



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO CENTRO DE BIOCÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO
BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS COM ÊNFASE EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS

YASMIM SUELLEM DE CARVALHO VASCONCELOS

**REVISÃO SOBRE ESTUDOS FOCADOS NA CONTAMINAÇÃO QUÍMICA E
EFEITOS ECOTOXICOLÓGICOS NO RIO CAPIBARIBE**

RECIFE
2024

YASMIM SUELLEM DE CARVALHO VASCONCELOS

**REVISÃO SOBRE ESTUDOS FOCADOS NA CONTAMINAÇÃO QUÍMICA E
EFEITOS ECOTOXICOLÓGICOS NO RIO CAPIBARIBE**

Trabalho de Conclusão de Curso de
Graduação apresentado ao Bacharelado em
Ciências Biológicas com ênfase em Ciências
Ambientais da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para
obtenção do título de bacharel.

Orientador (a): Paulo Sergio Martins de Carvalho

RECIFE

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Vasconcelos, Yasmim Suellem de Carvalho.

Revisão sobre estudos focados na contaminação química e efeitos
ecotoxicológicos no rio Capibaribe / Yasmim Suellem de Carvalho Vasconcelos.
- Recife, 2024.

38 p. : il., tab.

Orientador(a): Paulo Sergio Martins de Carvalho

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de
Pernambuco, Centro de Biociências, Ciências Biológicas /Ciências
Ambientais - Bacharelado, 2024.

Inclui referências, apêndices.

1. Rio Capibaribe. 2. metais. 3. HPAs. 4. Estrógenos. 5.
Diclorodifeniltrocloroetano. I. Carvalho, Paulo Sergio Martins de. (Orientação).
II. Título.

570 CDD (22.ed.)

**REVISÃO SOBRE ESTUDOS FOCADOS NA CONTAMINAÇÃO QUÍMICA E
EFEITOS ECOTOXICOLÓGICOS NO RIO CAPIBARIBE**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação apresentado ao Bacharelado em Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel.

Aprovada em: 11/03/2024

COMISSÃO EXAMINADORA

Dr. Paulo Sérgio Martins de Carvalho (Orientador)
Departamento de Zoologia- UFPE

Dr. Rômulo Nepomuceno Alves/ UFPE
(1º Titular)

Dra. Fiamma Eugênia Lemos Abreu/UFPE
(2º Titular)

Recife
2024

À minha
família Mauricio, Keila, Lucas
e Valdenia
Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, pela oportunidade da vida, por guiar as minhas decisões, pela força nos momentos difíceis e por colocar pessoas incríveis no meu caminho. Aos meus pais e à minha avó, os meus tesouros e primeiros educadores, que me ensinaram o respeito, a responsabilidade, a fé, a gratidão e o amor. Mais especificamente, à minha mãe Keila Vasconcelos, pela dedicação, cuidado, por ter um coração do tamanho do mundo; ao meu pai Mauricio Vasconcelos, por me ensinar o valor das pequenas coisas e por me mostrar que quando queremos alcançar um objetivo, basta acreditar e persistir; à minha avó Valdenia, minha segunda mãe, pelo carinho e cuidado a cada dia durante minha trajetória acadêmica. Sem eles eu não seria quem sou, nem teria chegado até aqui. Um agradecimento especial ao meu companheiro Lucas Vilela, que sempre se fez presente com palavras de incentivo, ajudando em diversas etapas do curso e me consolando nos piores momentos. E aos meus familiares, por torcerem por mim. Gostaria de agradecer a cada um, pois recebi palavras sinceras de apoio, mas infelizmente o espaço é limitado. Mas amo todos! Muito obrigada!

Sou muito grata ao meu orientador, o Prof. Dr. Paulo Sergio, pela paciência, respeito e dedicação aos seus alunos. Agradeço a toda equipe do LABECOTOX pelos preciosos ensinamentos em Ecotoxicologia Aquática, e principalmente a Célio Mariz e Maria Alves por ajudar na realização deste trabalho.

Agradeço aos meus amigos do curso, em especial a Maianne Santos e Silvia Helena pela amizade verdadeira, apoio, companheirismo, estudos e tudo que vivemos nesses 4 anos! Vocês são entre os maiores presentes que a Biologia me deu! A minha amiga de longa data Clara Correia que é como uma irmã para mim por sempre se fazer presente, uma pessoa incrível com quem divido momentos especiais.

Agradeço ainda aos meus professores que ministraram as disciplinas do curso de Bacharelado em Ciências Biológicas - Ambientais, pelas informações transmitidas e por incentivar os alunos a se tornarem profissionais melhores.

Enfim, obrigada a todos que de forma direta ou indireta, colaboraram para o meu crescimento profissional e pessoal. E claro, agradeço a minha existência nesse Planeta Terra.

*“O que faz andar o barco não é a vela enfunada,
mas o vento que não se vê...”*

Platão

RESUMO

A bacia do rio Capibaribe é crucial e serve como fonte de recursos para as populações humanas e para a biodiversidade local, contribuindo para o desenvolvimento de 42 cidades ao longo do seu trajeto até sua foz. Neste trabalho o rio Capibaribe foi dividido em 3 macrozonas, a macrozona 1 é o Alto Capibaribe (situada desde Jataúba e Poção até Toritama), a macrozona 2 é o Médio Capibaribe (entre as cidades de Toritama e Limoeiro) e a macrozona 3 é o Baixo Capibaribe (entre Limoeiro e a cidade de Recife), sendo esta última a macrozona de grande importância pois abrange o trajeto onde o rio é considerado perene, influenciando nos aspectos ambientais e socioeconômicos da região. Esta é uma revisão bibliográfica sistemática descritiva, com coleta de dados secundários, focado em trabalhos publicados entre o período de 2015 a 2024. Nesta revisão foi possível observar que a bacia do rio Capibaribe apresentou níveis acima do permitido de: Coliformes Termotolerantes, Fósforo Total e DBO nos relatórios emitidos pela CPRH nos anos de 2017 a 2019, além da presença de contaminação por metais pesados (ferro, chumbo, zinco, manganês e cádmio, cromo e cobre) na região estuarina do rio Capibaribe (macrozona 3), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) fenantreno, naftaleno e pireno em todos os pontos de coleta da agência estadual de meio ambiente CPRH na macrozona 3, com destaque para o município de Limoeiro. Na porção estuarina do rio foram quantificados hidrocarbonetos alifáticos (HAs), estrógenos, bisfenol-A, tributilestanho (TBT) e dicloro-difenil-tricloroetano (DDT) (encontrado também na zona rural associado a pesticidas agrícolas), sendo a quantificação desses contaminantes associada ao esgotamento doméstico/industrial no rio Capibaribe e plantações em região rural. Alguns estudos além da quantificação química realizaram testes ecotoxicológicos, com destaque para *O. niloticus* apresentando maiores frequências de micronúcleos e danos genéticos, estágios iniciais de zebrafish *Danio rerio* apresentando atraso do desenvolvimento embrionário (principalmente nos trechos analisados em Limoeiro, Vitória de Santo Antão, São Lourenço da Mata e Recife) e diminuição da fecundidade do copépode *Tisbe biminiensis* (porção estuarina) associada a presença de contaminantes como HPAs, HAs, estrógenos, Bisfenol-A, TBT e DDT.

Palavras-chave: Rio Capibaribe; metais; HPAs; Estrógenos; Diclorodifeniltricloroetano;

ABSTRACT

The Capibaribe River basin is crucial and serves as a resource for human populations and local biodiversity, contributing to the development of 42 cities along its course to its mouth. In this work, the Capibaribe River was divided into 3 macrozones: macrozone 1 is the Upper Capibaribe (located from Jataúba and Poção to Toritama), macrozone 2 is the Middle Capibaribe (between the cities of Toritama and Limoeiro), and macrozone 3 is the Lower Capibaribe (between Limoeiro and the city of Recife), with the latter being of great importance as it covers the stretch where the river is considered perennial, influencing the environmental and socioeconomic aspects of the region. This is a descriptive systematic literature review, with secondary data collection, focusing on works published between the period of 2015 to 2024. In this review, it was observed that the Capibaribe River basin presented levels above permissible limits of: Thermotolerant Coliforms, Total Phosphorus, and Biochemical Oxygen Demand (BOD) in reports issued by CPRH in the years 2017 to 2019, in addition to contamination by heavy metals (iron, lead, zinc, manganese, cadmium, chromium, and copper) in the estuarine region of the Capibaribe River (macrozone 3), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) phenanthrene, naphthalene, and pyrene at all sampling points of the state environmental agency CPRH in macrozone 3, with emphasis on the municipality of Limoeiro. In the estuarine portion of the river, aliphatic hydrocarbons (AHs), estrogens, bisphenol-A, tributyltin (TBT), and dichloro-diphenyl-trichloroethane (DDT) were quantified (also found in rural areas associated with agricultural pesticides), with the quantification of these contaminants associated with domestic/industrial wastewater in the Capibaribe River and plantations in rural areas. Some studies, in addition to chemical quantification, conducted ecotoxicological tests, with highlights including *O. niloticus* showing higher frequencies of micronuclei and genetic damage, early stages of zebrafish *Danio rerio* showing embryolarval development delay (mainly in the sections analyzed in Limoeiro, Vitória de Santo Antão, São Lourenço da Mata, and Recife), and a decrease in the fecundity of the copepod *Tisbe biminiensis* (estuarine portion) associated with the presence of contaminants such as PAHs, AHs, estrogens, bisphenol-A, TBT, and DDT.

