



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCIÊNCIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOQUÍMICA E FISIOLÓGIA

JAQUELINE DOS SANTOS SILVA

**CARACTERIZAÇÃO DAS ÁGUAS DO RIO CAPIBARIBE (RECIFE - PERNAMBUCO) E
SUA RELAÇÃO COM A SAÚDE PÚBLICA E AMBIENTAL**

Recife - PE,
2023

JAQUELINE DOS SANTOS SILVA

**CARACTERIZAÇÃO DAS AGUAS DO RIO CAPIBARIBE (RECIFE - PERNAMBUCO) E
SUA RELAÇÃO COM A SAÚDE PÚBLICA E AMBIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioquímica e Fisiologia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestra em Bioquímica e Fisiologia. Área de concentração: Bioquímica E Fisiologia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Betânia Melo de Oliveira

Coorientadora: Dr^a. Sivoneide Maria da Silva

Recife - PE,

2023

Catálogo na Fonte:
Bibliotecário: Marcos Antonio Soares da Silva
CRB4/1381

Silva, Jaqueline dos Santos.

Caracterização das águas do rio Capibaribe (Recife - Pernambuco) e sua relação com a saúde pública. / Jaqueline dos Santos Silva – 2023.

78 f. : il., fig., tab.

Orientadora: Maria Betânia Melo de Oliveira.

Coorientadora: Sivoneide Maria da Silva

Mestrado (dissertação) – Programa de Pós-Graduação em Bioquímica e Fisiologia da Universidade Federal de Pernambuco, 2023.

Inclui referências.

1. Ecotoxicologia. 2. Resistência Microbiana. 3. Vigilância Ambiental. 4. Saúde. Oliveira, Maria Betânia Melo de (Orient.). II. Silva, Sivoneide Maria da (Coorient.). III. Título.

JAQUELINE DOS SANTOS SILVA

**CARACTERIZAÇÃO DAS AGUAS DO RIO CAPIBARIBE (RECIFE - PERNAMBUCO) E
SUA RELAÇÃO COM A SAÚDE PÚBLICA E AMBIENTAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Bioquímica e Fisiologia da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Biociência, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Bioquímica e Fisiologia. Área de concentração: Bioquímica e Fisiologia.

Aprovado em: 09/03/2023.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Maria Betânia Melo de Oliveira (Orientadora)
Departamento de Bioquímica – Centro de Biociências
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Patrícia Maria Guedes Paiva (Membro interno)
Departamento de Bioquímica – Centro de Biociências
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Gláucia Manoella de Souza Lima (Membro externo)
Departamento de Antibióticos – Centro de Biociências
Universidade Federal de Pernambuco

Dr^a. Marlyete Chagas de Araújo (Membro externo)
Departamento de Bioquímica – Centro de Biociências
Universidade Federal de Pernambuco

*“Dedico este trabalho à Deus, aos meus pais Izabel Maria e Givanildo Silva,
a minha irmã Gessica Silva e ao meu noivo Jefferson Rodrigues
pelo cuidado e amor que recebo de todos.”*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela vida e por todas as oportunidades que têm me dado, pelas promessas realizadas em minha vida, pela força e coragem para lutar diariamente, por todas as vitórias alcançadas, seu infinito amor e principalmente por sua presença constante em minha vida.

À minha querida mãe, Izabel Maria, pelo amor, incentivo, esforço e dedicação para contribuir com minha formação pessoal e profissional. Por ser minha fonte de inspiração!

À minha irmã Gessica Silva, que sempre esteve ao meu lado, incentivando e apoiando; pelo carinho, atenção e por sempre acreditar em mim. Você é a melhor irmã que eu poderia ter!

Ao meu noivo querido, Jefferson Rodrigues, que sempre acreditou em mim e esteve ao meu lado nos melhores e piores dias. Obrigada pelo seu amor, companheirismo, paciência e ajuda de sempre.

Pelo meu pai Givanildo Silva, que mesmo distante contribuiu para minha formação pessoal e profissional.

À minha família: avó, avô, tios, tias, primos e primas que sempre vibram por cada conquista minha e por todo amor e carinho.

À minha querida orientadora, Prof^a. Dr^a. Maria Betânia Melo de Oliveira, pela oportunidade de ser sua orientanda, pelo esforço e dedicação em compartilhar seus conhecimentos científicos, pela orientação, incentivo, amizade, carinho e por ser essa pessoa extraordinária. Agradeço a Deus por tê-la colocado no meu caminho e serei eternamente grata por tudo.

À minha querida co-orientadora, Dr^a. Sivoneide Maria da Silva, por toda orientação, incentivo e disposição. Por ser essa pessoa maravilhosa que está sempre disposta a ajudar!

À Dr^a. Livia Caroline Alexandre de Araújo, pela ajuda, disponibilidade, carinho e contribuição no desenvolvimento desse trabalho.

As minhas queridas, Ângela e Elisa pela amizade, por ter dividido todos os momentos nessa caminhada. Gratidão por tudo, vocês são especiais!

A todos os amigos que fiz no Laboratório de Biologia Molecular, por compartilharem seus conhecimentos e experiências.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Bioquímica e Fisiologia da UFPE, pela contribuição na minha formação.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo suporte financeiro que possibilitou a realização desse trabalho.

Gratidão a todos!

“Se cheguei até aqui foi porque me apoiei no ombro de gigantes.”

Isaac Newton

RESUMO

O rio Capibaribe é considerado um dos principais rios do Estado de Pernambuco – situado no nordeste do Brasil. Este, apresenta uma extensão de 7.454,88 km² percorrendo todo o estado, desaguardo no oceano atlântico. O presente estudo teve como objetivo avaliar a qualidade da água deste ambiente por meio de parâmetros físico-químicos, parasitológicos e microbiológicos e correlacionar os dados obtidos com a saúde pública e ambiental. Para isto, foram realizadas coletas de águas superficiais em quatro pontos, denominados (P1-P4). Para as análises físico-químicas foram investigados os seguintes parâmetros: turbidez, Condutividade Elétrica (CE), Sólidos Totais Dissolvido (STD), temperatura, Potencial Hidrogeniônico (pH), nitrito e os metais: Alumínio (Al), Cálcio (Ca), Ferro (Fe), Potássio (K), Magnésio (Mg), Manganês (Mn), Molibdênio (Mn), Sódio (Na), Fósforo (P), Enxofre (S) e Vanádio (V). Para detecção de bactérias e parasitas na água foram feitas análises parasitológicas e microbiológicas. Os resultados físico-químicos evidenciaram valores acima do recomendado pela resolução 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) para alguns dos parâmetros investigados (CE; STD e metais), revelando que o ambiente estudado se encontra altamente impactado, fato comprovado pelas análises de coliformes totais e termotolerantes. Nestas, foram detectados altos níveis de contaminação fecal, principalmente no ponto P4 (7.7000000 NMP/100 mL de *Escherichia coli*, quando a legislação permite até 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mililitros). Em relação a análise parasitológica foram detectados os seguintes parasitas *Ascaris* sp. (P2, P3 e P4) e *Taenia* sp. (P4). Adicionalmente foi realizada a caracterização amostral da microbiota. Os isolados bacterianos foram caracterizados fenotípica e molecularmente e o perfil de resistência foi investigado para diferentes fármacos. Os resultados identificaram 51 espécies bacterianas, incluindo Gram-positivas (10) e Gram-negativas (41) distribuídas em 15 gêneros (*Staphylococcus*, *Bacillus*, *Klebsiella*, *Acinetobacter* e *Enterobacter*). Os pontos P2 e P3 foram os que apresentaram maior diversidade microbiana. Quanto ao perfil de resistência os dados são alarmantes. 5% das bactérias foram classificadas como Extensivamente-Droga Resistentes (XDR); 43% Multidrogras-resistentes (MDR) e 52% Não Droga Resistentes (N_MDR), estando àquelas com os perfis mais resistentes (XDR e MDR) nos pontos P3 e P4. Os dados obtidos demonstram uma relação entre os poluentes, os patógenos e as características locais de cada ponto investigado e revela a dinâmica de dispersão dos resíduos e sua contribuição para o crescimento, sobrevivência e permanência de patógenos neste ecossistema. Esta pesquisa demonstra a importância da vigilância ambiental e sua contribuição para estudos ecotoxicológicos e discute a ameaça dos contaminantes para a saúde ambiental e para a saúde pública.

Palavras-chave: Ecotoxicologia; Resistência Microbiana; Vigilância Ambiental; Saúde.

ABSTRACT

The Capibaribe River is considered one of the main rivers in the State of Pernambuco – located in the northeast of Brazil. This one has an extension of 7,454.88 km² covering the entire state, flowing into the Atlantic Ocean. The present study aimed to evaluate the water quality in this environment through physical-chemical, parasitological and microbiological parameters and to correlate the data obtained with public and environmental health. For this, surface water collections were carried out at four points, called (P1-P4). For the physical-chemical analysis, the following parameters were investigated: turbidity, Electrical Conductivity (EC), Total Dissolved Solids (TDS), temperature, Hydrogen Potential (pH), nitrite and metals: Aluminum (Al), Calcium (Ca), Iron (Fe), Potassium (K), Magnesium (Mg), Manganese (Mn), Molybdenum (Mn), Sodium (Na), Phosphorus (P), Sulfur (S) and Vanadium (V). Parasitological and microbiological analyzes were carried out to detect bacteria and parasites in the water. The physical-chemical results showed values above the recommended by resolution 357/2005 of the National Council for the Environment (CONAMA) for some of the investigated parameters (CE; STD and metals), revealing that the environment studied is highly impacted, a fact proven by the analysis of total and thermotolerant coliforms. In these, high levels of fecal contamination were detected, mainly at the P4 point (7,7000000 MPN/100 mL of *Escherichia coli*, when the legislation allows up to 1,000 thermotolerant coliforms per 100 milliliters). Regarding the parasitological analysis, the following parasites *Ascaris* sp. (P2, P3 and P4) and *Taenia* sp. (P4). Additionally the sample characterization of the microbiota was carried out. The bacterial isolates were characterized phenotypically and molecularly and the resistance profile was investigated for different drugs. The results identified 51 bacterial species, including Gram-positive (10) and Gram-negative (41) distributed in 15 genera (*Staphylococcus*, *Bacillus*, *Klebsiella*, *Acinetobacter* and *Enterobacter*). Points P2 and P3 were the ones with the greatest microbial diversity. As for the resistance profile, the data are alarming. 5% of the bacteria were classified as Extensively-Drug-Resistant (XDR); 43% Multidrug Resistant (MDR) and 52% Non-Drug Resistant (N_MDR), with those with the most resistant profiles (XDR and MDR) at points P3 and P4. The data obtained demonstrate a relationship between pollutants, pathogens and local characteristics of each point investigated and reveal the dynamics of waste dispersion and its contribution to the growth, survival and permanence of pathogens in this ecosystem. This research demonstrates the importance of environmental surveillance and its contribution to ecotoxicological studies and discusses the threat posed by contaminants to environmental and public health.

Keywords: Ecotoxicology; Microbial Resistance; Environmental Surveillance; Health.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Rotas utilizadas pelos pesticidas para contaminação de ambientes aquáticos.....	18
Figura 2 – Estratégia de sobrevivência dos microrganismos no ambiente impactado.....	24
Figura 3 – Esquemática dos mecanismos de ação dos antibióticos.....	27
Figura 4 – Resíduos às margens do Rio Capibaribe.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Riscos dos metais para o ambiente e organismos vivos	22
---	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 GERAL	15
2.2 ESPECÍFICOS	15
3 REFERENCIAL TEÓRICO	16
3.1 ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS E SUA CONTAMINAÇÃO	16
3.2 INDICADORES FÍSICO-QUÍMICOS PARA MONITORAMENTO DE AMBIENTES AQUÁTICOS	19
3.2.1 Turbidez	19
3.2.2 Condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos	20
3.2.3 Temperatura e pH	20
3.2.4 Nitrato e nitrito	21
3.2.5 Efeitos dos metais pesados em ambientes aquáticos	21
3.3 MICRORGANISMOS PATOGENICOS EM ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS IMPACTADOS	25
3.4 MECANISMO DE RESISTÊNCIA BACTERIANA A ANTIBIÓTICOS	26
3.5 MICRORGANISMOS INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA	28
3.6 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO RIO CAPIBARIBE	28
4 RESULTADOS	30
4.1 Artigo 1	30
5 CONCLUSÕES	62
REFERÊNCIAS	63

1 INTRODUÇÃO

A água é considerada uma substância essencial para um bom funcionamento e manutenção da vida. Em relação a quantidade total de água do planeta, apenas 0,3% encontra-se disponível para consumo humano, sendo armazenada em mananciais, lagos, rios e lençóis subterrâneos (RAUCCI, 2001). O Brasil possui cerca de 15% do volume hídrico mundial, possuindo uma das maiores bacias hidrográficas do mundo (VIEIRA PÓVOAS et al. 2020).

Inúmeros estudos demonstram o impacto ambiental sofrido nos ecossistemas aquáticos (ABDELSALAM et al. 2021; TAVENGWA and DALU 2022; OUÉDRAOGO et al. 2023). Vários contaminantes presentes em rios e mares são provenientes de efluentes industriais, hospitalares, domésticos e da agricultura, os quais provocam alterações nas características físico-químicas da água comprometendo a sua qualidade (SANGANYADO and KAJAU 2022). Dentre os principais, destacam-se os metais pesados, responsáveis por provocar modificações na estrutura e na função de diversos organismos, causando danos bioquímicos, fisiológicos e genéticos (DIXIT et al., 2015).

Em um estudo realizado pela Agência Nacional das Águas (ANA) em 2017 foi comprovado que cerca de 81% dos centros urbanos brasileiros lançam em média 50% do esgoto produzido, em cursos de rios próximos, o que torna estes ambientes altamente impactados, gerando não apenas o impacto químico, mas também a proliferação de microrganismos (COSTA, 2017). Nos últimos anos, houve um aumento no número de casos de doenças infecciosas tais como cólera, quadros diarreicos, disenterias e febres entéricas adquiridas por meio da ingestão de águas contaminadas por patógenos, elevando o aumento da morbidade e mortalidade entre as populações mais carentes (GOMES; SILVA, 2019; MOURA-JUNIOR, 2012), sendo cada vez mais necessária estudos de vigilância ambiental nestes ecossistemas.

A resistência bacteriana a antibióticos tem despertado atenção de pesquisadores do mundo todo, uma vez que a pressão seletiva sobre as bactérias têm contribuído para o surgimento de mecanismos de defesa desses microrganismos (NAPPIER et al. 2020). Esses patógenos são capazes de compartilhar genes de resistência por meio da Transferência Horizontal de Genes (TGH), favorecendo sua permanência na água (BURMEISTER 2015; VENTOLA 2015; SCHIJVEN et al. 2015). Segundo ZHU et al., (2017) os ambientes aquáticos apresentam condições ideais para a disseminação da resistência a antibióticos e, cada vez mais, estão sendo apontados como veículo de transmissão de patógenos oportunistas (SIEGWALD and DE JONG 2020; ABDELSALAM et al. 2021; SILVA et al. 2021).

O Rio Capibaribe é considerado um dos principais rios do estado de Pernambuco, e está localizado mais precisamente na Serra do Jacarará, entre os municípios de Jataúba e Poção do estado Pernambucano. Esta bacia abrange uma área com cerca de 7.454,88 km² de extensão, percorrendo aproximadamente 42 municípios e desempenhando funções importantes para a população, como: recreação, turismo, pesca e agricultura. Contudo, o crescimento das cidades provocou a ocupação de terrenos, desobedecendo às normas ambientais e sem apresentar infraestrutura sanitária, o que vem contribuindo para deterioração ambiental, assim como para o aumento da poluição aquática (DE OLIVEIRA et al., 2022; ARRUDA-SANTOS et al., 2023).

Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade da água do rio Capibaribe, por meio de parâmetros físico-químicos, parasitológicos e microbiológicos e relacionar os dados obtidos com a saúde pública e ambiental.

2 OBJETIVOS

2. 1 Geral

Avaliar a qualidade da água do rio Capibaribe, por meio de parâmetros físico-químicos, parasitológicos e microbiológicos, relacionando os dados obtidos com a saúde pública.

2. 2 Específicos

- Avaliar físico-quimicamente amostras de águas deste ambiente em um gradiente de contaminação e comparar os resultados obtidos com a legislação vigente nacional;
- Verificar quantitativamente e qualitativamente os coliformes totais, termotolerantes e de parasitas humanos nos diferentes pontos de coleta;
- Identificar fenotípica e molecularmente as espécies microbianas isoladas, bem como determinar o perfil de suscetibilidade/resistência antimicrobiana;
- Relacionar os dados obtidos com as atividades antropogênicas do entorno deste ambiente.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 ECOSISTEMAS AQUÁTICOS E SUA CONTAMINAÇÃO

A água é fundamental para a sobrevivência dos seres vivos no planeta (SILVA, 2019). Garantir o fornecimento de água potável, com padrões de qualidade satisfatórios é essencial para assegurar a saúde. A Organização Mundial da Saúde (OMS), estimula os governos a criarem diretrizes que possibilitem o fornecimento de uma água de qualidade e segura para a população (SALVADOR, 2020).

Os ecossistemas aquáticos são ambientes que possibilitam uma interação constante entre os fatores bióticos e abióticos presentes; e são classificados em dois tipos: o “ecossistema marinho” e o de “água doce” (BARANGE et al. 2010; BASHIR et al. 2020). O marinho cobre aproximadamente 70% da superfície terrestre, considerado o maior, quando comparado aos de água doce que cobrem menos de 1% da superfície da terra (BASHIR et al. 2020). Ambos são utilizados para transporte, alimentação e recreação e, nos últimos anos, tem-se extraído substâncias dos ecossistemas marinhos para fabricação de fertilizantes, aditivos e cosméticos (HÄDER et al. 2020). Já os de água doce são frequentemente utilizados para consumo humano, higienização, usos agrícolas e industriais (HÄDER et al. 2020). Entretanto, o aumento da poluição nesses ambientes representa uma ameaça para a saúde pública e tem causado preocupação entre a sociedade, a comunidade científica e os órgãos fiscalizadores.

Atualmente, corpos d'água em todo o mundo vem sofrendo com o volume de poluição proveniente das atividades antrópicas (IGHALO et al. 2020; ADELODUN et al. 2021). O desenvolvimento urbano, desflorestamento, agricultura, atividades industriais, hospitalares e domésticas, afetam diretamente o abastecimento de água potável, e a sobrevivência de espécies em ambientes de água doce e salgada (VERHOUGSTRAETE et al. 2015; BASHIR et al. 2020; HÄDER et al. 2020). Uma das principais fontes de poluição destes ambientes, é industrial, apesar de que o nível de poluição gerada pelo uso doméstico também seja significativo, além de sua disseminação pelo vento ou pela água o que torna este fato ainda mais preocupante, um exemplo claro disto é a fuligem oriunda da queima de combustível (HÄDER et al. 2020).

O despejo de vazamentos industriais, resíduos químicos e sólidos em ambientes aquáticos interfere significativamente na qualidade da água (HAMPEL et al. 2015). Esses resíduos podem ser metais pesados, agroquímicos, solventes industriais, produtos de higiene pessoal, elementos radioativos, compostos orgânicos voláteis, produtos domésticos, nanopartículas, microplásticos, combustão de combustível e compostos farmacêuticos

(HAMPEL et al. 2015; SARAVANAN et al. 2022), representando, portanto, um problema mundial tanto nos países desenvolvidos quanto nos que estão em desenvolvimento.

A contaminação de corpos d'água por metais pesados é um dos temas mais discutidos atualmente e representa uma grande ameaça à qualidade da água para contato humano. Os metais são um grupo de elementos químicos formado pelo Cádmio (Cd), Zinco (Zn), Estanho (Sn), Chumbo (Pb), Vanádio (V), Mercúrio (Hg), Arsênio (As), Prata (Ag), Alumínio (Al), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Ferro (Fe) e Platina (Pt). Possuem como característica principal maior densidade e maior massa atômica (GU et al. 2018; WANG et al. 2021). Dentre os classificados como menos tóxicos, encontra-se o Sn. Já o Hg, As, Cd, Pb e V são considerados altamente tóxicos mesmo em baixas concentrações, podendo ser, inclusive, letais (YAZDANKHAH et al. 2018; SQUADRONE 2020). Uma vez lançados no ambiente esses compostos tendem a se distribuir nos diferentes compartimentos: água sedimento e biota. Essas substâncias não são biodegradáveis e desta forma, tendem a se acumular, nesses compartimentos, onde manifestam sua toxicidade (NUNES et al., 2014). Por este motivo, os metais pesados são alvos de preocupação por parte dos programas de monitoramento e legislação ambiental (MANSOURI et al., 2012).

A agricultura também possui sua parcela de contribuição nessa teia de contaminantes, visto que faz uso de 70% da água a nível global, despejando quantidades significativas de agroquímicos e matéria orgânica de terras agrícolas em canais de água, comprometendo esses ambientes e gerando riscos para a saúde humana (HORAK; HORN; PIETERS, 2021; UNEP 2016; MATEO-SAGASTA, 2017). Os agrotóxicos também chamados de defensivos agrícolas, estão sempre em contato com o meio ambiente, chegam a ele através do escoamento e lixiviação de águas pluviais, irrigação e drenagem ou pela pulverização, conforme mostrado na Figura 1. O escoamento e lixiviação, estão envolvidos na poluição de reservatórios, lagos e rios (ARAÚJO et al. 2020).

Estes agroquímicos podem ser divididos em: pesticidas, fertilizantes, reguladores de crescimento e condicionadores de solo. O uso exacerbado e desregulado dessas substâncias provoca danos no ecossistema do solo e da água. E, embora presentes em quantidades mínimas nesses ambientes apresentam efeitos tóxicos em humanos e são bioacumulativos provocando doenças agudas e crônicas em todos os seres vivos através da cadeia alimentar (KOLI et al. 2019; PAROLINI 2020; HORAK et al. 2021).

Figura 1. Descrição das diferentes rotas utilizadas pelos pesticidas para contaminação de ambientes aquáticos



Fonte: Adaptado de ARAÚJO et al., (2020)

Outros poluentes frequentemente detectados nestes ambientes correspondem aos nanoplásticos e microplásticos, os quais representam ameaça eminente para os ecossistemas aquáticos. Apenas no oceano, existe um quantitativo aproximado de 8 milhões de toneladas de resíduos plásticos a cada ano e uma estimativa de que até 2050 o peso dos plásticos marinhos excederá o dos peixes (WANG et al. 2019). Esses resíduos plásticos quando presentes nesses ambientes são inevitavelmente ingeridos pelos animais aquáticos (peixes, tartarugas, bivalves e crustáceos) provocando obstrução no trato digestivo (DE SÁ et al. 2018; GALLO et al. 2018), e potenciais riscos para saúde humana, como: efeitos carcinogênicos, citotóxicos em células cerebrais e epiteliais, genotóxicos, aumento das moléculas reativas de oxigênio, estresse oxidativo, citólise, alterações metabólicas e imunológicas, dentre outros (CHIU et al. 2014; SCHIRINZI et al. 2017; PRATA 2018; RAHMAN et al. 2021).

