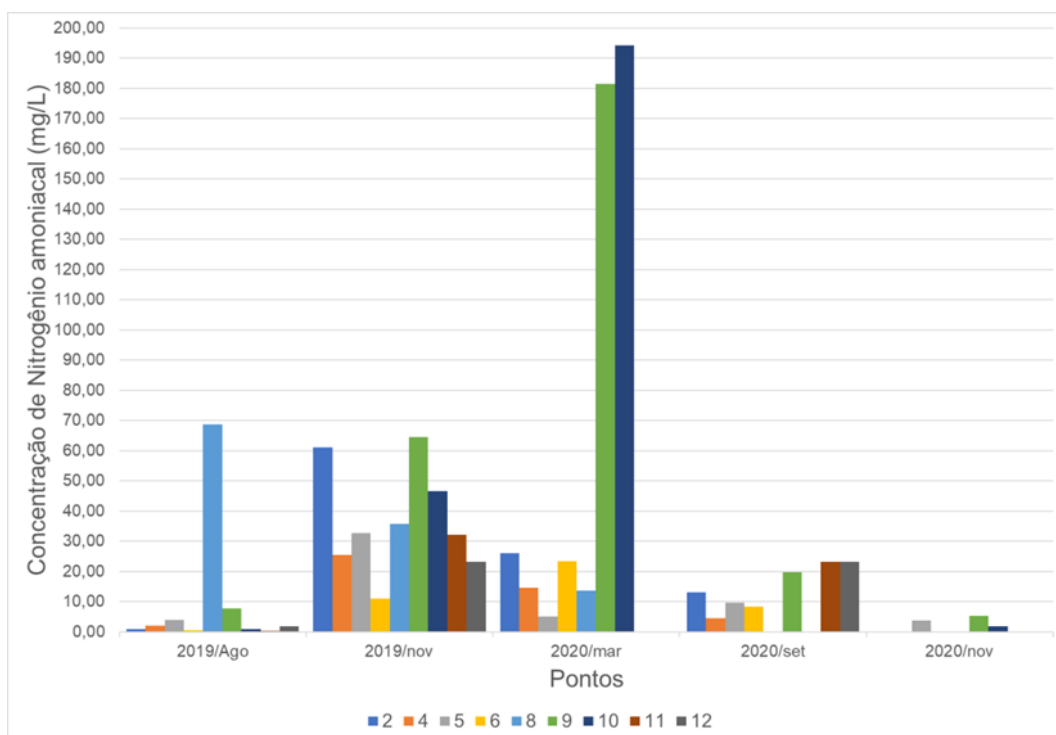


Figura 30: Variação da concentração de NH₃ (mg/L) nos pontos doces

Em relação à concentração de nitrito (NO₂⁻), não há limite na Resolução CONAMA 357/2005 com base na concentração mensurada (mg NO₂⁻/L), mas a Organização Mundial de Saúde determina como limite 0,1 mgNO₂⁻/L (WHO, 2023). Sendo assim, conforme Figura 31, os pontos que ultrapassaram tais limites foram P2, P4, P5, P8 e P11. Houve uma peculiaridade no ponto P11 em março de 2020, o corpo d'água estava quase seco, sem fluxo, sendo coletado volume de amostra suficiente para realizar nutrientes, análise microbiológica e metais.

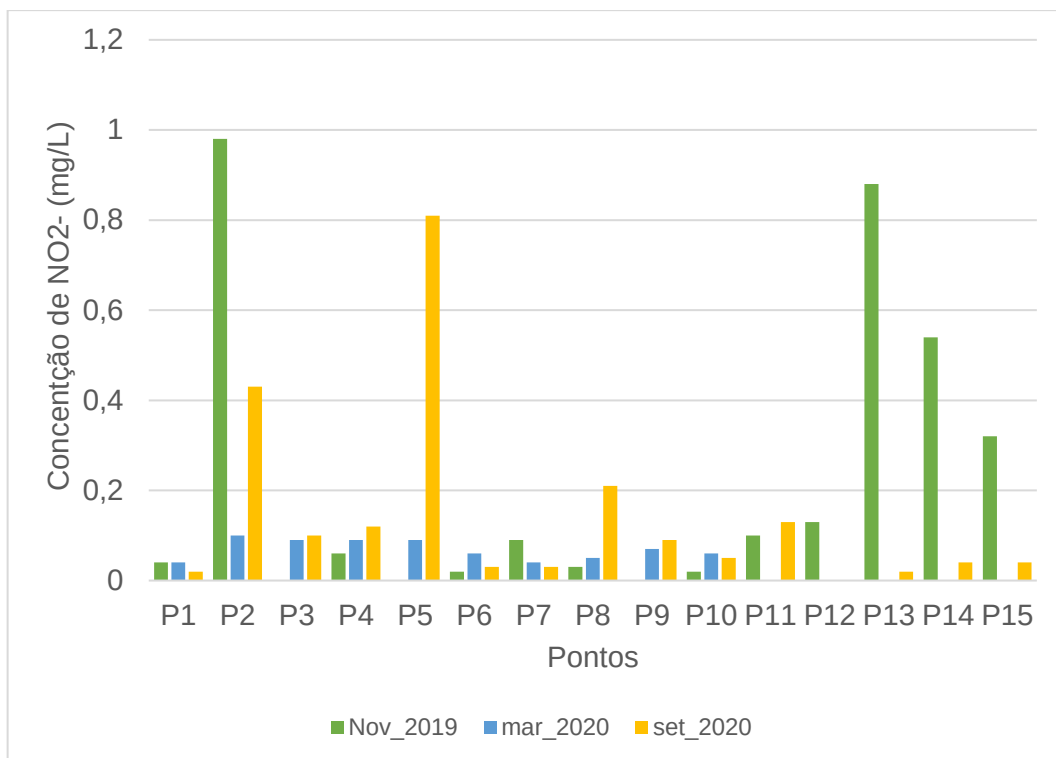


Figura 31: Variação NO₂⁻ (mg/L) nos pontos estudados em 2019 e 2020

A determinação de nitrato (NO₃⁻) foi realizada em março e setembro de 2020. Altas concentrações de nitrato em corpos d'água é um indício de lançamento de fertilizantes (principalmente em áreas rurais) ou de efluentes domésticos que passou por um processo de degradação (BUSS, ACHTEN, 2022). A legislação brasileira impõe limites de nitrato em mgN/L e não na sua concentração na forma iônica, as outros países como a Alemanha determinam que em águas superficiais não seja ultrapassada a concentração de 50 mg NO₃⁻ /L. Sendo assim, nenhum dos pontos ultrapassou tal limite.

De acordo com a Figura 32, no período chuvoso os pontos que apresentaram maior concentração de nitrato foram P6, P7, P14 e P15, provavelmente por estar recebendo por lixiviação nitrato de outras fontes indiretas nas proximidades, principalmente de fossas e de sistemas de tratamento de esgoto com baixa eficiência. Os outros pontos tiveram altas concentrações no período seco, pois há concentração deste íon nesta estação

Com esta quantidade de dados não foi possível determinar se a sazonalidade influencia ou não na concentração deste nutriente. Entretanto, LI *et al.*, (2021) encontraram correlação negativas entre as concentrações de nitrito/nitrato em áreas urbanas, enquanto foi significativamente positiva em áreas rurais, tal fato se dá pelo excesso de fertilizantes utilizados na zona rural, enquanto na zona urbana a principal fonte é o esgoto doméstico, como se observa neste trabalho.

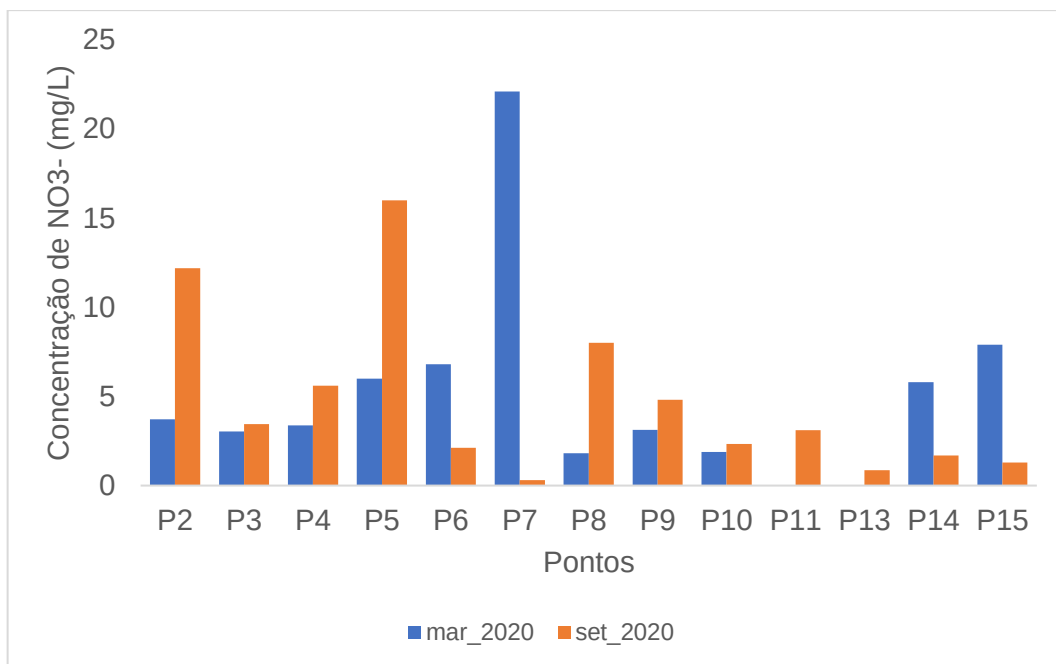


Figura 32: Variação sazonal da concentração de NO_3^- , com exceção dos pontos P1 e P12, pois em ambos os valores se encontravam fora da faixa de detecção do aparelho

5.2.2 Coliformes termotolerantes

Nos pontos de amostragem, comparar os dados em função da sazonalidade, os valores de coliformes termotolerantes não apresentaram diferença significativa entre o período chuvoso e o período seco ($p=0,43$), entretanto, eles variaram significativamente em função do local de coleta ($p=6,67\text{E-}12$), com valores que oscilaram de zero (nenhuma colônia presente) a $1,80\text{E}+10$ UFC/100mL. A referência normativa para inferir a qualidade das águas em relação a coliformes termotolerantes é a Resolução CONAMA Nº 357/2005, sendo o limite estabelecido para água doce e água salobra de classe 2 de 1000 UFC/100mL. Em relação à balneabilidade (Resolução CONAMA 247/2000), a concentração de coliformes varia de 250 a 1000 UFC/100mL, excelente a satisfatória, respectivamente, sendo imprópria 2500 UFC/100mL. A Figura 33 mostra que a maior densidade de dados de concentração de coliformes nos pontos está acima do limite imposto pela legislação ($\log_{10}1000=3$) para águas doces classe 2, 1000UFC/100mL de amostra. Os pontos que apresentaram valores inferiores aos limites legais foram P1 e P11 ao P14. O P1 apresentou apenas um ponto com a concentração de coliformes dentro do limite que coincidiu com o início de subida de maré, o que pode ter ocasionado um processo de diluição, mas 50% dos valores estão entre 5,98 e 7,32 Log_{10} UFC/100mL, sendo a mediana 6,98 Log_{10} UFC/100mL. Landim e Guimarães (2014) também encontraram coliformes totais e fecais acima do limite permitido de 1000 UFC/100mL, variando de $1,3\text{E}+03$ a $1,3\text{E}+04$ UFC/100mL, na Treze de Julho entre fevereiro e abril de 2004 e reforçaram que se trata de uma água imprópria para o consumo, banho e cultivo de organismos aquáticos.

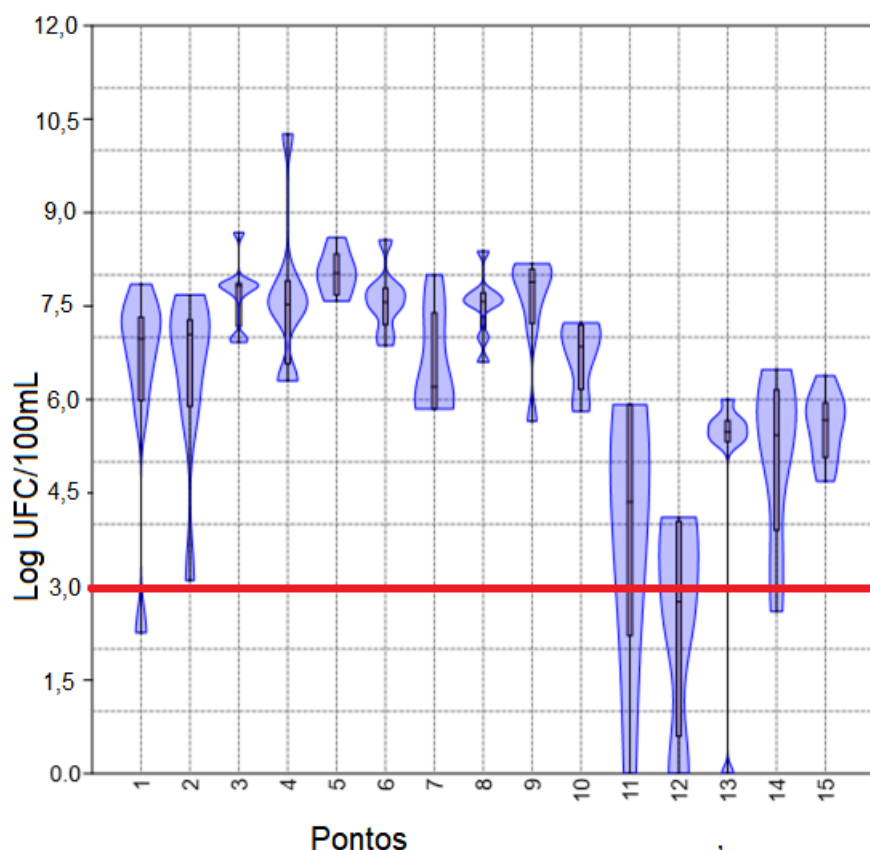


Figura 33: Concentração de coliformes termotolerantes nos pontos de coleta

O P11 é um canal natural de drenagem de lagoas, com vazão baixa, cercado de gramíneas, que recebe contribuições de efluentes de fontes não pontuais e condomínios residenciais em fase de construção. No trecho correspondente ao rio Poxim (P12 a P15), conforme esperado, P12 apresentou a menor concentração de coliformes de todos os pontos, recebendo contribuições à medida que adentra nos bairros Jabotiana (P7 e P13), São Conrado (P14) e Inácio Barbosa (P15), por causa da falta de coleta e tratamentos dos esgotos domésticos, ratificando a afirmação feita por Wanderley (2013). Daltro Filho *et al.* (2014) encontrou em P12 valores de coliformes termotolerantes $<1,1$, em P13 $2,00E+03$, em P14 $8,20E+02$ e P15 $1,10E+05$. Mesmo no reservatório Jaime Umberlino, que antecede o ponto P12, Neves *et al.* (2016) encontrou entre 4,90 e 17 UFC/100mL no período chuvoso e $<1,8$ e 2 UFC/100mL no período seco.

Este é um indicador forte de contaminação por efluente doméstico, uma vez que se trata de uma área urbana com problemas de saneamento básico, no entanto sofre influência da temperatura, salinidade, aporte de água, dentre outros o que compromete sua eficácia como indicador de qualidade, havendo a necessidade de se incluir outros indicadores (CABRAL *et al.*, 2018).

5.2.3 Metais traço

A presença dos metais foi avaliada no ano de 2021. A partir dos dados encontrados neste estudo, os metais dissolvidos mais abundantes nas águas urbanas do município de Aracaju/SE em termos de concentração foram: Na, Ca, Mg, K, Zn, Fe, Al, e do nutriente fósforo (P) enquanto os menos abundantes foram V, Cd, Ni e Cr.

A formação rochosa da região é composta por evaporitos, carbonatos e silicatos, sendo os íons mais encontrados na composição química da água o Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} e Cl^- (OLIVEIRA *et al.*, 2020). Por esta razão, os corpos d'água urbanos da cidade de Aracaju são ricos nos metais dissolvidos Na, Ca, Mg e K, indicando uma fonte natural de fornecimento destes proveniente da própria formação rochosa, principalmente nos pontos onde houve coleta em corpos d'água naturais ou em canais de drenagem que não foram pavimentados (P1, P6, P7, P12, P13, P14, P15). Ao analisar a distribuição espacial dos metais traço e do fósforo, existe diferença significativa entre os pontos ($p < 0,05$). Isto sugere que há uma influência antropogênica na distribuição espacial dos metais traço nas águas urbanas estudadas (VAROL *et al.*, 2021).

Das 15 amostras, 4 correspondem ao trecho urbano do rio Poxim (P12, P13, P14, P15). A concentração de metais traço e de fósforo variou de 39,00 a 194,79 mg/L. Houve um aumento da concentração dos poluentes de montante para jusante do rio em virtude do efeito acumulativo das atividades desenvolvidas no ambiente urbano $\text{P12} > \text{P13} > \text{P14} > \text{P15}$ (Pant *et al.*, 2020). O acúmulo ocorreu porque os pontos estão localizados em uma região fortemente influenciada por descargas urbanas e industriais, portanto, é provável que os valores mais elevados se devam à presença de metais oriundos de atividade antrópica, assim como ocorre com a concentração de metais traço presentes nos sedimentos em estudo desenvolvido por Garcia *et al.*, (2009).

Os metais que mais contribuíram foram $\text{Ca} > \text{Mg} > \text{K}$ por causa da formação rochosa e da contribuição da maré nos pontos P14 e P15. O Fe apresentou maiores concentrações em P12 e praticamente se manteve inalterado nos demais. O Al e o As aumentaram suas concentrações no ponto P13 provavelmente devido à contribuição do rejeito da estação de tratamento de águas e de efluentes domésticos *in natura* lançados clandestinamente do bairro São Conrado e Orlando Dantas, a montante do ponto. Os demais elementos se mantiveram constantes em todo o curso do rio Poxim.

Como a influência da maré é um fator determinante na concentração dos metais traço estudados, assim como a própria formação rochosa, ao se excluir Na, Ca, Mg, K, os pontos com maior abundância de metais são: $\text{P9} > \text{P5} > \text{P11} > \text{P10} > \text{P3} > \text{P8} > \text{P6} > \text{P1} > \text{P2} > \text{P4} > \text{P15} > \text{P12} > \text{P14} > \text{P7} > \text{P13}$. Os pontos P9, P5, P3 e P6 estão localizados nos bairros Santa Maria, Santos Dumont, Industrial e Olaria, respectivamente, cuja população possui menor renda per capita e falta saneamento básico adequado, além do uso do solo estar associado

a diversas atividades como indústria, comércio e residências. Em P9, há altas concentrações de Al e Zn em virtude da presença de pequenas fábricas que manipulam ferragens (Figura 34 e Figura 35), além de altas concentrações de fósforo por causa da falta de saneamento básico.