Keywords: Capibaribe River; metals; PAHs; Estrogens; Dichlorodiphenyltrichloroethane

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa das macrozonas	18
Figura 2 - Mapa das estações de monitoramento da CPRH.....	21
Figura 3 - Mapa de trabalhos realizados na macrozona 3.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Referências bibliográficas envolvendo análises químicas de contaminantes e/ou análises ecotoxicológicas ao longo do curso do rio Capibaribe nas suas 3 principais macrozonas

LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
OD	Oxigênio dissolvido
ST	Sólidos totais
MO	Matéria orgânica
COT	Carbono total
IET	Índice de estado trófico
IAQ	Índice de qualidade da água
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente
DDT	Diclorodifenilcloroetano
HAs	Hidrocarbonetos alifáticos
HPAs	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
DDE	Diclorodifenildicloroetileno
DDD	Diclorodifeniltricloroetano
TBT	Tributilestanhos
OTs	Organoestânicos
POPs	Poluentes orgânicos persistentes
PCBs	Bifenilas policloradas
CEO	Concentração de efeito observado
GMS	General Morphology Score
hpf	Horas pós-fertilização

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1 ECOTOXICOLOGIA.....	15
2.1.1 Ecotoxicologia aquática.....	16
2.2 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAPIBARIBE.....	17
2.3 MACROZONAS DA BACIA DO RIO CAPIBARIBE	17
2.4 ENQUADRAMENTO DO RIO CAPIBARIBE NAS CLASSES DE USO ESTABELECIDAS PELA RESOLUÇÃO CONAMA 357/2005.....	18
2.5 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUA DO RIO CAPIBARIBE PELA AGENCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE - CPRH	19
2.5.1 Índice de qualidade da água	21
2.5.2 Índice de estado trófico	21
2.5.4 Avaliação da ecotoxicidade para <i>Daphnia magna</i> - CPRH	22
2.5.4 Índice de Desenvolvimento Morfológico – <i>Danio rerio</i>	22
2.6 CONTAMINAÇÃO QUÍMICA DE RIOS.....	22
2.6.1 Hidrocarbonetos alifáticos	22
2.6.2 Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos.....	23
2.6.3 Metais	23
2.6.4 Estrógenos	24
2.6.5 Bisfenol-A	24
2.6.6 Tributilestano	24
2.6.7 Diclorodifeniltricloroetano (DDT)	24
3. OBJETIVOS	24
3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	24
4. MATERIAIS E MÉTODOS	26
4.1. ÁREA DE ESTUDO	26
4.2 TIPO DE REVISÃO, PERÍODO DE PESQUISA, RESTRIÇÃO LINGUÍSTICA E TEMPORAL.....	26
4.3 BASES DE DADOS, DESCRITORES E ESTRATÉGIAS DE BUSCA.....	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	27
5.2 ABUNDÂNCIA DE ICTIOFAUNA	27
5.3 CONTAMINAÇÃO QUÍMICA DO RIO CAPIBARIBE	28
5.4 TESTES ECOTOXICOLÓGICOS	30
6. CONCLUSÃO	32
7. REFERÊNCIAS	33

1. INTRODUÇÃO

Os rios são componentes vitais dos ecossistemas, servindo como recurso para comunidades e organismos. No entanto, esses corpos de água enfrentam uma ameaça crescente de contaminação por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), hidrocarbonetos alifáticos (HAs), bifenilas policloradas (PCB) e estrógenos. A contaminação dos rios por estas substâncias tornou-se uma preocupação ambiental significativa devido à sua persistência, toxicidade e potenciais efeitos adversos nos ecossistemas e na saúde humana.

O rio Capibaribe desempenha um papel crucial no contexto socioeconômico e ambiental do estado de Pernambuco e ao longo dos anos tem sido objeto de diversas transformações influenciadas por atividades antrópicas e processos naturais (Nóbrega 2011). Essa bacia apresenta cerca de 270 km de extensão, nascendo na Serra do Jacarará, e passando por 42 cidades até sua foz, sendo fonte de recurso para as cidades que estão no seu curso.

Ainda no século XIX o rio passava por transformações em suas paisagens (como mudança de paisagens rurais para urbanas), baseado em relatos dos viajantes que por ele passavam, e foi um fator importante para o desenvolvimento de cidades como Recife (Melo 2007). A pressão exercida pela urbanização ocorre no rio desde 1991, com a introdução de grandes volumes de esgoto doméstico com elevados teores de matéria orgânica e de nutrientes, apresentando um pico de eutrofização em 1999 (Collier, de Almeida Neto et al. 2015).

O rio Capibaribe tem sido amplamente explorado para atividades antrópicas como agricultura, pecuária e indústrias (Collier, de Almeida Neto et al. 2019), sendo quantificado contaminantes como metais não essenciais, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), agroquímicos e organoclorados no curso do rio (D'amato, Torres et al. 2002, Karla Philippini da Silva 2004, Araújo 2018). Testes ecotoxicológicos com *Danio rerio*, *Tisbe biminiensis* e *Poecilia vivípara* foram realizados principalmente na porção perene do rio Capibaribe, que abrange as cidades a partir de Limoeiro, e foram observados efeitos letais e subletais como retardo no desenvolvimento do organismo, baixa fecundidade e danos genéticos (Maciel, Costa et al. 2015, Alves, Mariz Jr. et al. 2021, de Melo, de Paulo et al. 2021).

O monitoramento das águas superficiais do rio Capibaribe é realizado pela Agência Estadual do Meio Ambiente (CPRH) por meio de análises físico-químicas, e pelo Índice de Qualidade da água (IQA), que incorpora nove variáveis consideradas relevantes para a avaliação da qualidade das águas, tendo como determinante principal a sua utilização para

abastecimento público. Entretanto, o IQA apresenta um número de parâmetros medidos limitados causando um déficit de dados relacionados a substâncias com potencial tóxico para os organismos presentes no rio Capibaribe (Alves, Mariz Jr. et al. 2021). Além disso, a CPRH realiza testes ecotoxicológicos expondo neonatos do organismo *Daphnia magna* a amostras coletadas em algumas estações e coletas esporádicas ao longo do trecho monitorado no rio Capibaribe, o que ocasiona um déficit de dados com relação a toxicidade no rio Capibaribe.

O Rio Capibaribe é um dos principais cursos de água do estado de Pernambuco, desempenha um papel fundamental tanto para os organismos que nele habitam quanto para os moradores que dependem de seus recursos. Este rio não é apenas uma fonte vital de água, mas também um ecossistema rico em biodiversidade, que sustenta uma variedade de formas de vida, desde peixes e aves até a vegetação ribeirinha e microrganismos aquáticos. Portanto, preservar e proteger o Rio Capibaribe é essencial não apenas para a conservação da natureza e da biodiversidade, mas também para garantir o sustento e o bem-estar das comunidades que dependem dele. A gestão sustentável deste recurso hídrico precioso é crucial para garantir que ele continue a desempenhar seu papel vital para os organismos e moradores da região, tanto no presente quanto no futuro.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 ECOTOXICOLOGIA

Meados do século XIX trouxe à tona um paradigma civilizatório que foi caracterizado pela industrialização aprimorando ainda mais a produção. Como efeito, a população rural viu uma necessidade de deslocamento para as cidades, passando a morar nos arredores das indústrias, em busca de uma vida mais favorável (Dunn 2012). As melhorias tecnológicas contribuíram consideravelmente ao longo dos anos para o aumento da contaminação ambiental, uma vez que a demanda pela produção de substâncias químicas para atender às necessidades humanas aumentou significativamente, sendo algumas delas potencialmente tóxicas (Brooks, Sabo-Attwood et al. 2020).

Em 1956 no Japão ocorreu a disseminação da doença de Minamata, onde a indústria Chisso que utilizava mercúrio como catalisador na produção de acetaldéido associado ao déficit no tratamento de seus efluentes levou a contaminação por metilmercúrio de peixes e outros organismos aquáticos e humanos, levando inúmeras pessoas a óbito e deixando sequelas em outras (Ekino, Susa et al. 2007).

A industrialização avançava ainda mais em 1960, no entanto, apenas em 1962 que

Rachel Carson, em seu livro *Silent Spring*, trouxe à tona os danos que o inseticida diclorodifenilcloroetano (DDT) trazia para espécies de vertebrados e invertebrados (Dunn 2012). Um contaminante formulado inicialmente como veneno para insetos que transmitem doenças como dengue e tifo, e que em seguida se tornou pesticida agrícola que foi utilizado em grande escala nos EUA e no mundo (Bonzi 2013). O DDT e seus derivados (DDD, DDT e DDE) são contaminantes com potencial alto de bioacumulação e biomagnificação, e os animais de topo de cadeia eram os que bioacumulavam esse contaminante em maior grau (Dunn 2012).

Em 1969 René Truhaut conceitua ecotoxicologia como “o ramo da toxicologia preocupado com o estudo dos efeitos tóxicos causados por poluentes naturais ou sintéticos aos constituintes dos ecossistemas animais (incluindo humanos), vegetais e microbianos, em um contexto integral” (Truhaut 1977).

Hoje a ecotoxicologia consiste no estudo dedicado à investigação dos impactos prejudiciais provocados por compostos químicos nos ecossistemas e em seus elementos constituintes, sendo a relação entre os poluentes, o ambiente e a biota presente (Gagne 2014). O propósito da avaliação ecotoxicológica é determinar a extensão dos danos causados por substâncias, tanto individualmente quanto quando combinadas, e compreender de que maneira e em que locais esses efeitos se manifestam (Knie 2004).

Atualmente, verifica-se que, embora as técnicas de química analítica sejam altamente precisas, elas sozinhas não são suficientes para avaliar o potencial tóxico de contaminantes. Portanto, é necessário utilizar organismos-teste para determinar a toxicidade de um contaminante específico. Estes organismos sensíveis à presença de contaminantes em seu ambiente podem manifestar respostas negativas, como alterações bioquímicas e fisiológicas, quando expostos a substâncias nocivas (Nascimento 2023).