Outro fator que vem chamando atenção dos órgãos ambientais fiscalizadores são os resíduos farmacêuticos. A contaminação de ambientes aquáticos pela introdução desses resíduos tornou-se uma problemática mundial, devido sua capacidade de causar sérios danos à saúde humana (SARAVANAN et al. 2022). Esses contaminantes atingem o solo, subsolo, rios e oceanos por meio de materiais expelidos pelo corpo como fezes e urina ou por meio do

descarte de produtos que ultrapassaram o prazo de validade ou sobra de medicamentos despejados direto no ambiente (SOUSA et al., 2018; ARAÚJO et al., 2021).

A contaminação dos corpos hídricos acontece à medida que essas substâncias nocivas chegam ao leito dos rios, lagos e oceanos. A presença desses contaminantes possui ação direta sobre a biota aquática gerando-lhe modificações, além de causar efeitos negativos ao organismo humano (KARIMI-MALEH et al. 2022). Além disso, estimulam o crescimento de espécies microbianas resistentes a uma faixa de antibióticos, o que vem chamando a atenção da comunidade científica (PAKZAD et al. 2020).

3.2 INDICADORES FÍSICO-QUÍMICOS PARA MONITORAMENTO DE AMBIENTES AQUÁTICOS

São vários os indicadores físico-químicos para o monitoramento de ambientes aquáticos. No Brasil, estes são determinados pela Resolução nº 357, 2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), os quais correspondem aos seguintes parâmetros: Turbidez, Condutividade Elétrica (CE), Sólidos Totais Dissolvido (STD), temperatura, pH, nitrito e nitrato. Abaixo, encontram-se as características para cada parâmetro.

3.2.1 Turbidez

Alguns dos muitos parâmetros utilizados para avaliar a qualidade da água com base no CONAMA, são turbidez, CE, STD, temperatura, pH, nitrito e nitrato. Em relação a turbidez, altos níveis deste parâmetro na água nos sistemas de distribuição, é um problema cada vez mais discutido na literatura. A turbidez é causada pela presença de matérias sólidas orgânicas e inorgânicas em suspensão. É um parâmetro físico que expressa o grau de atenuação da luz causado pela sua falta de propagação devido à quantidade de partículas suspensas (DAVIES-COLLEY AND SMITH 2001; MEYERS ET AL. 2017). Vários trabalhos relatam que as propriedades físico-químicas dos lagos podem ser afetadas pela turbidez (BURPEE et al. 2018; KOSTASCHUK et al. 2021), uma vez que as espécies e a estrutura das comunidades biológicas que vivem nesses ecossistemas podem sofrer desequilíbrios, devido alterações na sua estabilidade (BURPEE et al. 2018; CHAPARRO-HERRERA et al. 2020; LAIRD et al. 2021). Este parâmetro é responsável também, pelo aumento da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), normalmente associada as altas cargas sedimentares (HUDSON and VANDERGUCHT 2015). A alteração da produção primária, oriunda da atenuação da luz, é um outro efeito da turbidez nos lagos (DUBOURG et al. 2015; ZHOU et al. 2018).

3.2.2 Condutividade elétrica (CE) e Sólidos Totais Dissolvidos (STD)

A CE está entre as propriedades termofísicas mais importantes e consiste na capacidade da água conduzir corrente elétrica (NABATI SHOGHL et al. 2016; VASCONCELOS et al. 2019). Além disso, é um dos métodos mais utilizados quando se trata de avaliar o nível de poluição da água, por ser considerado uma opção de baixo custo. Os valores de CE dependem da quantidade de impurezas, mobilidade e temperatura da solução (S. BARAL, R. KHANAL, 2016; SHRESTHA et al., 2017; TSHIBANGU; UDHAYAKUMAR et al., 2016).

Já os STD são medidos pela quantidade de sais inorgânicos e pequenas quantidades de matéria orgânica presentes na água, em quantidades que não perpassem o permitido; corresponde a uma indicação das características “estéticas” da água potável (ZHANG et al. 2018; CHRISTINE et al. 2018) como resultado das ações geológicas e antropológicas que geram resíduos domésticos, industriais ou advindos da agricultura (CARREIRA; MARQUES; NUNES, 2014; FADLIAH et al., 2015; MARANDI; POLIKARPUS; JÖELEHT, 2013). Seus principais componentes são os sais inorgânicos, como: NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Mg, Ca, Na, Fe somados a uma pequena quantidade de matéria orgânica e gases também dissolvidos (KRISHNA KUMAR et al. 2015; ALEXANDER et al. 2019). Segundo o CONAMA, os valores permitidos para STD são abaixo de 500 mg/L. Dessa forma, pode-se afirmar que o consumo de águas com altas concentrações destes compostos, representa uma ameaça para o corpo humano, principalmente para pessoas que sofrem de doenças renais e cardíacas (MERIDE and AYENNEW 2016).

3.2.3 Temperatura e pH

Um outro fator que afeta os aspectos físicos da água é a temperatura. Por sua vez, ela interfere diretamente na concentração de saturação de oxigênio dissolvido e na massa específica, além de alterar as reações químicas e biológicas (CHEN et al. 2016); logo, é considerada um parâmetro significativo para monitorar a qualidade da água (COLOMBO; ANNICH, 2019). Vale salientar que, as variações de temperatura decorrem de fatores externos como descarga de efluentes, desmatamentos em áreas próximas aos rios e pela diferença de calor do poluente lançado (PERCEBON et al. 2005).

Outro aspecto fundamental para avaliar a qualidade da água corresponde ao seu equilíbrio ácido-base avaliado por meio do pH. Este aspecto é tão importante para os seres vivos ali presentes quanto para o consumo humano. A análise do pH, indica a força da água para reagir com o material ácido ou alcalino nela presente (MERIDE and AYENNEW 2016). De

acordo com a Resolução 357/05 do CONAMA, recomenda-se que os valores de pH aceitáveis estejam na faixa de 6,0 a 9,0. Estudos revelam que, se os valores de pH não estiverem dentro do recomendado a água se torna mais salgada ou amarga, gerando irritação nos olhos e doenças de pele (OMS., 2019; P. SUDARSHAN, M. MAHESH, 2019).

3.2.4 Nitrato e nitrito

O processo de eutrofização é considerado uma das grandes preocupações ambientais para os ecossistemas aquáticos. Isso acontece devido aos elevados aportes de nitrogênio (N) presente nesses ambientes que podem ser tóxicos aos seres humanos se ingerido em excesso (OLIVEIRA, 2023). O nitrato (NO_3^-) composto químico oriundo do nitrogênio, é uma das grandes preocupações ambientais, pois tem sido encontrado em concentrações potencialmente nocivas nos recursos de águas e já excedeu o limite seguro em muitos lugares do mundo. Devido à sua alta solubilidade em água, é possivelmente, o contaminante que com mais facilidade se difunde em águas subterrâneas e superficiais (GANESAN; KAMARAJ; VASUDEVAN, 2013; HOU et al., 2015; SINGH et al., 2015). As principais fontes de contaminação por NO_3^- são atividades humanas, como irrigação com águas residuais, efluentes domésticos, uso de fertilizantes e uso de aterros sanitários (especificamente, vazamento do lixiviado resultante) (PASTÉN-ZAPATA et al. 2014; ZHANG et al. 2020).

O nitrito está presente na dieta de animais e humanos, podendo ser ingerido através da água. Todavia, a contribuição para uma maior exposição do organismo ao nitrito, vem da conversão *in vivo* de nitrato em nitrito endogenamente, que corresponde a cerca de 82% da sua ingestão diária total (COCKBURN et al. 2013). Devido ao seu potencial de causar doenças como metemoglobinemia ou “síndrome do bebê azul”, câncer gástrico, restrição espontânea do crescimento intrauterino, abortos e alterações congênitas do sistema nervoso central, sua presença na água se torna indesejável (COCKBURN et al., 2013; LÓPEZ et al., 2022; YILONG; DEAN; DAOLIANG, 2015).

3.2.5 Efeitos dos metais pesados em ambientes aquáticos

Grande parte dos metais pesados encontrados na natureza são de ocorrência natural, classificados em metais essenciais e não essenciais (YAZDANKHAH et al. 2018). Os metais essenciais são caracterizados como necessários para manutenção dos organismos, mas quando presentes em altas concentrações são considerados tóxicos (SEILER and BERENDONK 2012; YAZDANKHAH et al. 2018). Metais como, Hg e Pb são conhecidos por perturbar funções

metabólicas do corpo humano, e por se acumular em órgãos vitais do corpo provocando alterações (REHMAN et al. 2018).

Estes podem entrar em contato com o corpo humano através de três vias de exposição: ingestão, inalação e contato com a pele (CASTRO-GONZÁLEZ et al. 2017). Também apresentam características como não biodegradável e costumam resistir aos tratamentos que visam sua eliminação (SALL et al. 2020). A ingestão a longo prazo de alimentos ou água contendo metais pesados em concentrações elevadas torna o organismo humano vulnerável a doenças degenerativas, além de apresentar efeitos deletérios no cérebro, pulmões, rins, fígado, sangue e outros órgãos vitais (GUZZI; RONCHI; PIGATTO, 2021).

Estudos como os de MOHAMMADI et al., (2020) revelam que a exposição a esses elementos também é responsável por provocar cânceres, patologia renal, problemas respiratórios e distúrbios neurológicos. Estes autores afirmam que o Cr é cancerígeno e pode causar efeitos negativos sobre o sistema respiratório e lesões na pele. Já de acordo com D'HAESE et al., (2019) e LI et al., (2020) em relação ao Al, existe uma forte relação entre o acúmulo deste metal no cérebro e a doença de Alzheimer, indicando que a presença de níveis elevados de Al na água representa um potencial risco à saúde.

Os estudos de MAURYA et al., (2019) e YADAV et al., (2018), demonstram os efeitos dos metais sobre a saúde do homem. Em seus trabalhos, os autores relatam que a ingestão elevada de Al e Cu afeta os sistemas cardiovasculares, gastrointestinal, hematológico, hepático, renal e o sistema nervoso central. O Zn pode provocar náusea, vômito, excitação, frio, inconsciência, coma e até a morte por edema pulmonar e danos no fígado. O Fe, por sua vez, quando ingerido em elevada concentração pode levar a sangramento gastrointestinal, choque, hipotensão, vômitos, diarreia, necrose hepática, déficits de coagulação e possivelmente a morte e, por fim, o Mn que está relacionado a alterações neuroquímicas, neurocomportamentais e toxicidade cardiovascular. A Tabela 1 mostra os efeitos negativos de metais em organismos humanos e marinhos.

Tabela 1. Riscos dos metais para o ambiente e organismos vivos.

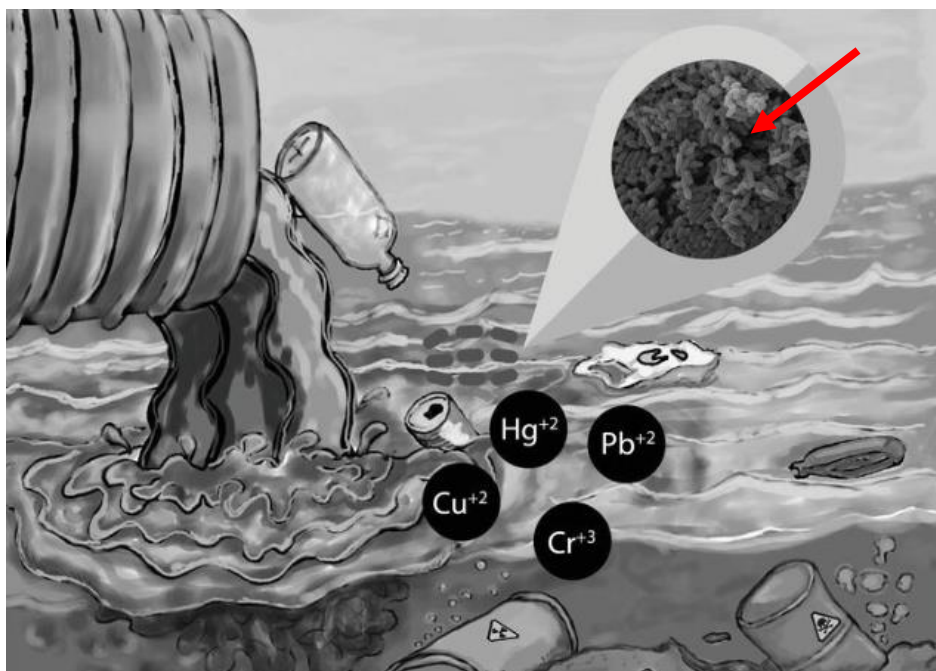
Metal	Efeitos	Autores
Alumínio	Relação entre o acúmulo de Al no cérebro e a doença de Alzheimer.	(D'HAESE et al. 2019; LI et al. 2020)

Cálcio	Efeito adverso em resultados cardiovasculares.	(BOLLAND et al. 2008; PENTTI et al. 2009; DALY and EBELING 2010)
Magnésio	Altas concentrações de Mg e Ca podem levar à alta dureza da água, induzindo assim problemas de incrustação e entupimento.	(CAO et al. 2022)
Ferro	Dar cor e sabor à água, causando manchas em utensílios sanitários e roupas. Em excesso causa depósitos em tubulações e ferrobactérias.	(GONÇALVES 2009; BORTOLI 2016)
Potássio	Associado às arritmias ventriculares e paradas cardiorrespiratórias.	(GOMES et al. 2021)
Manganês	Associado a distúrbios neurológicos, baixo QI em crianças e baixa coordenação e controle de movimento.	(WANG et al. 2013; BETANCOURT et al. 2015)
Molibdênio	Efeitos tóxicos estão associados a insuficiência renal leve, efeitos reprodutivos e depressão em roedores.	(SCHWARZ et al. 2009; SIKORA-JASINSKA et al. 2022)
Sódio	Provoca gosto desagradável na água.	(QUEIROZ; OLIVEIRA, 2018)
Fósforo	Proliferação de algas, deterioração da qualidade da água, morte de peixes e eventual colapso em todo o ecossistema aquático.	(GLIBERT 2020)
Enxofre	Efeitos alergênicos.	(OLIVEIRA et al. 2007)
Vanádio	Efeitos teratogênicos em embriões de peixes, edemas, deformações físicas e variações na frequência cardíaca, com alta mortalidade. Nos adultos maior batimento opercular e congestão nos arcos branquiais.	(BITTENCOURT et al. 2018)

Legenda: Alumínio (Al), Cálcio (Ca), Ferro (Fe), Potássio (K), Magnésio (Mg), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Sódio (Na), Fósforo (P), Enxofre (S) e Vanádio (V).

Além disso, estudos como os de ALONSO; SÁNCHEZ; MARTÍNEZ, (2001) e SUMMERS et al., (1993), tem mostrado que a presença de metais em ambientes aquáticos contribui para manutenção e proliferação de resistência antimicrobiana. Em virtude disso, muitas bactérias desenvolveram mecanismos, que favorecem a sua sobrevivência e lhes permite remover/reduzir o conteúdo de contaminantes, como exemplo a expulsão de metais por meio de bombas de efluxo. (YAZDANKHAH et al. 2018; SQUADRONE 2020). Um estudo realizado com águas do rio Cisadane, isolou cepas de *Pantoea agglomerans* com capacidade de acumular cobre como uma forma de mecanismo de resistência para removê-lo do ambiente (IRAWATI et al. 2022). A Figura 2 mostra um ambiente aquático impactado e a formação de biofilme pelos microrganismos presentes como estratégia de sobrevivência diante dos metais pesados.

Figura 2. Representação de um ambiente aquático impactado e a estratégia de sobrevivência dos microrganismos presentes.



Fonte: (ARAÚJO et al. 2019).

Além de serem tóxicos para o corpo humano, também apresentam efeitos tóxicos para as bactérias, uma vez que podem interferir na absorção de nutrientes e na estrutura celular, gerando espécies reativas de oxigênio e inativando proteínas e enzimas por meio da ligação inadequada de sítios de ligação de metais em enzimas (YU et al. 2017; YAZDANKHAH et al. 2018; GOMES and SILVA 2019).

3.3 MICRORGANISMOS PATOGÊNICOS EM ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS IMPACTADOS

A OMS afirma que aproximadamente metade da população mundial em desenvolvimento será acometida por infecções em decorrência de águas contaminadas que se encontram fora dos padrões de qualidade (OMS 2016; ARAÚJO et al. 2021), visto que a falta de saneamento está relacionado à disseminação de diferentes tipos de microrganismos, como: bactérias entéricas, vírus e parasitas, que causam sérios problemas para a saúde pública, sobretudo para crianças abaixo de cinco anos de idade (MAHMUD et al. 2020).

O Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF), estima que 10% da população mundial consome alimentos irrigados com águas sem tratamento e 32% encontram-se sem saneamento básico. Estes dados corroboram para o surgimento de enteroparasitas entre os mais carentes, que tem como consequência atraso no crescimento e no desenvolvimento psicomotor e cognitivo de crianças (UNICEF and WHO 2017; GOTERA et al. 2019; GONZÁLEZ-RAMÍREZ et al. 2022). A falta do fornecimento de uma água de qualidade, está diretamente ligada ao acometimento de doenças de origem hídrica, como exemplo a diarreia; doença que afeta aproximadamente 4 bilhões de pessoas por ano, destas 2,2 milhões não sobrevivem e dentro desse grupo o número maior de mortes é de crianças menores de 5 anos de idade (AHMED et al. 2020).

Os parasitas mais comumente encontrados como resultado da má manipulação dos alimentos, água não tratada e contaminação fecal são: *Trichuris trichiura*, *Ascaris lumbricoides*, *Entamoeba histolytica*, *Giardia duodenalis*, *Taenia solium* (cisticercose) e *Cryptosporidium spp.* (CHIFUNDA; KELLY, 2019; DIXON, 2016; OMS, 2012). Estes, são responsáveis por provocar doenças sérias como disenteria, diarreia, inchaço e dor abdominal, náusea, vômito, tosse seca e erupções cutâneas (GHOSH; PADALIA; MOONAH, 2019). Além desses parasitas, a presença de microrganismos patogênicos em ambientes aquáticos é uma realidade, cada vez, mais frequente e vem chamando a atenção de pesquisadores no mundo todo, já que se tornou uma das principais ameaças à saúde pública (SCHMELLER et al. 2018). Patógenos como *Helicobacter pylori*, *Escherichia coli*, *Enterococcus*, *Campylobacter*, *Clostridium*, *Klebsiella pneumoniae*, *Shigella* e espécies de *Salmonella*, são frequentemente encontrados em corpos hídricos e são responsáveis por infecções graves em humanos e animais (LANDRIGAN et al. 2020).

Outra preocupação global crescente é a contaminação desses ambientes por bactérias resistentes a antibióticos. Devido ao uso indiscriminado de fármacos no tratamento de doenças em humanos e animais, além do uso pela pecuária visando o aumento da produção de carne, prevenção de infecções e crescimento desses animais (CYCON et al. 2019). Cerca de milhares de toneladas de antimicrobianos são despejados anualmente no meio ambiente, impactando diretamente o meio aquático (JI et al. 2012; HARNISZ et al. 2015). Esse lançamento traz consigo uma série de consequências. Uma delas é o desenvolvimento de genes de resistência em bactérias a diversos antibióticos, o que inibe o seu mecanismo de ação em humanos e animais (NNADOZIE and ODUME 2019). Um exemplo claro disso, é a resistência à colistina por várias bactérias, algo que já é discutido mundialmente, e tem causado preocupação, uma vez que é uma opção de tratamento de último recurso contra infecções bacterianas (SUN et al. 2018).

3.4 MECANISMOS DE RESISTÊNCIA BACTERIANA A ANTIBIÓTICOS

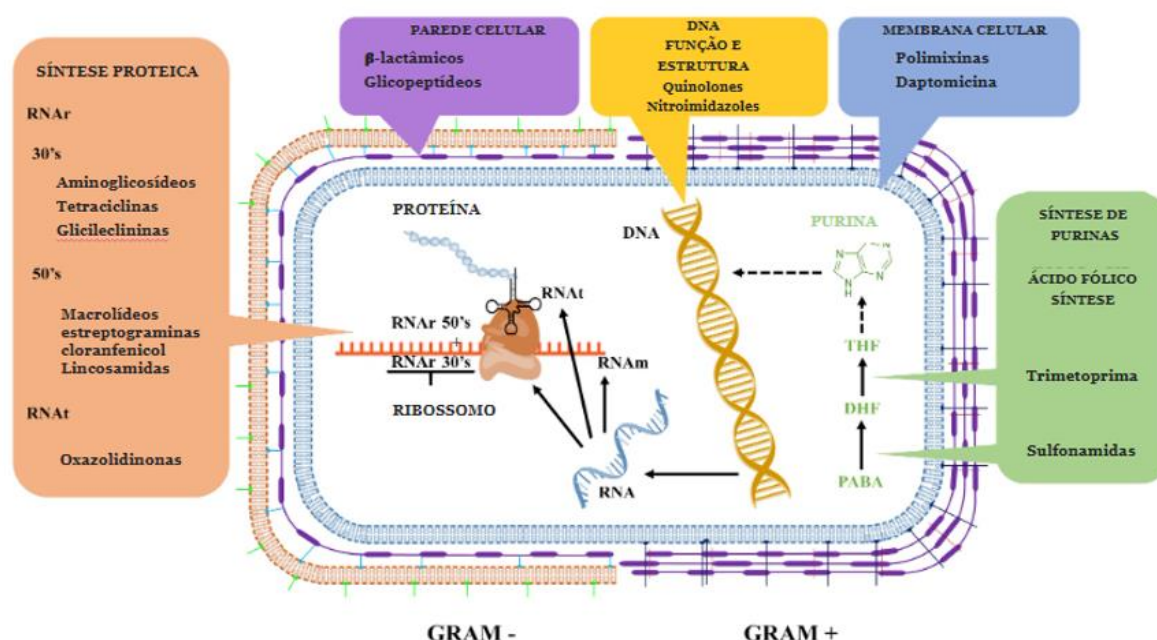
Nos últimos anos o número de infecções causadas por bactérias resistentes vem crescendo em todo mundo. Essas infecções trazem consigo um aumento de casos de morbidade, mortalidade e custos nos tratamentos. Dados revelam que por ano, cerca de 33.000 pessoas chegam a óbito na Europa devido infecções por bactérias resistentes à antibióticos e que esses números só irão aumentar chegando a 10 milhões de mortes por ano até 2050 (CASSINI et al. 2019; BASSETTI et al. 2022).