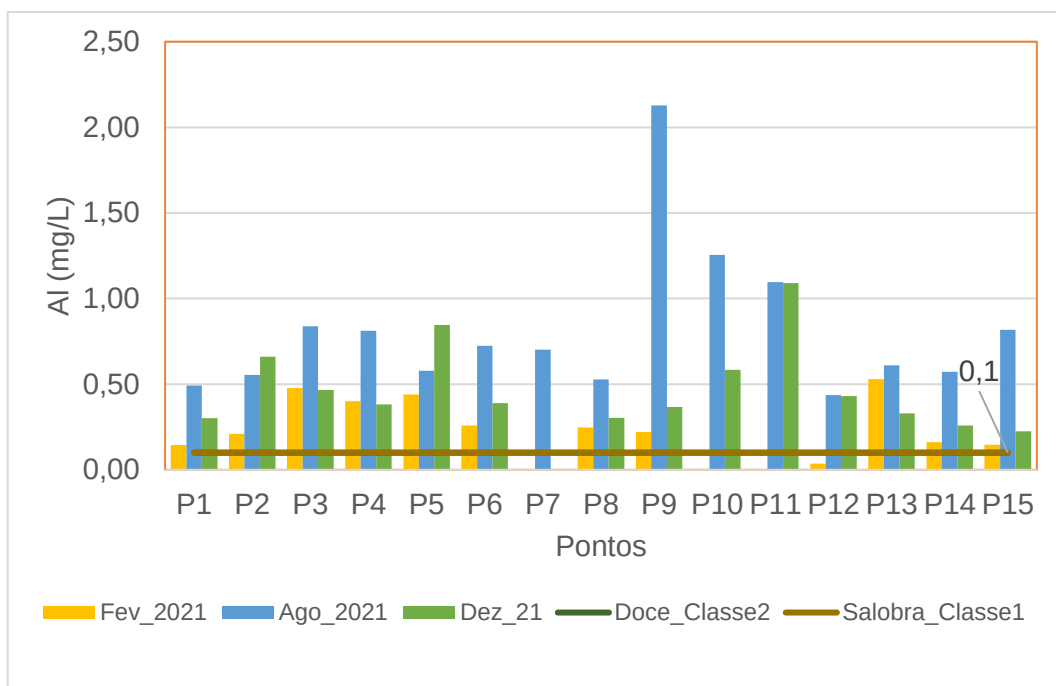


Figura 34: Variação da concentração de Al nos pontos estudados em 2021

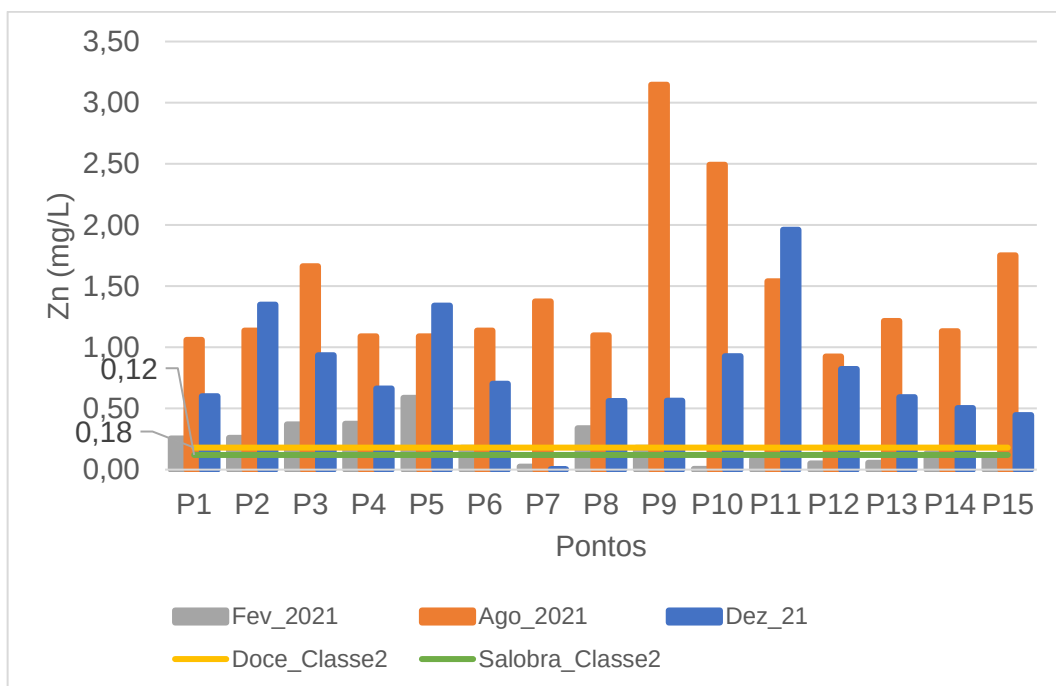


Figura 35: Variação da concentração de Zn nos pontos estudados em 2021

No ponto P5, há a presença de fábricas que trabalham com madeira e os metais traço se destacando o Al, Co e Sr. O ponto P11 é proveniente do escoamento de lagoas naturais e dos efluentes gerados por condomínios residenciais de alto padrão. É um canal natural que

apresentou concentração acima da média de Fe e Mn, mas também apresentou alterações de Al, Co e Pb, pois muitas casas estão em fase de construção e alguns desses metais fazem parte da constituição de tintas, pigmentos e ligas. O ponto P10 sofre influência da formação rochosa do local com concentrações acima da média de Fe, Mn e Zn, pois possui contato com o lençol freático local. Os outros pontos são bastante influenciados pelo P e Al, indicadores de contaminação por efluente doméstico e presença de outros metais que podem ser fruto do escoamento superficial.

Foi realizada a correlação entre os metais traço para os três períodos estudados, sendo que algumas correlações significativas positivas se destacaram em virtude da repetitividade nos três eventos. Independente do período estudado, Sr se correlacionou fortemente com K, Mg e Ca, podendo ser um indicativo que o Sr faz parte da constituição da formação rochosa (Fev: K-Sr - 0,92; Mg-Sr - 0,85, Ca-Sr - 0,87; Ago: Ca-Sr - 0,81, K-Sr - 0,95, Mg-Sr - 0,94; Dez: Ca-Sr - 0,90, K-Sr - 0,96, Mg-Sr - 0,95). Assim Ferreira *et al.*, (2020), o período seco apresentou mais correlações positivas entre os teores de metais traço que no período chuvoso.

Em relação aos metais estudados, alguns ultrapassaram os limites estabelecidos pela legislação vigente. A legislação brasileira que regulamenta a qualidade das águas superficiais é a Resolução CONAMA Nº 357/2005. As águas urbanas deste estudo são classificadas como Classe 2 Doce e Classe 2 Salobra. Sendo assim, o Al, Fe, Pb e Zn apresentaram concentrações acima do permitido pela legislação brasileira (Figura 34, Figura 35, Figura 36 e Figura 37), que são 0,1 mg Al/L, 0,3 mg Fe/L, 0,01 mg Pb/L e 0,18 mg Zn/L para águas doces Classe 2. O Al e o Zn apresentaram um aumento da concentração no período chuvoso, o que indica forte contribuição do escoamento superficial do sistema de drenagem, fazendo com que ultrapassasse os limites da legislação. Com relação ao Fe, os pontos que são canais artificiais aumentaram sua concentração no período chuvoso, enquanto no rio urbano as maiores concentrações de Fe estão no período seco (P12 a P15).

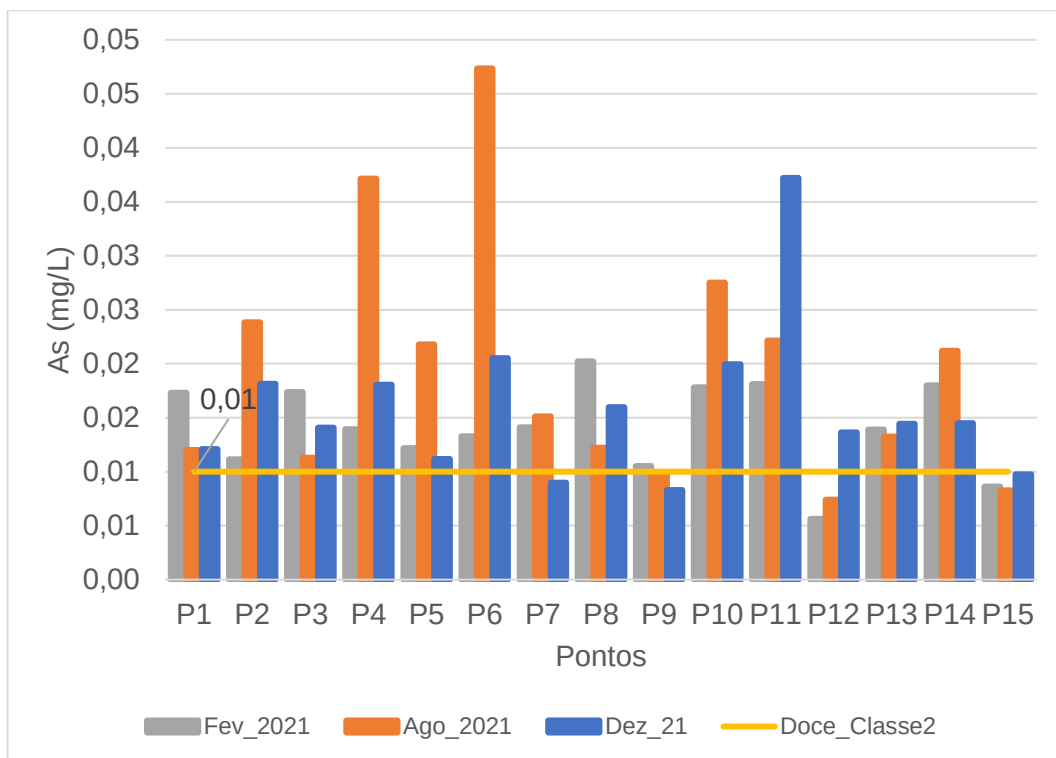


Figura 36: Variação da concentração de As nos pontos estudados em 2021

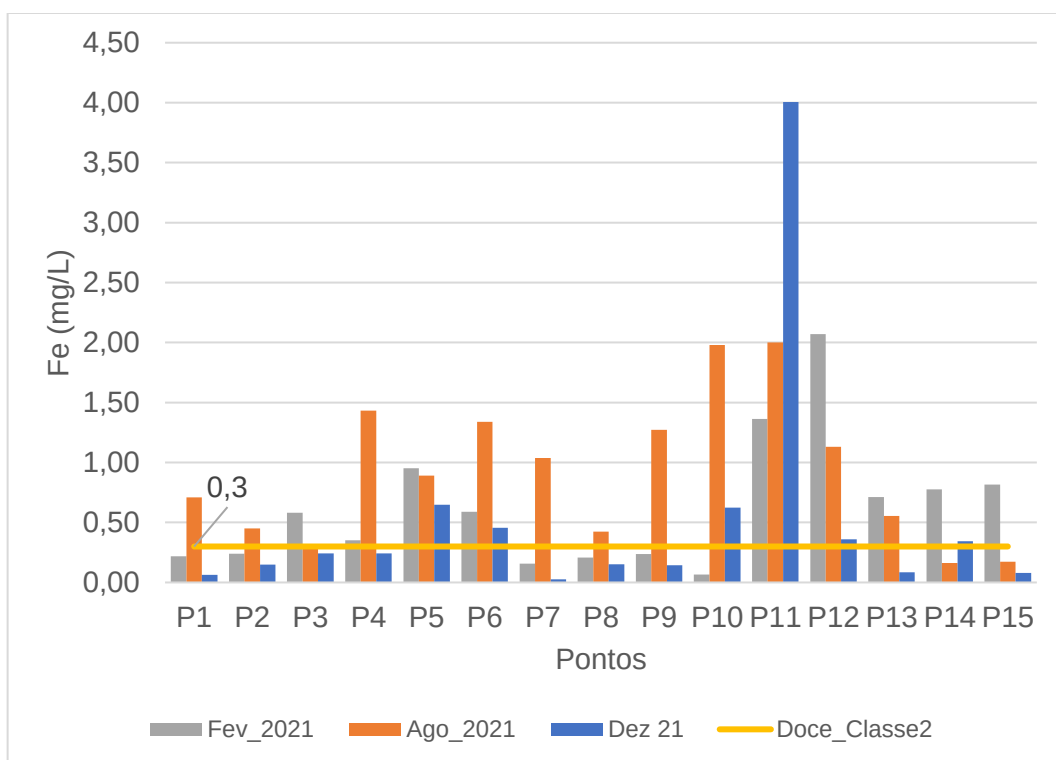


Figura 37: Variação da concentração de Fe nos pontos estudados em 2021

O magnésio ultrapassou os limites nos pontos P10 e P11 e no período de chuva no P4 e P6. O chumbo ultrapassou em todos os pontos o valor permitido por lei para água doce, Figura 38 , exceto para águas salobras/salinas, tendo a média de $0,028 \pm 0,003$ mg/L, o que

demonstra a alta persistência deste metal nos ecossistemas, uma vez que foi banido de uma série de commodities como combustíveis e tintas do mercado e na área de estudos não existe nenhum complexo industrial trabalhando com este metal (FRANK *et al.*, 2019), ou presença de fonte de disposição inadequada dos resíduos eletrônicos (IGHALO, ADENIYI, 2020). COSTA, (2018) encontrou em suas análises chumbo no rio Sergipe acima do permitido pela legislação (0,03-0,51mgPb/L).

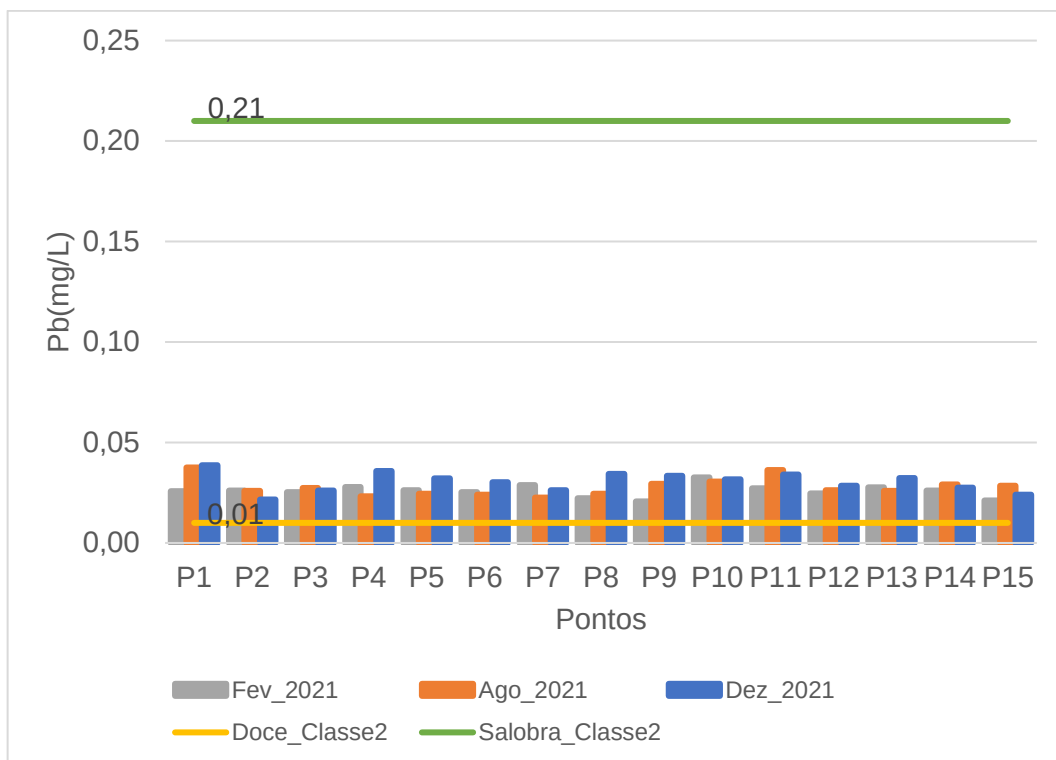


Figura 38: Variação da concentração de chumbo Pb(mg/L) nos pontos estudados

Uma análise de componentes principais foi realizada para avaliar similaridades entre os pontos de amostragem em função dos metais determinados e explorar padrões de distribuição de metais nas águas urbanas da cidade de Aracaju.

A ACP apresentou 14 dimensões, sendo que duas compreenderam a maior variação dos dados, PC1 com 28,34% e PC2 com 17,65%, totalizando 45,99% da variância total dos dados. A Figura 39 obtida a partir das projeções dos escores entre PC1 e PC2 destacou quatro grupos distintos, a saber: Grupo A formado por Na, K, Mg, Sr e Ca; o Grupo B é influenciado pelos metais categorizados no Grupo A e também pelo fósforo proveniente das contribuições dos efluentes domésticos e do escoamento superficial (P7, P8, P13); o Grupo C foi agrupado devido ao P elevado e a concentração de Al e Zn; e o Grupo D é formado pelos pontos que apresentam melhor qualidade de água e água doce. Portanto, o primeiro componente principal (CP1) está associado às concentrações de Al, As, Ba, Cd, Co, Fe, Li, Mn e Ni. Em contraste, o segundo componente (CP2) está associado a P, Zn, Mo e Na, indicativos de aporte de efluentes domésticos, devido à presença do nutriente P.