2.1.1 Ecotoxicologia aquática

O ecossistema aquático é crucial e altamente propenso à poluição resultante da atividade humana (Detournay, Richard et al. 2008). Portanto, esse ecossistema se torna tão importante para testes ecotoxicológicos, pois apresentam uma enorme importância econômica e ecológica, além de serem receptores de dejetos urbanos (Di Giulio and Hinton 2008). Além disso, as propriedades físicas e químicas desses ambientes podem modificar a composição de xenobióticos, possivelmente aumentando seu potencial de toxicidade inicial (Nascimento 2023).

Inúmeros estudos são realizados para examinar os efeitos tanto letais quanto subletais

resultantes da exposição de organismos testes a poluentes como os metais pesados, fertilizantes, fungicidas, inseticidas e hidrocarbonetos alifáticos e aromáticos, todos frequentemente encontrados no meio aquático (Nascimento 2023). Esses experimentos biológicos são importantes para avaliação dos efeitos causados por contaminantes ou condições específicas em organismos vivos, sendo os tipos mais comuns teste de toxicidade crônica (avaliando os efeitos causados por contaminantes a longo prazo) e aguda (avaliando os efeitos imediatos e de curto prazo).

Atualmente, os peixes desempenham um papel crucial na detecção de toxicidade em sistemas aquáticos, sendo frequentemente usados como organismos indicadores, especialmente em projetos iniciais, pois geralmente são mais suscetíveis a substâncias nocivas nessas atualizações (Nascimento 2023). É fundamental ressaltar que ao selecionar uma espécie a ser utilizada como indicador de organismo, é importante compreender sua fisiologia, genética, comportamento e se ela é sensível à presença de contaminantes em algum estágio de sua vida (Nascimento 2023).

2.2 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO CAPIBARIBE

A bacia hidrográfica do rio Capibaribe engloba extensas áreas urbanas e rurais, percorrendo aproximadamente 270 km desde a Serra do Jacarará (entre os municípios de Jataúba e Poção) até sua foz, atravessando 42 cidades (Dutra 2017). O rio durante a época colonial conectou a cultura da cana-de-açúcar na Zona-da-Mata pernambucana aos currais do Agreste e do Sertão no século XVI (Dutra 2017). As diversas formas de utilização da água do Capibaribe resultaram em consequências ambientais graves (Dutra 2017). Isso inclui a contaminação das águas devido ao despejo inadequado de esgoto doméstico e industrial, o acúmulo de resíduos sólidos, a ocupação desordenada das margens com a destruição de áreas de vegetação ciliar e manguezais, levando ao assoreamento dos cursos d'água (da Silva, dos Santos et al. 2021).

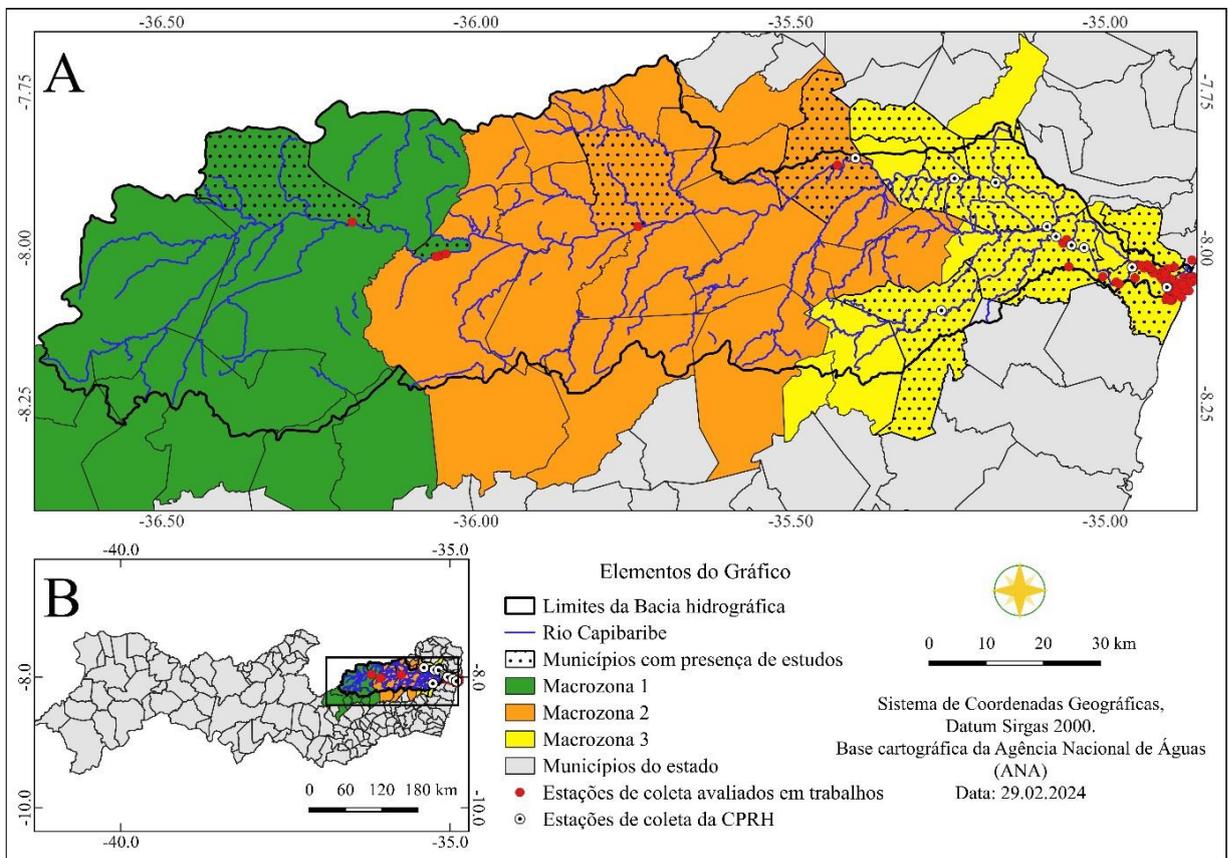
2.3 MACROZONAS DA BACIA DO RIO CAPIBARIBE

O Plano Hidroambiental do Rio Capibaribe (PHA Capibaribe), elaborado em 2010, desempenhou um papel fundamental na organização e gestão dos recursos hídricos do rio. Umadas contribuições significativas desse plano foi a introdução de uma nova divisão da bacia do Capibaribe, visando otimizar a compreensão e a gestão dos recursos disponíveis.

A partir das semelhanças nas características de disponibilidade hídrica, o PHA Capibaribe delineou a bacia em três macrozonas distintas (Figura 1). A primeira delas é o

AltoCapibaribe (Macrozona 1 - MZ1), situada desde Jataúba e Poção até Toritama. Essa área compreende uma parte significativa da bacia e é fundamental para compreender as dinâmicas hídricas na região. A segunda macrozona é o Médio Capibaribe (Macrozona 2 - MZ2), que se estende entre as cidades de Toritama e Limoeiro. Essa região representa uma transição entre as áreas mais altas e as mais baixas da bacia, desempenhando um papel crucial na dinâmica do fluxo hídrico. Por fim, o Baixo Capibaribe (Macrozona 3 - MZ3) compreende a área entre Limoeiro e a cidade de Recife. Essa macrozona é de grande importância pois abrange o trajeto onde o rio é considerado perene, influenciando nos aspectos ambientais e socioeconômicos da região.

Figura 1 - Mapa das macrozonas ao longo da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe



2.4 ENQUADRAMENTO DO RIO CAPIBARIBENAS CLASSES DE USO ESTABELECIDAS PELA RESOLUÇÃO CONAMA 357/2005

A categorização dos corpos hídricos no Brasil é efetivada pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), o qual institui diretrizes, parâmetros e normativas concernentes ao gerenciamento e preservação do meio ambiente (Fagundes, Mendes et al. 2016). Estas disposições visam a utilização criteriosa dos recursos naturais, incluindo os recursos aquíferos, estabelecendo critérios para classificar e enquadrar as águas em classes de

uso em todo território nacional (Fagundes, Mendes et al. 2016).

Segundo a CPRH 2019, no Estado de Pernambuco, a avaliação da qualidade dos corpos d'água superficiais é regida pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) N° 357, datada de 17 de março de 2005. A presente resolução define a categorização dos corpos hídricos, detalhando no Art. 42 que, o enquadramento de um corpo hídrico se dá pelo seu uso.

2.5 MONITORAMENTO DA QUALIDADE DE ÁGUA DO RIO CAPIBARIBE PELA AGENCIA ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE - CPRH

A bacia hidrográfica é a unidade geográfica padrão para avaliação adotado para a vigilância da qualidade das águas de superfície, pois é nesse ambiente que se desenrolam os procedimentos naturais e antropogênicos ao longo do tempo. O monitoramento da bacia hidrográfica do rio Capibaribe é realizado pela Agência Estadual do Meio Ambiente – CPRH no percurso que abrange o município de Limoeiro até sua foz em Recife, abrangendo a macrozona 3 na sua porção perene (Figura 2).

O monitoramento das águas do rio Capibaribe pela CPRH é feito através de coletas em dez pontos ao longo da porção perene do rio: CB 10 (Limoeiro-PE), CB-30 (entre os municípios de Carpina e Lagoa de Itaenga), CB-40 (Paudalho), CB-55 (entre São Lourenço da Mata e Paudalho), CB-60 (São Lourenço da Mata), CB-62 (Vitória de Santo Antão), CB-71 (São Lourenço da Mata), CB-72 (São Lourenço da Mata), CB-80 (Recife) e CB-95 (Recife). A partir disso, são avaliados parâmetros como: pH, DBO, OD, amônia, temperatura, dentre outros, e os resultados são analisados de forma a avaliar seu enquadramento conforme os limites estabelecidos para a respectiva classe de uso da água ao longo do rio com base na Resolução CONAMA 357/2005.