As classes de antibióticos mais utilizados no tratamento dessas infecções são aminoglicosídeos, carbapenêmicos, cefalosporinas, beta-lactâmicos, macrolídeos, quinolonas, sulfonamidas e tetraciclinas (KUMAR and PAL 2018). Pesquisadores realizaram estudos sobre o consumo de antibióticos em 76 países. Os dados mostraram que de 2000 a 2015 o consumo em doses diárias aumentou 65% e o índice de consumo por 1.000 habitantes aumentou aproximadamente 39%. Nos países de baixa e média renda foi visto um aumento significativo no consumo destes fármacos. Contudo, esse aumento não foi capaz de ultrapassar o consumo existente nos países de alta renda (KLEIN et al. 2018; BASSETTI et al. 2022).

Os antibióticos chegam ao meio ambiente diariamente através das fezes e urinas dos seres vivos, descarte inadequado dos resíduos farmacêuticos e por meio de efluentes hospitalares, com uma mistura de compostos bioativos e xenobióticos. As redes de esgoto são receptoras dessa carga de antibióticos, além de transportar bactérias comensais, patogênicas e ambientais para o ambiente aquático facilitando a disseminação da resistência antimicrobiana (SILVA et al. 2006; EXNER et al. 2017; KUMAR and PAL 2018). Essa resistência é codificada

em segmentos de DNA/gene de bactérias e assegura a sobrevivência do patógeno (KUMAR and PAL 2018). Os antibióticos entram nas bactérias por meio da membrana celular e para escapar da ação dos antibióticos, esses microrganismos podem alterar seletivamente o tamanho e a quantidade de proteínas dos poros da membrana, deixando-a mais espessa e assim impedir sua entrada na célula (GE et al. 2022). Os principais alvos da ação do antibiótico podem ser vistos na Figura 3.

Figura 3. Representação esquemática dos mecanismos de ação dos antibióticos.



Fonte: Adaptado de ARAÚJO et al., (2021)

O alto volume de bactérias, biocidas, antibióticos, metais pesados, substâncias orgânicas e outros resíduos na água acabam provocando o aumento da pressão seletiva sobre os microrganismos estimulando, assim, a TGH (CHOW et al. 2015; OSÍŃSKA et al. 2016). Assim, para que essa disseminação de genes de resistência a antibiótico ocorra, as bactérias utilizam este recurso. Fragmentos chamados de transposons facilitam esse compartilhamento, como os plasmídeos, além de outros métodos como conjugação, transformação e transdução (NAGULAPALLY et al. 2009; KUMAR and PAL 2018). O uso de antimicrobiano de forma errada e sem controle está apenas acelerando a propagação desses microrganismos em ambientes aquáticos, além de diminuir as opções de tratamento e aumentando o desafio no

enfrentamento a resistência antimicrobiana, sendo este um problema mundial de saúde pública (KUMAR and PAL 2018).

3.5 MICRORGANISMOS INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Encontrados frequentemente em plantas, solo, e nas fezes de animais de sangue quente e humanos, os coliformes fecais e totais são usados como marcadores para avaliar a qualidade da água (FERNÁNDEZ et al. 2022; BAI et al. 2022). Bactérias gram-negativas, não formadores de esporos com capacidade de crescimento aeróbico e facultativo possuem formato de bastonetes capazes de fermentar a lactose e produzir ácido e gás em menos de 48 horas a uma temperatura de 35 °C, variando de 32-37 °C (MARTIN et al. 2016).

Sua presença na água representa um imenso risco para a saúde humana, uma vez que essas bactérias são tidas como um dos contaminantes mais graves encontrados em corpos de água e responsáveis por causar doenças infecciosas, como: cólera e outras doenças diarreicas, disenterias e febres entéricas (SCOTT et al. 2022). A diarreia é considerada uma das principais causadoras de mortes infantis em ambientes de baixa renda e a transmissão desses microrganismos se dá pela via fecal-oral (BAIN et al. 2014). O lançamento de esgoto, resíduos orgânicos e matéria em decomposição em afluentes representa um grande problema sanitário, pois aumenta a disseminação desses coliformes (RAMOS-ORTEGA et al. 2008). A existência desses contaminantes em corpos hídricos é associada muitas vezes a contaminação fecal, dado que a falta de saneamento e práticas de higiene presente nos países em desenvolvimento estão por trás dessas contaminações (ISMAIL MOHAMMED and ADEL ABDULRAZZAQ 2018; GIZACHEW et al. 2020; SITOTAW and GEREMEW 2021).

Além disso, é possível encontrar nesses corpos hídricos uma gama de *Escherichia coli*, bactéria que coloniza naturalmente a microbiota do trato gastrointestinal humano. Entretanto, existem algumas cepas que provocam sérios problemas à saúde, como exemplo a *E. coli* O157:H7 (UPRETY et al. 2020; XU et al. 2022). Esta espécie bacteriana enterotoxigênica é responsável por grande parte das mortes causadas por diarreia, respondendo por aproximadamente 3,2% e 51.186 mortes totais no ano de 2016 em todo o mundo (KHALIL et al. 2018).

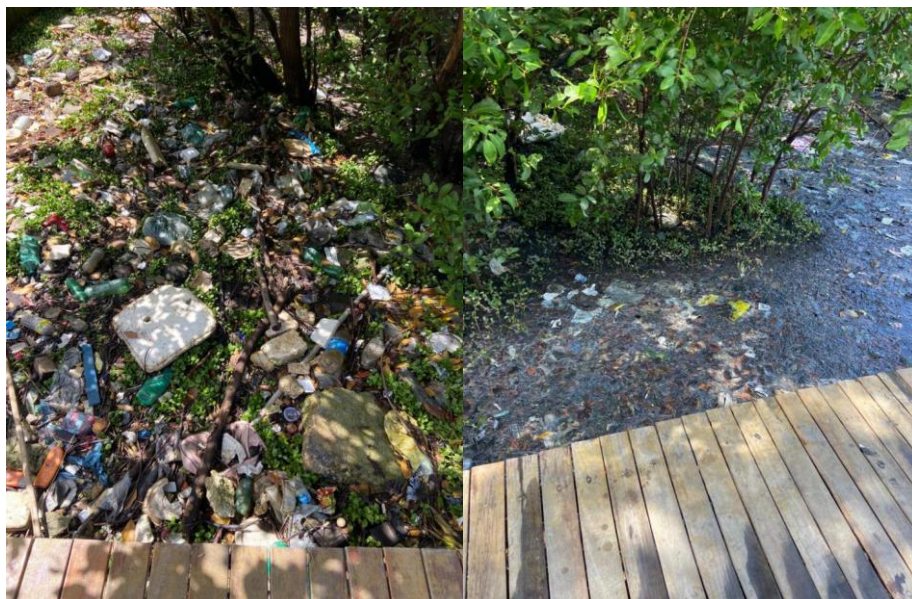
3.6 CARACTERÍSTICAS GERAIS DO RIO CAPIBARIBE

O rio Capibaribe está entre os rios mais importantes do estado de Pernambuco, sua bacia apresenta uma área de 7.454,88 km² (7,58% da área do estado), responsável por abastecer 42

municípios e 3.474.198 habitantes, que residem ao longo de seu curso. Com a nascente localizada entre os municípios de Poção e Jataúba este rio urbano percorre todo o estado atravessando três diferentes mesorregiões e zonas climáticas: mesorregião do Agreste de Pernambuco, mesorregião da Zona da Mata e Região Metropolitana do Recife (RMR), desaguando em Recife (ALVES et al., 2021; BERTRAND et al., 2022; DE HOLANDA; SOARES, 2019). O estuário do Capibaribe começa na cidade do Recife, no bairro da Várzea, próximo à ponte da Caxangá, e segue até a foz do rio no porto marítimo do Recife. Por fim, deságua no oceano atlântico. (COLLIER et al., 2019; DOS SANTOS et al., 2020; NORIEGA et al., 2021).

Há décadas este rio tem sofrido com o despejo de resíduos de origem doméstica, industrial e hospitalar, que são lançados às margens e no corpo do Capibaribe (Figura 4) (OLIVEIRA et al. 2022). Frequentemente, o nível de contaminantes chega a ultrapassar os limites estabelecidos pelo CONAMA, por isso tem causado preocupação na comunidade científica devido aos inúmeros perigos que o contato com a água deste ecossistema pode representar. Sabe-se que muitos ribeirinhos utilizam recursos deste rio como fonte de sobrevivência. Além disso, existem os que fazem uso para recreação, transporte e irrigação, sem saber estão expostos a metais pesados, bactérias patogênicas, parasitas e outros contaminantes nocivos causadores de doenças.

Figura 4. Resíduos às margens do rio Capibaribe, Rua da Aurora, Boa vista, Recife-PE.



De acordo com o exposto nesta revisão da literatura, esta dissertação objetivou avaliar a qualidade da água de um dos principais rios urbanos no nordeste do Brasil e avaliar seu impacto para os organismos aquáticos e a saúde pública.

4 RESULTADOS

Os resultados dessa dissertação estão apresentados na forma de um artigo que se encontra em preparação para submissão e publicação.

4.1 ARTIGO: Estudo ecotoxicológico em um rio urbano no Nordeste do Brasil

O manuscrito intitulado será submetido na revista *Aquatic Toxicology* (1981), Qualis A1.

Autores: Jaqueline dos Santos Silva ¹; Livia Caroline Alexandre de Araújo ¹; Milena Danda Vasconcelos ¹; Iago José Santos da Silva ²; Fabricio Motteran ²; Rosner Henrique Alves Rodrigues ³; Rayanna Barroso de Oliveira Alves ³; Hernande Pereira da Silva ³; Sivoneide Maria da Silva ¹; Maria Betânia Melo de Oliveira ¹.

Instituições:

1 Departamento de Bioquímica da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

2 Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Pernambuco-UFPE

3 Universidade Federal Rural de Pernambuco

Autor correspondente:

Prof.^a Maria Betânia Melo de Oliveira

Universidade Federal de Pernambuco

Departamento de Bioquímica

E-mail: maria.bmoliveira@ufpe.br

RESUMO

A poluição dos corpos hídricos tem chamado atenção e causado preocupação em todo o mundo.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a qualidade da água e o potencial risco de poluentes e

patógenos humanos em uma das principais bacias hidrográficas do estado de Pernambuco, o rio Capibaribe, localizado no nordeste do Brasil. Para isso, foram analisadas as condições físico-químicas, parasitológicas e microbiológicas da água em quatro pontos distintos (P1-P4) deste ecossistema. Os resultados revelaram altos níveis de contaminação por meio de poluentes químicos (metais) e biológicos (bactérias resistentes), representando ameaça para a sobrevivência dos organismos aquáticos e da população que entra em contato direto ou indireto com a água e a vida desse ambiente. O estudo relacionou os dados obtidos com os valores permitidos pela legislação vigente, bem como com as características locais no entorno de cada ponto investigado. Os dados demonstram como a vigilância ambiental pode e deve ser realizada em estudos ecotoxicológicos e discute os riscos da contaminação para a saúde ambiental e para a saúde pública.

Palavras-chave: Ecotoxicologia; Patógenos humanos; Saúde pública; Resistência bacteriana.

Introdução

Nos últimos anos, o aumento da poluição em ambientes aquáticos tem causado preocupação em inúmeros órgãos internacionais. Cerca de mais de dois milhões de toneladas de resíduos domésticos, industriais, agrícolas e hospitalares são lançados em rios, mares, riachos e lagoas (Sanganyado e Kajau 2022; Janik-Karpinska et al. 2023; Zhang et al. 2023). Esses poluentes emergentes são considerados uma ameaça global à saúde humana e ambiental e são assim constituídos de resíduos de antibióticos, fertilizantes, agrotóxicos, microplásticos, nanoplásticos, metais pesados, dentre outros compostos (López et al. 2022; Tavengwa e Dalu 2022). Por não serem biodegradáveis não são totalmente eliminados nas Estações de Tratamento de Águas (ETA) residuais, sendo encontrados frequentemente em águas superficiais, subterrâneas e em água potável (López-Ortiz et al. 2018; Li et al. 2019; Rathi e Kumar 2021).

Dados recentes demonstram que a ação antrópica também tem contribuído com o lançamento de efluentes, além da industrialização e atividades como mineração, fundição, refino de petróleo e fabricação de tintas que acarretam na propagação de resíduos químicos tóxicos prejudiciais aos seres vivos e aos organismos aquáticos (Nagajyoti et al. 2010; Musarurwa e Tavengwa 2020). Aliados a estes fatores, existe também o descarte inadequado de esgoto e a falta de tratamento adequado da água, contribuindo para a distribuição de produtos farmacêuticos e resultando em um aumento de bactérias patogênicas resistentes (Janik-Karpinska et al. 2023). Sendo esta, uma fonte de preocupação atual e emergente que tornou-se um problema de saúde pública mundial, uma vez que estes ambientes vêm se apresentando como cenários propícios para a disseminação de Genes de Resistência a Antibióticos (ARGs) (Zhu et al. 2017; Nappier et al. 2020). Estes genes podem ser transferidos entre bactérias sensíveis ou resistentes, por meio de mecanismos de Transferência Horizontal de Genes (TGH) (Sharma et al. 2016; Rodríguez-Beltrán et al. 2021).

O rio Capibaribe é uma das principais bacias hídricas do estado de Pernambuco (PE), nordeste do Brasil. Sua nascente está localizada na divisa entre este estado e o da Paraíba (PB), banhando vários municípios e desaguando no Oceano Atlântico (Oliveira et al. 2014; Arruda-Santos et al. 2023). Estudos apontam para a contaminação deste ecossistema (Maciel et al. 2016; Costa et al. 2021), porém existe uma escassez de dados ecotoxicológicos neste ambiente. Sendo assim, este trabalho teve como objetivo principal avaliar a qualidade da água e o potencial risco de poluentes e patógenos para os organismos aquáticos e a saúde pública. Os dados aqui apresentados são preocupantes e demonstram a relação do descarte de resíduos e a presença e veiculação de bactérias resistentes neste ecossistema representando uma ameaça e um desafio para a comunidade aquática, para saúde pública e para os gestores locais.

Material e métodos

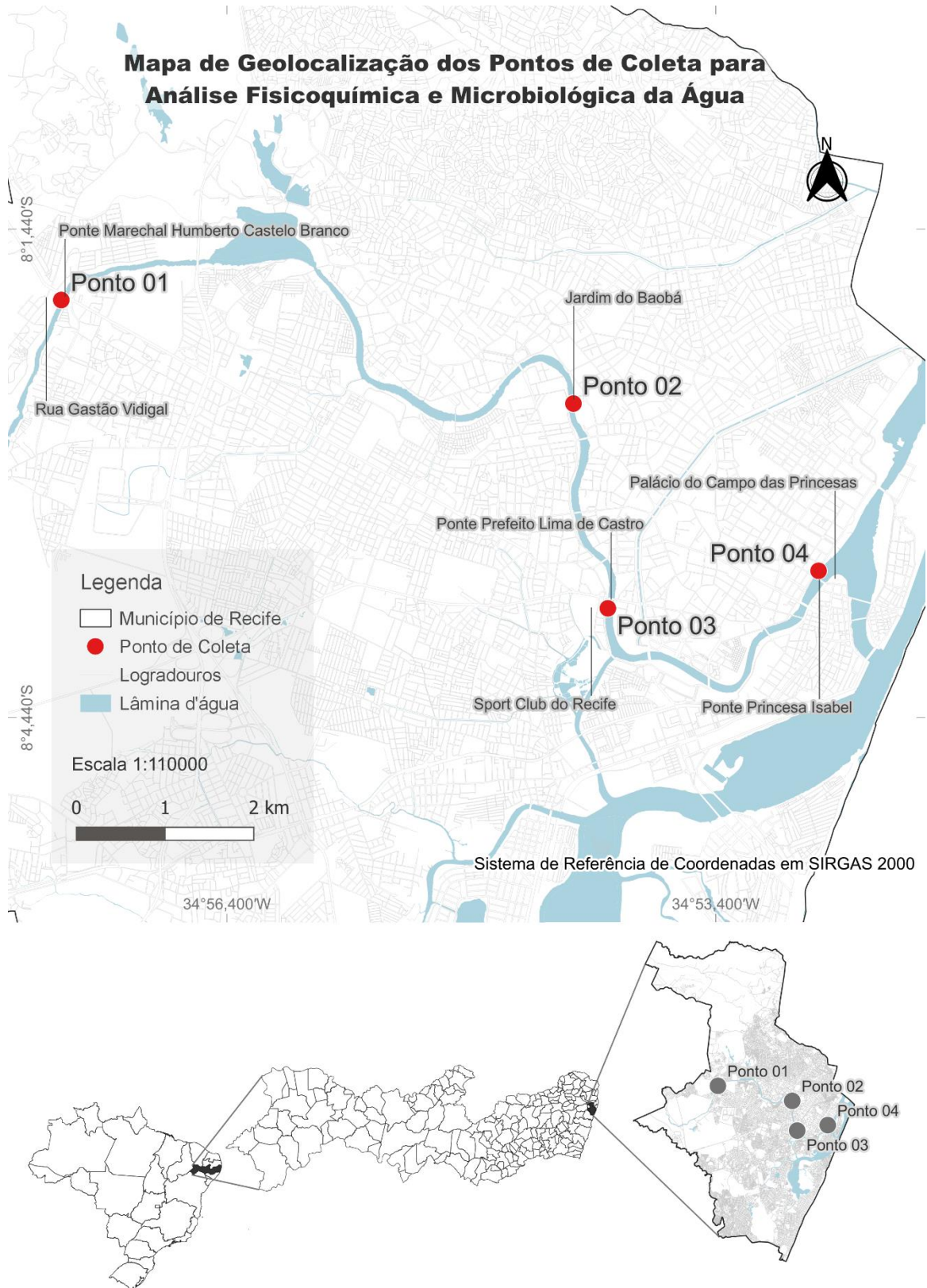
Coleta do material e descrição da área de estudo

As amostras de água (superficial) foram provenientes de quatro pontos (P1-P4) do rio Capibaribe, Recife, Pernambuco, nordeste do Brasil no dia 03.04.2022 (período chuvoso). A figura 1 apresenta os diferentes pontos investigados. Ponto 1 (P1): Ponte da Caxangá, Avenida Caxangá, Várzea (-8.045043, -34.931088); Ponto 2 (P2): Jardim do Baobá, Rua Me. Loyola, Graças, (-8.041022, -34.904479); Ponto 3 (P3): Avenida Beira Rio, Madalena (-8.062692, -34.901313), próximo à Ponte Prefeito Lima de Castro; Ponto 4 (P4): Píer da Rua da Aurora, Rua da Aurora, Santo Amaro (-8.05491, -34.87587). Estes pontos foram escolhidos por terem em seu entorno comércios, hospitais e residências domiciliares.

As amostras de água foram analisadas quanto aos parâmetros físico-químicos, parasitológicos e microbiológicos. Para as análises físico-químicas, foram utilizadas garrafas de polietileno tereftalato (2 L) e garrafas de vidro boro (1 L e 500 mL), enquanto que para as análises microbiológicas, foram utilizados frascos de polietileno de 100 mL, contendo tiosulfato de sódio a 10%. Em seguida, as amostras foram armazenadas em caixas térmicas, com temperatura entre 3 e 10 °C. Para realização da coleta, foi utilizada a licença ambiental, cedida pelo SISBIO/ICMBio, sob o registro N° 70336-36.

Todo material coletado foi encaminhado para o Laboratório de Biologia Molecular (BioMol), Departamento de Bioquímica, Centro de Biociências (CB) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e o Laboratório de Biologia Molecular e Tecnologia Ambiental (LABIOTA) do Centro de Tecnologia e Geociência (CTG) – UFPE.

Figura 01. Geolocalização dos pontos de coleta (P1-P4) da água do rio Capibaribe, nordeste do Brasil.



Análises físico-químicas da água

Foram determinados analiticamente os seguintes parâmetros físico-químicos: turbidez, Condutividade Elétrica (CE), Sólidos Totais Dissolvidos (STD), temperatura, pH e nitrito. Estes parâmetros foram determinados por meio dos aparelhos multiparâmetros (pH-EC, Smart; MCA1501; DR3900, HACH; HI83099-01, HANNA), conforme o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (2005). Após as análises, foi realizado um estudo comparativo, correlacionando os resultados laboratoriais obtidos aos limites máximos estabelecidos para os corpos hídricos classe II pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n° 357 (2005), n° 396 (2008).

Análise de metais

A determinação dos metais Alumínio (Al), Cálcio (Ca), Ferro (Fe), Potássio (K), Magnésio (Mg), Manganês (Mn), Molibdênio (Mn), Sódio (Na), Fósforo (P), Enxofre (S) e Vanádio (V) foi realizada usando um Espectrômetro de Emissão Óptica com Plasma Acoplado Indutivamente (ICP OES, Modelo 5100, Agilent Technologies, EUA). As seguintes condições operacionais foram utilizadas para o ICP OES: potência de radiofrequência de 1200 W, vazão do gás do plasma de 12 L min⁻¹, vazão do gás auxiliar de 1,0 L min⁻¹, vazão do gás de nebulização de 1,0 L min⁻¹, vazão da amostra de 1,0 mL min⁻¹, tempo de lavagem com a nova amostra (*flush time*) de 10 s, tempo de retardo na captação do sinal da nova amostra (*delay time*) de 15 s, nebulizador concêntrico e câmara de nebulização ciclônica. Argônio com pureza mínima de 99,999% (White Martins - Praxair, Brasil) foi usado nas determinações por ICP OES para a geração do plasma, na nebulização e como gás auxiliar.

Análise microbiológica

A presença e o número de coliformes totais e termotolerantes foram determinados pelo método cromogênico, empregando o kit de análise (reagente cromogênio Colilert® e cartelas

Quanti-Tray/2000) do fabricante IDEXX e os resultados foram expressos como Número Mais Provável (NMP) por 100 mL de amostra. Também foram testadas duas diluições (10^{-3} e 10^{-4}) na determinação de coliformes totais e *E. coli*. Os resultados microbiológicos foram analisados e interpretados de acordo com a Resolução nº357 (2005) da Resolução do CONAMA.