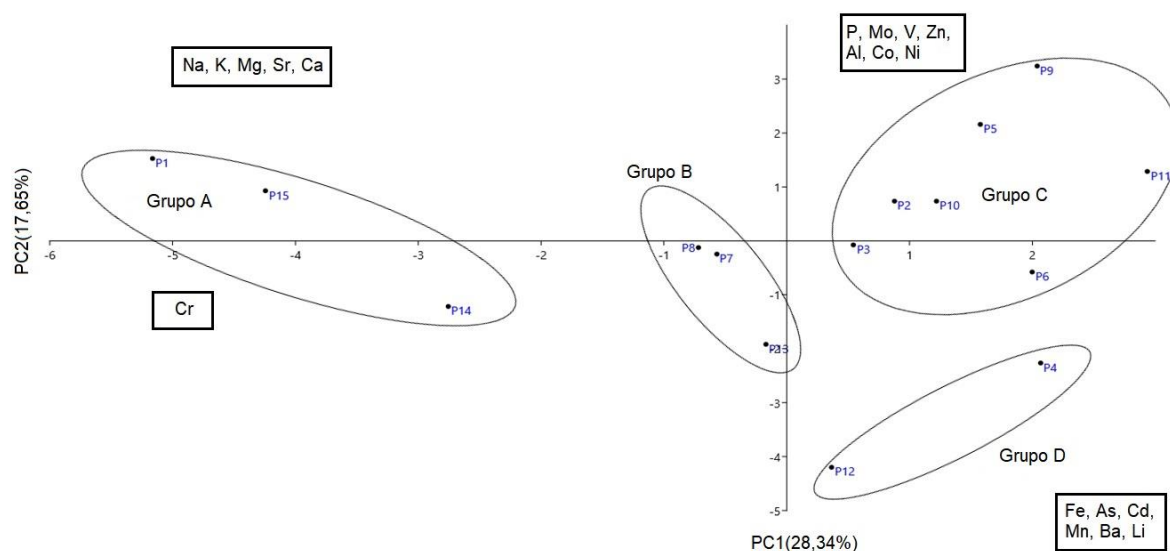


Figura 39: Indicação da similaridade entre os pontos a partir da Análise de Componentes Principais

Ao analisar os componentes da ACP e os dados compilados da Tabela 6, destaca-se o grupo C como associado às atividades antrópicas que descarregam os elementos categorizados nesse grupo, principalmente Al e P, no corpo hídrico receptor. Esse grupo é formado por canais artificiais que recebem águas de drenagem e efluentes domésticos não tratados. Em relação ao Grupo C, o ponto P9 chama a atenção devido às altas concentrações de Al, influenciadas pelas fábricas que trabalham com esquadrias de alumínio e recebem efluentes domésticos. O ponto P11 é a única exceção no Grupo C, pois é um canal natural, entretanto altas concentrações de Al e Fe foram detectadas devido a contribuições de grandes condomínios residenciais, resíduos de obras civis, novas casas sendo construídas perto deste ponto e o escoamento de lagoas naturais próximas.

O grupo A foi deslocado dos demais devido à presença de metais característicos de zonas de oscilação de maré, sendo P1 composto por um canal artificial e P14 e P15 por águas naturais próximas ao emissário do rio Poxim. Esse grupo também apresentou concentrações de P acima do limite máximo permitido (0,1 mg/L) e OD abaixo de 4,0 mg/L, indicativos de contaminação do efluente doméstico.

O grupo B diferiu do grupo A devido às maiores concentrações de Al, Fe, P e Zn nos pontos de amostragem P7, P8 e P13, que recebem fluxos significativos de efluente doméstico não tratado e efluente tratado de uma estação de tratamento de esgoto localizada em Aracaju. O grupo D apresentou as menores concentrações de todos os elementos investigados, indicando melhor qualidade da água, com destaque para o ponto P12. O ponto P4 deve ser cuidadosamente monitorado devido às altas concentrações de P, indicativas de entrada de efluentes domésticos.

Tabela 6: Concentrações de metais traço de acordo com grupos formados por ACP

Metais	Grupo A				Grupo B				Grupo C				Grupo D			
	Média (mg/L)	DesvP (mg/L)	Max (mg/L)	Min (mg/L)	Média (mg/L)	DesvP (mg/L)	Max (mg/L)	Min (mg/L)	Média (mg/L)	DesvP (mg/L)	Max (mg/L)	Min (mg/L)	Média (mg/L)	DesvP (mg/L)	Max (mg/L)	Min (mg/L)
Al	0,35	0,04	0,40	0,31	0,52	0,17	0,70	0,36	0,67	0,19	0,92	0,46	0,42	0,16	0,53	0,30
As	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01
Ba	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,01	0,03	0,00	0,03	0,03
Ca	56,83	12,02	67,45	43,78	37,22	10,45	47,78	26,90	34,47	9,54	51,63	23,75	30,50	10,52	37,93	23,06
Cd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Co	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
Cr	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
Fe	0,37	0,05	0,43	0,33	0,37	0,10	0,45	0,26	0,88	0,73	2,46	0,28	0,93	0,36	1,19	0,68
K	29,50	13,51	40,74	14,51	6,98	2,24	9,48	5,16	8,55	1,49	10,05	5,78	3,71	1,77	4,96	2,46
Li	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02
Mg	70,02	24,62	88,67	42,11	8,34	3,65	11,09	4,20	6,70	2,90	10,72	2,92	4,07	0,54	4,45	3,69
Mn	0,03	0,01	0,04	0,02	0,03	0,01	0,04	0,02	0,10	0,09	0,22	0,01	0,20	0,24	0,37	0,03
Mo	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
Na	*	*	*	*	74,71	12,06	83,99	61,08	66,19	9,29	80,11	50,92	36,32	1,37	37,29	35,36
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P	1,23	0,72	2,06	0,80	1,33	1,44	2,98	0,30	2,21	1,19	3,79	0,19	0,74	0,80	1,30	0,17
Pb	0,03	0,00	0,03	0,02	0,03	0,00	0,03	0,03	0,03	0,00	0,03	0,02	0,03	0,00	0,03	0,03
Sr	0,44	0,15	0,56	0,27	0,15	0,02	0,16	0,12	0,14	0,04	0,18	0,10	0,12	0,05	0,16	0,09
V	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	0,67	0,09	0,77	0,59	0,58	0,10	0,67	0,47	1,03	0,21	1,30	0,67	0,65	0,08	0,71	0,60

Os resultados indicam que as variações sazonais influenciam significativamente Al ($p=1,74E-05$), Ba ($p=7,51E-03$), Co ($p=0,04$), Fe ($p=0,01$), Pb ($p=0,02$) e Zn ($2,13E-07$) (teste de Kruskal Wallis, $p<0,5$), demonstrando que o tipo de uso da terra correlacionou-se mais significativamente com a qualidade da água durante as estações chuvosas em comparação com a estação seca, em contraste com os rios na China (DENG, 2019, JIANG *et al.*, 2017, PAK *et al.*, 2021, PENG, LI, 2021, YU *et al.*, 2016).

5.3 Correlação existente entre a qualidade da água e área de influência

Para interpretar a espacialização dos dados foi construída uma matriz normalizada de dados correspondendo aos 15 pontos de coleta de água superficial do município de Aracaju e 11 variáveis a partir dos valores médios originais (Tabela 2), com exceção dos nutrientes e dos metais. Ao avaliar a matriz de correlação de Pearson na Tabela 7, pode-se observar correlações positivas fortes entre as variáveis físico-químicas STD x CE ($r=0,96$), STD x Salinidade ($r=0,96$), STD x cloreto ($r=0,94$), salinidade x CE ($r=0,99$) e CE x cloretos ($r=0,98$). Existe uma forte correlação entre estes parâmetros, pois há influência da formação rochosa e da oscilação da maré nos canais estudados. Há ainda uma relação positiva entre TxpH (0,88) e TxP (0,80), uma vez que a temperatura afeta reações químicas e taxas de reação dos parâmetros mencionados (METCALF, EDDY, 2016).

A Análise de Grupamentos Principais apresentou 11 dimensões, mas apenas 6 componentes principais iniciais foram mais significativos: PC1: 44,21%, PC2: 25,98%, PC3: 12,78%, PC4: 7,17%, PC5: 5,45% e PC6: 2,03%, totalizando 97,61% da variância dos dados. A Figura 40 obtida a partir da projeção dos scores de PC1 x PC2 indica a separação de dois grupos distintos, Grupo A (P2 a P6, P8 a P10) e Grupo B (P7, P13 a P15). O grupo A é formado por pontos de amostragem em canais construídos para drenagem de águas pluviais e que são utilizados de forma indevida para lançamento de efluentes. O grupo B foi constituído por pontos que fazem parte do mesmo corpo d'água, P13 a P15, o rio Poxim, ou que são afluentes deste, ponto P7.

Tabela 7: Matriz de correlação de Pearson dos parâmetros físicoquímicos estudados

	T(°C)	pH	cond (μS/cm)	Turbidez (NTU)	OD (mg/L)	STD (g/L)	Salinidade (%)	Cloreto (mg/L)	DQO (mg/L)	NH3 (mg/L)	Fosforo mg/L)
pH	0,8836										
cond (mS/cm)	-0,1895	-0,1340									
Turbidez (NTU)	0,5253	0,3624	-0,4824								
OD (mg/L)	0,0314	0,1783	-0,3328	-0,2467							
STD (g/L)	-0,1874	-0,1535	0,9694	-0,4962	-0,3118						
Salinidade (%)	-0,2464	-0,2024	0,9916	-0,5150	-0,3373	0,9686					
Cloreto	-0,1443	-0,0877	0,9842	-0,4503	-0,3078	0,9432	0,9639				
DQO	0,3662	0,0981	-0,2125	0,5674	-0,1859	-0,1246	-0,1634	-0,2634			
NH3	0,3605	0,4723	-0,2670	0,4377	0,1345	-0,2684	-0,2926	-0,2514	0,2346		
Fosforo	0,5868	0,4538	-0,1604	0,7835	-0,3432	-0,2199	-0,2013	-0,1544	0,3572	0,4607	
Coliformes (logUFC)	0,7207	0,4509	-0,0838	0,6313	-0,5550	-0,1142	-0,1093	-0,0668	0,4977	0,1588	0,7119

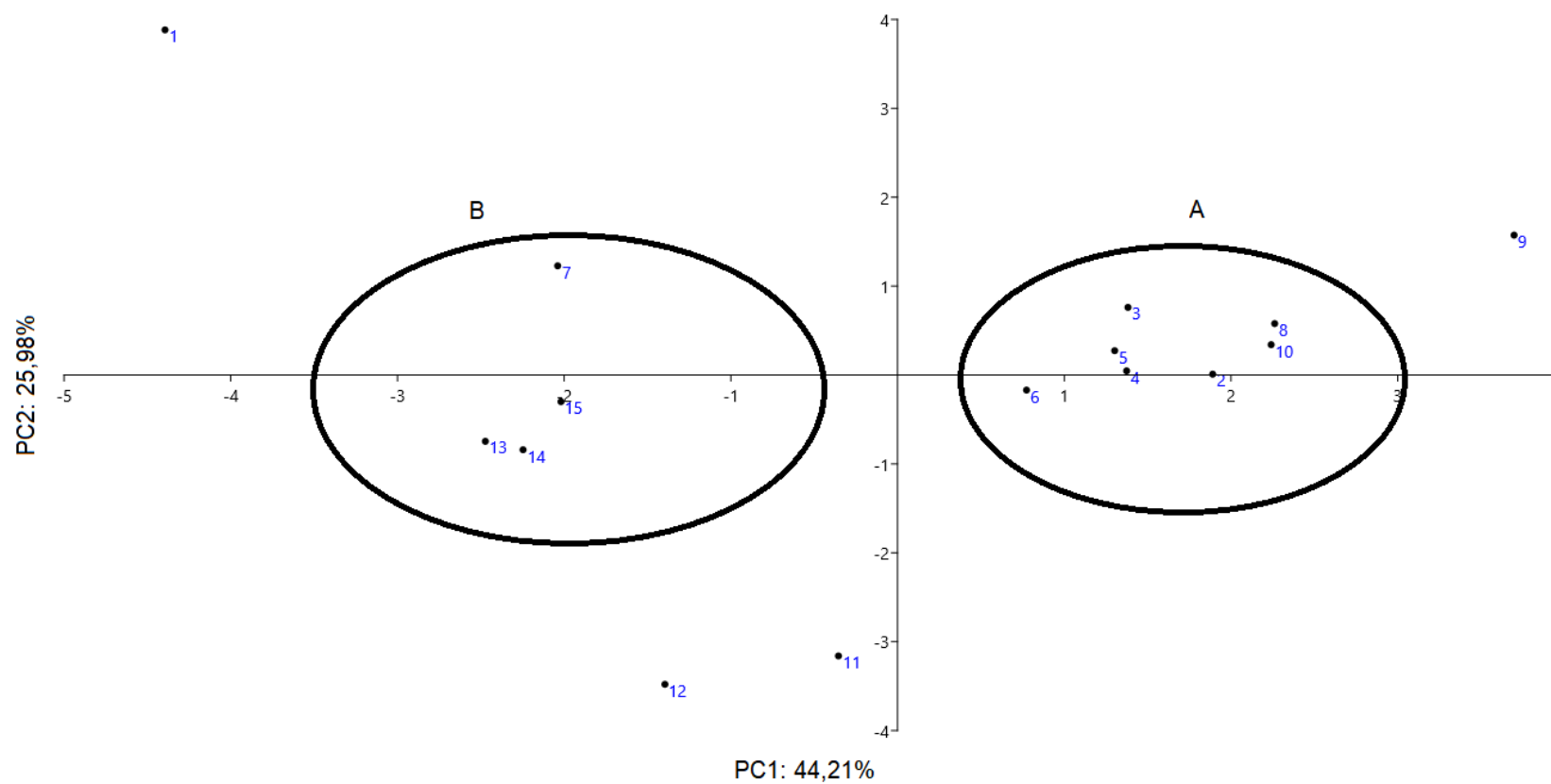


Figura 40: Gráfico dos scores PC1xPC2 da Análise de Componentes Principais da média de todos os dados físicoquímicos dos pontos estudados

As componentes PC1 e PC2, responsáveis por 70,19% da variância dos dados, possuem valores de coeficientes semelhantes na maioria das variáveis, o que indica que a existência de diversas fontes de variação (Tabela 8), comportamento também observado por Sales *et al.* (2009).

Tabela 8: Valores dos *loadings* dos componentes principais

Parâmetros	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4	PC 5	PC 6
T(°C)	0,2885	0,3232	0,2885	-0,1227	0,3276	-0,0045
pH	0,2447	0,2616	0,5163	-0,0926	0,0786	0,0537
cond (mS/cm)	-0,3502	0,3228	0,0856	0,0795	-0,0149	0,0990
Turbidez (NTU)	0,3426	0,1538	-0,2508	0,1451	-0,1250	0,8550
OD (mg/L)	0,0472	-0,3352	0,5276	0,2271	0,4391	0,1744
STD (g/L)	-0,3493	0,3072	0,0734	0,1334	0,0567	0,0250
Salinidade (%)	-0,3613	0,3010	0,0350	0,1291	0,0380	-0,0128
Cloreto	-0,3378	0,3282	0,1239	0,0434	-0,0344	0,2292
DQO	0,1773	0,1711	-0,3926	0,5875	0,5417	-0,1962
NH ₃	0,2292	0,0808	0,2553	0,6501	-0,5784	-0,2308
Fosforo	0,3279	0,3070	0,0842	-0,1946	-0,1868	-0,1648
Coliformes (logUFC)	0,2378	0,4052	-0,2308	-0,2354	0,0955	-0,2315

A Primeira componente (PC1) está relacionada à concentração de materiais dissolvidos no corpo d'água, a exemplo das variáveis condutividade, salinidade, cloreto e sólidos totais dissolvidos. Estes parâmetros estão relacionados ao fato de os pontos de amostragem serem influenciados pela maré, sendo o grupo B caracterizado por serem salobros ou salinos. O grupo A é mais bem caracterizado por outras variáveis como fósforo e turbidez, relação também observada por LIU *et al.*, (2018), mas sendo que a origem do fósforo era proveniente dos sedimentos.

A segunda componente (PC2) que explica 25,98% está associada à concentração de fósforo total (0,3070) e de coliformes termotolerantes (0,4052), pontando para os pontos com indicativo de aporte de efluente doméstico em face da presença de nutrientes e de indicadores microbiológicos. Corroborando com esta constatação, o OD (-0,3352) possui baixas tende a reduzir a concentração na presença destas variáveis que estão relacionadas ao aumento de matéria orgânica.

Alguns pontos se posicionaram distantes dos demais (*outliers*). O ponto P12, fica localizado no rio Poxim próximo ao ponto de captação para abastecimento no bairro Capucho e na entrada da cidade de Aracaju. É um ponto que ainda não sofreu influência do sistema de saneamento implantado pela cidade de Aracaju e serve como parâmetro de referência para avaliar a qualidade das águas que cortam a cidade.

O ponto P1 possui forte influência da maré, com altos valores de condutividade, salinidade, sólidos totais dissolvidos e cloreto, além de baixas concentrações de oxigênio dissolvido e altas concentrações de coliformes.

O ponto P9 está localizado no bairro Santa Maria e observou-se em sua calha resíduos sólidos de natureza orgânica e inorgânica, lançamento de efluentes domésticos, presença de animais pastando em suas margens a exemplo de cavalos, atividade comercial pautada em venda de alimentos. Diante deste cenário, a turbidez apresentou-se elevada, quando comparada aos demais pontos, DQO, nitrogênio e fósforo, assim como coliformes, o que indica lançamento de efluentes domésticos nas suas águas.

Os pontos P11 e P12, possuem a melhor qualidade de água doce, se afastaram do grupo A, justamente por possuírem baixas concentrações de coliformes termotolerantes (P11 – $2,58 \text{ E}+05 \pm 3,99 \text{ E}+05 \text{ UFC}/100\text{mL}$ e P12 – $4,32 \text{ E}+03 \pm 6,02 \text{ E}+03 \text{ UFC}/100\text{mL}$ e de fósforo total (P11 - $1,10 \pm 1,31 \text{ mg/L}$ e P12 - $0,53 \pm 0,76 \text{ mg/L}$).

Durante o período chuvoso, 70,48% dos dados foram explicados pela ACP como se observa na Figura 41. Os parâmetros turbidez (0,3254), fósforo total (0,3125), e coliformes termotolerantes (0,2466) influenciaram o Grupo A por causa do processo de lixiviação durante as chuvas. Vale ressaltar que se trata de um grupo formado por canais de drenagem urbanos. Com as chuvas, os parâmetros DQO e turbidez reduziram seus valores em função do processo de diluição. O Grupo B é influenciado pela condutividade (0,3261), STD (0,3285) e salinidade (0,3210), havendo um aumento destes parâmetros e ocorre uma diluição do nitrogênio amoniacal.

A Figura 42 representa o período seco, onde a ACP explica 60,46% dos dados, sendo PC1 determinado pela condutividade (0,4551), STD (0,4657), salinidade (0,4683) e cloreto (0,4032) e o PC2 pela temperatura (0,5454), pH (0,4585), fósforo (0,4810) e coliformes termotolerantes (0,4785). A partir destes dados, depreende-se que as águas do Grupo A apresentaram aumento nos valores dos parâmetros mencionados para PC2, enquanto há redução na turbidez e DQO. No entanto, o Grupo B mantém os parâmetros influenciadores que o período chuvoso, principalmente P13 a P14 (parâmetros mencionados para PC2).