No município de Limoeiro, ocupando uma área de 1,85% do rio Capibaribe, está inserida a estação de monitoramento CB-10, e a partir desse município o rio é perene até sua foz localizada em Recife (Santos 2015). Esse trecho do rio Capibaribe que corta a cidade de Limoeiro é caracterizado pela mudança do Agreste para a Zona da Mata, marcado pelo início das plantações de cana-de-açúcar (Oliveira 2019).

A estação CB-30 localizada entre os municípios Carpina e Lagoa de Itaenga, somando 4,78% de área na bacia do rio Capibaribe, é marcada por monocultura canavieira, sendo a inauguração do Shopping Carpina um empreendimento que gerou muito investimento no município, mas trouxe consigo problemáticas como a diminuição de área verde para fins de loteamento residencial (de Oliveira and Bastos 2023).

No município de Paudalho, com área de 3,57% do rio Capibaribe está a estação CB-

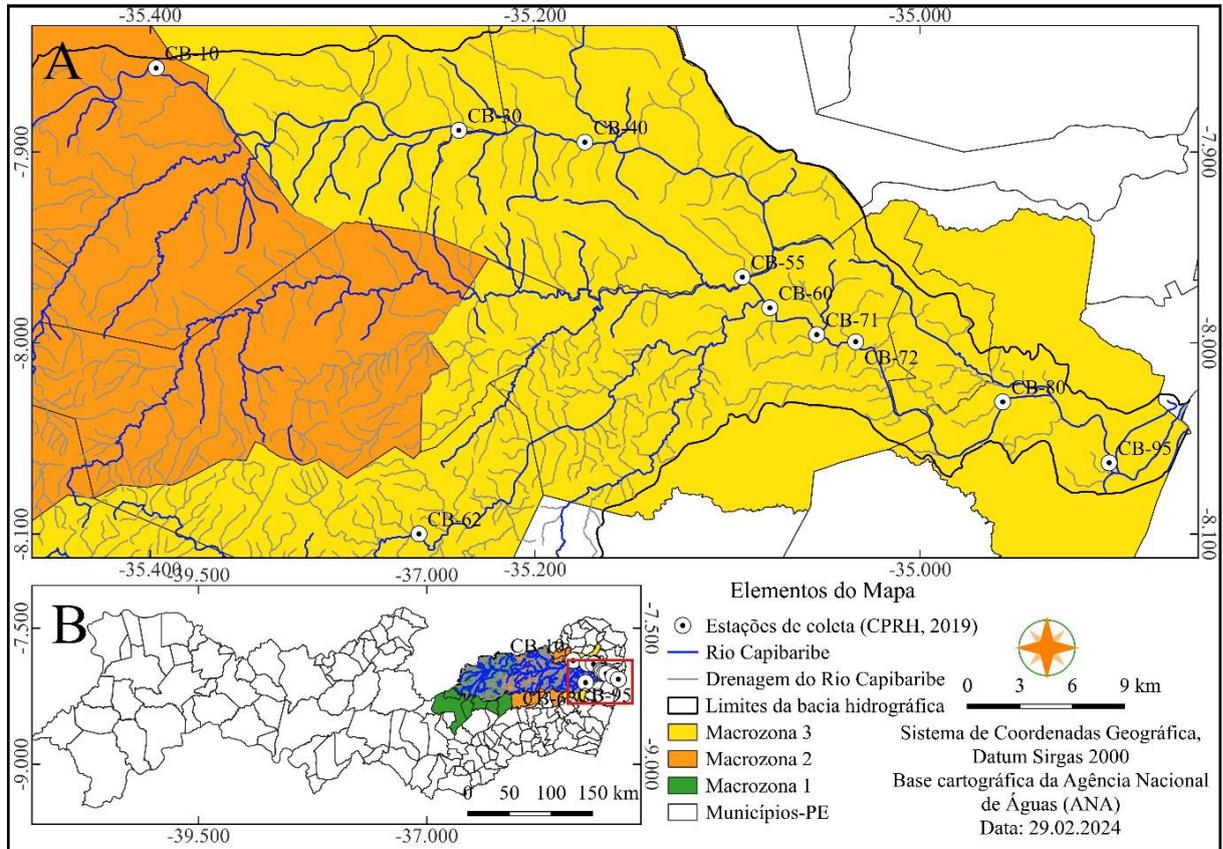
40 monitorada pela CPRH, caracterizado por um município onde o saneamento básico é precário, com saídas de esgoto doméstico diretamente no rio Capibaribe e sem tratamento (Pereira, da Paz et al. 2019).

O município de São Lourenço da Mata, onde estão situadas as estações CB-55, CB-60, CB-71 e CB-72 monitoradas pela CPRH, apresenta 2,82% de área drenada do rio Capibaribe. São Lourenço da Mata é um município onde o saneamento básico ainda é um problema, ocasionando em muitas saídas de esgoto doméstico não tratado lançado no rio Capibaribe. Além disso, o município de São Lourenço da Mata apresenta visibilidade por sediar jogos da Copa do Mundo, o que atrai ainda mais a população para investir em moradias locais, levando a uma diminuição da mata ciliar (Santos 2015).

A estação CB-62 localizada no município de Vitória de Santo Antão, com 2,71% de área do rio Capibaribe, caracterizada pelos lançamentos de esgoto doméstico sem tratamento e presença de assentamentos agrícolas nas margens do rio Capibaribe, que captam e poluem o rio com fertilizantes, sendo essa água a mesma para abastecimento da cidade (Melo, MELO et al. 2013).

Em Recife estão situadas as estações CB-80 e CB-95 monitoradas pela CPRH, com área total de 0,92% na bacia do rio Capibaribe, esse trecho monitorado é caracterizado pelo estuário, sendo fortemente influenciado pelo despejo de dejetos urbanos e indústrias (Xavier, Barcellos et al. 2016).

Figura 2 - Mapa das estações de monitoramento da CPRH ao longo da porção perene da Bacia Hidrográfica do Rio Capibaribe



2.5.1 Índice de qualidade da água

A Agência Estadual do Meio Ambiente de Pernambuco (CPRH) é responsável pelo monitoramento ambiental da qualidade da água e avalia periodicamente amostras do rio Capibaribe para os 9 parâmetros que compõem o índice de qualidade de água (IQA), porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido (OD), pH, temperatura, sólidos totais (ST), demanda bioquímica de oxigênio de cinco dias a 20°C (DBO_{5,20}), turbidez, fosfato total, nitrogênio total e coliformes fecais. O IQA varia de 0 a 100, sendo propostas as seguintes categorias: 0 a 19 - muito ruim (VB), 20 a 36 - ruim (BD), 37 a 51 - aceitável (AC), 52 a 79 - bom (GD) e 80 a 100 - excelente (EX) (Alves et al., 2021).

2.5.2 Índice de estado trófico

O Índice de Estado Trófico (IET) classifica os ecossistemas aquáticos em diferentes graus de potencial de eutrofização, de acordo com a seguinte escala: ≤ 47 - ultra-oligotrófico (UO), 47 a 52 - oligotrófico (OL), 52 a 59 - mesotrófico (MT), 59 a 63 - eutrófico

(EU), 63 a 67 - supereutrófico (SE) e > 67 - hipereutrófico (HE). O TSI foi calculado de acordo com CARLSON (1977), com base na concentração de fósforo total (P) (Alves et al., 2021).

2.5.4 Avaliação da ecotoxicidade para *Daphnia magna* - CPRH

A CPRH realiza teste ecotoxicológico utilizando *Daphnia Magna* no trecho perene do rio Capibaribe, que inclui desde a estação de monitoramento CB-10 (localizada em Limoeiro) até a estação CB-95 (localizada em Recife). Essa avaliação da ecotoxicidade é efetuada a partir do fator de diluição (FD) para *Daphnia magna* monitorando se o organismo apresenta imobilidade/letalidade. No entanto, a realização do teste ecotoxicológico realizado pela CPRH apresenta um déficit de dados, sem a realização desse teste em muitas estações monitoradas.

2.5.4 Índice de Desenvolvimento Morfológico – *Danio rerio*

O Índice de Desenvolvimento Morfológico (IDM), pontua o desenvolvimento de estruturas essenciais para o organismo *D. rerio* durante sua fase embrionária no período de 96 horas pós fertilização (hpf) totalizando 18 pontos ao final da contagem. A larva que apresentar pontuação inferior a 17 pontos possui atraso em seu desenvolvimento morfológico (Nascimento 2023).

2.6 CONTAMINAÇÃO QUÍMICA DE RIOS

As repercussões da urbanização de sistemas hidrográficos têm deteriorado a condição da água e do ecossistema (Xavier, Barcellos et al. 2016). Os cursos d'água são fundamentais nas matrizes de recursos naturais para os organismos vivos, possuindo uma significativa relevância cultural, social, econômica e histórica na localidade em que estão situados (Santos 2018). No entanto, a gestão inadequada e a contaminação desses recursos, caracterizada pela liberação de efluentes e outros contaminantes provenientes de inúmeras atividades têm afetado adversamente a fauna, a flora e a comunidade que depende desses recursos para sua subsistência (da Silva, dos Santos et al. 2021).

2.6.1 Hidrocarbonetos alifáticos

Os hidrocarbonetos alifáticos são compostos químicos orgânicos formados por átomos de carbono e de hidrogênio encontrados em ampla escala em sedimentos oriundos de fontes naturais e antropogênicas (Vasconcellos and Miguel 1996). Os hidrocarbonetos apresentam graus variados de toxicidade, sendo os de menor peso molecular mais tóxicos

que os de maior peso molecular (Vasconcellos and Miguel 1996).