Análise parasitológica

A análise parasitológica foi realizada por meio da técnica de sedimentação espontânea, conhecida como Método de Hoffman, Pons e Janer (2016) com adaptações. As amostras coletadas foram homogeneizadas e transferido 100 mL de água para um cálice, que permaneceu em repouso a temperatura ambiente por 24 horas. Após este período, o sedimento resultante foi coletado e analisado utilizando um microscópio óptico modelo Olympus® (objetivas de 10x e 40x) (Vieira Póvoas et al. 2020).

Isolamento Bacteriano

Para o isolamento bacteriano foram retirados 50 µL da água coletada e com o auxílio de uma alça de Drigalski foram semeados em Ágar Infusão Cérebro Coração (BHI), Ágar Eosina Azul de Metileno (EMB), Ágar sangue a 5% e incubado a 37 °C por 24 e 48 horas. Em seguida, foi realizada a coloração de Gram para fazer identificações presuntivas dos isolados, de acordo com a técnica descrita por Koneman e Winn (2006).

Identificação Bioquímica e Perfil de Susceptibilidade

Uma vez isoladas as colônias e classificadas quanto à coloração de Gram, estas foram identificadas automaticamente pelo sistema MicroScan® (Dade Behring – West Sacramento, Califórnia, USA), leitor automático autoSCAN 4®. Para gram-positivos, foi empregado o painel Pós Combo 21 e para os gram-negativos o Painel Neg Combo 32. A susceptibilidade foi determinada pela Concentração Inibitória Mínima (CIM) e os resultados definidos como Sensível (S), Resistência Intermediária (I) ou Resistente (R). Para interpretação

dos *breakpoints*, foram utilizadas as recomendações do Instituto de Padrões Clínicos e Laboratoriais (CLSI, 2020).

Para as análises foram consideradas as seguintes categorias de antimicrobianos: cefalosporina (ceftazidima, cefoxitina, cefuroxima, cefepima, ceftriaxona ou cefotaxime), inibidor de β -lactamases (piperaciclina-tazobactam), inibidor da via do folato (trimetroprima-sulfametoxazol), carbapenêmicos (imipenem, ertapenem e meropenem), fluoroquinolona (ciprofloxacina ou levofloxacina), aminoglicosídeos (gentamicina, tobramicina, eritromicina e amicacina), polimixina (colistina), penicilina (amoxilina, ampicilina, penicilina, oxacilina e piperacilina), lincosamidas (clindamicina), lipopéptidos (daptomicina), oxazolidinonas (linezolide), ansamicina (rifampicina), estreptograminas (sinercid), glicopeptídeo (teicoplanina e vancomicina), tetraciclina (tetraciclina), anfenicóis (cloranfenicol), fosfônicos (fosfomicina), sulfonamidas (trimetoprim) e monobactâmicos (aztreonam). Em seguida, os isolados foram categorizados de acordo com o padrão de resistência adquirida em: Multidroga Resistente (MDR); Extensivamente Droga Resistente (XDR); Pan-droga Resistente (PDR) e Não-multidroga Resistente (not-MDR).

Identificação por MALDI-TOF

Para confirmar a taxonomia do isolados, as amostras cultivadas em meio BHI por 24 horas, foram ressuspensas em água deionizada e as proteínas foram extraídas conforme o método descrito por Starostin et al. (2015). Para análise do espectro de massa, 1 μ L do extrato protéico foi colocado em uma placa (96 MSP, Bruker Daltonics, Billerica, MA USA), seguido de secagem em temperatura ambiente. A matriz de ácido alfa-ciano-4-hidroxicinâmico (10 mg/mL) em acetonitrila 50% (v/v) e ácido trifluoracético 0,3% (v/v) foi aplicada na placa contendo as amostras para cristalização. Os espectros foram lidos no modo linear positivo (tensão de aceleração de 20 kV e faixa de detecção m/z de 2.000–20.000), usando o software

Flex Control, versão 3.0, e um espectrômetro MALDI-TOF Autoflex III (Bruker Daltonics). Os espectros obtidos foram comparados com o banco de dados MALDI Biotyper, versão 3.1.

Resultados e discussões

Análises físico-químicas

Os resultados referentes aos parâmetros físico-químicos, encontram-se descritos na Tabela 1. De acordo com os resultados, observa-se que o pH, a temperatura e a turbidez estão em conformidade com o recomendado pela resolução 357/05 do CONAMA. Já os demais apresentaram valores acima do recomendado.

Em relação a CE, observou-se variações com o menor índice detectado no ponto P1 ($325 \mu\text{Scm}^{-1}$) e maior no P4 ($3880 \mu\text{Scm}^{-1}$). Apesar da CE elétrica não possuir valor máximo estabelecido pela legislação brasileira, ela representa um importante indicador de poluição. Segundo (Libânio 2016), as águas naturais apresentam teores de condutividade na faixa de 10 a $100 \mu\text{S/cm}$, enquanto em ambientes poluídos por esgotos domésticos ou industriais estes valores podem chegar até $1.000 \mu\text{S/cm}$. No presente estudo, o P4 foi o que apresentou a CE mais elevada, indicando que este local está recebendo uma descarga de efluentes mais significativa que os demais apresentando, portanto, condições físico-químicas menos favoráveis. As condições deste ponto puderam ser confirmadas quando analisados outros parâmetros, como por exemplo os STD. O P4 apresentou uma concentração de 1982 mg/L , muito acima do padrão estabelecido pela legislação, a saber 500 mg/L . Dados recentes alertam que água com alto teor de STD não é apropriada para o consumo, pois o aumento de sais e conteúdo orgânico indica sua má qualidade (Jagaba et al. 2020).

Já em relação ao nitrito, os pontos P2 e P3 apresentam os maiores valores de $0,28 \text{ mg/L}$ e $0,27 \text{ mg/L}$, respectivamente. A Portaria GM/MS Nº 888 de 2021 que altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 2017, lista o nitrito como substância inorgânica que

representa risco à saúde e deve ser monitorado, com valor máximo permitido de 1 mg/L.

De acordo com López et al. (2022) e Yilong et al. (2015), o nitrito em altas concentrações pode ser associado à metemoglobinemia ou “síndrome do bebê azul”, nitrosaminas cancerígenas, câncer gástrico, restrição espontânea do crescimento intrauterino, abortos e defeitos congênitos do sistema nervoso central, entre outros diagnósticos. Outro agravante, é o fato de que o corpo humano pode se tornar uma fonte de acúmulo de nitrito ocasionado pelo consumo de água e alimentos contendo concentrações acima do limite permitido (Cockburn et al. 2013). Em peixes, esta substância pode passar ativamente pelas guelras e acumular-se causando efeitos tóxicos não apenas nesses organismos, mas também em outros animais aquáticos (Phu et al. 2022).

Vale salientar que o parâmetro nitrato não foi informado porque o método espectrofotométrico na região do UV usado só é aplicável a amostras com baixas concentrações de matéria orgânica. As quatro amostras analisadas (P1-P4) apresentaram um nível de matéria orgânica que poderia causar interferências significativas no método empregado, não sendo assim possível sua análise.

Tabela 1. Resultado das análises físico-químicas da água de um trecho do Rio Capibaribe.

Parâmetro	Pontos de Coleta				Valor recomendado *
	P1	P2	P3	P4	
Temperatura (°C)	25,4	25,4	25,5	25,6	40 °C
pH	6,81	6,83	7,03	7,23	6,0 - 9,0
Turbidez (FAU)	44	18	19	43	< 100 UNT
Condutividade (µS cm-1)	325	478	522	3880	-*
STD (mg L-1)	158	228	250	1982	500 mg/L
Nitrito (mg NO ₂ --N L-1)	0,21	0,28	0,27	< 0,01	1,0 mg/L N

Legenda: STD: Sólidos totais dissolvidos. P1: Ponto 1; P2: Ponto 2; P3: Ponto 3; P4: Ponto 4. *Valores estabelecidos pela Legislação do Conama (n.357/05). * Sem recomendação da Legislação para água de rios.

Quando analisada a concentração de metais no rio Capibaribe foi verificado que este

ambiente apresenta uma elevada concentração destes elementos químicos. A tabela 3 demonstra os valores encontrados. Para maioria dos metais, o ponto que apresentou maior concentração foi o P4, seguido pelo P3, P2 e P1. Já os metais encontrados em maior concentração, acima do permitido pela legislação, foram o S, P e Al.

Os níveis de metais residuais nos rios têm aumentado gradativamente nos últimos anos (How et al. 2023). A presença de índices acima do recomendado representa uma ameaça aos organismos presentes nestes ecossistemas e à saúde humana, uma vez que estes poluentes podem ser transferidos e biomagnificados (Liu et al. 2018; Obinna e Ebere 2019). Além disso, não são biodegradáveis e, por isso, são perigosos mesmo em baixas concentrações (Brodin et al. 2017; Ferrey et al. 2018). A presença desses elementos químicos acima do recomendado representa um risco potencial para a comunidade aquática e a sociedade, como demonstrado por estudos prévios realizados por nosso grupo de pesquisa em um afluente do rio Capibaribe, que se encontra próximo ao local de coleta (P1), a saber o riacho Cavouco. Os estudos detectaram concentrações de Mercúrio (Hg) acima do permitido pela legislação e verificaram que a presença deste poluente em altas concentrações interferia na condição de biofilme da espécie *K. pneumoniae*, uma espécie de origem clínica encontrada neste riacho urbano. O estudo discute os mecanismos de sobrevivência deste patógeno sobre condições adversas (Araújo et al. 2019). Em estudo recente realizado por Silva et al, *no prelo*, os autores avaliaram os efeitos genotóxicos de metais pesados em espécimes da Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) oriundas de diferentes localidades do rio Capibaribe. Os autores criaram um Modelo de Equação Estrutural e confirmaram os efeitos dos metais pesados sobre os micronúcleos e índice de danos no DNA da espécie investigada.

Tabela 2. Dosagem de metal no rio Capibaribe, PE, Nordeste do Brasil.

Minerais (mg L⁻¹)^b	P1	P2	P3	P4	Valor máximo
Al	2,3 ± 0,3	0,3 ± 0,2	0,2 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,2 mg/L
Ca	12,8 ± 0,3	15,5 ± 0,3	14,5 ± 0,3	28,4 ± 0,5	500 mg/L
Fe	1,8 ± 0,2	0,4 ± 0,2	0,4 ± 0,2	0,3 ± 0,2	5,0 mg/L
K	5,3 ± 0,1	7,4 ± 0,2	7,6 ± 0,2	34,8 ± 0,9	- *
Mg	3,9 ± 0,1	5,4 ± 0,1	6,0 ± 0,4	50,6 ± 0,9	500 mg/L
Mn	0,028 ± 0,003	0,036 ± 0,004	0,049 ± 0,005	0,022 ± 0,004	0,5 mg/L
Mo	0,015 ± 0,008	0,012 ± 0,006	0,010 ± 0,007	0,019 ± 0,007	- *
Na	17,5 ± 0,2	27,9 ± 0,8	31,6 ± 0,4	432 ± 10	500 mg/L
P	0,14 ± 0,03	0,23 ± 0,04	0,27 ± 0,04	0,29 ± 0,03	0,05 mg/L
S	4,5 ± 0,1	5,1 ± 0,2	5,5 ± 0,2	35,4 ± 0,6	0,3 mg/L
V	0,006 ± 0,001	0,002 ± 0,001	0,0022 ± 0,0009	0,003 ± 0,001	0,1 mg/L

Legenda: Alumínio (Al), Cálcio (Ca), Ferro (Fe), Potássio (K), Magnésio (Mg), Manganês (Mn), Molibdênio (Mo), Sódio (Na), Fósforo (P), Enxofre (S) e Vanádio (V). ^bMédia ± desvio padrão (n=3). P1: Ponto 1; P2: Ponto 2; P3: Ponto 3; P4: Ponto 4. * Sem recomendação da Legislação para água de rios.

Análises Microbiológicas

Os valores referentes a análise microbiológica do rio Capibaribe encontram-se na Tabela 3. Quando analisados os coliformes totais, o menor valor detectado ($1,5 \times 10^5$ NMP) esteve no P1. À medida que ocorreu o deslocamento da água observou-se um aumento nesses níveis chegando a valores maiores que $2,4 \times 10^7$ NMP no P4. Em um trabalho semelhante realizado por Silva et al. (2021a) com águas superficiais do Capibaribe, na cidade de São Lourenço da Mata – PE, Brasil foram investigados três pontos em trechos diferentes da cidade, e tanto para análise de coliformes termotolerantes quanto para totais, todas as áreas estavam em acordo com os padrões estabelecidos pelo CONAMA.

Essas oscilações de resultados reforçam a necessidade do monitoramento constante dos ecossistemas aquáticos, uma vez que são ambientes dinâmicos e expostos a variações temporais e sazonais que influenciam diretamente na qualidade da água (Araújo & Oliveira, 2013). Possivelmente, a presença e o aumento de poluentes neste rio, como por exemplo: os metais pesados, ao longo do tempo fornecem condições para sobrevivência desses e de outros

microrganismos, já que a presença de coliformes na água indica contaminação por lançamentos de esgoto ou matéria em decomposição e principalmente por resíduos orgânicos (RAMOS-ORTEGA et al. 2008; Yang et al. 2020; Fernández et al. 2022).

Esses contaminantes são tidos como um dos mais graves encontrados em corpos hídricos (Scott et al. 2022) por estarem relacionados ao surgimento de doenças como cólera, disenteria e febre entérica através da ingestão de águas contaminadas com coliformes (Bain et al. 2014).

Comparando os valores encontrados no presente estudo com a Resolução 357/05 do CONAMA, em relação a coliformes termotolerantes percebe-se que todos os valores encontrados se mostram fora dos padrões recomendados pela legislação. Dentre os termotolerantes, a *E. coli* é uma das espécies responsáveis diretamente pelas doenças diarreicas e representa um alto risco à saúde pública (Arteta Peña et al. 2015; Suzuki et al. 2023). A falta de saneamento básico adequado favorece a disseminação dessas bactérias nos corpos hídricos e diminui, portanto, a qualidade da água nesses ambientes (Musaazi et al. 2023). De acordo com este parâmetro, o P4 foi o ponto que novamente chamou mais atenção apresentando $7,7 \times 10^6$ de *E. coli* e valores maiores que $2,4 \times 10^7$ para coliformes totais, quando a resolução recomenda 2×10^2 para coliformes totais e termotolerantes (Tabela 4). Vale salientar que esse ponto faz parte do trecho final do rio, antes de desaguar no oceano atlântico, possuindo um manguezal em suas margens. Além de estar próximo a uma área comercial, residencial e hospitalar com canais de efluentes sendo despejados diretamente nesse ambiente e o curso do rio favorecendo o deslocamento de outros poluentes para essa área alterando, dessa forma, a qualidade da água. Além disso, a presença de solutos dissolvidos em matéria orgânica serve como local e fonte de vida para estes coliformes, fornecendo condições favoráveis para o desenvolvimento desses patógenos (S.n. et al. 2021).

Tabela 3. Análise da contaminação microbiológica da água do rio Capibaribe nos pontos investigados.

Pontos de Coleta	Diluição decimal *	NMP (100 mL)	
		Coliformes totais (VMP: 2×10^2)	<i>E. coli</i> (VMP: 2×10^2)
P1	10^{-3}	$1,5 \times 10^5$	$2,3 \times 10^4$
	10^{-4}	$1,5 \times 10^5$	$1,0 \times 10^4$
P2	10^{-3}	$4,6 \times 10^5$	$7,9 \times 10^4$
	10^{-4}	$3,6 \times 10^5$	$3,1 \times 10^4$
P3	10^{-3}	$5,1 \times 10^5$	$5,7 \times 10^4$
	10^{-4}	$4,6 \times 10^5$	$5,2 \times 10^4$
P4	10^{-3}	$>2,7 \times 10^6$	$>2,7 \times 10^6$
	10^{-4}	$>2,4 \times 10^7$	$7,7 \times 10^6$

Legenda: P1: Ponto 1; P2: Ponto 2; P3: Ponto 3; P4: Ponto 4. *Diluição necessárias e consideradas para a interpretação dos resultados. Número Mais Provável (NMP) e Valor Máximo Permitido (VMP) para o CONAMA nº 357.

Além da identificação dos coliformes, este estudo investigou a presença de parasitos nas águas do rio Capibaribe. Foi identificado cistos de *Ascaris* spp. (P2, P3 e P4) e *Taenia* spp. (P4). Vale ressaltar que a população circunvizinha utiliza a água do rio para diversos fins, como criação de animais (Porcos, galinhas, patos), irrigação e pesca. A presença desses microrganismos na água está associada a um saneamento precário e representa um grande problema de saúde pública não apenas neste local, mas em vários países desenvolvidos e subdesenvolvidos (Bouzid et al. 2018; Kristanti et al. 2022), revelando que a poluição de ecossistemas aquáticos é um desafio emergente.

Adicionalmente foi investigada as condições microbiológicas desse ambiente. Todos os pontos apresentaram crescimento de colônias bacterianas. No total, foram obtidos 51 isolados, incluindo 15 gêneros bacterianos; três gram-positivos (*Staphylococcus*, *Lactococcus*, *Bacillus*) e doze gram-negativos (*Klebsiella*, *Aeromonas*, *Cedecea*, *Acinetobacter*, *Escherichia*, *Yersinia*, *Chromobacterium*, *Proteus*, *Vibrio*, *Salmonella*, *Enterobacter* e *Pantoea*). O gênero *Staphylococcus* esteve presente em todos os pontos

representado por cinco espécies (*S. schleiferi* (n= 3; ponto 1), *S. sciuri* (n= 1; ponto 3), *S. lugdunensis* (n= 1; ponto 3), *S. epidermidis* (n= 1; ponto 4) e *S. haemolyticus* (n= 1; ponto 4).

Já em relação às gram-negativas, foram identificadas bactérias pertencentes à família Enterobacteriaceae nos quatro pontos, sendo elas: *K. pneumoniae* (n= 11; ponto 1, 2 e 4), *K. oxytoca* (n= 3; ponto 2, 3 e 4) e *K. ozaenae* (n= 1; ponto 1), além de *E. cloacae* (n= 5; ponto 3 e 4), *P. mirabilis* (n= 2; ponto 2), *Y. pseudotuberculosis* (n= 1; ponto 2) e *S. entérica* (n= 1; ponto 3). Isolados das espécies *Bacillus* sp. (n= 2; ponto 1), *C. davisae* (n= 3; ponto 1), *A. baumannii* (n= 1; ponto 2), *A. lwoffii* (n= 2; ponto 2 e 3), *L. lactis* (n= 1; ponto 3), *E. coli* (n= 1; ponto 3), *V. cholerae* (n= 1; ponto 3), *A. caviae* (n= 1; ponto 2), *C. violaceum* (n= 1; ponto 1) e *P. agglomerans* (n= 1; ponto 4) (Tabela 4).

Estes resultados demonstram uma elevada diversidade microbiológica representada por isolados de origem clínica e ambiental. Dentre os pontos investigados, o P3 foi o mais diversificado (nove espécies), seguido pelo P2 (oito espécies), P1 (seis espécies) e P4 (seis espécies). Muitos desses isolados são de origem clínica e, possivelmente, provêm dos polos hospitalares e dos efluentes domésticos despejados diretamente neste rio. De acordo com Sanaa et al. (2019) as águas residuais hospitalares representam uma ameaça muito maior para o ambiente, quando comparada aos efluentes urbanos. Em relação ao rio Capibaribe, este recebe uma descarga de resíduos hospitalares significativa, uma vez que seu curso permeia a cidade do Recife, ocupando o segundo maior pólo médico do Brasil, atrás apenas do estado de São Paulo, sudeste do país.

De acordo com Todedji et al. (2021), a presença elevada de contaminantes físico-químicos interfere em alvos biológicos específicos, já que apresentam altos níveis de ecotoxicidade, ameaçando a vida de diversas espécies marinhas o que potencializa os danos dos organismos aquáticos pela presença de enzimas e citotoxinas relacionadas à

patogenicidade bacteriana que podem influenciar na fisiologia e metabolismo dessas espécies (Gonçalves Pessoa et al. 2019; Fernández-Bravo e Figueras 2020).

Análises ecotoxicológicas revelaram que proteases degradam a mucosa epitelial dos peixes, provocando lesões na pele e órgãos internos, facilitando a infecção destes organismos por bactérias resistentes presentes no meio (Beaz-Hidalgo e Figueras 2013; Pessoa et al. 2020). Estes dados são preocupantes, pois cada vez mais vem aumentando estudos detectando patógenos oportunistas em ambientes aquáticos, sejam eles bactérias ou vírus (Osińska et al. 2020; Ho et al. 2021; Charlie-Silva e Malafaia 2022). Estes novos achados só demonstram a necessidade de realizar estudos de vigilância ambiental nestes ecossistemas para analisar e compreender as diferentes rotas de disseminação e infecção utilizadas por estes microrganismos.

Este é um tema atual e necessário para investigação científica, uma vez que estes ambientes estão sendo identificados como potenciais disseminadores de microrganismos resistentes, representando não apenas um problema para saúde pública, mas também para saúde ambiental.

Assim, para avaliar os riscos microbiológicos presentes no Capibaribe, este trabalho investigou o perfil de resistência dos isolados bacterianos. Em todos os pontos foram identificadas bactérias resistentes. Estes, apresentaram os seguintes percentuais de resistência: P1 (82% MDR e 18% not-MDR); P2 (20% MDR e 80% not-MDR); P3 (60% MDR, 10% XDR e 40% not-MDR) e P4 (23% MDR, 8% XDR e 69% not-MDR). No P1, a maioria das bactérias gram-positivas foram resistentes a amoxilina, ceftriaxona, oxacilina, sinercid, teicoplanina e vancomicina.

Todos os isolados gram-positivos apresentaram resistência a clindamicina, ampicilina e penicilina. Adicionalmente, foi encontrado, três isolados de *C. davisae*, um membro da

família Enterobacteriaceae, bactéria rara, gram-negativa não esporulada e móvel em forma de bastonete (Peretz et al. 2013). Relatos científicos descrevem que isolados dessa bactéria são portadores de genes plasmidiais multirresistentes, como o *mcr-1*, que podem ser transferidos para microrganismos sensíveis que vivem em seu entorno (Agbonlahor et al. 2018; Sun et al. 2018a). Apesar de não ter sido realizada no presente estudo uma análise molecular, a presença da espécie *C. davisae* isolada das águas do Capibaribe, serve como um alerta para o risco que este ambiente está representando, já que este microrganismo é frequentemente encontrado em ambientes clínicos associado a várias infecções em humanos, inclusive bacteremia (Akinosoglou et al. 2012). Embora, alguns trabalhos já tenham detectado sua presença em regiões hídricas (Siegwald e de Jong, 2020; Ouédraogo et al. 2023).