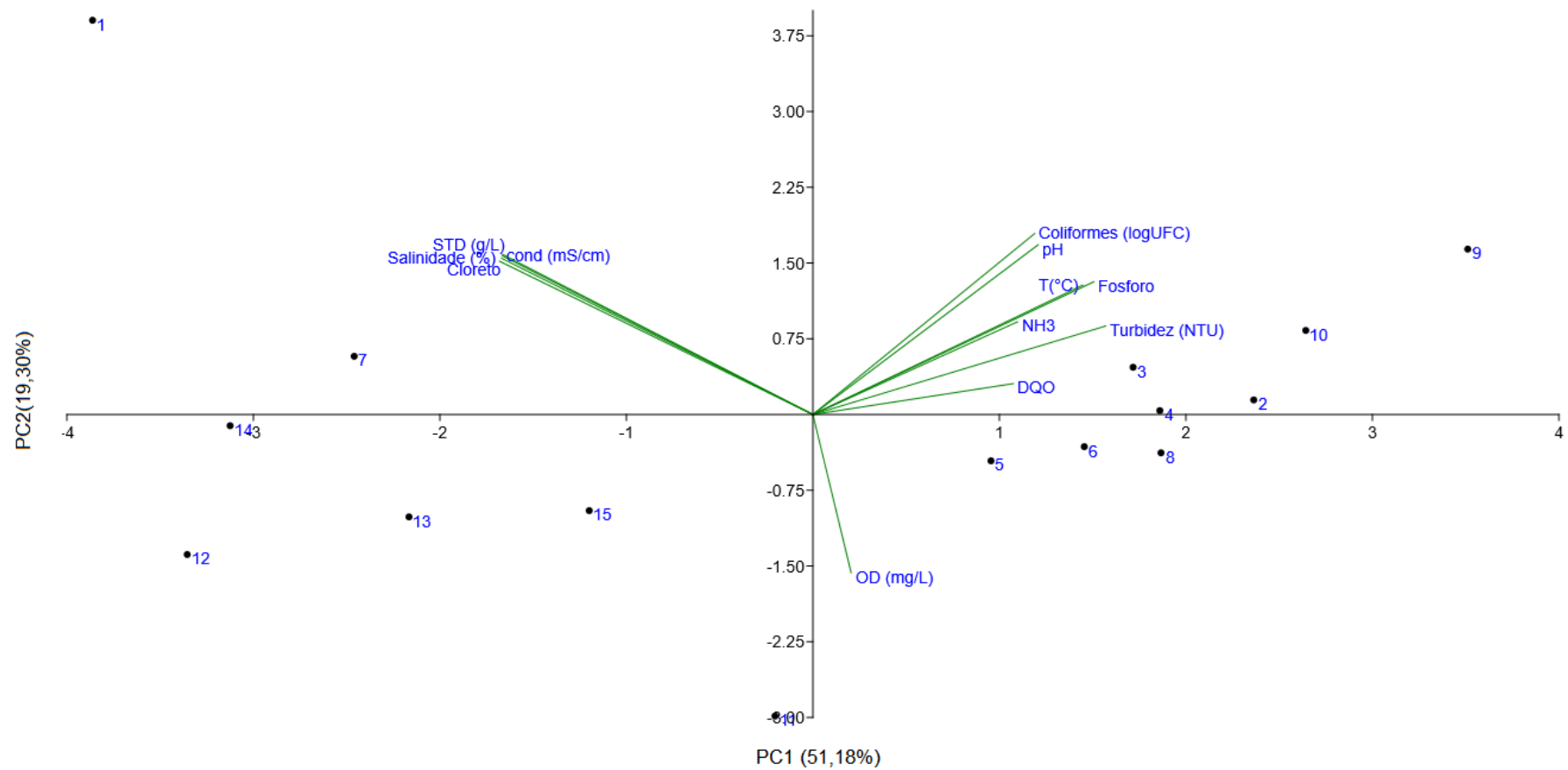


Figura 41: Gráfico dos scores PC1xPC2 da Análise de Componentes Principais da média do período chuvoso dos dados físicoquímicos dos pontos estudados

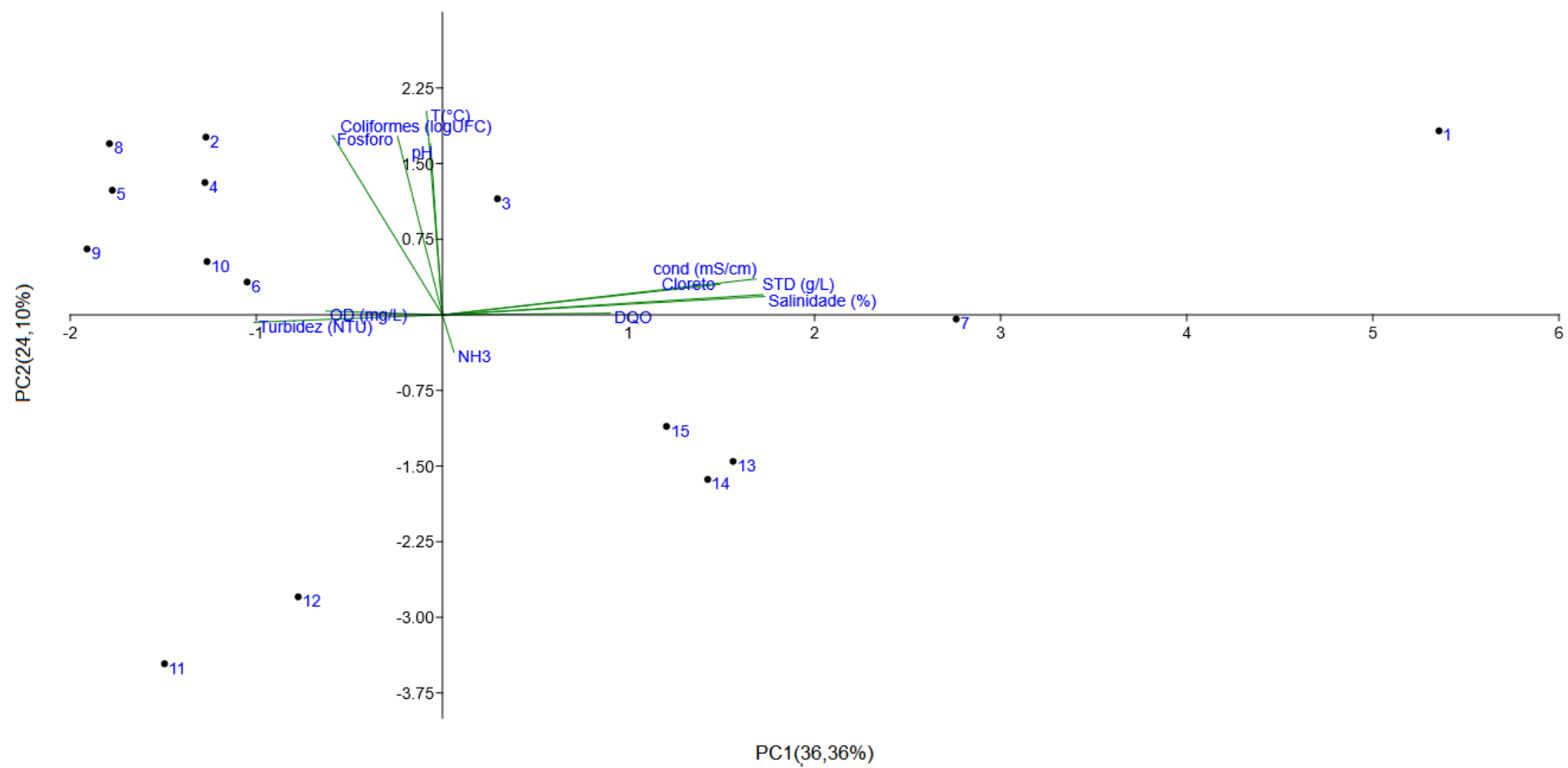


Figura 42: Gráfico dos scores PC1xPC2 da Análise de Componentes Principais da média do período seco dos dados físicoquímicos dos pontos estudados

Os agrupamentos formados na análise hierárquica corroboram com os resultados encontrados na projeção bidimensional das componentes principais (PC1xPC2). No dendrograma da Figura 43, as linhas verticais representam os pontos de amostragem e a linha horizontal as medidas de similaridade calculadas empregando-se as distâncias Euclidianas, que formam agrupamentos de similaridades de acordo com dados normalizados.

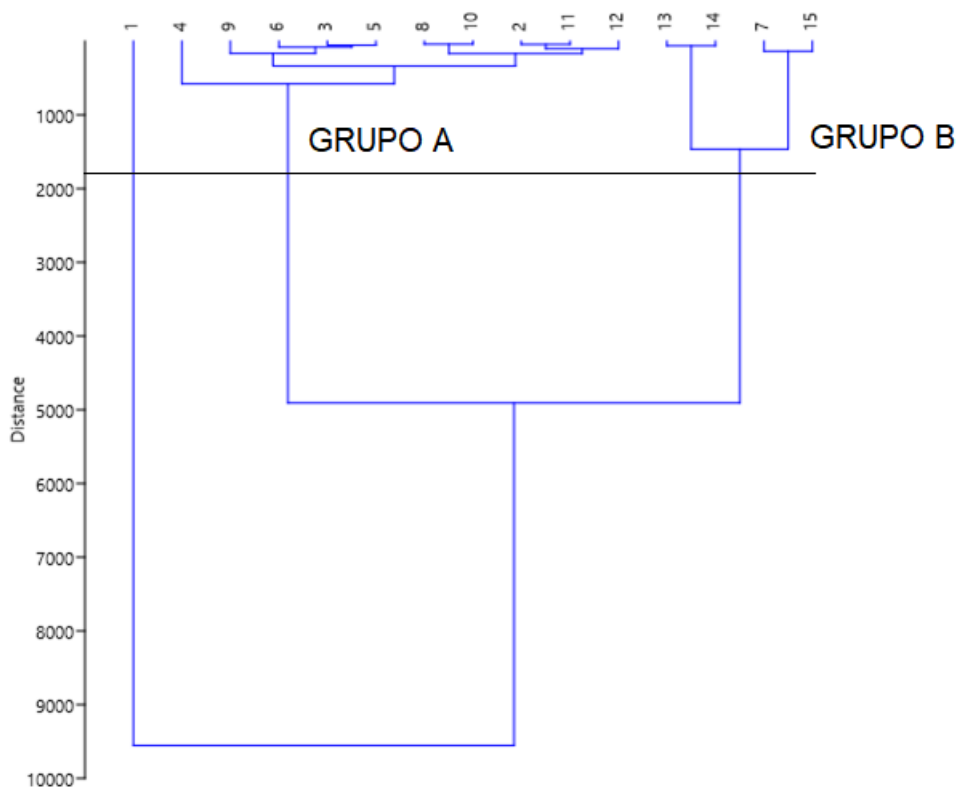


Figura 43: Dendrograma dos pontos a partir das distâncias Euclidianas dos dados físicoquímicos dos pontos estudados

Ao observar a Figura 43, há a formação de 2 agrupamentos separados pela máxima dissimilaridade. Nota-se que um dos agrupamentos é formado pelo ponto 1, que possui características bastante distinta dos demais por ser bastante influenciado pela maré e ser salobro/salino. À distância Euclidiana 2000, além do ponto 1, surgem outros 2 agrupamentos, Grupo A e B, cujos componentes são os mesmos observados nas Figura 40.

O grupo B é fortemente influenciado pelas variáveis cloreto, turbidez e DQO e o grupo A pelas demais variáveis, conforme se observa na Figura 44. Destacando-se o ponto 1, que sofre influência direta da maré que é perceptível o quanto as altas concentrações de cloreto tanto do mar quanto dos efluentes domésticos o separou dos demais pontos.

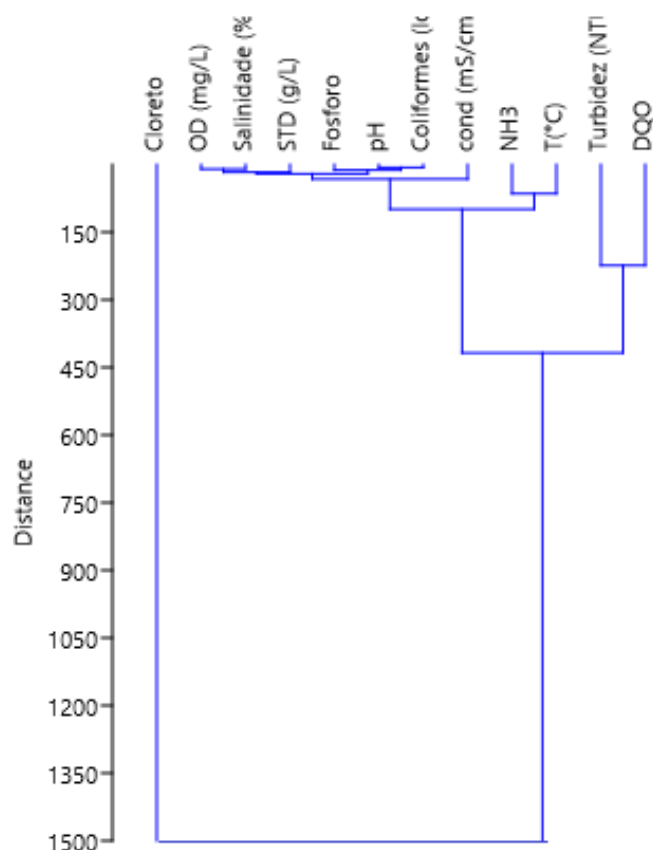


Figura 44: Dendrograma obtido das variáveis a partir das distâncias Euclidianas

Os resultados sugerem fortes correlações entre a qualidade da água e a estrutura da rede drenagem do município de Aracaju/SE. Os resultados apresentados são consistentes com muitos estudos anteriores (DALTRO FILHO *et al.*, 2014, GUIMARÃES, 2021, LIMA, , 2020, SILVA, 2019, WANDERLEY, 2013). A qualidade da água está relacionada à dinâmica da área de influência de um corpo d'água e seu nível de desenvolvimento (DENG, 2019).

5.4 Mapeamento da Qualidade Ambiental

5.4.1 Relação entre os indicadores

A avaliação da qualidade ambiental com os indicadores mencionados na metodologia foi realizada para o ano de 2021, uma vez que os dados dos metais traço foram coletados neste ano e enriqueceu as informações sobre as atividades antrópicas desenvolvidas e possui forte influência na saúde pública.

Os dados dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos de água não foram utilizados diretamente, pois ao realizar o processamento dos dados havia muita perda de informação e redução dos pesos, por isso se optou por trabalhar com os seguintes

indicadores: indicador de qualidade da água (WQI), quociente de perigo (WHQ), percentual de área verde (%GA) e densidade populacional (Pop).

Relações negativas foram observadas entre Pop-WQI, Pop-WHQ e Pop- %GA com os seguintes valores, respectivamente, -0,53, -0,76, -0,67, como era de se esperar, uma vez que altas densidades populacionais em países em desenvolvimento estão associadas à deterioração da qualidade ambiental (DIN *et al.*, 2022, WAFIQ, SURYANTO, 2021). Os valores altos de WQI estão associados a altas concentrações de parâmetros físico-químicos e microbiológicos de qualidade das águas urbanas, o que significa altas contribuições de efluentes sem tratamento dos corpos d'água estudados o que justifica a relação negativa. Os altos valores de metais traço também estão associadas à presença dessas substâncias no ambiente, proveniente de falta de saneamento, e que ultrapassam o limite estabelecido pela legislação, podendo vir a acarretar desequilíbrio nos ecossistemas e problemas de saúde pública. Por esta razão, a relação entre WHQ-%GS e WHQ-WQI foram positivas, 0,43 e 0,26, respectivamente, mas se trata de relações fracas, onde o aumento desses indicadores está relacionado a uma boa qualidade ambiental.

5.4.2 Análise do impacto da urbanização na qualidade ambiental

A urbanização impacta o meio ambiente em vários graus, dependendo dos níveis de urbanização em si. De acordo com o Censo 2022, a população da cidade de Acaraju cresceu 5,98% no período de 2010 a 2022 (IBGE, 2022), tendo hoje uma densidade demográfica de 3308,89 hab/km². Nos pontos estudados há uma concentração maior de pessoas, onde a densidade média dos pontos $5901,30 \pm 4281,13$ hab, sendo os locais com menor densidade a Zona de Expansão e Aruana(com 364,50 hab/km²) e o de maior densidade o Ponto Novo (com 12311,96 hab/km²).

A alta densidade populacional está inversamente ligada ao percentual de áreas verdes no município, como se observa na Figura 45. Os bairros que possuem menor densidade demográfica apresentaram maior percentual de área verde, tendo como exceção o ponto P14 que possui em suas margens uma extensa vegetação de manguezal.

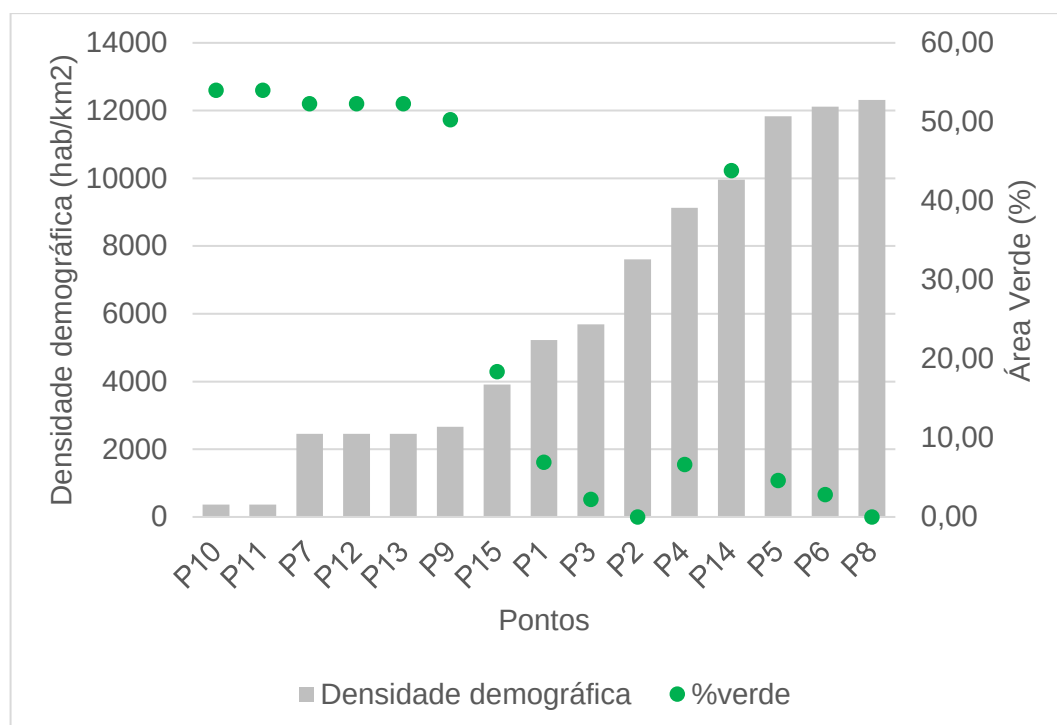


Figura 45: Relação entre densidade demográfica (hab/km²) e o Percentual de Áreas Verdes dos pontos estudados.

Quando a densidade populacional é alta, a disponibilidade de áreas verdes pode ser limitada. Isso pode levar a uma série de problemas de saúde e bem-estar para os moradores, como o aumento do estresse, doenças respiratórias e uma maior incidência de doenças relacionadas à falta de exercício físico.