2.6.2 Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) são substâncias carcinogênicas/mutagênicas e com ampla distribuição (Duarte, de Souza Ribeiro et al. 2021). Esses compostos, devido às suas propriedades hidrofóbicas, quando liberados no ecossistema aquático, têm a capacidade de serem absorvidos por organismos e/ou alternativamente, se adsorverem a partículas suspensas orgânicas ou inorgânicas, resultando na subsequente sedimentação desses compostos (KLEINE 2013). Segundo a agência de proteção animal dos Estados Unidos, 16 HPAs são considerados mais importantes para o monitoramento: naftaleno, acenaftileno, acenafteno, fluoreno, fenantreno, antraceno, fluoranteno, pireno, benzo(a)pireno, benzo(a)antraceno, criseno, benzo(b)fluoranteno, benzo(k)fluoranteno, indeno(123cd)pireno, dibenz(ah)antraceno e benzo(ghi)perileno. Tais compostos tem como fonte potencial de contaminação o petróleo e seus derivados (fontes petrogênicas) ou são gerados durante processos de combustão (fontes pirogênicas), como os que ocorrem na queima de combustíveis fósseis, como carvão e petróleo (KLEINE 2013).

Os HPAs são reconhecidos por seu significativo potencial de toxicidade para uma diversidade de organismos, sobretudo aquáticos (Faria and Della Rosa 2004). A contaminação dos ambientes aquáticos por HPAs envolve tanto fontes terrestres, incluindo o escoamento pluvial que transporta esses compostos provenientes de atividades domésticas e industriais continentais, quanto fontes marinhas e costeiras, notadamente em incidentes de derramamento de petróleo (Faria and Della Rosa 2004).

2.6.3 Metais

Metais apresentam elevado número atômico, podendo ser divididos em dois grupos: metais essenciais e metais não essenciais (Karla Philippini da Silva 2004). Os metais essenciais desempenham papel metabólico em baixas concentrações, podendo desenvolver toxicidade quando presente em elevadas concentrações (Lima, Santos et al. 2015). Os metais não essenciais tem contribuído para poluição do ar, água e solo, podendo apresentar potencial bioacumulativo se encontrado em altas concentrações na natureza. Dentre os organismos que podem bioacumular esse metais estão os peixes que absorvem os metais essenciais e não essenciais, retendo esses metais em seu tecido muscular (Lima, Santos et al. 2015).

2.6.4 Estrógenos

Os hormônios estrógenos são compostos considerados de baixa volatilidade, persistentes e bioacumulativos, sendo predominantemente encontrados associados ao sedimento como: estrona, estradiol e estriol. Esses compostos podem causar a diminuição da fertilidade, a feminização e o hermafroditismo em organismos aquáticos, sendo suas principais fontes: efluentes urbanos, os resíduos hospitalares, industriais e agricultura intensiva (Morais 2018).

2.6.5 Bisfenol-A

O Bisfenol-A é um plastificante orgânico utilizado em larga escala na indústria na produção de resina epóxi, policarbonato, retardantes de chama e em produtos plásticos, como brinquedos e garrafas, sendo associado inclusive a problemas cardiovasculares e endócrinos (Gonçalves 2012).

2.6.6 Tributilestanho

Os compostos orgânicos de estanho (OTs) são encontrados na natureza, principalmente no meio aquático, esses compostos são muito utilizados como inseticidas, fungicida, bactericida, preservativos de madeira e agentes anti-incrustantes. O tributilestanho é o composto de estanho considerado mais perigoso, tendo sua exposição ligada a desregulação endócrina, afetando a reprodução de organismos aquáticos, como moluscos e crustáceos, sendo associado aos sedimentos (Claudino Maciel 2011).

2.6.7 Diclorodifeniltricloroetano (DDT)

DDT é o mais conhecido dentre os inseticidas do grupo organoclorado, apresenta baixa volatilização e alto potencial de absorção. O DDT foi utilizado em grande escala na prevenção de tifo e na agricultura, e em 1962 Rachel Carson revolucionou a ecotoxicologia associando a diminuição de aves ao uso de DDT (D'amato, Torres et al. 2002).

3. OBJETIVOS

Esta revisão tem por objetivo realizar um levantamento de informações sobre estudos de avaliação e monitoramento ambiental focados na quantificação de contaminantes químicos e/ou de efeitos ecotoxicológicos no Rio Capibaribe.

3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar um levantamento bibliográfico de estudos de quantificação química de

contaminantes e de efeitos ecotoxicológicos em organismos aquáticos expostos a amostras de água ou residentes no Rio Capibaribe;

– Realizar uma síntese dos boletins anuais de monitoramento ambiental realizados pela Agência Estadual do Meio Ambiente - CPRH no Rio Capibaribe.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo utilizada envolveu é o rio Capibaribe, cuja bacia hidrográfica abrange vastas áreas urbanas e rurais, tem cerca de 270 km de extensão, nascendo na Serra do Jacarará (entre os municípios de Jataúba e Poção), e passando por 42 cidades até sua foz. A área perene do rio está localizada após a cidade de Limoeiro e percorre 96 km ao longo do seu curso inferior, incluindo regiões rurais, que são influenciadas pelas plantações de cana-de-açúcar e urbanas, caracterizadas por média e alta urbanização (principalmente o trecho que percorre a cidade do Recife) (Alves, 2021).

4.2 TIPO DE REVISÃO, PERÍODO DE PESQUISA, RESTRIÇÃO LINGUÍSTICA E TEMPORAL

Este trabalho é uma revisão bibliográfica sistemática descritiva, com coleta de dados secundários, focado em trabalhos publicados entre o período de 2015 a 2024, utilizando artigos de língua inglesa, língua portuguesa e relatórios anuais publicados pela CPRH.

4.3 BASES DE DADOS, DESCRITORES E ESTRATÉGIAS DE BUSCA

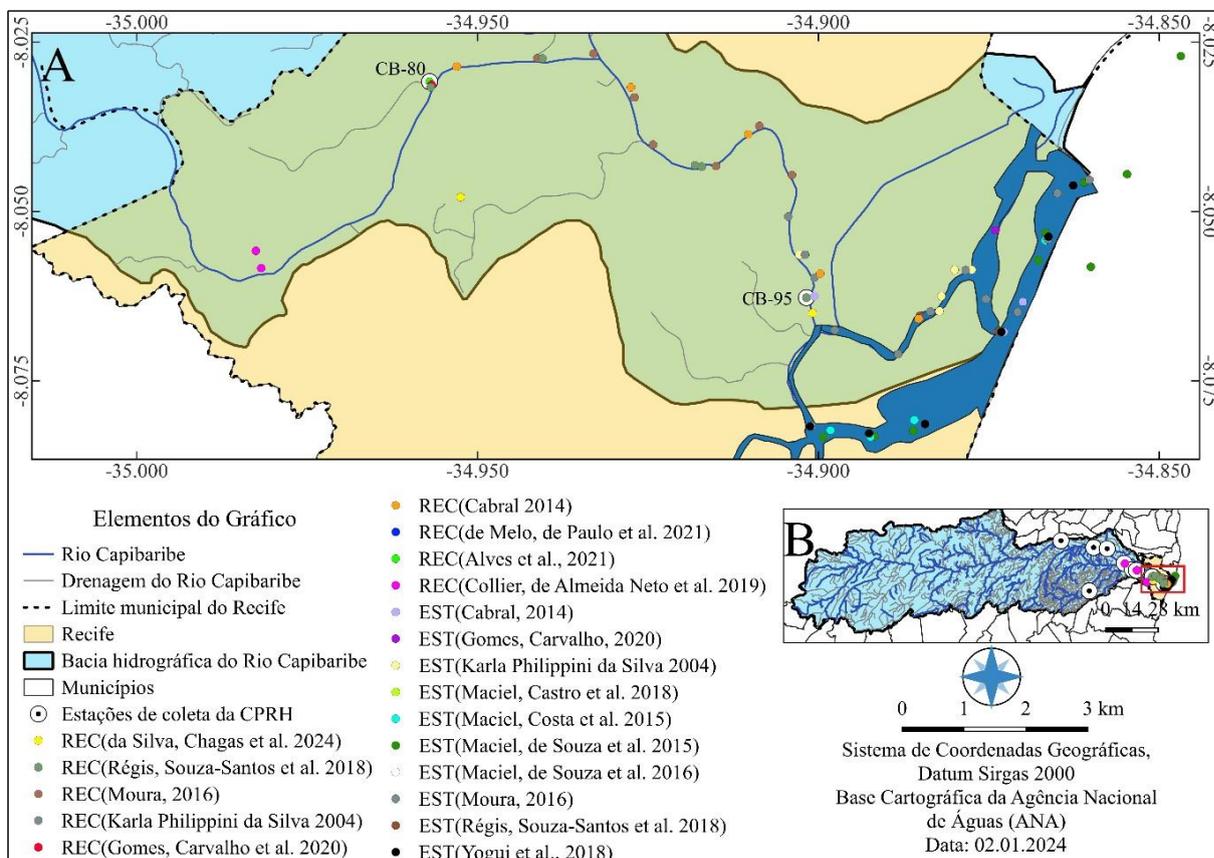
Para esta revisão foram utilizadas cinco bases de dados, sendo elas: SciELO, Scopus® e Science Direct, Google Acadêmico, bem como portais de bibliotecas de diversas universidades federais. Após selecionadas as bases de dados, foram pré-determinados os descritores usados. Os descritores utilizados neste trabalho foram: rio Capibaribe, contaminação, poluição, corante, organoclorados, HPAs, hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, esgoto doméstico, efluente doméstico, contaminação ambiental, bacia do rio Capibaribe, Índice de qualidade da água. Posteriormente foram separadas estratégias de busca, as quais são: Capibaribe River OR Rio Capibaribe, Toxicology OR Toxicologia, Ecotoxicology OR Ecotoxicologia, Contamination River Capibaribe OR Contaminação rio Capibaribe, River Capibaribe dye OR rio Capibaribe corante, domestic sewage river Capibaribe OR esgoto doméstico rio Capibaribe e Polycyclic Aromatic Hydrocarbon in the river Capibaribe OR Hidrocarboneto Policíclico Aromático no rio Capibaribe.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta revisão foram selecionados 14 artigos publicados entre o período de 2015 a 2024, os trabalhos realizados no rio Capibaribe focaram principalmente na quantificação de contaminantes químicos como HPAs, Has, estrógenos e metais pesados e na avaliação da toxicidade com base em testes ecotoxicológicos utilizando organismos expostos a água e

sedimentos do rio Capibaribe, principalmente na porção estuarina da macrozona 3 (Figura 3).