Todos os isolados de *C. davisae* presentes no P1, apresentaram similaridade no perfil de resistência, sendo resistentes a antimicrobianos de importância hospitalar, como por exemplo a colistina também chamada de polimixina E (Rhouma et al. 2016; Gogry et al. 2021). A resistência à colistina por esse patógeno já é descrito em vários estudos (Dalamaga et al. 2008; Thompson e Sharkady 2020; Thompson e Sharkady 2021). Atualmente, esse perfil de resistência é um fenômeno mundial e tem causado preocupação, uma vez que é uma opção de tratamento de último recurso contra infecções bacterianas (Sun et al. 2018a).

Da mesma forma, um isolado de *K. pneumoniae* também exibiu resistência à colistina. Achados semelhantes foram vistos por Singh et al. (2017), que relataram resistência à colistina em quatro cepas de *K. pneumoniae*, em amostras ambientais de água doce localizado em Jharkhand, na Índia. Já o trabalho de Bueris et al. (2022), identificaram cepas de *K. pneumoniae* com perfil de resistência MDR em bivalves marinhos capturados na costa sudeste do Brasil, revelando uma ameaça de alerta vermelho para os consumidores de frutos do mar.

Em relação ao P2, foi possível observar que 80% dos isolados apresentaram-se como not-MDR, sensíveis a todas as classes de drogas testadas, exceto a clindamicina pertencente

a categoria lincosamidas para gram-positivas e piperacilina, aztreonam, colistina e fosfomicina para isolados gram-negativos. Dos dez isolados encontrados nesse ponto, apenas dois se mostraram MDR correspondendo a 20%. A espécie *K. oxytoca* detectada neste ponto, mostrou resistência a sete categorias de fármacos: aminoglicosídeos (amicacina), penicilina (amoxilina e piperacilina), cefalosporina (cefepima e cefuroxima), anfenicois (cloranfenicol), polimixinas (colistina), carbapenêmicos (ertapenem) e fosfônicos (fosfomicina).

Esse patógeno é frequentemente associado a quadros de infecções nosocomiais, bacteremia, pneumonia, meningite e infecções febris do trato urinário (Lin et al. 2010; Neog et al. 2021). Um estudo realizado com esgoto e águas de rios que atravessam a cidade de Örebro, no centro da Suécia, isolou *K. oxytoca* produtora de carbapenemase que mostrou resistência a imipenem e meropenem (Khan et al. 2018).

Outro estudo com águas superficiais em Chihuahua, no México, também identificou cepas de *K. oxytoca* e 50% dos isolados classificados como multirresistentes (Delgado-Gardea et al. 2016). Em sua pesquisa com moluscos bivalves marinhos Håkonsholm et al. (2020), verificaram a presença de 41 cepas de *K. oxytoca*, indicando que moluscos bivalves podem atuar como um reservatório para esses patógenos.

Já Nuernberg et al. (2021) ao realizarem análises microbiológicas em ostras no litoral sul de Santa Catarina, Brasil, isolaram quatro espécies de *K. oxytoca*, o que desperta atenção para o surgimento de doenças através da ingestão do patógeno ou das toxinas produzidas por estes. Sendo assim, a presença desta espécie na água rio Capibaribe é um forte indicativo de que este ambiente possui um elevado potencial de disseminação de patógenos favorecendo o aumento no número de infecções nos organismos aquáticos e na população que está direta ou indiretamente em contato com a água e as espécies deste rio.

Referente ao P3, 60% foram MDR. O isolado gram-positivo *S. lugdunensis* apresentou resistência as categorias de penicilina (amoxilina, ampicilina, penicilina e oxacilina), cefalosporina (ceftriaxona), lincosamidas (clindamicina), aminoglicosídeos (eritromicina e gentamicina), glicopeptídeo (teicoplanina e vancomicina) e resistência intermediária a estreptograminas (sinercid). Isolados com perfis de resistência similares foram vistos em águas superficiais no sudeste da Carolina do Norte, Estados Unidos (Hatcher et al. 2016).

S. sciuri, apresentou resistência a todas as categorias de antibióticos testados exceto a fluoroquinolona (ciprofloxacino e levofloxacino), aminoglicosídeo (Gentamicina) e tetraciclina (tetraciclina). Em um estudo realizado em águas superficiais realizado por Silva et al. (2021b), os autores isolaram 28 cepas de *S. sciuri* todas resistentes à clindamicina, enquanto Gómez et al. (2016) identificaram quatro isolados, classificados como MDR, sendo um resistente a cefoxitina e a meticilina. Esses dados demonstram que o isolado de *S. sciuri* encontrado no presente estudo, apresenta um nível de resistência muito acima dos observados em outros trabalhos, o que chama atenção para o nível de poluição detectada no rio Capibaribe.

Cepas de *S. sciuri* também foram vistas em amostras de águas em um dos corpos hídricos mais poluídos do Egito (Abdelsalam et al. 2021). O autor chama atenção para o fato deste ambiente ter se tornado um reservatório de esgoto, devido ao descarte anual de resíduos industriais, domésticos e agrícolas (Abdelsalam et al. 2021), o que parece ser uma realidade não muito diferente do observado no Capibaribe.

Um dado alarmante corresponde a identificação de um isolado XDR. *Lactococcus lactis*, foi resistente a um ou mais agentes antimicrobiano em todas as categorias, exceto a ciprofloxacina e levofloxacina pertencentes a categoria fluoroquinolona e gentamicina que integra a classe dos aminoglicosídeos.

Quando analisado o P4, os dados também foram preocupantes. Das 13 cepas bacterianas, 69% (nove) not-MDR, 23% (três) MDR e 8% (uma) XDR. As not-MDR apresentaram-se sensíveis a todas as classes de drogas testadas, exceto *E. cloacae* que se mostrou resistente a fosfomicina, *P. agglomerans* resistente a colistina e *K. pneumoniae* resistência intermediária a cefazolina. Um estudo realizado com águas do rio Cisadane, isolou cepas de *P. agglomerans* com capacidade de acumular cobre como uma forma de mecanismo de resistência para removê-lo do ambiente (Irawati et al. 2022).

Referente às cepas MDR, *K. oxytoca* exibiu resistência a ampicilina-sulbactam, cefazolina, gentamicina e trimetoprim-sulfametoxazol. *K. pneumoniae* a cloranfenicol, gentamicina, piperacilina e trimetoprim-sulfametoxazol. Por último *S. haemolyticus*, com resistência a amoxilina, ampicilina, ceftriaxona, clindamicina, eritromicina, linezolid, penicilina, oxacilina, rifampicina, sinercid, teicoplanina e vancomicina. Vale salientar que, a espécie *S. epidermidis* apresentou resistência a todas as categorias, exceto a ciprofloxacina, levofloxacina e gentamicina, sendo portanto considerada XDR (tabela 4).

Achados semelhantes foram vistos por Silva et al. (2021b), que isolaram quatro espécies de *S. epidermidis*, dois desses apresentaram-se MDR, com uma alta diversidade de genes: *mecA* (resistência à meticilina), *msr* (A/B) e *mph* (C) (resistência a macrólidos e lincosamidas), *aac* (6')-Ie-*aph* (2'')-Ia e *aph* (3')-IIIa (resistência a aminoglicosídeos), *dfrA* e *fusB* (resistência a trimetoprim-sulfametoxazol) e *cat*_{pC221} (resistência a cloranfenicol).

Essa semelhança entre os perfis de resistência, traz um alerta sobre a condição de poluição encontrada atualmente no Capibaribe, o que tem contribuído para o aumento da resistência bacteriana, principalmente nos pontos investigados. Os dados apresentados aqui revelam as características locais encontradas ao entorno de cada ponto, indicando que um trabalho de vigilância ambiental necessita conter vários parâmetros associados aos aspectos

loais na tentativa de compreender a dinâmica física, química e biológica presente no ecossistema estudado.

Tabela 4. Perfil de susceptibilidade a antimicrobianos de isolados Gram positivos e negativos.

Ponto	Isolado	Patogênico ao homem	Espécie	MALDI-TOF MS (Score)	Perfil de Resistência
P1	P101	Sim	<i>Bacillus</i> sp.	1.77	MDR
	P103	Sim	<i>Staphylococcus schleiferi</i>	-	MDR
	P104	Sim	<i>Staphylococcus schleiferi</i>	-	MDR
	P105	Sim	<i>Klebsiella</i> sp.	1.71	-
	P107	Sim	<i>Klebsiella</i> sp.	1.90	-
	P108	Sim	<i>Staphylococcus schleiferi</i>	-	MDR
	P109	Sim	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	2.18	MDR
	P110	Sim	<i>Cedecea davisae</i>	-	MDR
	P111	Sim	<i>Cedecea davisae</i>	-	MDR
	P112	Sim	<i>Bacillus</i> sp.	1.82	MDR
	P113	Sim	<i>Cedecea davisae</i>	-	MDR
	P115	Sim	<i>Chromobacterium violaceum</i>	-	-
	P116	Sim	<i>Klebsiella ozaenae</i>	-	NMDR
	P117	Sim	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	-	NMDR
	P118	Sim	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	2.10	-
P2	P201	Não	<i>Acinetobacter lwoffii</i>	-	NMDR
	P202	Sim	<i>Klebsiella oxytoca</i>	-	MDR
	P204	Sim	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	-	NMDR
	P205	Sim	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	-	NMDR
	P206	Sim	<i>Yersinia pseudotuberculosis</i>	-	NMDR
	P208	Sim	<i>Proteus mirabilis</i>	-	NMDR
	P209	Sim	<i>Proteus mirabilis</i>	2.05	NMDR
	P211	Sim	<i>Enterobacter</i> sp.	1.83	NMDR
	P213	Sim	<i>Aeromonas caviae</i>	2.03	MDR
	P216	Sim	<i>Acinetobacter baumannii</i>	2.08	NMDR
	P217	Sim	<i>Enterobacter</i> sp.	1.77	-
P3	P303	Sim	<i>Staphylococcus sciuri</i>	-	MDR
	P304	Sim	<i>Salmonella entérica</i>	-	NMDR
	P306	Sim	<i>Staphylococcus lugdunensis</i>	-	MDR
	P307	Sim	<i>Lactococcus lactis</i>	2.03	XDR
	P308	Sim	<i>Escherichia coli</i>	2.22	MDR
	P309	Não	<i>Acinetobacter lwoffii</i>	-	NMDR
	P310	Sim	<i>Klebsiella oxytoca</i>	-	NMDR
	P311	Sim	<i>Enterobacter</i> sp.	1.91	-
	P312	Sim	<i>Enterobacter cloacae</i>	-	NMDR

	P316	Sim	<i>Enterobacter cloacae</i>	-	MDR
	P317	Sim	<i>Vibrio cholerae</i>	-	-
	P318	Sim	<i>Enterobacter cloacae</i>	-	MDR
P4	P401	Sim	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	-	NMDR
	P403	Sim	<i>Klebsiella</i> sp.	1.90	NMDR
	P404	Sim	<i>Klebsiella oxytoca</i>	-	MDR
	P406	Sim	<i>Enterobacter cloacae</i>	-	NMDR
	P407	Sim	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	-	MDR
	P408	Sim	<i>Staphylococcus epidermidis</i>	-	XDR
	P409	Sim	<i>Klebsiella</i> sp.	1.75	NMDR
	P410	Sim	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	2.07	NMDR
	P411	Sim	<i>Pantoea agglomerans</i>	-	NMDR
	P412	Sim	<i>Enterobacter</i> sp.	1.76	NMDR
	P414	Sim	<i>Staphylococcus haemolyticus</i>	-	MDR
	P415	Sim	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	2.24	NMDR
	P416	Sim	<i>Klebsiella pneumoniae</i>	2.11	NMDR

Legenda: - (Análise em processamento).

Considerações finais

Nossos achados sugerem que o lançamento de poluentes oriundos das ações antrópicas, industriais, hospitalares, domésticas e da agricultura são os principais responsáveis por comprometer a qualidade das águas do rio Capibaribe. Os níveis elevados de efluentes despejados sem tratamento prévio têm contribuído para diminuir a qualidade da água deste ecossistema. Esta qualidade torna-se ainda mais comprometida quando detectada patógenos oportunistas como descritos no presente estudo. A veiculação destes patógenos nesse ecossistema demonstra o potencial de disseminação do Capibaribe e representa os riscos aos organismos aquáticos e à saúde pública, configurando uma grande ameaça para a sociedade, os gestores e a comunidade científica.

Referências

Abdelsalam M, Ewiss MAZ, Khalefa HS, Mahmoud MA, Elgendy MY, Abdel-Moneam DA (2021) Coinfections of *Aeromonas* spp., *Enterococcus faecalis*, and *Vibrio alginolyticus* isolated from farmed Nile tilapia and African catfish in Egypt, with an emphasis on poor

- water quality. Microb Pathog 160:105213. <https://doi.org/10.1016/J.MICPATH.2021.105213>
- Agbonlahor DE, Ehiaghe JI, Eremwanarue OA, Ehiaghe AF, Oviasogie FE, Iyen RI, Ogbu EC, Ikhiuwu PE, Oseji MO, Abbey S, Tattfeng MS (2018) A primal incrimination of *Cedecea davisae* with post-prostatectomy urinary tract infection in Nigeria. Int J Biol Chem Sci 12:676–688. <https://doi.org/10.4314/ijbcs.v12i2.6>
- Akhere Pauline E, Osagie I, Abayomi Razzaq A, Omoniyi Moses S (2018) Experimental Determination of Drinking Water Quality in Abeokuta Metropolis, South-western Nigeria. Int J Adv Sci Res Eng 4:241–256. <https://doi.org/10.31695/IJASRE.2018.33035>
- Akinosoglou K, Perperis A, Siagris D, Goutou P, Spiliopoulou I, Gogos CA, Marangos M (2012) Bacteraemia due to *Cedecea davisae* in a patient with sigmoid colon cancer: a case report and brief review of the literature. Diagn Microbiol Infect Dis 74:303–306. <https://doi.org/10.1016/J.DIAGMICROBIO.2012.06.019>
- Ali AE, Sloane DR, Strezov V (2018) Assessment of Impacts of Coal Mining in the Region of Sydney, Australia on the Aquatic Environment Using Macroinvertebrates and Chlorophyll as Indicators. Int J Environ Res Public Health 15. <https://doi.org/10.3390/IJERPH15071556>
- Araújo DL, Andrade RF (2020) Qualidade Físico-Química e Microbiológica da Água Utilizada em Bebedouros de Instituições de Ensino no Brasil: Revisão Sistemática da Literatura / Physical-Chemical and Microbiological Quality of Water Used in Drinking Fountains in Educational Institutions in Brazil: Systematic Literature Review. Brazilian J Heal Rev 3:7301–7324. <https://doi.org/10.34119/BJHRV3N4-009>
- Arruda-Santos RH de, Costa BVM da, Carvalho PSM de, Zanardi-Lamardo E (2023) Sewage contamination assessment in an urbanized tropical estuary in Northeast Brazil using elemental, isotopic and molecular proxies. Environ Pollut 317:120726. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2022.120726>
- Arteta Peña Y, Moreno Pino MR, Steffanell De León I (2015) La Gestión Ambiental de la Cuenca del Río Magdalena desde un Enfoque Socialmente Responsable. Amauta, ISSN-e 1794-5658, Vol 13, N° 26, 2015 (Ejemplar Dedic a Rev Amauta), págs 193-218 13:193–218
- B A, Taiwo A, Adedamola M, C O (2021) An investigation on the epidemiology and risk factors associated with soil-transmitted helminth infections in Ijebu East Local Government Area, Ogun State, Nigeria. Sci African 12:e00757. <https://doi.org/10.1016/J.SCIAF.2021.E00757>
- Bain R, Cronk R, Wright J, Yang H, Slaymaker T, Bartram J (2014) Fecal Contamination of Drinking-Water in Low- and Middle-Income Countries: A Systematic Review and Meta-Analysis. PLOS Med 11:e1001644. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PMED.1001644>
- Beaz-Hidalgo R, Figueras MJ (2013) *Aeromonas* spp. whole genomes and virulence factors implicated in fish disease. J Fish Dis 36:371–388. <https://doi.org/10.1111/JFD.12025>
- Betancourt Ó, Tapia M, Méndez I (2015) Decline of General Intelligence in Children Exposed to Manganese from Mining Contamination in Puyango River Basin, Southern Ecuador. Ecohealth 12:453–460. <https://doi.org/10.1007/S10393-015-1027-2/FIGURES/4>
- Bittencourt TQM, Santos AR, Silva MCG, Silva JF, Silva NPC, Silva WE, Cadena PG, Amorim

- MJAAL (2018) Efeitos tóxicos de compostos de vanádio sobre os parâmetros biológicos de embriões e adultos de *zebrafish* (*Danio rerio*). Arq Bras Med Veterinária e Zootec 70:1877–1886. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-10009>
- Bolland MJ, Barber PA, Doughty RN, Mason B, Horne A, Ames R, Gamble GD, Grey A, Reid IR (2008) Vascular events in healthy older women receiving calcium supplementation: randomised controlled trial. BMJ 336:262–266. <https://doi.org/10.1136/BMJ.39440.525752.BE>
- Bortoli J (2016) QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA UTILIZADA PARA CONSUMO HUMANO E DESSEDENTAÇÃO ANIMAL EM PROPRIEDADES RURAIS PRODUTORAS DE LEITE NA REGIÃO DO VALE DO TAQUARI/RS
- Bouazid M, Kintz E, Hunter PR (2018) Risk factors for *Cryptosporidium* infection in low and middle income countries: A systematic review and meta-analysis. PLoS Negl Trop Dis 12:e0006553. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PNTD.0006553>
- Brodin M, Vallejos M, Opedal MT, Area MC, Chinga-Carrasco G (2017) Lignocellulosics as sustainable resources for production of bioplastics – A review. J Clean Prod 162:646–664. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2017.05.209>
- Bueris V, Sellera FP, Fuga B, Sano E, Carvalho MPN, Couto SCF, Moura Q, Lincopan N (2022) Convergence of virulence and resistance in international clones of WHO critical priority enterobacteriales isolated from Marine Bivalves. Sci Reports 2022 12:1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-09598-8>
- Burmeister AR (2015) Horizontal Gene Transfer. Evolution (N Y) 193–194. <https://doi.org/10.1093/emph/eov018>
- Cao KF, Chen Z, Wu YH, Mao Y, Shi Q, Chen XW, Bai Y, Li K, Hu HY (2022) The noteworthy chloride ions in reclaimed water: Harmful effects, concentration levels and control strategies. Water Res 215:118271. <https://doi.org/10.1016/J.WATRES.2022.118271>
- Charlie-Silva I, Malafaia G (2022) Fragments SARS-Cov-2 in aquatic organism represent an additional environmental risk concern: Urgent need for research. Sci Total Environ 817. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.153064>
- Chen Q, Zheng J, Wen L, Yang C, Zhang L (2019) A multi-functional-group modified cellulose for enhanced heavy metal cadmium adsorption: Performance and quantum chemical mechanism. Chemosphere 224:509–518. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2019.02.138>
- Claudino Maciel D, Varella Motta da COSTA B, Pereira de Souza SANTOS L, Roberto Botelho de SOUZA J, Zanardi-lamardo E UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO Departamento de Oceanografia TROPICAL OCEANOGRAPHY Revista online AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE DOS SEDIMENTOS DO SISTEMA ESTUARINO DO RIO CAPIBARIBE (PERNAMBUCO, BRASIL) UTILIZANDO O COPÉPODO BENTÔNICO *Tisbe biminiensis* VOLKMANN ROCCO (1973). <https://doi.org/10.5914/1679-3013.2015.0119>
- CLSI (2020) CLSI M100-ED29: 2021 Performance Standards for Antimicrobial Susceptibility Testing, 30th Edition

- Cockburn A, Brambilla G, Fernández-Cruz ML, Arcella D, Bordajandi LR, Cottrill B, van Peteghem C, Dorne J Lou (2013) Nitrite in feed: From Animal health to human health. *Toxicol Appl Pharmacol* 270:209–217. <https://doi.org/10.1016/J.TAAP.2010.11.008>
- Culler HF, Mota CM, Abe CM, Elias WP, Sircili MP, Franzolin MR (2014) Atypical enteropathogenic escherichia coli strains form biofilm on abiotic surfaces regardless of their adherence pattern on cultured epithelial cells. *Biomed Res Int* 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/845147>
- D’Haese PC, Douglas G, Verhulst A, Neven E, Behets GJ, Vervaet BA, Finsterle K, Lüring M, Spears B (2019) Human health risk associated with the management of phosphorus in freshwaters using lanthanum and aluminium. *Chemosphere* 220:286–299. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2018.12.093>
- Costa BVM, Santos PJP, Yogui GT (2021) Origin and Distribution of Total Organic Matter and Aliphatic Hydrocarbons in Sedimentary Fractions of a Highly Urbanized, Tropical Estuary. *Estuaries and Coasts* 44:1262–1273. <https://doi.org/10.1007/S12237-020-00890-2/FIGURES/5>
- Dalamaga M, Karmaniolas K, Arsenis G, Pantelaki M, Daskalopoulou K, Papadavid E, Migdalis I (2008) *Cedecia lapagei* bacteremia following cement-related chemical burn injury. *Burns* 34:1205–1207. <https://doi.org/10.1016/J.BURNS.2007.09.001>
- Daly RM, Ebeling PR (2010) Is Excess Calcium Harmful to Health? *Nutr* 2010, Vol 2, Pages 505-522 2:505–522. <https://doi.org/10.3390/NU2050505>
- Queiroz TM, de Oliveira LCP (2018) Qualidade da água em comunidades quilombolas do Vão Grande, município de Barra do Bugres (MT). *Eng sanit Ambient* 23:173–180. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018166375>
- Delgado-Gardea MCE, Tamez-Guerra P, Gomez-Flores R, de la Serna FJZD, Eroza-de la Vega G, Nevárez-Moorillón GV, Pérez-Recoder MC, Sánchez-Ramírez B, González-Horta MDC, Infante-Ramírez R (2016) Multidrug-Resistant Bacteria Isolated from Surface Water in Bassaseachic Falls National Park, Mexico. *Int J Environ Res Public Heal* 2016, Vol 13, Page 597 13:597. <https://doi.org/10.3390/IJERPH13060597>
- Faustino M, Elena Barboza Cotrim M, Generoso Faustino M, Bernardino de Seixas Carvalho da Silva T, Rebelo Monteiro L, Paulo S, Thamiris Brandino Stellato B, Moura Villa Soares S, Rodrigues Marques J, Aparecida Faustino Pires M (2017) Guarapiranga Reservoir-Pharmaceuticals and Historical Urban Occupation in a Water Source and METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE COCAÍNA E BENZOILECGONINA EM ÁGUAS SUPERFICIAIS View project. <https://doi.org/10.14684/SHEWC.17.2017.17-21>
- Félix NS, Lins BS, Oliveira LRG de (2020) DIAGNÓSTICO DOS INDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO CAPIBARIBE: UMA ANÁLISE DA TURBIDEZ, DBO E ESCHERICHIA COLI. *Most Pesqui em Ciência e Tecnol*
- Fernandes MB, Sicre MA, Cardoso JN, Macêdo SJ (1999) Sedimentary 4-desmethyl sterols and n-alkanols in an eutrophic urban estuary, Capibaribe River, Brazil. *Sci Total Environ* 231:1–16. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(99\)00077-7](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(99)00077-7)
- Fernández-Bravo A, Figueras MJ (2020) An Update on the Genus *Aeromonas*: Taxonomy, Epidemiology, and Pathogenicity. *Microorg* 2020, Vol 8, Page 129 8:129. <https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS8010129>