Por outro lado, quando há uma quantidade suficiente de áreas verdes em uma área densamente povoada, isso pode ter um efeito positivo na saúde e no bem-estar da população. As áreas verdes proporcionam um ambiente mais agradável para os moradores, melhoram a qualidade do ar e oferecem oportunidades para a prática de atividades físicas e recreativas. Analisando os pontos em função do limite mínimo fornecido pela OMS de 12m²/hab, observa-se na Tabela 9 que os pontos P1 a P6 e P8 não atendem a esta exigência, assim como apresentaram em 2020 retração da pouca área verde disponível, havendo uma recuperação em 2021 nos pontos P3 e P4 com um crescimento de 122% e 24%, respectivamente, quando comparado a 2020.

Tabela 9: Índice de áreas verdes (IAV) em m²/hab dos anos de 2019, 2020 e 2021

Pontos	IAV_2019 (m ² /hab)	IAV_2020 (m ² /hab)	IAV_2021 (m ² /hab)
P1	9,56	10,08	11,85
P2	0,00	0,00	0,00
P3	1,92	1,54	3,41
P4	5,28	4,72	5,83
P5	2,92	2,85	2,78
P6	2,67	2,42	1,46
P7	165,13	165,53	183,49
P8	0,00	0,00	0,00
P9	141,04	140,68	160,56
P10	1058,85	1055,12	1201,12
P11	1058,85	1055,12	1201,12
P12	165,13	165,53	183,49
P13	165,13	165,53	183,49
P14	33,99	31,62	37,63
P15	34,02	34,40	41,00

Os pontos que ainda mantêm alto percentual de áreas verdes, inclusive com crescimento em 2021, são os que estão associados ao rio Poxim (P7, P12 ao P15) e aos bairros Aruana e Zona de Expansão (P11 e P10). Vale ressaltar que esta área verde está associada a áreas de copas e manchas de vegetação (informações estas extraídas de imagens de satélite) que em virtude da pandemia do COVID, não tiveram a devida manutenção, aumentando estes índices (RAMOS *et al.*, 2020). Sendo assim, a Figura 46 expõe os bairros com os maiores percentuais de áreas verdes, estando os bairros com menores percentuais em áreas consolidadas e mais antiga da cidade de Aracaju (áreas em vermelho) e os bairros mais recentes, em expansão ou às margens de manguezal, apresentam os maiores percentuais de áreas verdes (áreas em verde).

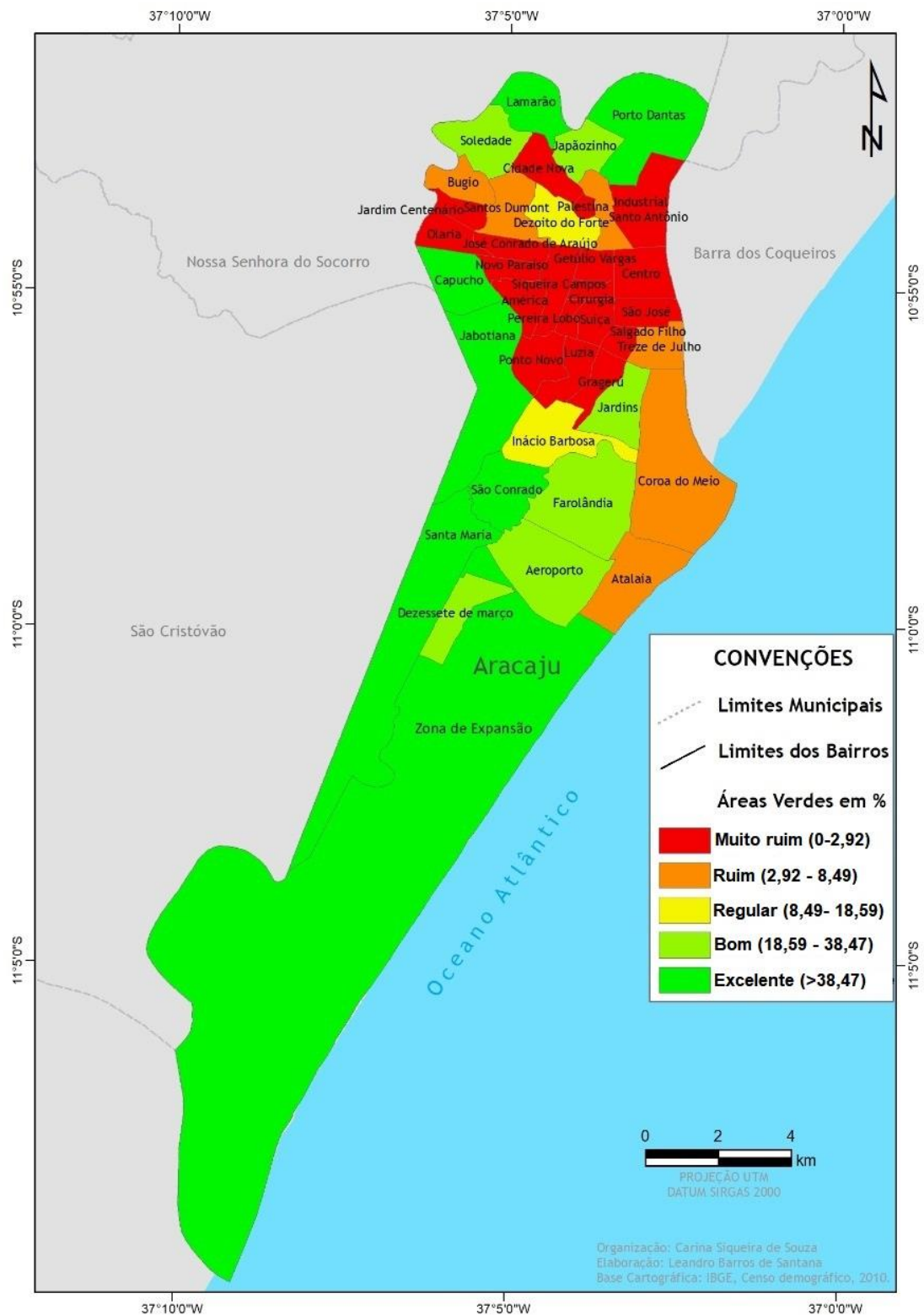


Figura 46: Faixa de áreas verdes (%) dos municípios de Aracaju/SE

Como exposto na análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, de forma geral, todos os corpos d'água do município de Aracaju/SE estão comprometidos pelas atividades antrópicas desenvolvidas na sua microbacia. O Índice de Qualidade das Águas

adaptado (WQI), calculado neste trabalho, reflete tal situação conforme se observa na Figura 47. Cabe salientar que esta é uma realidade da qualidade das águas urbanas do município de Aracaju/SE com base nos parâmetros estudados para o ano de 2021. Os valores do WQI_{adaptado} variaram da categoria péssimo (12,71) a ruim (32,86) em função dos aspectos discutidos no item 5.2 Parâmetros físico-químicos e microbiológicos deste trabalho.

Vários trabalhos aplicaram o Índice de Qualidade das Águas (IQA) como o de SANTOS *et al.*, (2017) com finalidade de avaliar a qualidade das águas na Bacia Costeira do Sapucaia de agosto de 2014 a setembro de 2015, cujos resultados apontaram para 2,5% das amostras consideradas aceitáveis, 92,5% classificadas como boas e 5,0% classificadas como ótima. Os autores observaram que o aumento do índice era provocado pela alteração do pH e coliformes termotolerantes, devido à proximidade de um povoado sem saneamento básico, e alta turbidez, principalmente no período chuvoso.

SOUZA *et al.*, (2007) utilizou o Rio do Sal, na bacia do Rio Sergipe como referência para melhorar a representatividade do IQA através de modelagem matemática. Seus resultados indicaram que este afluente do rio Sergipe estava com a qualidade péssima (Classificação CETESB) por causa da poluição proveniente do lançamento de despejos de efluentes domésticos e industriais.

SILVEIRA *et al.*, (2022) também utilizaram os índices de qualidade de água da CETESB e Índice de Qualidade de Água Aritmético Ponderado para avaliar a barragem Jaime Umbelino de Souza, no rio Poxim, em Sergipe. O resultado foi uma água ótima ou excelente para os parâmetros estudados sem nenhum parâmetro analisado fora dos limites aceitáveis da Resolução CONAMA nº357/2005.

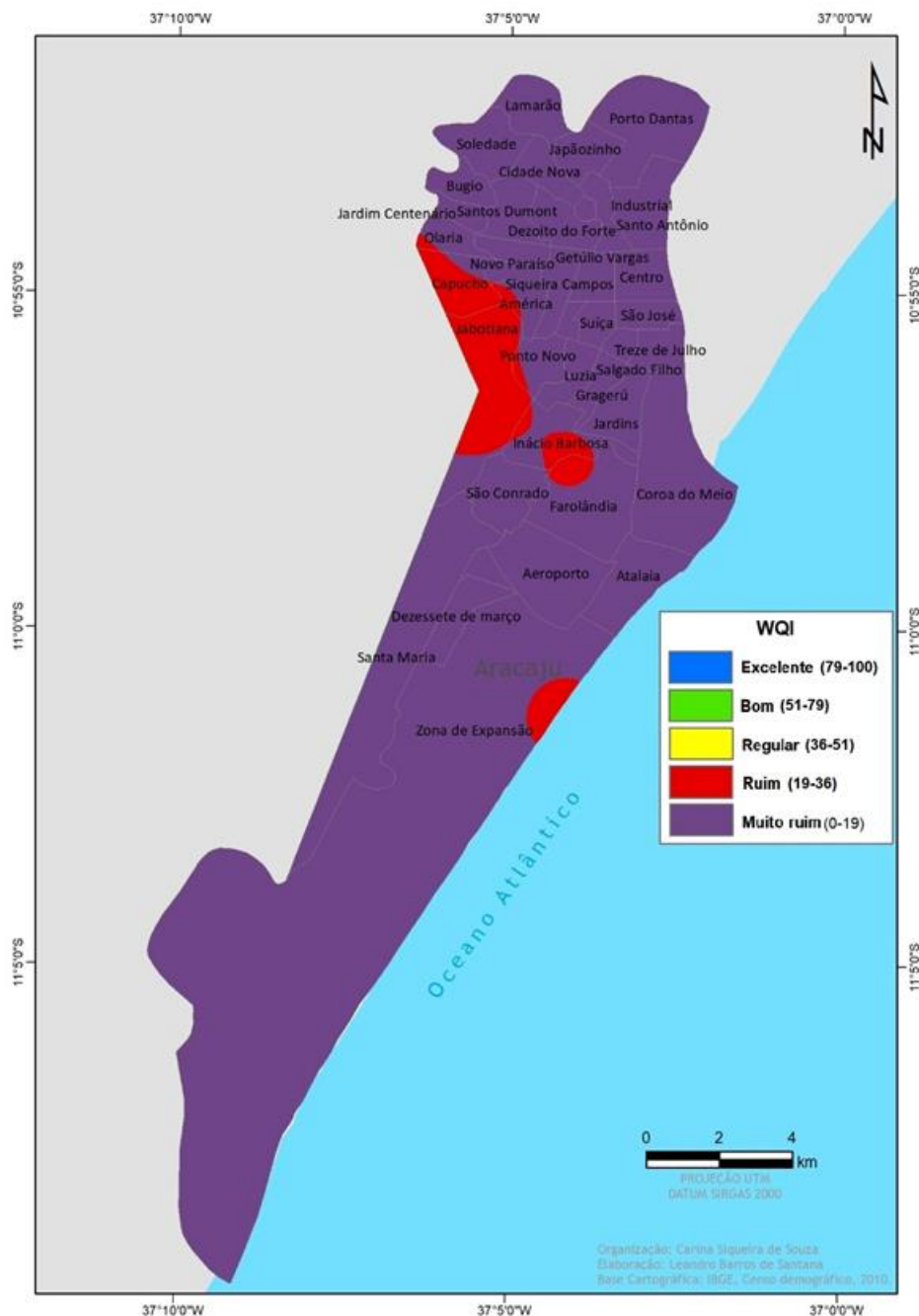


Figura 47: Categorias e ponderações do Índice de Qualidade de Água adaptado (WQI) para a área estudada

A presença dos elementos traço no ambiente foi determinada a partir das águas superficiais. Foi avaliado seu possível risco à saúde a partir da Ingestão Diária Crônica (CDI) e calculado o Quociente de Perigo da Água (WQH), tendo como referência os valores estabelecidos pela legislação ambiental vigente.

CDI foi calculado para os metais traço Al, As, Fe, Mn, Pb e Zn por apresentar um risco não carcinogênico para crianças e adultos, mas, alguns, são ameaça à saúde humana em pequenas concentrações. Os valores médios de CDI para Zn ($5,97E-03 \pm 1,86E-03$ mg/kg/d) foram maiores para adultos e Fe ($5,35E-03 \pm 4,37E-03$ mg/kg/d) para crianças, como mostra a

Tabela 10. Os resultados do cálculo da Avaliação de riscos à saúde mostraram que os valores foram inferiores a 1, não apresentando risco à saúde humana para crianças e adultos, exceto nos pontos P09 (1,01) e P10 (1,03) para Al para crianças.

Tabela 10: Ingestão crônica diária (mg/Kg/d) de diferentes metais pesados através da ingestão de água

Estatística		CDI Al	CDI As	CDI Fe	CDI Mn	CDI Pb	CDI Zn
a							
Adulto	Min	2.20E-03	3.45E-06	1.90E-03	9.96E-05	9.55E-06	3.38E-03
	Max	6.72E-03	1.06E-05	1.80E-02	2.71E-03	1.31E-05	9.47E-03
	Média	3.95E-03	6.41E+00	5.00E-03	6.06E-04	1.09E+01	5.97E-03
	Desv. Pad	3.81E-04	5.89E-02	1.06E-03	2.00E-04	2.78E-01	4.81E-04
Criança	Min	2.35E-03	3.69E-06	2.04E-03	1.07E-04	1.02E-05	1.94E-04
	Max	7.19E-03	1.13E-05	1.92E-02	2.90E-03	1.40E-05	5.43E-04
	Média	4.22E-03	6.86E-06	5.35E-03	6.48E-04	1.17E-05	3.42E-04
	Desv. Pad	4.08E-04	6.29E-01	1.13E-03	2.13E-04	2.96E-01	2.76E+00

A WHQ é um indicador de poluição por elementos traço para a qualidade da água. Os metais utilizados na construção desse indicador foram Al, As, Fe, Mn, Pb e Zn. A partir da ACP desses metais foram atribuídos pesos a cada um dos metais (Tabela 11). Al e Zn (0,22 e 0,21) apresentaram influência mais significativa no comportamento espacial quando comparados ao Pb (0,12), por estarem em concentrações mais elevadas e muito acima dos limites de qualidade ambiental exigidos. Sendo assim, o resultado encontrado foi que as áreas próximas aos pontos 1, 2, 7 a 9 possuem maior grau de periculosidade em relação a metais traço disponíveis no ambiente como se observa na Figura 48.

Tabela 11: Pesos (w) obtidos da ACP para o cálculo do WHQ

Metais	w
Al	0,22
As	0,15
Fe	0,14
Mn	0,16
Pb	0,12
Zn	0,21

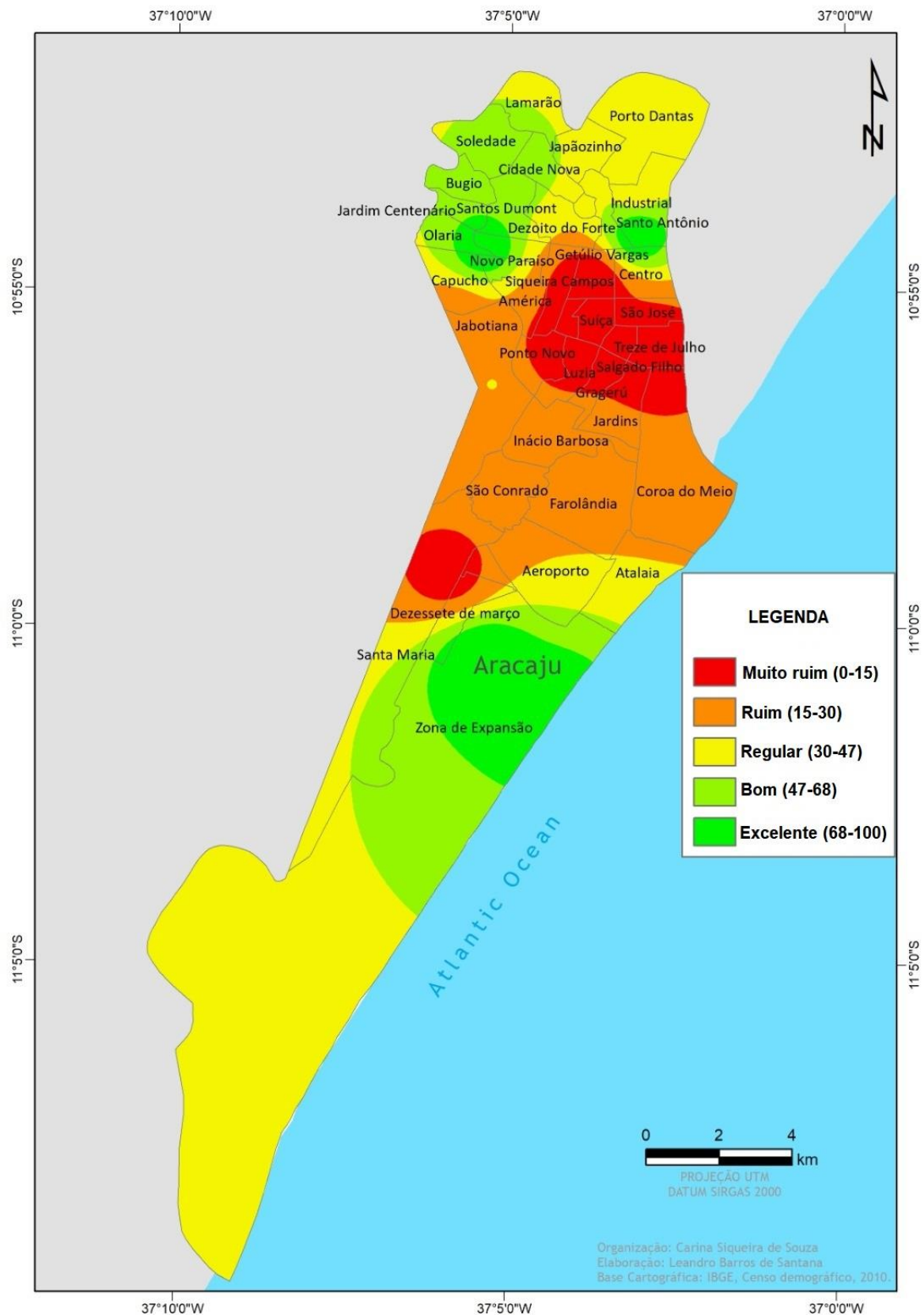


Figura 48: Categorias e ponderações do Quociente de Perigo da Água (WHQ) para a área estudada

A análise conjunta das variáveis mencionadas para avaliar a qualidade ambiental do município de Aracaju/SE através da Análise dos Componentes principais. As componentes PC1 e PC2 foram responsáveis por 83,80% da variância dos dados, sendo a primeira componente (PC1) associada a qualidade da água (WQI), metais traço (WHQ) e percentual de áreas verdes (GA), enquanto a segunda componente está associada positivamente com a densidade demográfica (Pop). Os pesos das variáveis calculadas a partir do ACP estão na Tabela 12 e o cálculo do Índice de Qualidade Ambiental para os diversos pontos gerou a Figura 49.