Figura 3 – Mapa identificando trabalhos científicos realizados e seus pontos de coleta na porção estuarina situada na macrozona 3 do Rio Capibaribe



5.1 ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA

O Índice de Qualidade da Água (IQA) é uma avaliação para caracterizar a qualidade da água bruta destinada ao abastecimento público após tratamento. No trecho do rio Capibaribe analisado pela CPRH, que compreende do município de Limoeiro (CB-10) até sua foz em Recife (CB-95) abrangendo a porção perene do rio (macrozona 3), o IQA encontra-se em estado crítico com base nas análises publicadas entre 2017 e 2019 (CPRH, 2017; CPRH, 2018; CPRH, 2019). Com relação aos parâmetros analisados com base nos padrões da classe 2 das águas doces determinado pelo CONAMA 375/2005, foi possível destacar: Coliformes Termotolerantes, Fósforo Total e DBO com níveis acima do permitido, com destaque para CB-10, CB-40 e CB-62 nos anos de 2017, 2018 e 2019. Os índices de qualidade IET e IQA apontam como principal fonte poluidora o esgoto doméstico nos relatórios emitidos, podendo afirmar que se trata de uma problemática recorrente (CPRH, 2017; CPRH, 2018; CPRH, 2019).

5.2 ABUNDÂNCIA DE ICTIOFAUNA

No estudo realizado por Collier, de Almeida Neto et al. (2019), com coletas realizadas em regiões com plantações de cana-de-açúcar, desenvolvimento urbano e área florestal às margens do rio, situadas na macrozona 3, foi possível observar uma maior riqueza e diversidade de espécies de peixes nos pontos situados em área florestal e uma menor abundância nos pontos antropizados. Os resultados deste trabalho evidenciaram uma correlação entre melhores condições ambientais da qualidade de água e ictiofauna com maior diversidade e abundância em áreas do rio com margens florestadas.

5.3 CONTAMINAÇÃO QUÍMICA DO RIO CAPIBARIBE

A partir do estudo de Alves, Mariz et al. (2021) realizado nas estações: CB-10, CB-30, CB-40, CB-55, CB-60, CB-62, CB-71, CB-72, CB-80 e CB-95, inseridas no rio Capibaribe, na macrozona 3, foi possível quantificar os HPAs presentes nas amostras, sendo observado uma variação de 181 (CB-30) a 1079 ng L⁻¹ (CB-10) nas amostras, com uma predominância de fenantreno, naftaleno e pireno, sendo o esgoto doméstico, derramamento de óleo e até mesmo plantações de cana-de-açúcar no processo de queima de bagaço da cana um meio de entrada desses HPAs no rio Capibaribe. Os HPAs são uma problemática ambiental devido aos seus efeitos tóxicos, com potencial mutagênico e carcinogênicos, além de apresentarem potencial de bioacumulação.

No estudo de da Silva, Chagas et al. (2024) foram coletadas amostras ao longo do curso do rio Capibaribe em sete pontos: Santa Cruz do Capibaribe, Toritama, Surubim, Limoeiro, São Lourenço da Mata, Recife e no Córrego Cavouco. A quantificação química foi realizada para os metais ferro (Fe), cobre (Cu), chumbo (Pb), zinco (Zn), manganês (Mn), cromo (Cr) e cádmio (Cd), e os resultados revelaram que cinco dos sete metais investigados estavam acima dos limites estabelecidos pela Resolução nº 357 do CONAMA, dentre eles: ferro, chumbo, zinco, manganês e cádmio (Silva, Chagas et al. 2024). As amostras coletadas em Santa Cruz do Capibaribe e Toritama apresentaram as maiores concentrações da soma total dos metais (12 mg L⁻¹ e 13 mg L⁻¹), e as menores concentrações totais de metais foram encontradas em amostras de Surubim (2 mg/L) (da Silva, Chagas et al. 2024). Em Karla Philippini da Silva (2004) também foi possível quantificar metais assim como (da Silva, Chagas et al. 2024), sendo coletadas 7 amostras de sedimento no estuário do rio Capibaribe (situado na macrozona 3), sendo quantificado cobre (variando de 21 mg.kg⁻¹ a 146 mg.kg⁻¹), cromo (variando de 76 mg.kg⁻¹ a 247 mg.kg⁻¹), ferro (variando de 31.080 mg.kg⁻¹ a 52.013 mg.kg⁻¹), zinco (variando de 144 mg.kg⁻¹ a 406 mg.kg⁻¹) e manganês (variando de 173 mg.kg⁻¹ a 465 mg.kg⁻¹) nos sedimentos, apresentando níveis acima do aceitável, indicando contaminação em

todas as 7 amostras. Nos dois estudos (Karla Philippini da Silva 2004, da Silva, Chagas et al. 2024) foram quantificados metais como ferro (Fe), cobre (Cu), chumbo (Pb), zinco (Zn), manganês (Mn), cromo (Cr) e cádmio (Cd), sendo encontrados na região estuarina, municípios com presença de indústria, plantações de cana-de-açúcar e despejo de efluente doméstico.

No trabalho realizado por de Melo, de Paulo et al. (2021) amostras foram coletadas nos pontos CB-80 e CB-95, situados na macrozona 3 do rio Capibaribe, localizada em uma região com alta urbanização, e foi possível quantificar os contaminantes estrogênicos: estrona, 17β -estradiol, estriol, 17α -etinilestradiol, bisfenol-A e cafeína. Em amostras do CB-80 foi possível identificar estrona, estriol, 17α -etinilestradiol e bisfenol-A, com valores médios de 13; 18,5; 6,8 e 15,5 ng L⁻¹, respectivamente, enquanto que as amostras do CB-95 apresentaram estrona, 17β -estradiol, estriol, 17α -etinilestradiol, bisfenol-A e cafeína, com valores médios de 13,5; 5,2; 23; 10,45; 37,5 e 11,6 ng L⁻¹, respectivamente (Melo, de Paulo et al. 2021). Esses resultados podem sugerir que a principal fonte de contaminação por esses contaminantes é o lançamento de esgoto doméstico sem tratamento ou com tratamento ineficiente e industrial (tratado ou *in natura*).

Nos estudos realizados por Maciel, de Souza et al. (2016), Maciel, de Souza et al. (2015) e Maciel, Castro et al. (2018) foram avaliadas 14 amostras de sedimento coletadas na região estuarina do rio Capibaribe, localizada na macrozona 3. Nestes estudos foram encontradas concentrações de hidrocarbonetos alifáticos (HAs), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e Tributilestanho (TBT), com maiores concentrações nas amostras coletadas na porção superior do estuário, onde ocorre a entrada de efluentes domésticos e industriais. No estudo de (Cabral 2014) foram realizadas coletas na porção estuarina do rio Capibaribe (situado na macrozona 3), e observou-se que as concentrações de organoestânicos (OTs) variaram entre 13,97 e 541,69 ng Sn g⁻¹, indicando aporte recente desses contaminantes, mesmo após a proibição do uso deste anti-incrustante. Todas as estações de coleta apresentaram contaminação por HCs, OCs e metais pesados, sendo as maiores concentrações encontradas na porção superior do estuário e na região portuária. No trabalho de Moura (2016) 18 amostras de sedimento foram coletadas no estuário do rio Capibaribe, situada na macrozona 3, sendo detectado os seguintes poluentes orgânicos persistentes (POPs): DDTs (DDT, DDD, DDE) e os PCBs, esses contaminantes apresentam potencial tóxico e sua principal fonte é a lixiviação de solos, descarga de águas contaminadas por lixo e esgoto e detritos de indústria. Também em Yogui, Taniguchi et al. (2018) foram

coletadas 9 amostras de sedimento no estuário do rio Capibaribe e foi detectado presença de DDT, podendo ocasionar efeitos negativos a biota. No estudo realizado por Régis, Souza-Santos et al. (2018) na região que abrange a macrozona 3, também foi possível observar a presença de pesticidas clorados relacionados ao DDT (DDT, DDE e DDD), sendo associado principalmente a trechos de zonas rurais. A biota aquática é um reservatório desses contaminantes, sendo bem documentado no processo de biomagnificação. Portanto, além dos efeitos tóxicos para humanos esses contaminantes apresentam um alto potencial tóxico para organismos aquáticos.

5.4 TESTES ECOTOXICOLÓGICOS

No estudo realizado no município de Toritama por Oliveira (2017), situado na Macrozona 1, foram utilizados os organismos teste *Aliivibrio fischer*, *Daphnia magna* e *Biomphalaria glabrata* para avaliar a toxicidade das águas do Rio Capibaribe a montante e a jusante da área de influência das lavanderias têxteis instaladas na cidade de Toritama. Foi possível observar que a bactéria *Aliivibrio fischer* apresentou toxicidade (diminuição de luminescência) após exposição a água do Rio Capibaribe, sendo a concentração de efeito observado (CEO) igual 13,16% de diluição do rio. Nos testes realizados com *D. magna* foi possível observar uma CEO igual a uma diluição de 6,25% do rio, baseada em alterações na mobilidade e/ou morte. Nos moluscos adultos *B. glabrata* foi observado alteração comportamental como perda de reflexo da musculatura podal e baixa fecundidade, sugerindo que apesar das ações de controle da emissão dos resíduos tóxicos das indústrias têxteis da região de Toritama esses efluentes sendo lançados no rio Capibaribe ainda apresentam alto potencial tóxico. Esses organismos utilizados no estudo são amplamente utilizados como modelos biológicos por apresentarem alta sensibilidade, indicando poluição ambiental na bacia do rio Capibaribe.