- Fernández MFC, Manosalva IRC, Quintero RFC, Marín CEM, Cuesta YED, Mahecha DE, Vásquez PAP (2022) Multitemporal Total Coliforms and *Escherichia coli* Analysis in the Middle Bogotá River Basin, 2007–2019. *Sustain* 2022, Vol 14, Page 1769 14:1769. <https://doi.org/10.3390/SU14031769>
- Ferrey ML, Coreen Hamilton M, Backe WJ, Anderson KE (2018) Pharmaceuticals and other anthropogenic chemicals in atmospheric particulates and precipitation. *Sci Total Environ* 612:1488–1497. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.06.201>
- Ghosh S, Padalia J, Moonah S (2019) Tissue Destruction Caused by *Entamoeba histolytica* Parasite: Cell Death, Inflammation, Invasion, and the Gut Microbiome. *Curr Clin Microbiol Reports* 6:51–57. <https://doi.org/10.1007/S40588-019-0113-6/TABLES/2>
- Gladwin MT, Schechter AN, Kim-Shapiro DB, Patel RP, Hogg N, Shiva S, Cannon RO, Kelm M, Wink DA, Espey MG, Oldfield EH, Pluta RM, Freeman BA, Lancaster JR, Feelisch M, Lundberg JO (2005) The emerging biology of the nitrite anion. *Nat Chem Biol* 2005 16 1:308–314. <https://doi.org/10.1038/nchembio1105-308>
- Glibert PM (2020) Harmful algae at the complex nexus of eutrophication and climate change. *Harmful Algae* 91:101583. <https://doi.org/10.1016/J.HAL.2019.03.001>
- Gogry FA, Siddiqui MT, Sultan I, Haq QMR (2021) Current Update on Intrinsic and Acquired Colistin Resistance Mechanisms in Bacteria. *Front Med* 8:1250. <https://doi.org/10.3389/FMED.2021.677720/BIBTEX>
- Gomes EB, Cataud H, Pereira P (2021) Distúrbios do Potássio. *VITTALLE - Rev Ciências da Saúde* 33:232–250. <https://doi.org/10.14295/VITTALLE.V33I1.13257>
- Gómez P, Lozano C, Benito D, Estepa V, Tenorio C, Zarazaga M, Torres C (2016) Characterization of staphylococci in urban wastewater treatment plants in Spain, with detection of methicillin resistant *Staphylococcus aureus* ST398. *Environ Pollut* 212:71–76. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2016.01.038>
- Gonçalves EM (2009) AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO UBERABINHA-UBERLÂNDIA-MG
- Gonçalves Pessoa RB, de Oliveira WF, Marques DSC, dos Santos Correia MT, de Carvalho EVMM, Coelho LCBB (2019) The genus *Aeromonas*: A general approach. *Microb Pathog* 130:81–94. <https://doi.org/10.1016/J.MICPATH.2019.02.036>
- Håkonsholm F, Hetland MAK, Svanevik CS, Sundsfjord A, Lunestad BT, Marathe NP (2020) Antibiotic Sensitivity Screening of *Klebsiella* spp. and *Raoultella* spp. Isolated from Marine Bivalve Molluscs Reveal Presence of CTX-M-Producing *K. pneumoniae*. *Microorg* 2020, Vol 8, Page 1909 8:1909. <https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS8121909>
- Hatcher SM, Myers KW, Heaney CD, Larsen J, Hall D, Miller MB, Stewart JR (2016) Occurrence of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* in surface waters near industrial hog operation spray fields. *Sci Total Environ* 565:1028–1036. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2016.05.083>
- Ho JY, Jong MC, Acharya K, Liew SSX, Smith DR, Noor ZZ, Goodson ML, Werner D, Graham DW, Eswaran J (2021) Multidrug-resistant bacteria and microbial communities in a river estuary with fragmented suburban waste management. *J Hazard Mater* 405:124687. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2020.124687>

- How CM, Kuo YH, Huang ML, Liao VHC (2023) Assessing the ecological risk and ecotoxicity of the microbially mediated restoration of heavy metal-contaminated river sediment. *Sci Total Environ* 858:159732. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.159732>
- Irawati W, Tahya CY, Greisnarningsi G (2022) *Pantoea agglomerans*, *Klebsiella pneumoniae*, and *Shigella flexneri* isolated from the Cisadane River as multiresistant bacteria to copper and dyes. *Indones J Biotechnol* 27:179–186. <https://doi.org/10.22146/IJBIOTECH.66103>
- Jagaba AH, Kutty SRM, Hayder G, Baloo L, Abubakar S, Ghaleb AAS, Lawal IM, Noor A, Umaru I, Almahbashi NMY (2020) Water quality hazard assessment for hand dug wells in Rafin Zurfi, Bauchi State, Nigeria. *Ain Shams Eng J* 11:983–999. <https://doi.org/10.1016/J.ASEJ.2020.02.004>
- Janik-Karpinska E, Brancaloni R, Niemcewicz M, Wojtas W, Foco M, Podogrocki M, Bijak M (2023) Healthcare Waste—A Serious Problem for Global Health. *Healthc* 2023, Vol 11, Page 242 11:242. <https://doi.org/10.3390/HEALTHCARE11020242>
- Kahlon SK, Sharma G, Julka JM, Kumar A, Sharma S, Stadler FJ (2018) Impact of heavy metals and nanoparticles on aquatic biota. *Environ Chem Lett* 2018 163 16:919–946. <https://doi.org/10.1007/S10311-018-0737-4>
- Khan FA, Hellmark B, Ehricht R, Söderquist B, Jass J (2018) Related carbapenemase-producing *Klebsiella* isolates detected in both a hospital and associated aquatic environment in Sweden. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis* 37:2241–2251. <https://doi.org/10.1007/S10096-018-3365-9/FIGURES/2>
- Kristanti RA, Hadibarata T, Syafrudin M, Yılmaz M, Abdullah S (2022) Microbiological Contaminants in Drinking Water: Current Status and Challenges. *Water Air Soil Pollut* 233:1–17. <https://doi.org/10.1007/S11270-022-05698-3/FIGURES/4>
- Krstić V, Urošević T, Pešovski B (2018) A review on adsorbents for treatment of water and wastewaters containing copper ions. *Chem Eng Sci* 192:273–287. <https://doi.org/10.1016/J.CES.2018.07.022>
- Krupińska I (2020) Aluminium Drinking Water Treatment Residuals and Their Toxic Impact on Human Health. *Mol* 2020, Vol 25, Page 641 25:641. <https://doi.org/10.3390/MOLECULES25030641>
- Kumar M, Jaiswal S, Sodhi KK, Shree P, Singh DK, Agrawal PK, Shukla P (2019) Antibiotics bioremediation: Perspectives on its ecotoxicity and resistance. *Environ Int* 124:448–461. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2018.12.065>
- Kümmerer K (2009) Antibiotics in the aquatic environment – A review – Part I. *Chemosphere* 75:417–434. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2008.11.086>
- Libânio M (2016) *Fundamentos de Qualidade e Tratamento de Água*, 4a edição.
- Li G, Sun GX, Ren Y, Luo XS, Zhu YG (2018) Urban soil and human health: a review. *Eur J Soil Sci* 69:196–215. <https://doi.org/10.1111/EJSS.12518>
- Li H, Xue X, Li Z, Pan B, Hao Y, Niu Q (2020a) Aluminium-induced synaptic plasticity injury via the PHF8–H3K9me2–BDNF signalling pathway. *Chemosphere* 244:125445. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2019.125445>
- Li L, Zou D, Xiao Z, Zeng X, Zhang L, Jiang L, Wang A, Ge D, Zhang G, Liu F (2019) Biochar as a sorbent for emerging contaminants enables improvements in waste management and

- sustainable resource use. *J Clean Prod* 210:1324–1342. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2018.11.087>
- Li M, Zhang B, Zou S, Liu Q, Yang M (2020b) Highly selective adsorption of vanadium (V) by nano-hydrous zirconium oxide-modified anion exchange resin. *J Hazard Mater* 384:121386. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2019.121386>
- Lin YT, Jeng YY, Chen TL, Fung CP (2010) Bacteremic community-acquired pneumonia due to *Klebsiella pneumoniae*: Clinical and microbiological characteristics in Taiwan, 2001–2008. *BMC Infect Dis* 10:1–7. <https://doi.org/10.1186/1471-2334-10-307/TABLES/4>
- Liu J, Huang Y, Li H, Duan H (2022) Recent advances in removal techniques of vanadium from water: A comprehensive review. *Chemosphere* 287:132021. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2021.132021>
- Liu Y, Liu G, Yuan Z, Liu H, Lam PKS (2018) Heavy metals (As, Hg and V) and stable isotope ratios ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$) in fish from Yellow River Estuary, China. *Sci Total Environ* 613–614:462–471. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2017.09.088>
- Löbner CA, Borba WF de, Silva JLS da (2015) *Ciência e Natura*. *Ciência e Nat* 37:115–121. <https://doi.org/10.5902/2179460X15833>
- López-Ortiz CM, Sentana-Gadea I, Varó-Galvañ PJ, Maestre-Pérez SE, Prats-Rico D (2018) Effect of magnetic ion exchange (MIEX®) on removal of emerging organic contaminants. *Chemosphere* 208:433–440. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2018.05.194>
- López ADF, Fabiani M, Lassalle VL, Spetter C V., Severini MDF (2022) Critical review of the characteristics, interactions, and toxicity of micro/nanomaterials pollutants in aquatic environments. *Mar Pollut Bull* 174:113276. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2021.113276>
- Maciel DC, de Souza JRB, Taniguchi S, Bicego MC, Schettini CAF, Zanardi-Lamardo E (2016) Hydrocarbons in sediments along a tropical estuary-shelf transition area: Sources and spatial distribution. *Mar Pollut Bull* 113:566–571. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2016.08.048>
- Mehdi Y, Létourneau-Montminy MP, Gaucher M Lou, Chorfi Y, Suresh G, Rouissi T, Brar SK, Côté C, Ramirez AA, Godbout S (2018) Use of antibiotics in broiler production: Global impacts and alternatives. *Anim Nutr* 4:170–178. <https://doi.org/10.1016/J.ANINU.2018.03.002>
- Mendel RR (2013) The Molybdenum Cofactor *. *J Biol Chem* 288:13165–13172
- Messias AS, Paiva SC, Morais OC (2020) Water Quality of the Capibaribe River, Municipality of Recife, State of Pernambuco, Brazil: A Case Study. *Int J Res Stud Sci Eng Technol* 7:37–43
- Musarurwa H, Tavengwa NT (2020) Application of carboxymethyl polysaccharides as biosorbents for the sequestration of heavy metals in aquatic environments. *Carbohydr Polym* 237:116142. <https://doi.org/10.1016/J.CARBPOL.2020.116142>
- Musaazi IG, McLoughlin S, Murphy HM, Rose JB, Hofstra N, Tumwebaze IK, Verbyla ME (2023) A systematic review and meta-analysis of pathogen reduction in onsite sanitation systems. *Water Res X* 100171. <https://doi.org/10.1016/J.WROA.2023.100171>
- Nagajyoti PC, Lee KD, Sreekanth TVM (2010) Heavy metals, occurrence and toxicity for

- plants: a review. *Environ Chem Lett* 2010 83 8:199–216. <https://doi.org/10.1007/S10311-010-0297-8>
- Nappier SP, Liguori K, Ichida AM, Stewart JR, Jones KR (2020) Antibiotic Resistance in Recreational Waters: State of the Science. *Int J Environ Res Public Heal* 2020, Vol 17, Page 8034 17:8034. <https://doi.org/10.3390/IJERPH17218034>
- Neog N, Phukan U, Puzari M, Sharma M, Chetia P (2021) *Klebsiella oxytoca* and Emerging Nosocomial Infections. *Curr Microbiol* 78:1115–1123. <https://doi.org/10.1007/S00284-021-02402-2/FIGURES/2>
- Nuernberg SS, Quadros RM de, Marques SMT, Boff L de A, Miguel R de L (2021) ANÁLISE MICROBIOLÓGICA EM OSTRAS (Bivalvia, Ostreidae) DE AMBIENTE NATURAL EM LAGUNA, SANTA CATARINA, BRASIL. *Sci Anim Heal* 9:200–215. <https://doi.org/10.15210/SAH.V9I3.21956>
- Obinna IB, Ebere EC (2019) A review: Water pollution by heavy metal and organic pollutants: Brief review of sources, effects and progress on remediation with aquatic plants. *Anal Methods Environ Chem J* 2:5–38. <https://doi.org/10.24200/AMECJ.V2.I03.66>
- Oliveira DD, Souza-Santos LP, Silva HKP, Macedo SJ (2014) Toxicity of sediments from a mangrove forest patch in an urban area in Pernambuco (Brazil). *Ecotoxicol Environ Saf* 104:373–378. <https://doi.org/10.1016/J.ECOENV.2014.02.004>
- Oliveira DT, Esquiaveto MMM, Silva JF (2007) Impacto dos itens da especificação do açúcar na indústria alimentícia. *Food Sci Technol* 27:99–102. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000500018>
- Omarova A, Tussupova K, Berndtsson R, Kalishev M, Sharapatova K (2018) Protozoan Parasites in Drinking Water: A System Approach for Improved Water, Sanitation and Hygiene in Developing Countries. *Int J Environ Res Public Heal* 2018, Vol 15, Page 495 15:495. <https://doi.org/10.3390/IJERPH15030495>
- Ouédraogo A, Traoré R, Ouédraogo GA, Somda NS, Cissé H, Ghogomu SM, Tchoumboungang F, Zongo C, Savadogo A, Ouédraogo A, Traoré R, Ouédraogo GA, Somda NS, Cissé H, Ghogomu SM, Tchoumboungang F, Zongo C, Savadogo A (2023) Phenotypic and Molecular Characterization of Staphylococcaceae and Enterobacteriaceae Species Isolated from Smoked, Dried, and Braised Fish Marketed in Ouagadougou. *Adv Microbiol* 13:48–75. <https://doi.org/10.4236/AM.2023.131004>
- Osińska A, Korzeniewska E, Harnisz M, Felis E, Bajkacz S, Jachimowicz P, Niestępski S, Konopka I (2020) Small-scale wastewater treatment plants as a source of the dissemination of antibiotic resistance genes in the aquatic environment. *J Hazard Mater* 381:121221. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2019.121221>
- Pentti K, Tuppurainen MT, Honkanen R, Sandini L, Kröger H, Alhava E, Saarikoski S (2009) Use of calcium supplements and the risk of coronary heart disease in 52–62-year-old women: The Kuopio Osteoporosis Risk Factor and Prevention Study. *Maturitas* 63:73–78. <https://doi.org/10.1016/J.MATURITAS.2009.03.006>
- Peretz A, Simsolo C, Farber E, Roth A, Brodsky D, Nakhoul F (2013) A rare bacteremia caused by *Cedecea davisae* in patient with chronic renal disease. *Am J Case Rep* 14:216. <https://doi.org/10.12659/AJCR.889285>
- Pessoa RBG, Marques DSC, Lima ROHA, Oliveira MBM, Lima GMS, Maciel de Carvalho

- EVM, Coelho LCB (2020) Molecular characterization and evaluation of virulence traits of *Aeromonas* spp. isolated from the tambaqui fish (*Colossoma macropomum*). *Microb Pathog* 147:104273. <https://doi.org/10.1016/J.MICPATH.2020.104273>
- Phu TQ, Hang BTB, Tuong DD, Anna VG, Kaneko T, Phuong NT, Huong DTT (2022) Effects of size and nitrite exposure on respiration, oxygen partitioning, and growth of obligate air-breathing fish *Channa striata*. *Fish Sci* 88:149–159. <https://doi.org/10.1007/S12562-021-01562-1/FIGURES/6>
- RAMOS-ORTEGA LM, VIDAL LA, VILARDY S, SAAVEDRA-DÍAZ L (2008) ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA (COLIFORMES TOTALES Y FECAL) EN LA BAHÍA DE SANTA MARTA, CARIBE COLOMBIANO. *Acta Biológica Colomb* 13:85–96
- Rathi BS, Kumar PS (2021) Application of adsorption process for effective removal of emerging contaminants from water and wastewater. *Environ Pollut* 280:116995. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2021.116995>
- Rhouma M, Beaudry F, Letellier A (2016) Resistance to colistin: what is the fate for this antibiotic in pig production? *Int J Antimicrob Agents* 48:119–126. <https://doi.org/10.1016/J.IJANTIMICAG.2016.04.008>
- Rocio Aguilar Piratoba A, Morganne Campos Ribeiro H, Piratoba Morales G, Gonçalves Gonçalves W (2017) Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil Characterization of water quality parameters in the port area of. *An Interdiscip J Appl Sci Palavras-chave*. <https://doi.org/10.4136/1980-993X>
- Rodríguez-Beltrán J, DelaFuente J, León-Sampedro R, MacLean RC, San Millán Á (2021) Beyond horizontal gene transfer: the role of plasmids in bacterial evolution. *Nat Rev Microbiol* 2021 196 19:347–359. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-00497-1>
- S.n. J, Muramthookil Thomas G, Rohith Raj R V., Masetti A, Tammana A, Motheram M, Gutlapalli NC (2021) Assessment of water quality Index and study of the impact of pollution on the rivers of Kerala. *Mater Today Proc* 43:3447–3451. <https://doi.org/10.1016/J.MATPR.2020.09.084>
- Sanaa D, Bouchaib B, Nadia B, Said EA (2019) Diagnostic de la Gestion des Effluents Liquides Hospitaliers de la Region de Casablanca-Settat. *Eur Sci Journal, ESJ* 15:171–171. <https://doi.org/10.19044/ESJ.2019.V15N6P171>
- Sanganyado E, Kajau TA (2022) The fate of emerging pollutants in aquatic systems: An overview. *Emerg Freshw Pollut Anal Fate Regul* 119–135. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822850-0.00002-8>
- Schijven JF, Blaak H, Schets FM, De Roda Husman AM (2015) Fate of Extended-Spectrum β -Lactamase-Producing *Escherichia coli* from Faecal Sources in Surface Water and Probability of Human Exposure through Swimming. *Environ Sci Technol* 49:11825–11833. https://doi.org/10.1021/ACS.EST.5B01888/ASSET/IMAGES/LARGE/ES-2015-018889_0005.JPEG
- Schwarz G, Mendel RR, Ribbe MW (2009) Molybdenum cofactors, enzymes and pathways. *Nat* 2009 4607257 460:839–847. <https://doi.org/10.1038/nature08302>
- Scott LC, Esser SM, Aubee A, Lee N, Flood MT, Aw TG (2022) Use of microbial fecal indicator monitoring and fecal source tracking as a park management tool in Rocky

- Mountain National Park. *Environ Challenges* 8:100583. <https://doi.org/10.1016/J.ENVC.2022.100583>
- Sharma VK, Johnson N, Cizmas L, McDonald TJ, Kim H (2016) A review of the influence of treatment strategies on antibiotic resistant bacteria and antibiotic resistance genes. *Chemosphere* 150:702–714. <https://doi.org/10.1016/J.CHEMOSPHERE.2015.12.084>
- Siegwald L, de Jong C (2020) Anthropogenic Impacts on Water Quality in a Small, Forested Mountain Catchment: A Case Study of the Seebächle, Black Forest, Southern Germany. *Sustain* 2020, Vol 12, Page 9022 12:9022. <https://doi.org/10.3390/SU12219022>
- Sikora-Jasinska M, Morath LM, Kwesiga MP, Plank ME, Nelson AL, Oliver AA, Bocks ML, Guillory RJ, Goldman J (2022) In-vivo evaluation of molybdenum as bioabsorbable stent candidate. *Bioact Mater* 14:262–271. <https://doi.org/10.1016/J.BIOACTMAT.2021.11.005>
- Silva RR da, Santos JCV dos, Silva YA da, Paiva SC de, Sarubbo LA, Luna JM de (2021a) Avaliação da qualidade microbiológica e físico-química da água de um trecho do Rio Capibaribe, no município de São Lourenço da Mata, Pernambuco, Brasil / Evaluation of the microbiological and physico-chemical quality of the water of a section of the Capibaribe River, located in the municipality of São Lourenço da Mata, Pernambuco, Brazil. *Brazilian J Dev* 7:62847–62866. <https://doi.org/10.34117/BJDV7N6-591>
- Silva V, Ferreira E, Manageiro V, Reis L, Tejedor-Junco MT, Sampaio A, Capelo JL, Caniça M, Igrejas G, Poeta P (2021b) Distribution and Clonal Diversity of *Staphylococcus aureus* and Other *Staphylococci* in Surface Waters: Detection of ST425-t742 and ST130-t843 mecC-Positive MRSA Strains. *Antibiotics* 10:1416. <https://doi.org/10.3390/ANTIBIOTICS10111416/S1>
- Singh SK, Mishra M, Sahoo M, Patole S, Mohapatra H (2017) Efflux mediated colistin resistance in diverse clones of *Klebsiella pneumoniae* from aquatic environment. *Microb Pathog* 102:109–112. <https://doi.org/10.1016/J.MICPATH.2016.11.024>
- Sousa S da S, Silva WS, Miranda JAL de, Rocha JA (2016) *Ciência e Natura*. *Ciência e Nat* 38:1615–1625. <https://doi.org/10.5902/2179460X23341>
- Starostin K V., Demidov EA, Bryanskaya A V., Efimov VM, Rozanov AS, Peltek SE (2015) Identification of *Bacillus* strains by MALDI TOF MS using geometric approach. *Sci Reports* 2015 5:1–9. <https://doi.org/10.1038/srep16989>
- Sun J, Zhang H, Liu YH, Feng Y (2018a) Towards Understanding MCR-like Colistin Resistance. *Trends Microbiol* 26:794–808. <https://doi.org/10.1016/J.TIM.2018.02.006>
- Sun S, Sidhu V, Rong Y, Zheng Y (2018b) Pesticide Pollution in Agricultural Soils and Sustainable Remediation Methods: a Review. *Curr Pollut Reports* 2018 43 4:240–250. <https://doi.org/10.1007/S40726-018-0092-X>
- Suzuki Y, Shimizu H, Tamai S, Hoshiko Y, Maeda T, Nukazawa K, Iguchi A, Masago Y, Ishii S (2023) Simultaneous detection of various pathogenic *Escherichia coli* in water by sequencing multiplex PCR amplicons. *Environ Monit Assess* 195:1–9. <https://doi.org/10.1007/S10661-022-10863-6/TABLES/2>
- Tavengwa NT, Dalu T (2022) Introduction to emerging freshwater pollutants. *Emerg Freshw Pollut Anal Fate Regul* 1–6. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822850-0.00029-6>
- Thompson DK, Sharkady SM (2021) Genomic Insights into Drug Resistance Determinants in