Tabela 12: Pesos (w) obtidos da ACP para o cálculo do Índice de Qualidade Ambiental

Variáveis	w
Densidade demográfica (Pop)	0,03
Áreas verdes (%)	0,37
Índice de Qualidade de Água adaptado (WQI)	0,34
Quociente de perigo de água (WHQ)	0,26

O mapa de qualidade ambiental da Figura 49 mostrou que a área mais crítica é justamente aquela que foi criada para ser a vitrine do município de forma que várias obras urbanísticas foram realizadas para esconder a poluição dos moradores e turistas (RABELO, 2010).

O índice calculado para P1 foi 17,55 localizado no bairro Treze de Julho e que sofre influência dos bairros Jardins, Salgado Filho e São José apresentaram os piores resultados em termos de qualidade ambiental por apresentar alta densidade demográfica, baixos percentuais de áreas verdes e águas poluídas. Trata-se de um ponto do município que acumula todos os resíduos lançados, não só pelo bairro do ponto de coleta, mas de toda a microbacia. Silva (2020) considerou estes bairros como intermediários por apresentar indicadores positivos de água, pavimentação e limpeza urbana e espaços públicos, mas baixa pontuação no tocante a cobertura vegetal e esgotamento sanitário.

Os bairros ao norte do município possuem uma qualidade ambiental considerada ruim ($EQI_{\min}=23,43$ e $EQI_{\max}=32,45$), pois possuem problemas de esgotamento sanitário, irregularidade na coleta de resíduos sólidos e poucas áreas verdes e problemas recorrentes envolvendo risco ambiental como enchentes (PINTO, BRAZIL, 2016, SANTANA, 2019).

Os bairros banhados pelo rio Poxim foram categorizados como regulares ($EQI_{\min}=38,77$ e $EQI_{\max}=50,90$), pois sofrem dos mesmos problemas que os bairro da zona norte, exceto pelos serviços de coleta de resíduo sólido que funciona e ainda é uma área que possui um grande percentual de área verde por causa dos manguezais às margens do rio Poxim. Este processo de poluição vem sendo estudado por WANDERLEY (2013) e VASCO *et al.*, (2011).

A área do município considerada boa foram as que estão sofrendo processo ocupação nos últimos 10 anos e possui muitas áreas com vegetação e baixa densidade demográfica (Zona de expansão, Aruana), mas que também possui problemas relacionados a esgotamento sanitário e de inundação (PINTO, BRAZIL, 2016)

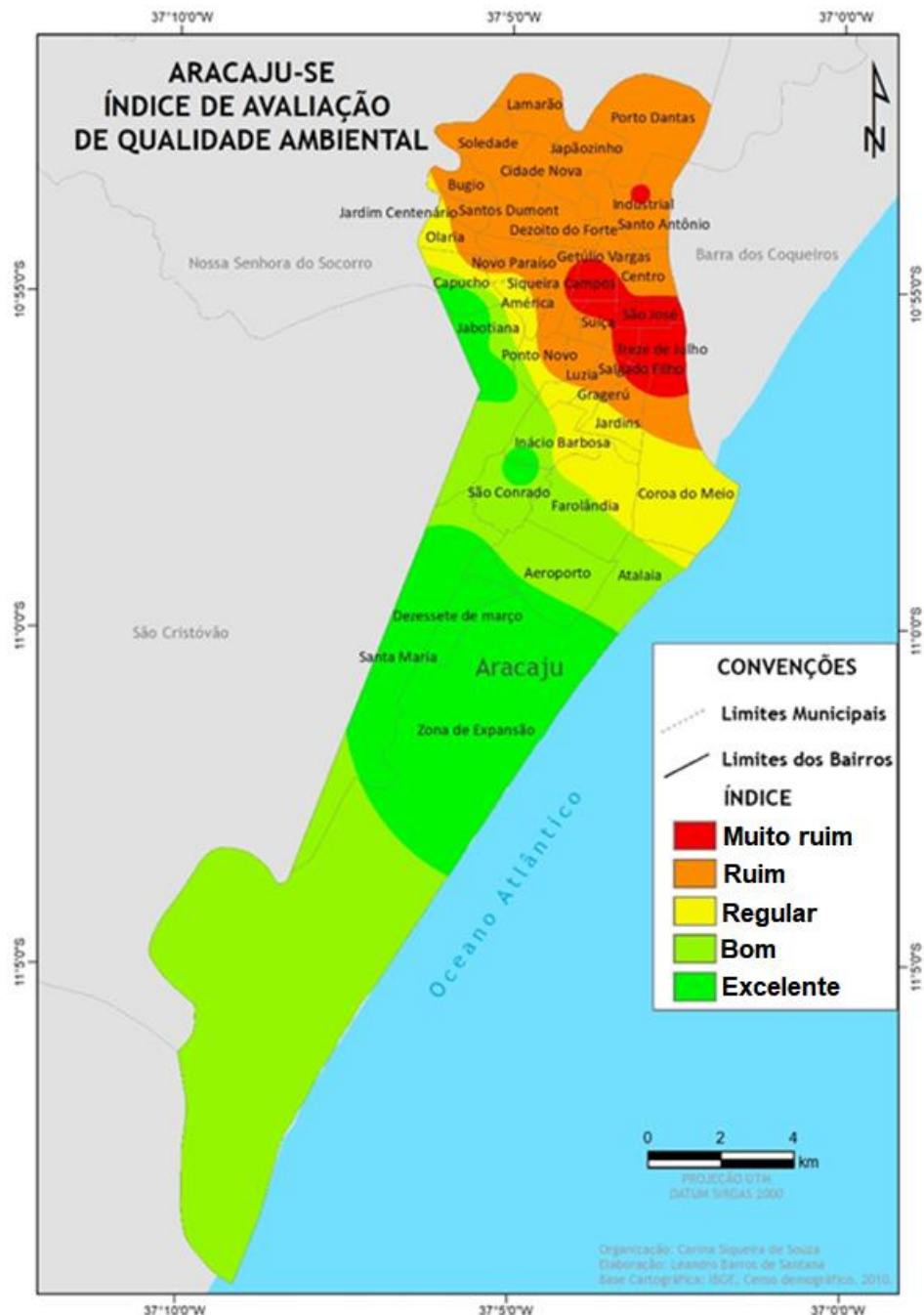


Figura 49: Mapa de Qualidade Ambiental do Município de Aracaju/SE ano 2021

6 CONCLUSÕES

Os dados deste trabalho apontam que o município de Aracaju enfrenta desafios significativos em relação à qualidade ambiental. O índice de qualidade ambiental calculado revela que a cidade está com sua qualidade ambiental comprometida, variando de 17,55 a 56,30, ruim a bom, principalmente em função da baixa qualidade de água e escassez de áreas verdes na cidade.

A falta de áreas verdes e espaços de lazer contribui para o aumento do estresse urbano, além de impactar negativamente a qualidade de vida da população. A presença de áreas verdes é fundamental para a promoção da saúde física e mental, bem como para a conservação da biodiversidade local. A cidade de Aracaju está perdendo esta cobertura verde para dar espaço a condomínios residenciais e vias públicas.

A má qualidade das águas urbanas é um dos principais desafios enfrentados e a serem sanados por Aracaju. Dos parâmetros indicadores de contaminação por efluentes domésticos se encontraram alterados o OD, DQO, NH_3 , NO_2^- , NO_3^- e coliformes termotolerantes, inclusive ultrapassando o limite estabelecido pela legislação vigente. Este é um indicador variou da categoria péssimo (12,71) a ruim (32,86) em função do despejo inadequado de efluentes, sejam eles domésticos ou não, compromete não apenas a saúde dos ecossistemas aquáticos, mas também representa um risco para a saúde pública.

Também foram identificadas concentrações de metais acima dos limites permitidos pela legislação, evidenciando o potencial dessas substâncias para comprometerem a saúde pública. Neste contexto, as amostras P2, P3, P5, P6, P6, P9 e P11 despontam como as de maior destaque, devido à influência de nutrientes e metais, como Al, Fe, Pb e Zn, oriundos de atividades antrópicas. É importante ressaltar que esses metais foram detectados em concentrações acima dos limites estabelecidos pela legislação brasileira de qualidade da água, o que acarreta riscos ambientais significativos. Embora não tenha sido identificado risco à saúde decorrente da presença desses metais, é crucial considerar que o risco ambiental se mostra preponderante, especialmente em áreas desprovidas de infraestrutura básica. Diante dessa situação, torna-se necessária uma intervenção governamental mais proeminente, tanto no planejamento urbano quanto na gestão dos recursos hídricos, com o intuito de promover a preservação do ambiente e o bem-estar da população.

Diante desse cenário, é fundamental que sejam adotadas medidas urgentes e eficazes para reverter a situação de comprometimento da qualidade ambiental em Aracaju. A preservação e recuperação dos recursos naturais, a melhoria da infraestrutura urbana e o estímulo à participação cidadã são aspectos essenciais para alcançar uma cidade mais sustentável e com uma melhor qualidade de vida para todos os seus habitantes. Somente por

meio do comprometimento de todos os envolvidos será possível promover mudanças positivas e duradouras em prol da qualidade ambiental em Aracaju.

É fundamental também que o planejamento urbano leve em consideração a densidade populacional e a disponibilidade de áreas verdes em determinada região. Isso garantirá que as necessidades da população sejam atendidas e que a qualidade de vida seja mantida. O estabelecimento de áreas verdes contribui para a melhoria do ambiente urbano, proporcionando espaços de lazer, qualidade do ar e bem-estar para a comunidade.

7 PERSPECTIVAS FUTURAS

Como sugestão para o prosseguimento da pesquisa, faz-se necessária a inclusão de novos parâmetros de qualidade de água no cálculo do índice de qualidade ambiental que reflitam a nova realidade social como produtos farmacêuticos, produtos de cuidados pessoais, microplásticos, hormônios endócrinos, dentre outros. Assim como é fundamental incorporar variáveis que envolvam aspectos econômicos e sociais para uma abordagem mais abrangente e realista.

A inserção de variáveis econômicas permitirá avaliar o impacto das atividades produtivas na qualidade da ambiental, como o nível de industrialização, o uso de recursos naturais, políticas de desenvolvimento, regulamentações ambientais, dentre outros. Além disso, aspectos socioeconômicos, como o tamanho da população, o padrão de urbanização e a disponibilidade de infraestrutura, devem ser incorporados ao índice para compreender melhor como fatores sociais também influenciam a qualidade ambiental.

Essa abordagem mais holística possibilitará a construção de um índice de qualidade ambiental mais real e completo, que leve em conta tanto os aspectos naturais quanto os processos sociais e econômicos que afetam a qualidade da água. Dessa forma, será possível obter uma visão mais precisa da situação ambiental da região em estudo e embasar políticas públicas mais eficazes e sustentáveis para a gestão dos recursos hídricos e o planejamento urbano.

Por fim, enfatiza-se que a busca por um índice de qualidade ambiental mais real e abrangente não apenas contribuirá para a compreensão da complexidade dos problemas ambientais, mas também oferecerá informações cruciais para o desenvolvimento de estratégias eficazes de preservação e recuperação dos recursos hídricos, garantindo assim um ambiente saudável e sustentável para as gerações futuras.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA, F., KHALIL, R. Potential effects of groundwater and surface water contamination in an urban area, Qus City, Upper Egypt, *Journal of African Earth Sciences*, v. 141, p. 164-178, 2018.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 9.898: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores. Rio de Janeiro, 1987. 22 p.
- ACHARYA, K., BLACKBURN, A., MOHAMMED, J., *et al.* Metagenomic water quality monitoring with a portable laboratory, *Water research*, p. 116112, 2020.
- AFED ULLAH, K.; JIANG, J.; WANG, P. Land use impacts on surface water quality by statistical approaches. *Global Journal of Environmental Science and Management*, v. 4, n. 2, p. 231-250, 2018.
- AHMED, J., WONG, L. P., CHUA, Y. P., *et al.* Heavy metals drinking water contamination and health risk assessment among primary school children of Pakistan, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, v. 56, n. 6, p. 667-679, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1080/10934529.2021.1915653>.
- AHMED, W., HAMILTON, K., TOZE, S., *et al.* A review on microbial contaminants in stormwater runoff and outfalls: Potential health risks and mitigation strategies, *Science of the Total Environment*, v. 692, p. 1304-1321, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.055>.
- AKINBILE, C. O., OMONIYI, O. Quality assessment and classification of Ogbese river using water quality index (WQI) tool, *Sustainable Water Resources Management*, v. 4, n. 4, p. 1023-1030, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40899-018-0226-8>.
- ALI, M. M., RAHMAN, S., ISLAM, M. S., *et al.* Distribution of heavy metals in water and sediment of an urban river in a developing country: a probabilistic risk assessment, *International journal of sediment research*, v. 37, n. 2, p. 173-187, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijsrc.2021.09.002>.
- ALVES, J. do P. H., FONSECA, L. C., CHIELLE, R. de S. A., *et al.* Monitoring water quality of the Sergipe River basin: an evaluation using multivariate data analysis, *RBRH*, v. 23, 2018.
- ALVES, L. C., FIGUEIREDO, A. L. A., LOPES, T. S., MARCHIORI, J. J. P., GARRIDO, F. D. S. R. G., Almeida, F. S. Degradação do rio Paraíba do Sul no Município de Três Rios: causas e consequências. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental*, v. 14, n. 2, p. 248-259, 2019.
- ALVES, J. P. H., GARCIA, C. A. B. O Rio Sergipe no entorno de Aracaju: qualidade da água e poluição orgânica. In: _____. (org.). *RIO SERGIPE: importância, vulnerabilidade e preservação*. São Cristóvão: Editora UFS; 2006.
- APHA, AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION AND AMERICAN WATER WORKS. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. Washington, 2012.
- ARACAJU. Obras e Urbanização. *Prefeitura faz estudo para evitar alagamentos no período chuvoso*. 2016. Disponível em: < <https://www.aracaju.se.gov.br/noticias/69513> >. Acessado em 20 nov 2018.
- _____. Secretaria Municipal de Planejamento e Orçamento. *Diagnóstico da Cidade de Aracaju*, 2014. Disponível em: < https://ewdata.rightsindevelopment.org/files/documents/11/IADB-BR-L1411_WbttEZe.pdf >. Acessado em 20 nov 2020.

- AVIGLIANO, E., SCHENONE, N. F. Human health risk assessment and environmental distribution of trace elements, glyphosate, fecal coliform and total coliform in Atlantic Rainforest mountain rivers (South America), *Microchemical Journal*, v. 122, p. 149-158, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.microc.2015.05.004>.
- BERENDES, D. M., DE MONDESERT, L., KIRBY, A. E., *et al.* Variation in *E. coli* concentrations in open drains across neighborhoods in Accra, Ghana: The influence of onsite sanitation coverage and interconnectedness of urban environments, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, v. 224, p. 113433, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.113433>.
- BHURTUN, P., LESVEN, L., RUCKEBUSCH, C., *et al.* Understanding the impact of the changes in weather conditions on surface water quality, *Science of the Total Environment*, v. 652, p. 289-299, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.246>.
- BISIMWA, A. M., AMISI, F. M., BAMAWA, C. M., *et al.* Water quality assessment and pollution source analysis in Bukavu urban rivers of the Lake Kivu basin (Eastern Democratic Republic of Congo), *Environmental and Sustainability Indicators*, v. 14, p. 100183, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indic.2022.100183>.
- BOSTANMANESHRAD, Farshid *et al.* Relationship between water quality and macro-scale parameters (land use, erosion, geology, and population density) in the Siminehrood River Basin. *Science of the Total Environment*, v. 639, p. 1588-1600, 2018.
- BRANDÃO, C. *et al.* *Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. São Paulo: CETESB, 2011.
- BRASIL. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Atlas esgotos: despoluição de bacias hidrográficas*. Brasília, DF, 2017a. 88 p. Disponível em: <<http://atlasesgotos.ana.gov.br/>>.
- _____. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2017: relatório pleno*. Brasília, DF, 2017b. 169 p. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos>>
- _____. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Indicadores de qualidade – Índice de Qualidade das Águas (IQA)*. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/indicadores-indice-aguas.aspx>. Acesso em: 06 set. 2020.
- BU, H., MENG, W., ZHANG, Y., *et al.* Relationships between land use patterns and water quality in the Taizi River basin, China, *Ecological indicators*, v. 41, p. 187-197, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.02.003>.
- BUSS, J., ACHTEN, C. Spatiotemporal variations of surface water quality in a medium-sized river catchment (Northwestern Germany) with agricultural and urban land use over a five-year period with extremely dry summers, *Science of The Total Environment*, v. 818, p. 151730, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151730>.
- CABRAL, A. C., STARK, J. S., KOLM, H. E., *et al.* An integrated evaluation of some faecal indicator bacteria (FIB) and chemical markers as potential tools for monitoring sewage contamination in subtropical estuaries, *Environmental Pollution*, v. 235, p. 739-749, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.12.109>.
- CAPPS, Krista A.; BENTSEN, Catherine N.; RAMÍREZ, Alonso. Poverty, urbanization, and environmental degradation: urban streams in the developing world. *Freshwater Science*, v. 35, n. 1, p. 429-435, 2016.
- CARVALHO, K., LIMA, S., PASSIG, F., *et al.* Influence of urban area on the water quality of the Campo River basin, Paraná State, Brazil, *Brazilian Journal of Biology*, v. 75, p. 96-106, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.00413suppl>.

CCANCCAPA-CARTAGENA, A., PAREDES, B., VERA, C., *et al.* Occurrence and probabilistic health risk assessment (PRA) of dissolved metals in surface water sources in Southern Peru, *Environmental Advances*, v. 5, p. 100102, 2021.

CERQUEIRA, Thais Carvalho *et al.* Effects of urbanization on water quality in a watershed in northeastern Brazil. *Environmental monitoring and assessment*, v. 192, n. 1, p. 1-17, 2020.

CHANG, N., LUO, L., WANG, X. C., *et al.* A novel index for assessing the water quality of urban landscape lakes based on water transparency, *Science of the Total Environment*, v. 735, p. 139351, 2020.

CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. *Proposta de Resolução com Emendas dos Pareceristas*. Processo nº 02000.003276/2003-26. Estabelece diretrizes gerais para definição e implementação de indicadores de aplicação e cumprimento de normas ambientais. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/index.php?option=com_sisconama&task=documento.download&id=16072. Acessado em: nov 2022.

_____. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasília, DF, 18 mar 2005.

_____. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Conselho Nacional do Meio Ambiente, Brasília, DF, 16 maio 2011.

COSTA, L. A. da. *Análise das concentrações de metais pesados na água e sedimento do Rio Sergipe (SE)*. 2018. DGEOL-Departamento de Geologia-São Cristóvão, 2018.

CRUZ, J. V. B., DOS SANTOS, É. P., DE JESUS SILVA, N., *et al.* Influência dos metais pesados no acometimento do câncer: Uma revisão da literatura, *Research, Society and Development*, v. 10, n. 6, p. e45810615992-e45810615992, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15992>.

CRUZ, M. A. S., GONÇALVES, A. de A., DE ARAGÃO, R., *et al.* Spatial and seasonal variability of the water quality characteristics of a river in Northeast Brazil, *Environmental Earth Sciences*, v. 78, p. 1-11, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8087-5>.

DALTRO FILHO, J., DE MELO FONSECA, L., NOU, G. C. G., *et al.* Aspectos gerais sobre a qualidade ambiental e sanitária de um rio urbano: o caso do trecho urbano do rio Poxim, situado no bairro Jabotiana, Aracaju-SE. In: V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. **Anais**. Belo Horizonte/MG: IBEAS, 2014.

DENG, X. Correlations between water quality and the structure and connectivity of the river network in the Southern Jiangsu Plain, Eastern China, *Science of The Total Environment*, v. 664, p. 583-594, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.048>.

DEVORE, J. L. *Probabilidade e estatística para engenharia e ciências*. (S. A. Visconte, Trad.) São Paulo: Cengage; 2018.

DIN, A. U., MING, J., VEGA-MUÑOZ, A., *et al.* Population Density: An Underlying Mechanism Between Road Transportation and Environmental Quality, *Frontiers in Environmental Science*, v. 10, p. 940911, 2022.

DING, Jiao *et al.* Influences of the land use pattern on water quality in low-order streams of the Dongjiang River basin, China: A multi-scale analysis. *Science of the total environment*, v. 551, p. 205-216, 2016.

- ERVINIA, A., HUANG, J., HUANG, Y., *et al.* Coupled effects of climate variability and land use pattern on surface water quality: An elasticity perspective and watershed health indicators, *Science of The Total Environment*, v. 693, p. 133592, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133592>.
- FERREIRA, M. da S., FONTES, M. P. F., PACHECO, A. A., *et al.* Risk assessment of trace elements pollution of Manaus urban rivers, *Science of the Total Environment*, v. 709, p. 134471, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134471>.
- FLYNN, R. M., DEAKIN, J., ARCHBOLD, M., *et al.* Using microbiological tracers to assess the impact of winter land use restrictions on the quality of stream headwaters in a small catchment, *Science of the Total Environment*, v. 541, p. 949-956, 2016.
- FRANK, J. J., POULAKOS, A. G., TORNERO-VELEZ, R., *et al.* Systematic review and meta-analyses of lead (Pb) concentrations in environmental media (soil, dust, water, food, and air) reported in the United States from 1996 to 2016, *Science of the Total Environment*, v. 694, p. 133489, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.295>.
- FUNASA. *Manual prático de análise de água*. 2ª Edição, Brasília: Assessoria de Comunicação e Educação em Saúde, 2006.
- GALFI, H., ÖSTERLUND, H., MARSALEK, J., *et al.* Indicator bacteria and associated water quality constituents in stormwater and snowmelt from four urban catchments, *Journal of Hydrology*, v. 539, p. 125-140, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.05.006>.
- GARCIA, C. A., BARRETO, M. S., PASSOS, E. A., *et al.* Regional geochemical baselines and controlling factors for trace metals in sediments from the Poxim River, Northeast Brazil, *Journal of the Brazilian Chemical Society*, v. 20, p. 1334-1342, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-50532009000700019>.
- GIRI, S. Water quality prospective in Twenty First Century: Status of water quality in major river basins, contemporary strategies and impediments: A review, *Environmental Pollution*, v. 271, p. 116332, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116332>.
- GÓIS, A. J., ROCHA, A. F. *Rio Sergipe: importância, vulnerabilidade e preservação*. São Cristóvão: Editora UFS, 2006. p. 222.
- GUIMARÃES, M. B. *RECURSOS HÍDRICOS: gestão, planejamento, e técnicas em pesquisa*. São Paulo, Científica Digital, 2021. p. 194-204. DOI: 10.37885/978-65-89826-78-1.
- HAMMER, O., HARPER, D. A., RYAN, P. D., *et al.* PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis, *Palaeontologia electronica*, v. 4, n. 1, p. 9, 2001.
- HUANG, Jiacong *et al.* Characterizing the river water quality in China: Recent progress and on-going challenges. *Water Research*, v. 201, p. 117309, 2021.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Estimativa da população*. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/indicadores.html?view=default>. Acesso em : 24 nov 2021.
- _____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. *Censo Demográfico*. 2022. Disponível em: https://ftp.ibge.gov.br/Censos/Censo_Demografico_2022/Previa_da_Populacao/SE_POP2022.pdf. Acesso em: 31 maio. 2023.
- _____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. *Cidades e Estados*. 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados.html>. Acesso em: 15 jul. 2019.
- IGHALO, J. O., ADENIYI, A. G. A comprehensive review of water quality monitoring and assessment in Nigeria, *Chemosphere*, v. 260, p. 127569, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127569>.

- JIANG, Y., XIE, Z., ZHANG, H., *et al.* Effects of land use types on dissolved trace metal concentrations in the Le'an River Basin, China, *Environmental monitoring and assessment*, v. 189, p. 1-19, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-017-6356-x>.
- JUNIOR, J. C. R. Conjuntura de riscos ambientais no grande Rosa Elze em São Cristovão-SE e suas interferências para a população, *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 2, n. 5, p. 1511-1520, 2019.
- KEBEDE, G., MUSHI, D., LINKE, R. B., *et al.* Macroinvertebrate indices versus microbial fecal pollution characteristics for water quality monitoring reveals contrasting results for an Ethiopian river, *Ecological Indicators*, v. 108, p. 105733, 2020.
- KHAN, K., LU, Y., SAEED, M. A., *et al.* Prevalent fecal contamination in drinking water resources and potential health risks in Swat, Pakistan, *Journal of Environmental Sciences.*, v. 72, p. 1-12, 2018.
- KHAN, MohdYawar Ali; WEN, Jie. Evaluation of physicochemical and heavy metals characteristics in surface water under anthropogenic activities using multivariate statistical methods, Garra River, Ganges Basin, India. *Environmental Engineering Research*, v. 26, n. 6, 2021.
- KHAN, MohdYawar Ali; WEN, Jie. Evaluation of physicochemical and heavy metals characteristics in surface water under anthropogenic activities using multivariate statistical methods, Garra River, Ganges Basin, India. *Environmental Engineering Research*, v. 26, n. 6, 2021.
- KISTEMANN, Thomas; SCHMIDT, Alexandra; FLEMMING, Hans-Curt. Post-industrial river water quality—Fit for bathing again? *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, v. 219, n. 7, p. 629-642, 2016
- KRAMER, C. K., LEITÃO, C. B., VIANA, L. V. The impact of urbanisation on the cardiometabolic health of Indigenous Brazilian peoples: a systematic review and meta-analysis, and data from the Brazilian Health registry, *The Lancet*, v. 400, n. 10368, p. 2074-2083, 2022.
- KRISHNAN, V. S., FIROZ, C. M. Regional urban environmental quality assessment and spatial analysis, *Journal of urban management*, v. 9, n. 2, p. 191-204, 2020.
- LANDIM, M., GUIMARAES, C. P. Manguezais do rio Sergipe. In: ALVES, J. P. H. (org.). *RIO SERGIPE: importância, vulnerabilidade e preservação*. São Cristóvão: Editora UFS; 2006.
- LEAL, A. G. L., CARRÉRA, Y. A., JUNIOR, A. P. Elaboração e análise comparativa do índice de qualidade ambiental em núcleos urbanos, *Research, Society and Development*, v. 10, n. 10, p. e510101019142-e510101019142, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i10.19142>.
- LI, Y., BOSWELL, E., THOMPSON, A. Correlations between land use and stream nitrate-nitrite concentrations in the Yahara River Watershed in south-central Wisconsin, *Journal of Environmental Management.*, v. 278, p. 111535, 2021.
- LI, Y., LI, Y., WU, W. Threshold and resilience management of coupled urbanization and water environmental system in the rapidly changing coastal region, *Environmental Pollution*, v. 208, p. 87-95, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2015.08.042>.
- LIANG, H., ZHANG, Y., ZHANG, S., *et al.* Association between environmental composite quality index score and obesity in children and their family: A cross-sectional study in northeast China, *Chemosphere*, v. 297, p. 134204, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134204>.
- LIANG, L., WANG, Z., LI, J. The effect of urbanization on environmental pollution in rapidly developing urban agglomerations, *Journal of cleaner production*, v. 237, p. 117649, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.117649>.

- LIMA, Jorge Enoch Furquim Werneck. *Recursos hídricos no Brasil e no mundo*. Planaltina: Embrapa Cerrados-Documents (INFOTECA-E), 2001.
- LIMA, Luciano Flávio Almeida. A importância do Brasil em um provável cenário de crise hídrica mundial. *A Defesa Nacional*, v. 107, n. 840, 2019.
- LIMA, M., ALENCAR, N. R. O., DÓRIA, J. R., SILVA, E. L., MONTEIRO, A. S. C., ALVES, J. P. H. Hydrochemical characteristics of water in the Poxim-Sergipe river hydrographic sub-basin, *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 6, n. 11, p. 89443-89455, 2020.
- LISTYANINGRUM, N., DEWANTI, T., WAHYUDI, T. P., JOSIANA, G. R., ARIEFIN, R. F., SUPRAYOGI, S. Study of the Environmental Quality Index in an Urban Campus Area. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2022. v. 1039, No. 1, p. 012065. DOI: 10.1088/1755-1315/1039/1/012065.
- LIU, Jin; SHEN, Zhenyao; CHEN, Lei. Assessing how spatial variations of land use pattern affect water quality across a typical urbanized watershed in Beijing, China. *Landscape and Urban Planning*, v. 176, p. 51-63, 2018.
- LIU, S., RYU, D., WEBB, J., et al. Characterisation of spatial variability in water quality in the Great Barrier Reef catchments using multivariate statistical analysis, *Marine pollution bulletin*, v. 137, p. 137-151, 2018.
- LUO, K., HU, X., HE, Q., et al. Impacts of rapid urbanization on the water quality and macroinvertebrate communities of streams: A case study in Liangjiang New Area, China, *Science of the Total Environment*, v. 621, p. 1601-1614, 2018.
- LUO, Zengliang et al. Impact of land use and urbanization on river water quality and ecology in a dam dominated basin. *Journal of Hydrology*, v. 584, p. 124655, 2020.
- MACHADO, Enéas Souza, KNAPIK, Heloíse Garcia e BITENCOURT, Camila de Carvalho Almeida de. Considerações sobre o processo de enquadramento de corpos de água. *Engenharia Sanitária e Ambiental* [online]. 2019, v. 24, n. 02 [Acessado 30 Novembro 2021], pp. 261-269. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522019181252>>. Epub 30 Maio 2019. ISSN 1809-4457. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019181252>.
- MAHANTY, B., LHAMO, P., SAHOO, N. K. Inconsistency of ACP-based water quality index- Does it reflect the quality?, *Science of The Total Environment*, n. 866, p. 161353, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.161353>.
- MALAH, A., BAHİ, H. Integrated multivariate data analysis for Urban Sustainability Assessment, a case study of Casablanca city, *Sustainable Cities and Society*, v. 86, p. 104100, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.104100>.
- MASSA, K. H. C., CHIAVEGATTO FILHO, A. D. P. Saneamento básico e saúde autoavaliada nas capitais brasileiras: uma análise multinível, *Revista Brasileira de Epidemiologia*, v. 23, p. e200050, 2020. DOI: 10.1590/1980-549720200050.
- MAYNARD, I. F. N., BORTOLUZZI, P. C., NASCIMENTO, L. M., et al. Analysis of the occurrence of microplastics in beach sand on the Brazilian coast, *Science of The Total Environment*, v. 771, p. 144777, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144777>.
- MELLO, K., VALENTE, R. A., RANDHIR, T. O., et al. Effects of land use and land cover on water quality of low-order streams in Southeastern Brazil: Watershed versus riparian zone, *Catena*, v. 167, p. 130-138, 2018.
- MELLO, Kaline et al. Multiscale land use impacts on water quality: Assessment, planning, and future perspectives in Brazil. *Journal of Environmental Management*, v. 270, p. 110879, 2020.
- METCALF, Leonard; EDDY, Harrison P. *Tratamento de efluentes e recuperação de recursos*. Porto Alegre: McGraw Hill Brasil, 2016.

MIGUEL-CHINCHILLA, Leticia *et al.* Local and landscape influences on turbidity in urban streams: a global approach using citizen scientists. *Freshwater Science*, v. 38, n. 2, p. 303-320, 2019.

MMAa. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. *Programa 1043 – Qualidade Ambiental Urbana*. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/centrais-de-conteudo/programa-201043-20-20qualidade-20ambiental-20urbana-pdf>. Acessado: nov 2022.

_____. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Indicadores Ambientais Nacionais. **Portal de Dados Abertos**. Disponível em: <https://dados.mma.gov.br/dataset/indicadores>. Acessado: nov 2022.

MISHRA, A., ALNAHIT, A., CAMPBELL, B. Impact of land uses, drought, flood, wildfire, and cascading events on water quality and microbial communities: A review and analysis, *Journal of Hydrology*, v. 596, p. 125707, 2021.

MOTA, L. S. O. *Avaliação geoecológica e dos riscos ambientais na paisagem costeira de Aracaju/SE*. 2017. 332 f. [Tese] São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2017.

NAFI'SHEHAB, Zakariya *et al.* Spatial variation impact of landscape patterns and land use on water quality across an urbanized watershed in Bentong, Malaysia. *Ecological Indicators*, v. 122, p. 107254, 2021.

NANCE, K M RAPPAZZO, E T JENSEN, K HOFFMAN, C C Cotton, A K KRAJEWSKI, K O TURNER, R M GENTA, D T LOBDELL, E S DELLON, Increased risk of eosinophilic esophagitis with poor environmental quality as measured by the Environmental Quality Index, *Diseases of the Esophagus*, Volume 34, Issue 12, December 2021, doab041, <https://doi-org.ez141.periodicos.capes.gov.br/10.1093/dote/doab041>

NEVES, M. A., ALVES, J. D. P. H., FONSECA, L. C., MACEDO, L. C. B. Qualidade da água do reservatório Jaime Umbelino–Barragem do poxim/Sergipe. *Interfaces Científicas-Saúde e Ambiente*, 5(1), 81-94, 2016.

OLIVEIRA, J. L. da M., COHEN, S. C., KLIGERMAN, D. C., *et al.* Os desafios do saneamento como promoção da saúde da população brasileira, *Saúde em Debate*, v. 43, p. 4-5, 2020. DOI: 10.1590/0103-11042019S300.

ONU. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. *Mais de 4,2 bilhões de pessoas vivem sem acesso a saneamento básico*. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/101526-mais-de-42-bilh%C3%B5es-de-pessoas-vivem-sem-acesso-saneamento-b%C3%A1sico>. Acessado em nov 2020.

OUYANG, Y. Evaluation of river water quality monitoring stations by principal component analysis., *Water research*, v. 39, n. 12, p. 2621-35, 2005.

OWUSU, C., FLANAGAN, B., LAVERY, A. M., *et al.* Developing a granular scale environmental burden index (EBI) for diverse land cover types across the contiguous United States, *Science of the Total Environment*, v. 838, p. 155908, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155908>.

PAIVA, R. F. da P. de S., SOUZA, M. F. da P. de. Associação entre condições socioeconômicas, sanitárias e de atenção básica e a morbidade hospitalar por doenças de veiculação hídrica no Brasil, *Cadernos de Saúde Pública*, v. 34, 2018. DOI: 10.1590/0102-311X00017316.

PAK, H. Y., CHUAH, C. J., YONG, E. L., *et al.* Effects of land use configuration, seasonality and point source on water quality in a tropical watershed: A case study of the Johor River Basin, *Science of the Total Environment*, v. 780, p. 146661, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.146661>.

PEIXOTO, J. de S. G., DA CUNHA, L. S., DO REGO, E. L., *et al.* Avaliação da qualidade dos recursos hídricos superficiais no alto curso da bacia hidrográfica do córrego Campo Alegre-

Goiás, *Geochimica Brasiliensis*, v. 31, n. 1, p. 1-1, 2017. DOI: 10.21715/GB2358-2812.2017301001.

PENG, S., LI, S. Scale relationship between landscape pattern and water quality in different pollution source areas: A case study of the Fuxian Lake watershed, China, *Ecological indicators*, v. 121, p. 107136, 2021.

PINTO, J. de S., BRAZIL, J. L. S. Estudos empíricos de impactos meteórico: questões básicas da consistência em Aracaju-SE, *Revista de Geografia (Recife)*, v. 33, n. 4, p. 111-131, 2016.

RABELO, J. N. EnOBRECIMEnTO URBAAnO dO BAIRRO TREZE DE JULHO EM ARACAJU: 1990-2000, TOMO - *Revista do Núcleo de Pós-Graduação e Pesquisa em Ciências Sociais*, n. 1, p. 157-195, 2010.

RAMOS, H. F., NUNES, F. G., SANTOS, A. M. dos. Índice de áreas verdes como estratégia ao desenvolvimento urbano sustentável das Regiões Norte, Noroeste e Meia Ponte de Goiânia-GO, Brasil, *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, v. 29, n. 1, p. 86-101, 2020. DOI: 10.15446/rcdg.v29.n1.72844.

REVERTE, F. C., GARCIA, M. da G. M., BRILHA, J., et al. Assessment of impacts on ecosystem services provided by geodiversity in highly urbanized areas: A case study of the Taubaté Basin, Brazil, *Environmental Science & Policy*, v. 112, p. 91-106, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2020.05.015>.

SALES, José Wilker de F. et al. Indicadores de qualidade de água utilizando técnicas de análise multivariada. *Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, v. 18, p. 37-48, 2009.

SANTANA, J. L. S. de; SANTOS, C.; LEAHY, M. A. Diagnóstico ambiental e gestão das águas urbanas no canal Airton Teles, localizado em Aracaju no estado de Sergipe. In: 2º CONGRESSO INTERNACIONAL - RESAG: GESTÃO DA ÁGUA E MONITORAMENTO AMBIENTAL, 2015, Aracaju. **Anais**. Sergipe: RESAG, 2015. ID77. Disponível em: <http://www.resag.org.br/congressoresag2015/anais/img/pdfs/ID_77.pdf>.