No estudo de da Silva, Chagas et al. (2024) foram coletados peixes da espécie *O. niloticus* (tilápia-do-nylo) ao longo do rio Capibaribe em: Santa Cruz do Capibaribe, Toritama, Surubim, Limoeiro, São Lourenço da Mata, Recife e no Córrego Cavouco para avaliação da genotoxicidade com base no teste de micronúcleos e teste do cometa. Foram observadas maiores frequências de micronúcleos e danos genéticos nas amostras coletadas em áreas com maior contaminação por metais pesados (ferro, zinco, manganês, cromo e cádmio), e pesticidas principalmente nos trechos em que o rio passa por zonas rurais. Esses resultados sugeriram que os metais foram as principais causas de danos genéticos e mutações encontradas em peixes coletados no rio Capibaribe, assim o monitoramento dessa bacia é importante porque o ambiente aquático é o destino da maior parte dos resíduos urbanos,

industriais e agrícolas.

A partir do estudo Alves, Mariz et al. (2021) realizado nas estações: CB-10, CB-30, CB-40, CB-55, CB-60, CB-62, CB-71, CB-72, CB-80 e CB-95, foi possível observar com base no índice “General Morphology Score” (GMS), que consiste numa pontuação dada para alguns marcos morfológicos observados durante o desenvolvimento embriolarval do zebrafish, que estações de coleta inseridas em áreas urbanas apresentaram diminuição (variando de 14,3 a 15,3) no GMS, principalmente nas estações CB-62 (Vitória de Santos Antão), CB-80 (Recife) e CB-95 (Recife). Essas diminuições estão diretamente ligadas a atrasos no desenvolvimento morfológico do zebrafish, podendo estar relacionada ao despejo de dejetos urbanos.

Em Gomes, Carvalho et al. (2020) embriões de zebrafish foram expostos à sedimentos do estuário do rio Capibaribe coletados próximo a ponte da Caxangá, ao Parque Santana e a Prefeitura do Recife, situados na macrozona 3, sendo observado efeitos letais e subletais nos embriões. As larvas apresentaram alteração na frequência cardíaca e retardo no desenvolvimento morfológico, podendo estar relacionada a atividades realizadas no entorno do estuário do rio Capibaribe, chuvas, marés e correntes.

No estudo realizado por de Melo, de Paulo et al. (2021) foram utilizados machos de *Poecilia vivipara* residentes no rio Capibaribe que foram coletados nos pontos de coleta CB-80 e CB-95, situados na macrozona 3 na região estuarina, e portanto expostos durante a vida toda aos contaminantes do rio Capibaribe. Estes machos foram pareados com fêmeas controle e foi possível observar indução de fosfoproteínas hepáticas, diminuição da velocidade de natação, diminuição de tentativas de cópula com as fêmeas controle, e diminuição do número de filhotes das fêmeas controle quando emparelhadas com machos residentes no rio Capibaribe quando comparados com machos controle fêmeas controle. Estas alterações foram verificadas em associação com a presença de estrona, estriol, 17α -etinilestradiol e bisfenol-A na água do rio Capibaribe onde os machos residentes foram coletados. Esses resultados podem sugerir que a principal fonte de contaminação por esses contaminantes é o lançamento de esgoto doméstico sem tratamento ou com tratamento ineficiente e industrial (tratado ou *in natura*).

Maciel, Costa et al. (2015) e Régis, Souza-Santos et al. (2018) realizaram testes ecotoxicológicos de sedimento na porção estuarina do rio Capibaribe na macrozona 3, utilizando o copépode *Tisbe biminiensis* como organismo teste. Foram verificadas diminuição na fecundidade de fêmeas de *Tisbe biminiensis* e diminuição da sobrevivência de

copépodes a partir do estágio náuplio, tendo sido evidenciadas estas alterações associadas a presença de contaminantes como: metais pesados, hidrocarbonetos, compostos orgânicos de estanho (OTs), Tributilestanho (TBT) e dos pesticidas clorados apenas os, relacionados ao DDT, sendo a região estuarina receptora de forma contínua de óleos e contaminantes derivados de embarcações.

6. CONCLUSÃO

Nesses estudos foi possível quantificar: Fe, Cu, Pb, Zn, Mn, Cr e Cd, estrógenos (estrona, 17β - estradiol, estriol, 17α -etinilestradiol), bisfenol-A, HPAs, Has, TBT, OTs, DDT e PCBs, esse contaminantes potencial tóxico apresentam como principais fontes o derramamentos de óleo, esgoto doméstico, plantações, uso de tintas anti-incrustantes e efluente industrial.

Os testes ecotoxicológicos realizados com diferentes bioindicadores, como *Aliivibrio fischer*, *Daphnia magna*, *Biomphalaria glabrata*, *O. niloticus* e zebrafish, revelaram impactos significativos nos organismos expostos, como danos genéticos, alterações comportamentais, diminuição da fecundidade e atrasos no desenvolvimento morfológico. Esses efeitos adversos são atribuídos à presença de uma variedade de contaminantes, incluindo metais pesados, pesticidas, hidrocarbonetos e compostos orgânicos.

Com base nos resultados apresentados nesta revisão bibliográfica sobre a contaminação química e efeitos ecotoxicológicos no rio Capibaribe, é evidente que a qualidade da água na macrozona 3, especialmente na porção analisada pela CPRH, encontra-se em estado crítico. O Índice de Qualidade da Água (IQA) revelou condições precárias, com níveis alarmantes de Coliformes Termotolerantes, Fósforo Total e DBO, indicando uma alta presença de esgoto doméstico como a principal fonte poluidora. A análise da ictiofauna mostrou uma relação direta entre a abundância de espécies de peixes e as condições ambientais, com áreas florestais exibindo maior diversidade em comparação com pontos antropizados. A contaminação química e a poluição orgânica e microbiológica do rio Capibaribe são desafios complexos e interconectados. Os resultados deste estudo enfatizam a necessidade urgente de ações de mitigação e políticas de gestão ambiental para reverter a degradação desse importante recurso hídrico, visando garantir a preservação da biodiversidade aquática e a saúde da população que depende desse manancial.

Em última análise, concluiu-se que a jornada rumo à compreensão abrangente de fontes de contaminação e efeitos ecotoxicológicos na bacia do rio Capibaribe está longe de

ser concluída, poucos trabalhos foram realizados ao longo do rio e novos estudos precisam ser realizados analisando outros parâmetros e abrindo ainda mais o campo do conhecimento.

7. REFERÊNCIAS

Alves, R. N., C. F. Mariz Jr., M. K. d. Melo Alves, M. G. N. Cavalcanti, T. J. B. d. Melo, R. H. d. Arruda Santos, E. Zanardi-Lamardo and P. S. M. Carvalho (2021). "Contamination and Toxicity of Surface Waters Along Rural and Urban Regions of Capibaribe River in Tropical Northeastern Brazil." *Environmental Toxicology and Chemistry* **40**(11): 3063-3077.

Araújo, G. F. d. (2018). Modelagem de fontes de matéria orgânica para bivalves e sua contaminação por organoclorados no sistema estuarino do Rio Capibaribe, Pernambuco, Universidade Federal de Pernambuco.

Bonzi, R. S. (2013). "Meio século de Primavera silenciosa: um livro que mudou o mundo." *Desenvolvimento e Meio ambiente* **28**.

Cabral, C. (2014). Variabilidade longitudinal e mareal das concentrações de hidrocarbonetos de petróleo no estuário do Rio Capibaribe, Completion of Course Work-Bachelor of Biological/Environmental Sciences

Claudino Maciel, D. (2011). Biologia reprodutiva e efeitos do Tributilestanho (TBT) sobre *Mytella charruana* e *Mytilopsis leucophaeta* (Bivalvia-Mollusca) do estuário do Rio Capibaribe, Pernambuco, Universidade Federal de Pernambuco.

Collier, C. A., M. S. de Almeida Neto, G. M. A. Aretakis, R. E. Santos, T. H. de Oliveira, J. S. Mourão, W. Severi and A. C. A. El-Deir (2015). "Integrated approach to the understanding of the degradation of an urban river: Local perceptions, environmental parameters and geoprocessing." *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* **11**(1).

Collier, C. A., M. S. de Almeida Neto, G. M. A. de Almeida, J. Rosa Filho, W. Severi and A. C. A. El-Deir (2019). "Effects of anthropic actions and forest areas on a neotropical aquatic ecosystem." *Science of the total environment* **691**: 367-377.

D'amato, C., J. P. Torres and O. Malm (2002). "DDT (dicloro difenil tricloroetano): toxicidade e contaminação ambiental-uma revisão." *Química Nova* **25**: 995-1002.

da Silva, J. G., C. A. Chagas, T. G. dos Santos Souza, M. C. de Araújo, L. C. A. de Araújo, A. M. M. Santos, R. B. de Oliveira Alves, R. H. A. Rodrigues, H. P. da Silva and G. Malafaia (2024). "Using structural equation modeling to assess the genotoxic and mutagenic effects of heavy metal contamination in the freshwater ecosystems: A study involving *Oreochromis niloticus* in an urban river." *Science of The Total Environment* **913**: 169529.

da Silva, R. R., J. C. V. dos Santos, Y. A. da Silva, S. C. de Paiva, L. A. Sarubbo and J. M. de Luna (2021). "Avaliação da qualidade microbiológica e físico-química da água de um trecho do Rio Capibaribe, no município de São Lourenço da Mata, Pernambuco, Brasil." *Brazilian Journal of Development, Curitiba* **7**(6): 62847-62866.

de Melo, L. E., D. V. de Paulo, C. C. Montagner and P. S. Carvalho (2021). "Behavioral and reproductive effects in *Poecilia vivipara* males from a tropical estuary affected by estrogenic

contaminants." *Marine Pollution Bulletin* **169**: 112543.

de Oliveira, C. P. and P. F. Bastos (2023). "O SHOPPING CARPINA COMO EQUIPAMENTO TRANSFORMADOR DO ESPAÇO: ANÁLISE DOS ASPECTOS SOCIOECONÔMICOS E DE INFRAESTRUTURA EM CARPINA-PE."