- Cedecea neteri, A Rare Opportunistic Pathogen. *Microorg* 2021, Vol 9, Page 1741 9:1741. <https://doi.org/10.3390/MICROORGANISMS9081741>
- Thompson DK, Sharkady SM (2020) Expanding spectrum of opportunistic *Cedecea* infections: Current clinical status and multidrug resistance. *Int J Infect Dis* 100:461–469. <https://doi.org/10.1016/J.IJID.2020.09.036>
- Todedji J, Sopoh G, Degbey C, Yessoufou A, Suanon F, Mama D (2021) Assessment of the quality of effluent management from university hospitals in the Littoral department in Benin. *BMC Public Health* 21:1–16. <https://doi.org/10.1186/S12889-021-11478-1/TABLES/5>
- Vasconcelos MB, CAJAZEIRAS CC de A, SOUSA RR de, CPRM SG do B-, CPRM SG do B-, CPRM SG do B- (2019) Aplicação da condutividade elétrica da água nos estudos hidrogeológicos da região Nordeste do Brasil
- Ventola CL (2015) The Antibiotic Resistance Crisis: Part 1: Causes and Threats. *Pharm Ther* 40:277. <https://doi.org/Article>
- Vieira Póvoas L, de Oliveira Leão J, Mendes Silva da Silva Biomédico J, Paula Melo Mariano A, Ribeiro de Carvalho L, Costa Campos Filho P (2020) Avaliação físicoquímica e microbiológica da qualidade da água do rio Cachoeira, Bahia, BR / Physical-chemical and microbiological evaluation of the water quality of the Cachoeira River, Bahia, BR. *Brazilian J Dev* 6:61258–61269. <https://doi.org/10.34117/BJDV6N8-516>
- Wang D, He Y, Liang J, Liu P, Zhuang P (2013) Distribution and source analysis of aluminum in rivers near Xi'an City, China. *Environ Monit Assess* 185:1041–1053. <https://doi.org/10.1007/S10661-012-2612-2/TABLES/7>
- Yang HJ, Jeong HJ, Bong KM, Jin DR, Kang TW, Ryu HS, Han JH, Yang WJ, Jung H, Hwang SH, Na EH (2020) Organic matter and heavy metal in river sediments of southwestern coastal Korea: Spatial distributions, pollution, and ecological risk assessment. *Mar Pollut Bull* 159:111466. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2020.111466>
- Yilong Z, Dean Z, Daoliang L (2015) Electrochemical and Other Methods for Detection and Determination of Dissolved Nitrite: A Review. *Int J Electrochem Sci* 10:1144–1168
- Zhang Q, Xu H, Song N, Liu S, Wang Y, Ye F, Ju Y, Jiao S, Shi L (2023) New insight into fate and transport of organic compounds from pollution sources to aquatic environment using non-targeted screening: A wastewater treatment plant case study. *Sci Total Environ* 863:161031. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2022.161031>
- Zaynab M, Al-Yahyai R, Ameen A, Sharif Y, Ali L, Fatima M, Khan KA, Li S (2022) Health and environmental effects of heavy metals. *J King Saud Univ - Sci* 34:101653. <https://doi.org/10.1016/J.JKSUS.2021.101653>
- Zhu YG, Zhao Y, Li B, Huang CL, Zhang SY, Yu S, Chen YS, Zhang T, Gillings MR, Su JQ (2017) Continental-scale pollution of estuaries with antibiotic resistance genes. *Nat Microbiol* 24 2:1–7. <https://doi.org/10.1038/nmicrobiol.2016.270>
- Zou H, Zhao J, He F, Zhong Z, Huang J, Zheng Y, Zhang Y, Yang Y, Yu F, Bashir MA, Gao B (2021) Ball milling biochar iron oxide composites for the removal of chromium (Cr(VI)) from water: Performance and mechanisms. *J Hazard Mater* 413:125252. <https://doi.org/10.1016/J.JHAZMAT.2021.125252>

5 CONCLUSÕES

- As análises físico-químicas mostram que os parâmetros sólidos totais dissolvidos, CE, nitrato e alguns metais (Al, P, S) se encontram fora do recomendado pela legislação. Em destaque, o P4 que apresentou valores elevados para a maioria dos parâmetros, indica que este local está recebendo uma descarga de efluentes mais significativa que os demais apresentando, portanto, condições físico-químicas menos favoráveis.
- Nos quatro pontos de coleta, foi confirmada a presença de coliformes totais e termotolerantes, além de parasitas humanos (exceto ponto 1). Esses dados confirmam a contaminação microbiológica do ambiente investigado. Dentre estes pontos, apresentou maior nível de contaminação para este parâmetro.
- A análise fenotípica e molecular revelou uma diversidade de microrganismos, incluindo patógenos (MDR) e XDR. Estes dados apontam a necessidade de estudos de vigilância ambiental no ambiente estudado, uma vez que representa um potencial risco para a saúde pública.
- Os dados apresentados, neste trabalho, revelam que a água do rio Capibaribe não atende a alguns parâmetros físico-químicos e biológicos exigidos pela legislação. Este estudo corresponde a primeira caracterização amostral da microbiota do rio Capibaribe e indica a dinâmica de dispersão de resíduos poluentes dos pontos investigados.

REFERÊNCIAS

- ABDELSALAM, M. et al. Coinfections of *Aeromonas* spp., *Enterococcus faecalis*, and *Vibrio alginolyticus* isolated from farmed Nile tilapia and African catfish in Egypt, with an emphasis on poor water quality. **Microbial Pathogenesis**, v. 160, p. 105213, 1 nov. 2021.
- ADELODUN, B. et al. Assessment of socioeconomic inequality based on virus-contaminated water usage in developing countries: A review. **Environmental Research**, v. 192, p. 110309, 1 jan. 2021.
- AHMED, J. et al. Quantitative Microbial Risk Assessment of Drinking Water Quality to Predict the Risk of Waterborne Diseases in Primary-School Children. **International Journal of Environmental Research and Public Health** 2020, Vol. 17, Page 2774, v. 17, n. 8, p. 2774, 17 abr. 2020.
- ALEXANDER, P. et al. Assessment of Physicochemical and Bacteriological Parameters of Borehole and Hand Dug Well Water in Michika and Environs, Adamawa State, Nigeria. **Microbiology Research Journal International**, v. 28, n. 6, p. 1–11, 10 set. 2019.
- ALONSO, A.; SÁNCHEZ, P.; MARTÍNEZ, J. L. Environmental selection of antibiotic resistance genes. **Environmental Microbiology**, v. 3, n. 1, p. 1–9, 1 fev. 2001.
- ALVARES, C. A. et al. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 1 dez. 2013.
- ALVES, R. N. et al. Contamination and Toxicity of Surface Waters Along Rural and Urban Regions of the Capibaribe River in Tropical Northeastern Brazil. **Environmental Toxicology and Chemistry**, v. 40, n. 11, p. 3063–3077, 1 nov. 2021.
- ANAKE, W.U, ET AL. **Physico-Chemical and microbial assessment of different water sources in Ota, Ogun State, Nigeria | International Journal of Current Research**. Disponível em: <<http://journalcra.com/article/physico-chemical-and-microbial-assessment-different-water-sources-ota-ogun-state-nigeria>>. Acesso em: 4 fev. 2023.
- APPELO, C. A. J.; POSTMA, D. Geochemistry, groundwater and pollution, second edition. **Geochemistry, Groundwater and Pollution, Second Edition**, p. 1–649, 1 jan. 2004.
- ARAÚJO, C. A. DE L. et al. Effects of Antibiotics on Impacted Aquatic Environment Microorganisms. **Emerging Contaminants**, 27 maio 2021.

ARAÚJO, L. C. A. DE et al. Effect of Heavy Metals on the Biofilm Formed by Microorganisms from Impacted Aquatic Environments. **Bacterial Biofilms**, 12 out. 2019.

ARAÚJO, M. C. DE et al. Impacts of Agricultural Toxicity on Non-Target Organisms in Aquatic Ecosystem. **Emerging Contaminants**, 30 nov. 2020.

ARRUDA-SANTOS, R. H. DE et al. Sewage contamination assessment in an urbanized tropical estuary in Northeast Brazil using elemental, isotopic and molecular proxies. **Environmental Pollution**, v. 317, p. 120726, 15 jan. 2023.

B, A. et al. An investigation on the epidemiology and risk factors associated with soil-transmitted helminth infections in Ijebu East Local Government Area, Ogun State, Nigeria. **Scientific African**, v. 12, p. e00757, 1 jul. 2021.

BAI, V. R. et al. Experimental study on total coliform violations in the complied NH₂CL, O₃, and UV treated municipal water supply system. **The European Physical Journal Plus** 2022 **137:6**, v. 137, n. 6, p. 1–18, 14 jun. 2022.

BAIN, R. et al. Fecal Contamination of Drinking-Water in Low- and Middle-Income Countries: A Systematic Review and Meta-Analysis. **PLOS Medicine**, v. 11, n. 5, p. e1001644, 2014.

BARANGE, M. et al. Marine Ecosystems and Global Change. **Marine Ecosystems and Global Change**, v. 9780199558, p. 1–440, maio 2010.

BASHIR, I. et al. Concerns and threats of contamination on aquatic ecosystems. **Bioremediation and Biotechnology: Sustainable Approaches to Pollution Degradation**, p. 1–26, jan. 2020.

BASSETTI, S. et al. Optimizing antibiotic therapies to reduce the risk of bacterial resistance. **European Journal of Internal Medicine**, v. 99, p. 7–12, 1 maio 2022.

BECK, H. E. et al. Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. **Scientific Data** 2018 **5:1**, v. 5, n. 1, p. 1–12, 30 out. 2018.

BERTRAND, G. F. et al. River bank filtration in tropical metropolises: integrated evaluation of physical, geochemical and biochemical interactions in Recife, NE Brazil. **International Journal of Environmental Science and Technology**, v. 19, n. 7, p. 5803–5818, 1 jul. 2022.

BETANCOURT, Ó.; TAPIA, M.; MÉNDEZ, I. Decline of General Intelligence in Children Exposed to Manganese from Mining Contamination in Puyango River Basin, Southern

Ecuador. **EcoHealth**, v. 12, n. 3, p. 453–460, 1 set. 2015.

BHATNAGAR, A.; SILLANPÄÄ, M. A review of emerging adsorbents for nitrate removal from water. **Chemical Engineering Journal**, v. 168, n. 2, p. 493–504, 1 abr. 2011.

BITTENCOURT, T. Q. M. et al. Efeitos tóxicos de compostos de vanádio sobre os parâmetros biológicos de embriões e adultos de *zebrafish* (*Danio rerio*). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, n. 6, p. 1877–1886, 1 nov. 2018.

BOLLAND, M. J. et al. Vascular events in healthy older women receiving calcium supplementation: randomised controlled trial. **BMJ**, v. 336, n. 7638, p. 262–266, 31 jan. 2008.

BORTOLI, J. QUALIDADE FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DA ÁGUA UTILIZADA PARA CONSUMO HUMANO E DESSEDENTAÇÃO ANIMAL EM PROPRIEDADES RURAIS PRODUTORAS DE LEITE NA REGIÃO DO VALE DO TAQUARI/RS. 2016.

BURMEISTER, A. R. Horizontal Gene Transfer. **Evolution**, p. 193–194, 2015.

BURPEE, B. T.; ANDERSON, D.; SAROS, J. E. Assessing ecological effects of glacial meltwater on lakes fed by the Greenland Ice Sheet: The role of nutrient subsidies and turbidity. <https://doi.org/10.1080/15230430.2017.1420953>, v. 50, n. 1, 1 jan. 2018.

CAO, K. F. et al. The noteworthy chloride ions in reclaimed water: Harmful effects, concentration levels and control strategies. **Water Research**, v. 215, p. 118271, 15 maio 2022.

CARREIRA, P. M.; MARQUES, J. M.; NUNES, D. Source of groundwater salinity in coastline aquifers based on environmental isotopes (Portugal): Natural vs. human interference. A review and reinterpretation. **Applied Geochemistry**, v. 41, p. 163–175, 1 fev. 2014.

CASSINI, A. et al. Attributable deaths and disability-adjusted life-years caused by infections with antibiotic-resistant bacteria in the EU and the European Economic Area in 2015: a population-level modelling analysis. **The Lancet Infectious Diseases**, v. 19, n. 1, p. 56–66, 1 jan. 2019.

CASTRO-GONZÁLEZ, N. P. et al. Health risks in rural populations due to heavy metals found in agricultural soils irrigated with wastewater in the Alto Balsas sub-basin in Tlaxcala and Puebla, Mexico. <https://doi.org/10.1080/09603123.2017.1386767>, v. 27, n. 6, p. 476–486, 2 nov. 2017.

CHAPARRO-HERRERA, D. J.; NANDINI, S.; SARMA, S. S. S. Turbidity effects on feeding by larvae of the endemic *Ambystoma mexicanum* and the introduced *Oreochromis niloticus* in Lake Xochimilco, Mexico. **Ecohydrology & Hydrobiology**, v. 20, n. 1, p. 91–101, 1 jan. 2020.

CHATTON, E. et al. Glacial recharge, salinisation and anthropogenic contamination in the coastal aquifers of Recife (Brazil). **Science of The Total Environment**, v. 569–570, p. 1114–1125, 1 nov. 2016.

CHEN, G. et al. Estimating Hourly Water Temperatures in Rivers Using Modified Sine and Sinusoidal Wave Functions. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 21, n. 10, p. 05016023, 14 jun. 2016.

CHIFUNDA, K.; KELLY, P. Parasitic infections of the gut in children. **Paediatrics and international child health**, v. 39, n. 1, p. 65–72, 2 jan. 2019.

CHIU, H. W. et al. Cationic polystyrene nanospheres induce autophagic cell death through the induction of endoplasmic reticulum stress. **Nanoscale**, v. 7, n. 2, p. 736–746, dez. 2014.

CHOW, L.; WALDRON, L.; GILLINGS, M. R. Potential impacts of aquatic pollutants: Sub-clinical antibiotic concentrations induce genome changes and promote antibiotic resistance. **Frontiers in Microbiology**, v. 6, n. AUG, p. 803, 2015.

CHRISTINE, A. A. et al. The assessment of bore-hole water quality of Kakamega County, Kenya. **Applied Water Science**, v. 8, n. 1, p. 1–8, 6 mar. 2018.

COCKBURN, A. et al. Nitrite in feed: From Animal health to human health. **Toxicology and Applied Pharmacology**, v. 270, n. 3, p. 209–217, 1 ago. 2013.

COLLIER, C. A. et al. Effects of anthropic actions and forest areas on a neotropical aquatic ecosystem. **Science of The Total Environment**, v. 691, p. 367–377, 15 nov. 2019.

COLOMBO; GEOVANA E MICHAEL MANNICH. (PDF) ESTIMATIVA DA TEMPERATURA DA ÁGUA EM RIOS UTILIZANDO A MÉDIA MÓVEL DA TEMPERATURA DO AR. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/340363133_ESTIMATIVA_DA_TEMPERATURA_DA_AGUA_EM_RIOS_UTILIZANDO_A_MEDIA_MOVEL_DA_TEMPERATURA_DO_AR>. Acesso em: 5 fev. 2023.

CYCON, M.; MROZIK, A.; PIOTROWSKA-SEGET, Z. Antibiotics in the soil environment—degradation and their impact on microbial activity and diversity. **Frontiers in Microbiology**,

v. 10, n. MAR, p. 338, 2019.

D'HAESE, P. C. et al. Human health risk associated with the management of phosphorus in freshwaters using lanthanum and aluminium. **Chemosphere**, v. 220, p. 286–299, 1 abr. 2019.

DALY, R. M.; EBELING, P. R. Is Excess Calcium Harmful to Health? **Nutrients** **2010**, **Vol. 2**, **Pages 505-522**, v. 2, n. 5, p. 505–522, 17 maio 2010.

DAVIES-COLLEY, R. J.; SMITH, D. G. TURBIDITY SUSPENDED SEDIMENT, AND WATER CLARITY: A REVIEW¹. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 37, n. 5, p. 1085–1101, 1 out. 2001.

DE HOLANDA, M. A. C. R.; SOARES, W. DE A. Analysis of the effect of impermeability of urban soils on the infiltration of rainwater in the city of Recife, PE. **Revista Ambiente & Água**, v. 14, n. 4, 22 jul. 2019.

DE MELO, R. R. C. et al. Influence of Extreme Strength in Water Quality of the Jucazinho Reservoir, Northeastern Brazil, PE. **Water** **2017**, **Vol. 9**, **Page 955**, v. 9, n. 12, p. 955, 7 dez. 2017.

DE OLIVEIRA, M. E. G. et al. Investigation of pre and post environmental impact of the lockdown (COVID-19) on the water quality of the Capibaribe and Tejipió rivers, Recife metropolitan region, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 118, p. 103965, 1 out. 2022.

DE QUEIROZ, T. M.; DE OLIVEIRA, L. C. P. Qualidade da água em comunidades quilombolas do Vão Grande, município de Barra do Bugres (MT). **Eng. sanit. ambient**, v. 23, n. 1, p. 173–180, 1 jan. 2018.

DE SÁ, L. C. et al. Studies of the effects of microplastics on aquatic organisms: What do we know and where should we focus our efforts in the future? **Science of The Total Environment**, v. 645, p. 1029–1039, dez. 2018.

DIXON, B. R. Parasitic illnesses associated with the consumption of fresh produce — an emerging issue in developed countries. **Current Opinion in Food Science**, v. 8, p. 104–109, 1 abr. 2016.

DOS SANTOS, N. B. C. et al. Assessing the effects of water quality on leaf morphoanatomy, ultrastructure and photosynthetic pigment content of *Salvinia auriculata* Aubl. (Salviniaceae). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 190, p. 110061, 1 mar. 2020.

DUBOURG, P. et al. Light and nutrient co-limitation of phytoplankton communities in a large reservoir: Lake Diefenbaker, Saskatchewan, Canada. **Journal of Great Lakes Research**, v. 41, p. 129–143, 1 jan. 2015.

EXNER, M. et al. Antibiotic resistance: What is so special about multidrug-resistant Gram-negative bacteria? **GMS Hygiene and Infection Control**, v. 12, p. Doc05, 2017.

FADLIAH RUSYDI PUSAT PENELITIAN GEOTEKNOLOGI, A. et al. PENCEMARAN LIMBAH DOMESTIK DAN PERTANIAN TERHADAP AIRTANAH BEBAS DI KABUPATEN BANDUNG. **RISET Geologi dan Pertambangan**, v. 25, n. 2, p. 87–97, 15 dez. 2015.

FERNÁNDEZ, M. F. C. et al. Multitemporal Total Coliforms and Escherichia coli Analysis in the Middle Bogotá River Basin, 2007–2019. **Sustainability 2022, Vol. 14, Page 1769**, v. 14, n. 3, p. 1769, 3 fev. 2022.

GALLO, F. et al. Marine litter plastics and microplastics and their toxic chemicals components: the need for urgent preventive measures. **Environmental Sciences Europe**, v. 30, n. 1, p. 1–14, dez. 2018.

GANESAN, P.; KAMARAJ, R.; VASUDEVAN, S. Application of isotherm, kinetic and thermodynamic models for the adsorption of nitrate ions on graphene from aqueous solution. **Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers**, v. 44, n. 5, p. 808–814, 1 set. 2013.

GE, H.; WANG, Y.; ZHAO, X. Research on the drug resistance mechanism of foodborne pathogens. **Microbial Pathogenesis**, v. 162, p. 105306, 1 jan. 2022.

GHOSH, S.; PADALIA, J.; MOONAH, S. Tissue Destruction Caused by Entamoeba histolytica Parasite: Cell Death, Inflammation, Invasion, and the Gut Microbiome. **Current Clinical Microbiology Reports**, v. 6, n. 1, p. 51–57, 15 mar. 2019.

GIZACHEW, M. et al. Bacteriological Contamination of Drinking Water Supply from Protected Water Sources to Point of Use and Water Handling Practices among Beneficiary Households of Boloso Sore Woreda, Wolaita Zone, Ethiopia. **International Journal of Microbiology**, v. 2020, 2020.

GLADWIN, M. T. et al. The emerging biology of the nitrite anion. **Nature Chemical Biology** 2005 1:6, v. 1, n. 6, p. 308–314, 2005.

GLIBERT, P. M. Harmful algae at the complex nexus of eutrophication and climate change.

Harmful Algae, v. 91, p. 101583, 1 jan. 2020.

GOMES, E. B.; CATAUD, H.; PEREIRA, P. Distúrbios do Potássio. **VITTALLE - Revista de Ciências da Saúde**, v. 33, n. 1, p. 232–250, 1 jul. 2021.

GOMES, J.; SILVA, D. A. Avaliação genotóxica e mutagênica em Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) das águas do Rio Capibaribe, Pernambuco, Brasil. 25 fev. 2019.

GONÇALVES, E. M. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA DO RIO UBERABINHA-UBERLÂNDIA-MG. 2009.

GONZÁLEZ-RAMÍREZ, L. C. et al. Influence of Environmental Pollution and Living Conditions on Parasite Transmission among Indigenous Ecuadorians. **International Journal of Environmental Research and Public Health** 2022, Vol. 19, Page 6901, v. 19, n. 11, p. 6901, 4 jun. 2022.

GOTERA, J. et al. Saneamiento ambiental y su relación con la prevalencia de parásitos intestinales. **Kasmera**, p. 59–65, 2019.

GU, Y. G. et al. Bioaccessibility and human health implications of heavy metals in different trophic level marine organisms: A case study of the South China Sea. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 163, p. 551–557, 15 nov. 2018.

GUZZI, G.; RONCHI, A.; PIGATTO, P. Toxic effects of mercury in humans and mammals. **Chemosphere**, v. 263, p. 127990, 1 jan. 2021.