SANTANA, L. B. de. *Fragilidade e vulnerabilidade socioambiental na região metropolitana de Aracaju/SE*. 2019. Pós-Graduação em Geografia, 2019.

SANTOS, R. C. L., LIMA, Á. S., CAVALCANTI, E. B., et al. Aplicação de Índices para avaliação da qualidade da água da Bacia Costeira do Sapucaia em Sergipe, *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 23, p. 33-46, 2017. DOI: 10.1590/S1413-41522017159832.

SÃO PAULO. Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística. *Relatórios de Qualidade Ambiental*. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/cpla/category/pub/relatorio-de-qualidade-ambiental/>. Acessado em: nov 2022.

SERGIPE - SEMARH. *Gestão Integrada das Águas Urbanas em Aracaju-SE/Brasil*. Sergipe, 2010. 54 p. Disponível em: <http://www.semarh.se.gov.br/wp-content/uploads/2017/02/gestao_integrada_aguas_urbanas_aracaju.pdf>.

SETIA, R., DHALIWAL, S. S., KUMAR, V., et al. Impact assessment of metal contamination in surface water of Sutlej River (India) on human health risks, *Environmental Pollution*, v. 265, p. 114907, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.114907>.

SHI, B.; BACH, P. M.; LINTERN, A.; ZHANG, K.; COLEMAN, R.A.; METZELING, L.; MCCARTHY, D. T.; DELETIC, A. Understanding spatiotemporal variability of in-stream water quality in urban environments – A case study of Melbourne, Australia. *Journal of Environmental Management*; 246 (2019): 203–213.

SHIBATA, T., SOLO-GABRIELE, H. M., FLEMING, L. E., et al. Monitoring marine recreational water quality using multiple microbial indicators in an urban tropical environment, *Water research*, v. 38, n. 13, p. 3119-3131, 2004. DOI: 10.1016/j.watres.2004.04.044.

SILVA, A. V. B. de A. *Qualidade ambiental urbana (IQAU) de bairros localizados às margens do rio Sergipe no município de Aracaju/SE*. 2020. Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, 2020.

SILVA, F. L., STEFANI, M. S., SMITH, W., *et al.* An applied ecological approach for the assessment of anthropogenic disturbances in urban wetlands and the contributor river, *Ecological Complexity*, v. 43, p. 100852, 2020.

SILVA, L. V.; NAZARIO, S. J. A.; SANTOS, A. A. F.; MOREIRA, F. D.; SILVA, F. V. Considerações sobre a qualidade das águas pluviais nos canais de drenagem urbana do município de Aracaju-se. In: XIII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 2016, Aracaju. **Anais**. Sergipe: ABRH, 2016. Disponível em: <http://www.evolvedoc.com.br/srhne/detalhes-161_consideracoes-sobre-a-qualidadedas-aguas-pluviais-nos-canais-de-drenagem-urbana-do-municipio-de-aracaju-se>.

SILVA, M. G. Ocupação atual da terra na bacia hidrográfica do rio poxim no estado de sergipe usando imagens do google earth, *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 8, n. 1, p. 01-11, 2019.

SILVEIRA, H. T., GARCIA, C. A. B., DOS SANTOS, J. K. P., *et al.* Aplicação de índices de qualidade da água para avaliação da barragem Jaime Umbelino de Souza, Sergipe, Brasil, *Research, Society and Development*, v. 11, n. 17, p. e66111738941-e66111738941, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v11i17.38941>.

SNIS. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. *Diagnóstico Temático: Serviços de Água e Esgoto*. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS, 2022.

SOUZA JR, C. M., Z. SHIMBO, J., ROSA, M. R., *et al.* Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine, *Remote Sensing*, v. 12, n. 17, p. 2735, 2020. DOI: [doi:10.3390/rs12172735](https://doi.org/10.3390/rs12172735).

SOUZA, K. I. S., CHAFFE, P. L. B., NOGUEIRA, T. M. P., *et al.* Environmental damage of urbanized stream corridors in a coastal plain in Southern Brazil, *Ocean & Coastal Management*, v. 211, p. 105739, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105739>.

SOUZA, R. R., DE COSTA, J. J., MELO, R., *et al.* Construção de modelo empírico para o monitoramento de recursos hídricos do Rio do Sal/Sergipe, *Brazilian Journal of Environmental Sciences (RBCIAMB)*, n. 08, p. 16-28, 2007.

STRATHMANN, M., HORSTKOTT, M., KOCH, C., *et al.* The River Ruhr-an urban river under particular interest for recreational use and as a raw water source for drinking water: the collaborative research project “Safe Ruhr”-microbiological aspects, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, v. 219, n. 7, p. 643-661, 2016.

STRATHMANN, M., HORSTKOTT, M., KOCH, C., *et al.* The River Ruhr-an urban river under particular interest for recreational use and as a raw water source for drinking water: the collaborative research project “Safe Ruhr”-microbiological aspects, *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, v. 219, n. 7, p. 643-661, 2016.

SUN, J., HU, Y., LI, Y., *et al.* A temporospatial assessment of environmental quality in urbanizing Ethiopia, *Journal of Environmental Management*, v. 332, p. 117431, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117431>.

TOPOGRAPHIC-MAO.COM. *Aracaju, Microrregião da Grande Aracaju, Mesorregião Leste Sergipano, Sergipe, Região Nordeste, Brasil (-10.91621 -37.07747)* Disponível em :<https://pt-br.topographic-map.com/maps/gnwj/Aracaju/>. Acessado em 04 ago 2019.

TREVISAN, D. P., DA CONCEIÇÃO BISPO, P., ALMEIDA, D., *et al.* Environmental vulnerability index: An evaluation of the water and the vegetation quality in a Brazilian Savanna

and Seasonal Forest biome, *Ecological Indicators*, v. 112, p. 106163, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106163>.

TROMBONI, F.; DODDS, W. K. Relationships between land use and stream nutrient concentrations in a highly urbanized tropical region of Brazil: thresholds and riparian zones. *Environmental Management*, v. 60, n. 1, p. 30-40, 2017.

UN-WATER. UNITED NATIONS WATER. *Water Quality and Wastewater*. UN-WATER 2021. Disponível em: < <https://www.unwater.org/water-facts/quality-and-wastewater/>>. Acessado em: 23 nov 2021.

USGS. US GEOLOGICAL SURVEY. The distribution of water on, in, and above the Earth. USGS, 2019 In: SHIKLAMONOV, Igor. *Water in Crisis: A Guide to the World's Fresh water Resources*. Disponível em: < <https://www.usgs.gov/media/images/distribution-water-and-above-earth>> Acessado em: 05 jan 2021.

VAROL, M., KARAKAYA, G., SÜNBÜL, M. R. Spatiotemporal variations, health risks, pollution status and possible sources of dissolved trace metal (loid) s in the Karasu River, Turkey, *Environmental Research.*, v. 202, p. 111733, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111733>.

VASCO, A. N., BRITTO, F. B., PEREIRA, A. P. S., *et al.* Avaliação espacial e temporal da qualidade da água na sub-bacia do rio Poxim, Sergipe, Brasil, *Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 6, n. 1, p. 118-130, 2011. DOI: 10.4136/ambiente.178.

VILLAS-BOAS, M. D., OLIVERA, F., DE AZEVEDO, J. P. S. Assessment of the water quality monitoring network of the Piabanha River experimental watersheds in Rio de Janeiro, Brazil, using autoassociative neural networks, *Environmental monitoring and assessment*, v. 189, p. 1-15, 2017. DOI: 10.1007/s10661-017-6134-9.

WAFIQ, A. N., SURYANTO, S. The Impact of Population Density and Economic Growth on Environmental Quality: Study in Indonesia, *Jurnal Ekonomi & Studi Pembangunan*, v. 22, n. 2, p. 301-312, 2021. DOI: 10.18196/jesp.v22i2.10533.

WANDERLEY, L. de L. A dinâmica geomorfológica e urbano-ambiental do sistema flúvio-marinho rio Sergipe-rio Poxim, em Aracaju, Sergipe, nordeste do Brasil, *Revista GeoNordeste*, v. XXIV, n. 2, 2013.

WHO. WORLD HEALTH ORGANIZATION. *1 in 3 people globally do not have access to safe drinking water*. World Health Organization, 2019. Disponível em:< <https://www.who.int/news/item/18-06-2019-1-in-3-people-globally-do-not-have-access-to-safe-drinking-water-unicef-who>> Acessado em: 23 nov 2021.

WIENS, Simone; SILVA, Christian Luiz. Environmental quality index for neighbourhoods of Curitiba. *Urban Public Economics Review*, n. 11, p. 80-104, 2009.

WOLF, M. J, EMERSON, J. W., ESTY, D. C., de SHERBININ, A., WENDLING, Z. A., *et al.* . 2022 Environmental Performance Index. New Haven, CT: *Yale Center for Environmental Law & Policy*, 2022. epi.yale.edu

WU, Y., TAO, Y., YANG, G., *et al.* Impact of land use change on multiple ecosystem services in the rapidly urbanizing Kunshan City of China: Past trajectories and future projections, *Land use policy*, v. 85, p. 419-427, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.04.022>.

XIE, Y., YU, X., NG, N. C., *et al.* Exploring the dynamic correlation of landscape composition and habitat fragmentation with surface water quality in the Shenzhen river and deep bay cross-border watershed, China, *Ecological Indicators*, v. 90, p. 231-246, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.051>.

XU, Guoce *et al.* Seasonal changes in water quality and its main influencing factors in the Dan River basin. *Catena*, v. 173, p. 131-140, 2019.

YU, S., XU, Z., WU, W., *et al.* Effect of land use types on stream water quality under seasonal variation and topographic characteristics in the Wei River basin, China, *Ecological Indicators.*, v. 60, p. 202-212, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.06.029>.

YUAN, Jingjing *et al.* Urbanization, rural development and environmental health in China. *Environmental Development*, v. 28, p. 101-110, 2018.

YUNUS, A. P., MASAGO, Y., HIJIOKA, Y. COVID-19 and surface water quality: Improved lake water quality during the lockdown, *Science of The Total Environment*, p. 139012, 2020.

ZHANG, L., YANG, J., LI, D., *et al.* Evaluation of the ecological civilization index of China based on the double benchmark progressive method, *Journal of Cleaner Production*, v. 222, p. 511-519, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.173>.

ZHANG, X., CHEN, L., SHEN, Z. Impacts of rapid urbanization on characteristics, sources and variation of fecal coliform at watershed scale, *Journal of Environmental Management*, v. 286, p. 112195, 2021.

APÊNDICE

APÊNDICE A

Tabela 13: Estatística descrita dos parâmetros físico, químicos e biológicos do período de 2019 a 2021

Pontos	Temperatura (°C)				pH				Condutividade (mS/cm)			
	Média	Máx	Min	Dev pad	Média	Máx	Min	Dev pad	Média	Máx	Min	Dev pad
1	30,77	34,05	27,30	2,27	7,35	8,10	5,70	0,87	30,91	61,42	3,93	23,00
2	32,73	36,35	30,26	2,22	7,78	8,96	6,02	1,03	0,73	1,06	0,48	0,26
3	30,42	32,12	28,19	1,41	7,28	8,42	5,15	1,19	4,43	29,94	0,51	10,31
4	30,53	32,91	27,13	2,28	7,30	8,50	5,31	1,07	0,60	0,99	0,29	0,27
5	30,25	32,15	27,10	1,91	7,17	8,34	5,19	1,10	0,95	1,38	0,60	0,32
6	30,10	33,31	26,66	2,23	7,04	8,21	5,32	0,99	0,81	1,23	0,49	0,27
7	29,66	32,60	26,02	2,35	7,06	8,14	6,04	0,72	13,95	49,20	0,49	20,20
8	31,40	34,94	26,87	2,83	7,41	8,90	6,39	0,96	0,71	1,24	0,40	0,30
9	31,01	35,11	26,76	2,87	7,27	8,70	6,24	0,81	0,89	1,48	0,22	0,44
10	30,19	35,37	27,32	2,58	7,43	8,40	6,14	0,86	0,88	1,68	0,38	0,40
11	28,96	30,90	27,13	1,46	6,75	7,58	5,41	0,88	0,69	1,71	0,38	0,48
12	27,15	28,70	24,57	1,56	6,97	7,98	5,61	0,81	0,51	1,60	0,23	0,46
13	27,75	29,80	24,95	1,93	7,00	7,97	5,67	0,83	10,34	52,75	0,37	19,19
14	27,94	30,22	24,83	2,06	6,89	7,84	5,81	0,77	10,14	36,47	0,88	14,47
15	28,37	31,79	25,06	2,39	7,02	8,14	5,68	0,80	11,59	47,97	2,33	15,22

Pontos	Turbidez NTU)				OD (mg/L)				STD (mg/L)			
	Média	Máx	Min	Dev pad	Média	Máx	Min	Dev pad	Média	Máx	Min	Dev pad
1	52,19	101,25	10,58	29,66	1,87	101,25	3,93	34,93	14,60	36,87	0,80	13,43
2	74,21	196,75	14,70	55,63	3,80	196,75	0,48	68,75	0,45	0,68	0,24	0,18
3	132,73	271,50	54,00	78,01	2,11	271,50	0,51	95,00	2,72	18,52	0,27	6,39
4	122,75	271,14	13,59	101,94	2,55	271,14	0,29	97,46	0,36	0,63	0,19	0,18
5	209,06	444,80	53,00	121,27	1,63	444,80	0,60	159,94	0,59	0,88	0,24	0,23

6	100,34	199,00	32,00	50,78	1,76	199,00	0,49	71,42	0,49	0,79	0,26	0,20
7	60,38	122,60	19,66	36,19	2,40	122,60	0,49	41,32	8,51	30,00	0,28	12,35
8	123,51	192,50	30,00	54,28	6,48	192,50	0,40	72,51	0,51	0,80	0,25	0,22
9	248,12	358,75	63,80	90,87	2,57	358,75	0,22	139,00	0,54	0,95	0,14	0,30
10	103,59	355,60	19,60	117,12	2,72	355,60	0,38	123,57	0,54	1,07	0,25	0,28
11	127,52	493,00	15,25	166,09	5,30	493,00	0,38	171,78	0,44	1,10	0,23	0,31
12	63,04	394,20	2,58	134,22	3,05	394,20	0,23	136,89	0,33	1,02	0,15	0,29
13	44,25	75,77	10,93	19,63	2,38	75,77	0,37	27,76	6,19	31,63	0,24	11,60
14	63,02	135,29	23,60	38,35	2,40	135,29	0,88	45,27	5,84	22,26	0,56	9,04
15	64,27	173,40	21,80	51,60	2,53	173,40	2,33	57,53	6,36	29,23	1,49	9,43

Pontos	Salinidade (%)				DQO (mg/L)				NH ₃ (mg/L)			
	Média	Máx	Min	Dev pad	Média	Máx	Min	Dev pad	Média	Máx	Min	Dev pad
1	1,55	4,13	0,20	1,47					16,31	23,30	5,94	8,37
2	0,03	0,05	0,02	0,01	198,26	1169,38	11,36	428,67	25,35	61,16	1,01	25,97
3	0,26	1,85	0,02	0,64	128,13	195,07	68,76	54,85	14,98	25,20	2,41	10,69
4	0,03	0,05	0,01	0,02	236,21	1211,58	29,93	431,46	11,72	25,54	2,13	10,69
5	0,05	0,07	0,03	0,02	123,44	240,28	60,32	59,48	11,05	32,65	3,79	12,30
6	0,04	0,06	0,02	0,02	225,55	1127,17	24,87	398,69	10,82	23,48	0,56	9,52
7	0,88	3,22	0,02	1,31	231,27	886,43	18,56	371,20	5,77	16,80	0,00	9,56
8	0,04	0,06	0,02	0,01	156,37	350,58	38,37	123,67	39,41	68,71	13,66	27,70
9	0,04	0,07	0,01	0,02	219,03	498,89	84,68	149,75	55,71	181,38	5,21	74,19
10	0,04	0,08	0,02	0,02	105,02	350,58	5,89	140,35	60,86	194,21	0,84	91,42
11	0,03	0,09	0,02	0,03	93,18	170,50	15,86	109,34	18,54	32,14	0,34	16,40
12	0,02	0,08	0,01	0,02	11,31	22,62	0,00	15,99	16,12	23,30	1,90	12,31
13	0,66	3,48	0,02	1,26	428,37	1028,69	3,08	534,74	14,01	40,33	0,67	22,80
14	0,62	2,30	0,04	0,92	111,17	314,68	8,71	176,25	30,03	58,95	1,12	40,89
15	0,70	3,13	0,12	1,01	41,07	41,07	41,07		21,85	60,48	1,40	33,47

Pontos	Fósforo total (mgP/L)				Coliformes termotolerantes (logUFC/100mL)				Cloreto (mg/L)			
	Média	Máx	Min	Dev pad	Média	Máx	Min	Dev pad	Média	Máx	Min	Dev pad
1	4,80	14,12	0,38	5,90	6,37	7,85	2,26	1,78	9480,34	22559,79	1609,25	8273,63
2	6,31	21,81	0,44	8,63	6,41	7,68	3,10	1,47	120,85	457,75	45,85	149,46
3	8,06	28,35	0,78	11,24	7,71	8,68	6,92	0,55	177,79	678,27	72,15	222,40
4	7,65	29,38	0,23	11,73	7,62	10,26	6,30	1,23	654,91	3925,90	30,17	1446,73
5	4,09	15,66	0,31	5,77	8,04	8,60	7,58	0,36	243,09	808,31	67,79	284,83
6	6,07	22,48	0,25	8,65	7,59	8,56	6,87	0,51	240,27	669,24	65,09	266,79
7	2,16	8,04	0,25	2,73	6,58	8,00	5,85	0,86	3614,48	8783,77	112,77	3842,08
8	6,87	27,12	0,05	10,18	7,50	8,38	6,60	0,52	81,90	144,31	48,30	35,76
9	8,43	33,26	0,40	12,37	7,55	8,18	5,65	0,85	257,15	777,83	69,58	283,52
10	8,10	34,38	0,18	12,90	6,71	7,23	5,81	0,55	91,17	155,67	60,52	34,63
11	1,10	3,06	0,17	1,31	3,83	5,92	0,00	2,16	195,03	521,67	63,84	182,89
12	0,53	1,95	0,01	0,77	2,50	4,11	0,00	1,68	795,30	4567,52	29,70	1848,01
13	1,08	3,34	0,04	1,24	4,87	6,00	0,00	1,98	2559,73	12208,29	51,72	4767,71
14	1,51	6,19	0,15	2,17	5,08	6,48	2,60	1,35	2552,52	9479,49	167,49	3943,85
15	1,40	5,53	0,23	1,87	5,57	6,38	4,69	0,56	4162,20	11721,53	331,63	4409,96