HÄDER, D. P. et al. Anthropogenic pollution of aquatic ecosystems: Emerging problems with global implications. **Science of The Total Environment**, v. 713, p. 136586, abr. 2020.

HAMPEL, M.; BLASCO, J.; SEGNER, H. Molecular and cellular effects of contamination in aquatic ecosystems. **Environmental Science and Pollution Research** 2015 22:22, v. 22, n. 22, p. 17261–17266, out. 2015.

HARNISZ, M.; KORZENIEWSKA, E.; GOŁAŚ, I. The impact of a freshwater fish farm on the community of tetracycline-resistant bacteria and the structure of tetracycline resistance genes in river water. **Chemosphere**, v. 128, p. 134–141, 1 jun. 2015.

HORAK, I.; HORN, S.; PIETERS, R. Agrochemicals in freshwater systems and their potential as endocrine disrupting chemicals: A South African context. **Environmental Pollution**, v. 268, p. 115718, jan. 2021.

HOU, M. et al. Nitrate reduction in water by aluminum–iron alloy particles catalyzed by copper. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 3, n. 4, p. 2401–2407, 1 dez. 2015.

HUDSON, J. J.; VANDERGUCHT, D. M. Spatial and temporal patterns in physical properties and dissolved oxygen in Lake Diefenbaker, a large reservoir on the Canadian Prairies. **Journal of Great Lakes Research**, v. 41, p. 22–33, 1 jan. 2015.

IGHALO, J.; ADENIYI, A. G.; OTOIKHIAN, K. S. RECENT ADVANCES IN ENVIRONMENTAL PROTECTION OF OIL POLLUTED SURFACE AND GROUNDWATER IN THE NIGERIAN CONTEXT. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 6, n. 3, p. 0416–0420, 4 set. 2020.

IRAWATI, W.; TAHYA, C. Y.; GREISNANINGSI, G. Pantoea agglomerans, Klebsiella pneumoniae, and Shigella flexneri isolated from the Cisadane River as multiresistant bacteria to copper and dyes. **Indonesian Journal of Biotechnology**, v. 27, n. 4, p. 179–186, 30 dez. 2022.

ISMAIL MOHAMMED, S.; ADEL ABDULRAZZAQ, K. Developing Water Quality Index to Assess the Quality of the Drinking Water. **Civil Engineering Journal**, v. 4, n. 10, 2018.

Jl, X. et al. Antibiotic resistance gene abundances associated with antibiotics and heavy metals in animal manures and agricultural soils adjacent to feedlots in Shanghai; China. **Journal of Hazardous Materials**, v. 235–236, p. 178–185, 15 out. 2012.

JUNIOR, A. F. DA P. et al. Microbiota sampled from a polluted stream in Recife-PE, Brazil and its importance to public health. **African Journal of Microbiology Research**, v. 11, n. 28, p. 1142–1149, 28 jul. 2017.

KARIMI-MALEH, H. et al. Cyanazine herbicide monitoring as a hazardous substance by a DNA nanostructure biosensor. **Journal of Hazardous Materials**, v. 423, p. 127058, 5 fev. 2022.

KHALIL, I. A. et al. Morbidity and mortality due to shigella and enterotoxigenic Escherichia coli diarrhoea: the Global Burden of Disease Study 1990–2016. **The Lancet Infectious Diseases**, v. 18, n. 11, p. 1229–1240, 1 nov. 2018.

KLEIN, E. Y. et al. Global increase and geographic convergence in antibiotic consumption between 2000 and 2015. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 115, n. 15, p. E3463–E3470, 2018.

KOLI, P.; BHARDWAJ, N. R.; MAHAWER, S. K. Agrochemicals: Harmful and Beneficial Effects of Climate Changing Scenarios. **Climate Change and Agricultural Ecosystems: Current Challenges and Adaptation**, p. 65–94, jan. 2019.

KOSTASCHUK, R.; ADEN, A.; DESLOGES, J. R. Erosion, deposition and contamination by high-magnitude subaqueous debris flows and turbidity currents: Insights from the failure of a tailings dam near Quesnel Lake, British Columbia. **Sedimentology**, v. 68, n. 5, p. 1923–1940, 1 ago. 2021.

KRISHNA KUMAR, S. et al. Hydro-geochemistry and application of water quality index (WQI) for groundwater quality assessment, Anna Nagar, part of Chennai City, Tamil Nadu, India. **Applied Water Science**, v. 5, n. 4, p. 335–343, 24 dez. 2015.

KUMAR, A.; PAL, D. Antibiotic resistance and wastewater: Correlation, impact and critical human health challenges. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 6, n. 1, p. 52–58, 1 fev. 2018.

LAIRD, K. R. et al. Influence of glacial turbidity and climate on diatom communities in two Fjord Lakes (British Columbia, Canada). **Aquatic Sciences**, v. 83, n. 1, p. 1–17, 1 jan. 2021.

LANDRIGAN, P. J. et al. Human Health and Ocean Pollution. **Annals of Global Health**, v. 86, n. 1, p. 1–64, 2020.

LI, H. et al. Aluminium-induced synaptic plasticity injury via the PHF8–H3K9me2-BDNF signalling pathway. **Chemosphere**, v. 244, p. 125445, 1 abr. 2020.

LÓPEZ, A. D. F. et al. Critical review of the characteristics, interactions, and toxicity of micro/nanomaterials pollutants in aquatic environments. **Marine Pollution Bulletin**, v. 174, p. 113276, 1 jan. 2022.

MAHMUD, Z. H. et al. Extended-Spectrum Beta-Lactamase-Producing *Escherichia coli* in Drinking Water Samples From a Forcibly Displaced, Densely Populated Community Setting in Bangladesh. **Frontiers in Public Health**, v. 8, p. 228, 18 jun. 2020.

MARANDI, A.; POLIKARPUS, M.; JÖELEHT, A. A new approach for describing the relationship between electrical conductivity and major anion concentration in natural waters. **Applied Geochemistry**, v. 38, p. 103–109, nov. 2013.

MARTIN, N. H. et al. The evolving role of coliforms as indicators of unhygienic processing conditions in dairy foods. **Frontiers in Microbiology**, v. 7, n. SEP, p. 1549, 30 set. 2016.

MATOS, K. S. Aspectos moleculares da reativação da acetilcolinesterase inibida por ciclosarin e carbofurano. 15 fev. 2012.

MAURYA, P. K. et al. Bioaccumulation and potential sources of heavy metal contamination in fish species in River Ganga basin: Possible human health risks evaluation. **Toxicology Reports**, v. 6, p. 472–481, 1 jan. 2019.

MERIDE, Y.; AYENEW, B. Drinking water quality assessment and its effects on residents health in Wondo genet campus, Ethiopia. **Environmental Systems Research** 2016 5:1, v. 5, n. 1, p. 1–7, 21 jan. 2016.

MEYERS, G.; KAPELAN, Z.; KEEDWELL, E. Short-term forecasting of turbidity in trunk main networks. **Water Research**, v. 124, p. 67–76, 1 nov. 2017.

MOHAMMADI, A. A. et al. Assessment of Heavy Metal Pollution and Human Health Risks Assessment in Soils Around an Industrial Zone in Neyshabur, Iran. **Biological Trace Element Research**, v. 195, n. 1, p. 343–352, 1 maio 2020.

MOURA-JUNIOR, J. N. S. . UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS DEPARTAMENTO DE AGROECOLOGIA E AGROPECUÁRIA BACHARELADO EM AGROECOLOGIA CAMPUS II-LAGOA SECA QUALIDADE DA ÁGUA DESTINADA AO CONSUMO HUMANO EM INSTITUIÇÕES DE EDUCAÇÃO INFANTIL NA ZO. 2012.

NABATI SHOGLI, S.; JAMALI, J.; KESHAVARZ MORAVEJI, M. Electrical conductivity, viscosity, and density of different nanofluids: An experimental study. **Experimental Thermal and Fluid Science**, v. 74, p. 339–346, 1 jun. 2016.

NAGULAPALLY, S. R. et al. Occurrence of Ciprofloxacin-, Trimethoprim-Sulfamethoxazole-, and Vancomycin-Resistant Bacteria in a Municipal Wastewater Treatment Plant. **Water Environment Research**, v. 81, n. 1, p. 82–90, 1 jan. 2009.

NAPPIER, S. P. et al. Antibiotic Resistance in Recreational Waters: State of the Science. **International Journal of Environmental Research and Public Health** 2020, Vol. 17, Page 8034, v. 17, n. 21, p. 8034, 31 out. 2020.

NNADOZIE, C. F.; ODUME, O. N. Freshwater environments as reservoirs of antibiotic resistant bacteria and their role in the dissemination of antibiotic resistance genes. **Environmental Pollution**, v. 254, p. 113067, 1 nov. 2019.

NORIEGA, C. et al. Long-term water quality conditions and trends in 12 tropical coastal rivers in Northeast Brazil. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 193, n. 5, p. 1–24, 1 maio 2021.

OLIVEIRA, S. E.; MEDEIROS, R. P. P.; Ação Antrópica e o Processo de Eutrofização no Rio Paraíba do Meio. *Sociedade & Natureza*, v. 35, p. e66441, 2023.

OLIVEIRA, D. T.; ESQUIAVETO, M. M. M.; SILVA, J. F. Impacto dos itens da especificação do açúcar na indústria alimentícia. **Food Science and Technology**, v. 27, n. SUPPL.1, p. 99–102, 2007.

OMS; ONU. **Multicriteria-based ranking for risk management of food-borne parasites: report of a Joint FAO/WHO expert meeting, 3-7 September 2012, FAO Headquarters, Rome, Italy**. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/112672>>. Acesso em: 4 fev. 2023.

OMS. WHO GLOBAL WATER, SANITATION AND HYGIENE. 2019.

OMS. **Planejamento de segurança sanitária: manual para uso e descarte seguro de águas residuais, águas cinzas e excrementos**. Disponível em: <<https://apps.who.int/iris/handle/10665/171753>>. Acesso em: 4 mar. 2023.

OSIŃSKA, A.; HARNISZ, M.; KORZENIEWSKA, E. Prevalence of plasmid-mediated multidrug resistance determinants in fluoroquinolone-resistant bacteria isolated from sewage and surface water. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 23, n. 11, p. 10818–10831, 1 jun. 2016.

OUÉDRAOGO, A. et al. Phenotypic and Molecular Characterization of Staphylococcaceae and Enterobacteriaceae Species Isolated from Smoked, Dried, and Braised Fish Marketed in Ouagadougou. **Advances in Microbiology**, v. 13, n. 1, p. 48–75, 17 jan. 2023.

P. SUDARSHAN, M. MAHESH, T. R. **Assessment of Seasonal Variation in Water Quality and Water Quality Index (WQI) of Hebbal Lake, Bangalore, India**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/332401206_Assessment_of_Seasonal_Variation_in_Water_Quality_and_Water_Quality_Index_WQI_of_Hebbal_Lake_Bangalore_India>. Acesso em: 5 fev. 2023.

PAKZAD, K.; ALINEZHAD, H.; NASROLLAHZADEH, M. Euphorbia polygonifolia extract assisted biosynthesis of Fe₃O₄@CuO nanoparticles: Applications in the removal of metronidazole, ciprofloxacin and cephalixin antibiotics from aqueous solutions under UV

irradiation. **Applied Organometallic Chemistry**, v. 34, n. 11, p. e5910, 1 nov. 2020.

PAROLINI, M. Toxicity of the Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drugs (NSAIDs) acetylsalicylic acid, paracetamol, diclofenac, ibuprofen and naproxen towards freshwater invertebrates: A review. **Science of The Total Environment**, v. 740, p. 140043, 20 out. 2020.

PASTÉN-ZAPATA, E. et al. Assessment of sources and fate of nitrate in shallow groundwater of an agricultural area by using a multi-tracer approach. **Science of The Total Environment**, v. 470–471, p. 855–864, 1 fev. 2014.

PENTTI, K. et al. Use of calcium supplements and the risk of coronary heart disease in 52–62-year-old women: The Kuopio Osteoporosis Risk Factor and Prevention Study. **Maturitas**, v. 63, n. 1, p. 73–78, 20 maio 2009.

PERCEBON, C. M.; LIMA BITTENCOURT, A. V.; DA ROSA FILHO, E. F. DIAGNÓSTICO DA TEMPERATURA DAS ÁGUAS DOS PRINCIPAIS RIOS DE BLUMENAU, SC. **Boletim Paranaense de Geociências**, v. 56, n. 0, p. 7–19, jan. 2005.

PRATA, J. C. Airborne microplastics: Consequences to human health? **Environmental Pollution**, v. 234, p. 115–126, mar. 2018.

RAHMAN, A. et al. Potential human health risks due to environmental exposure to nano- and microplastics and knowledge gaps: A scoping review. **Science of The Total Environment**, v. 757, p. 143872, fev. 2021.

RAMOS-ORTEGA, L. M. et al. ANÁLISIS DE LA CONTAMINACIÓN MICROBIOLÓGICA (COLIFORMES TOTALES Y FECAL) EN LA BAHÍA DE SANTA MARTA, CARIBE COLOMBIANO. **Acta Biológica Colombiana**, v. 13, n. 3, p. 85–96, 2008.

REHMAN, K. et al. Prevalence of exposure of heavy metals and their impact on health consequences. **Journal of Cellular Biochemistry**, v. 119, n. 1, p. 157–184, 1 jan. 2018.

S. BARAL, R. KHANAL, R. J. ET AL. **Qualidade da água das zonas úmidas no Nepal: um estudo de caso do local Ramsar do reservatório de Jagadispur**. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/286138506_Water_Quality_of_Wetlands_in_Nepal_a_Case_Study_of_Jagadispur_Reservoir_Ramsar_Site>. Acesso em: 4 fev. 2023.

SALL, M. L. et al. Toxic heavy metals: impact on the environment and human health, and treatment with conducting organic polymers, a review. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 24, p. 29927–29942, 1 ago. 2020.

SANGANYADO, E.; KAJAU, T. A. The fate of emerging pollutants in aquatic systems: An overview. **Emerging Freshwater Pollutants: Analysis, Fate and Regulations**, p. 119–135, 1 jan. 2022.

SARAVANAN, A. et al. Degradation of toxic agrochemicals and pharmaceutical pollutants: Effective and alternative approaches toward photocatalysis. **Environmental Pollution**, v. 298, p. 118844, abr. 2022.

SCHIJVEN, J. F. et al. Fate of Extended-Spectrum β -Lactamase-Producing *Escherichia coli* from Faecal Sources in Surface Water and Probability of Human Exposure through Swimming. **Environmental Science and Technology**, v. 49, n. 19, p. 11825–11833, 4 set. 2015.

SCHIRINZI, G. F. et al. Cytotoxic effects of commonly used nanomaterials and microplastics on cerebral and epithelial human cells. **Environmental Research**, v. 159, p. 579–587, nov. 2017.

SCHMELLER, D. S. et al. People, pollution and pathogens – Global change impacts in mountain freshwater ecosystems. **Science of The Total Environment**, v. 622–623, p. 756–763, 1 maio 2018.

SCHWARZ, G.; MENDEL, R. R.; RIBBE, M. W. Molybdenum cofactors, enzymes and pathways. **Nature** **2009 460:7257**, v. 460, n. 7257, p. 839–847, 12 ago. 2009.

SCOTT, L. C. et al. Use of microbial fecal indicator monitoring and fecal source tracking as a park management tool in Rocky Mountain National Park. **Environmental Challenges**, v. 8, p. 100583, 1 ago. 2022.

SEILER, C.; BERENDONK, T. U. Heavy metal driven co-selection of antibiotic resistance in soil and water bodies impacted by agriculture and aquaculture. **Frontiers in Microbiology**, v. 3, n. DEC, p. 399, 14 dez. 2012.

SHRESTHA, A. K. et al. Variation of Electrical Conductivity of the Different Sources of Water with Temperature and Concentration of Electrolyte Solution NaCl. **International Journal of Recent Research and Review**, n. 3, 2017.

SIEGWALD, L.; DE JONG, C. Anthropogenic Impacts on Water Quality in a Small, Forested Mountain Catchment: A Case Study of the Seebächle, Black Forest, Southern Germany. **Sustainability** **2020, Vol. 12, Page 9022**, v. 12, n. 21, p. 9022, 30 out. 2020.

SIKORA-JASINSKA, M. et al. In-vivo evaluation of molybdenum as bioabsorbable stent

candidate. **Bioactive Materials**, v. 14, p. 262–271, 1 ago. 2022.

SILVA, J. et al. Frequency of transferable multiple antibiotic resistance amongst coliform bacteria isolated from a treated sewage effluent in Antofagasta, Chile. **Electronic Journal of Biotechnology**, v. 9, n. 5, p. 533–540, 15 out. 2006.

SILVA, V. et al. Distribution and Clonal Diversity of *Staphylococcus aureus* and Other *Staphylococci* in Surface Waters: Detection of ST425-t742 and ST130-t843 *mecC*-Positive MRSA Strains. **Antibiotics**, v. 10, n. 11, p. 1416, 1 nov. 2021.

SINGH, P. K. et al. Kinetic and equilibrium modeling for removal of nitrate from aqueous solutions and drinking water by a potential adsorbent, hydrous bismuth oxide. **RSC Advances**, v. 5, n. 45, p. 35365–35376, 17 abr. 2015.

SITOTAW, B.; GEREMEW, M. Bacteriological and Physicochemical Quality of Drinking Water in Adis Kidame Town, Northwest Ethiopia. **International journal of microbiology**, v. 2021, p. 1–6, 10 fev. 2021.

SOUSA, J. C. G. et al. A review on environmental monitoring of water organic pollutants identified by EU guidelines. **Journal of Hazardous Materials**, v. 344, p. 146–162, fev. 2018.

SQUADRONE, S. Water environments: metal-tolerant and antibiotic-resistant bacteria. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 4, p. 1–12, 1 abr. 2020.

SUMMERS, A. O. et al. Mercury released from dental “silver” fillings provokes an increase in mercury- and antibiotic-resistant bacteria in oral and intestinal floras of primates. **Antimicrobial Agents and Chemotherapy**, v. 37, n. 4, p. 825–834, 1993.

SUN, J. et al. Towards Understanding MCR-like Colistin Resistance. **Trends in Microbiology**, v. 26, n. 9, p. 794–808, 1 set. 2018.

TAVENGWA, N. T.; DALU, T. Introduction to emerging freshwater pollutants. **Emerging Freshwater Pollutants: Analysis, Fate and Regulations**, p. 1–6, 1 jan. 2022.

TSHIBANGU, P. N.; NDWANDWE, N.; DIXON DIKIO, E. Density, Viscosity and Conductivity Study of 1-Butyl-3-Methylimidazolium Bromide. **Int. J. Electrochem. Sci**, v. 6, p. 2201–2213, 2011.

UDHAYAKUMAR, R. et al. Assessment of physico-chemical characteristics of water in Tamilnadu. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 134, p. 474–477, 1 dez. 2016.

UNICEF; WHO. **Progress on Drinking Water, Sanitation and Hygiene** UNICEF: United Nations Children's Fund, , 7 jul. 2017.

UPRETY, S. et al. Assessment of microbial risks by characterization of *Escherichia coli* presence to analyze the public health risks from poor water quality in Nepal. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 226, p. 113484, 1 maio 2020.

VASCONCELOS, M. B. et al. Aplicação da condutividade elétrica da água nos estudos hidrogeológicos da região Nordeste do Brasil. 24 nov. 2019.

VENTOLA, C. L. The Antibiotic Resistance Crisis: Part 1: Causes and Threats. **Pharmacy and Therapeutics**, v. 40, n. 4, p. 277, 2015.

VERHOUGSTRAETE, M. P. et al. Linking fecal bacteria in rivers to landscape, geochemical, and hydrologic factors and sources at the basin scale. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 112, n. 33, p. 10419–10424, ago. 2015.

VIEIRA PÓVOAS, L. et al. Avaliação físicoquímica e microbiológica da qualidade da água do rio Cachoeira, Bahia, BR / Physical-chemical and microbiological evaluation of the water quality of the Cachoeira River, Bahia, BR. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 8, p. 61258–61269, 24 ago. 2020.

WANG, D. et al. Distribution and source analysis of aluminum in rivers near Xi'an City, China. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 185, n. 2, p. 1041–1053, 3 fev. 2013.

WANG, N. et al. One-step synthesis of cake-like biosorbents from plant biomass for the effective removal and recovery heavy metals: Effect of plant species and roles of xanthation. **Chemosphere**, v. 266, p. 129129, 1 mar. 2021.

WANG, W. et al. The ecotoxicological effects of microplastics on aquatic food web, from primary producer to human: A review. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 173, p. 110–117, maio 2019.

XU, G. et al. Fecal coliform distribution and health risk assessment in surface water in an urban-intensive catchment. **Journal of Hydrology**, v. 604, p. 127204, 1 jan. 2022.

YADAV, K. K. et al. GIS-based evaluation of groundwater geochemistry and statistical determination of the fate of contaminants in shallow aquifers from different functional areas of Agra city, India: levels and spatial distributions. **RSC Advances**, v. 8, n. 29, p. 15876–15889, 27 abr. 2018.

YAZDANKHAH, S.; SKJERVE, E.; WASTESON, Y. Antimicrobial resistance due to the content of potentially toxic metals in soil and fertilizing products. <https://doi.org/10.1080/16512235.2018.1548248>, v. 29, n. 1, p. 1548248, jan. 2018.

YILONG, Z.; DEAN, Z.; DAOLIANG, L. Electrochemical and Other Methods for Detection and Determination of Dissolved Nitrite: A Review. **Int. J. Electrochem. Sci**, v. 10, p. 1144–1168, 2015.

YU, Z. et al. Antimicrobial resistance and its association with tolerance to heavy metals in agriculture production. **Food Microbiology**, v. 64, p. 23–32, 1 jun. 2017.

ZHANG, M. et al. Distributions and origins of nitrate, nitrite, and ammonium in various aquifers in an urbanized coastal area, south China. **Journal of Hydrology**, v. 582, p. 124528, 1 mar. 2020.

ZHANG, X. et al. Correlation between conductivity and total dissolved solid in various type of water: A review. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 118, n. 1, p. 012019, 1 fev. 2018.

ZHOU, J.; QIN, B.; HAN, X. The synergetic effects of turbulence and turbidity on the zooplankton community structure in large, shallow Lake Taihu. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 2, p. 1168–1175, 1 jan. 2018.

ZHU, Y. G. et al. Continental-scale pollution of estuaries with antibiotic resistance genes. **Nature Microbiology** 2017 2:4, v. 2, n. 4, p. 1–7, 30 jan. 2017.