Detournay, E., T. Richard and M. Shepherd (2008). "Drilling response of drag bits: Theory and experiment." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* **45**(8): 1347-1360.

Di Giulio, R. T. and D. E. Hinton (2008). *The toxicology of fishes*, Crc Press.

Duarte, I. F., V. de Souza Ribeiro, M. I. G. R. dos Santos, T. A. D. Costa, M. B. de Santana, A. C. V. Oliveira, I. M. Marques, K. B. Ñañez and Í. T. A. Moreira (2021). "Mecanismos de remediação dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos do petróleo utilizando microalgas e cianobactérias com vistas a bioeconomia circular." *Research, Society and Development* **10**(11): e512101119954-e512101119954.

Dunn, R. (2012). "In retrospect: silent spring." *Nature*: 485 (7400): 7578 – 7579.

Dutra, M. T. D. (2017). *Desenvolvimento de um índice de sustentabilidade hidroambiental em bacia hidrográfica: o caso da bacia do rio Capibaribe, Pernambuco*, Universidade Federal de Pernambuco.

Ekino, S., M. Susa, T. Ninomiya, K. Imamura and T. Kitamura (2007). "Minamata disease revisited: an update on the acute and chronic manifestations of methyl mercury poisoning." *Journal of the neurological sciences* **262**(1-2): 131-144.

Fagundes, A. K. B., T. A. Mendes and T. S. R. Pereira (2016). "Classificação preliminar de corpos d'água com base na resolução Conama nº 357/2005: Caso do rio Meia Ponte-GO." *Ciência e Natura* **38**(3): 1382-1393.

Faria, P. M. d. and H. V. Della Rosa (2004). "Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs): uma revisão de seus aspectos toxicológicos." *Rev. bras. toxicol*: 61-70.

Gagne, F. (2014). *Biochemical ecotoxicology: principles and methods*, Elsevier.

Gomes, S., A. Carvalho, C. Castro and P. Cadena (2020). "Efeitos tóxicos dos sedimentos do estuário do rio Capibaribe em embriões de zebrafish (*Danio rerio*)." *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia* **72**: 623-632.

Gonçalves, E. S. (2012). *Ocorrência e distribuição de fármacos, cafeína e bisfenol-a em alguns corpos hídricos no Estado do Rio de Janeiro*, Universidade Federal Fluminense.

Karla Philippini da Silva, H. (2004). *Concentrações de metais pesados nos sedimentos do estuário do rio Capibaribe, na região metropolitana do Recife (RMR)-Pernambuco, Brasil*, Universidade Federal de Pernambuco.

KLEINE, T. (2013). *Cinética da toxicidade aguda da fração solúvel de compostos Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) oriundas do Petróleo em microcrustáceos marinhos*, Dissertação (Mestrado em Saúde e Meio Ambiente). Universidade da Região de

Knie, J. L. W. (2004). Testes ecotoxicológicos: métodos, técnicas e aplicações, FATMA: GTZ.

Lima, D. P. d., C. Santos, R. d. S. Silva, E. T. O. Yoshioka and R. M. Bezerra (2015). "Contaminação por metais pesados em peixes e água da bacia do rio Cassiporé, Estado do Amapá, Brasil." *Acta Amazonica* **45**: 405-414.

Maciel, D. C., Í. B. Castro, J. R. B. de Souza, G. T. Yogui, G. Fillmann and E. Zanardi-Lamardo (2018). "Assessment of organotins and imposex in two estuaries of the northeastern Brazilian coast." *Marine pollution bulletin* **126**: 473-478.

Maciel, D. C., B. Costa, L. Souza Santos, J. Souza and E. Zanardi-Lamardo (2015). "Avaliação da toxicidade dos sedimentos do sistema estuarino do Rio Capibaribe (Pernambuco, Brasil) utilizando o copépodo bentônico *Tisbe biminiensis* Volkman Rocco (1973)." *Tropical Oceanography* **43**(1): 26-37.

Maciel, D. C., J. R. B. de Souza, S. Taniguchi, M. C. Bicego, C. A. F. Schettini and E. Zanardi-Lamardo (2016). "Hydrocarbons in sediments along a tropical estuary-shelf transition area: sources and spatial distribution." *Marine Pollution Bulletin* **113**(1-2): 566-571.

Maciel, D. C., J. R. B. de Souza, S. Taniguchi, M. C. Bicego and E. Zanardi-Lamardo (2015). "Sources and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in an urbanized tropical estuary and adjacent shelf, Northeast of Brazil." *Marine pollution bulletin* **101**(1): 429-433.

Melo, L. E. d., D. V. de Paulo, C. C. Montagner and P. S. M. Carvalho (2021). "Behavioral and reproductive effects in *Poecilia vivipara* males from a tropical estuary affected by estrogenic contaminants." *Marine Pollution Bulletin* **169**: 112543.

Melo, S. C. d., C. R. d. MELO and P. A. Guedes (2013). "Análise qualitativa no rio Tapacurá no município de Vitória de Santo Antão (PE)."

Melo, V. M. (2007). "As paisagens do rio Capibaribe no século XIX e suas representações." *Paisagem e Ambiente*(23): 253-263.

Morais, P. C. V. d. (2018). Distribuição espaço-temporal de esteróis e hormônios estrógenos e o seu potencial toxicológico no sedimento do rio Jaguaribe/CE, UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ.

Nascimento, J. V. G. (2023). Toxicidade da fração solúvel do petróleo emulsificado coletado no costão rochoso da Praia de Pedra do Xaréu para embriões e larvas de *Danio rerio*, Universidade Federal de Pernambuco.

Nóbrega, A. d. C. (2011). "Fontes de contaminação no estuário do rio Capibaribe, Pernambuco." Monografia. Universidade Federal de Pernambuco—UFPE—Centro de Ciências Biológicas—CCB. Recife, PE.

Oliveira, M. L. M. (2017). Análise ecotoxicológica e mutagênica da região textil de Toritama utilizando *Aliivibrio fischeri*, *Biomphalaria glabrata* e *Daphnia magna*, Universidade Federal de Pernambuco.

Oliveira, R. M. P. d. (2019). Efeito genotóxico das águas superficiais do baixo curso da bacia hidrográficada Rio Capibaribe, Pernambuco-Brasil, Universidade Federal de Pernambuco.

Pereira, R. A., D. H. F. da Paz and I. M. B. Rameh (2019). "Reduction Of Organic Loading Launched In A Specific Area In The Capibaribe River To Comply With Environmental Legislation." *Revista Brasileira de Geografia Física* **12**(3): 837-847.

Régis, C. G., L. P. Souza-Santos, G. T. Yogui, A. S. Moraes and C. A. F. Schettini (2018). "Use of *Tisbe biminiensis* nauplii in ecotoxicological tests and geochemical analyses to assess the sediment quality of a tropical urban estuary in northeastern Brazil." *Marine pollution bulletin* **137**: 45-55.

Santos, L. B. D. (2018). "Rios urbanos brasileiros, um bem comum poluído." *Escenários: empresa y territorio* **7**(9).

Santos, P. H. G. d. (2015). *A percepção ambiental em Rios Urbanos: O caso do Rio Capibaribe em São Lourenço da Mata-PE*, Universidade Federal de Pernambuco.

Silva, J. G. d., C. A. Chagas, T. G. d. S. Souza, M. C. d. Araújo, L. C. A. d. Araújo, A. M. M. Santos, R. A. d.

Q. C. d. Sá, R. B. d. O. Alves, R. H. A. Rodrigues, H. P. d. Silva, G. Malafaia, R. d. S. Bezerra and M. B. M.

d. Oliveira (2024). "Using structural equation modeling to assess the genotoxic and mutagenic effects of heavy metal contamination in the freshwater ecosystems: A study involving *Oreochromis niloticus* in an urban river." *Science of The Total Environment* **913**: 169529.

Truhaut, R. (1977). "Ecotoxicology: objectives, principles and perspectives." *Ecotoxicology and environmental safety* **1**(2): 151-173.

Vasconcellos, P. d. C. and A. H. Miguel (1996). *Um estudo sobre a caracterização de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e seus derivados, e hidrocarbonetos alifáticos saturados em material particulado atmosférico proveniente de sítios urbanos, suburbano e florestais*, Instituto de Química, Universidade de São Paulo.

Xavier, D. D. A., R. L. Barcellos, R. C. L. Figueira and C. A. F. Schettini (2016). "Evolução sedimentar do estuário do Rio Capibaribe (Recife-PE) nos últimos 200 anos e suas relações com a atividade antrópica e processo de urbanização." *Tropical Oceanography* **44**(2): 74-88.

Yogui, G. T., S. Taniguchi, J. d. Silva, D. d. A. Miranda and R. C. Montone (2018). "The legacy of man-made organic compounds in surface sediments of Pina Sound and Suape Estuary, northeastern Brazil." *Brazilian Journal of Oceanography* **66**: 58-72.

Tabela 1. Referências bibliográficas envolvendo análises químicas de contaminantes e/ou análises ecotoxicológicas ao longo do curso do rio Capibaribe nas suas 3 principais macrozonas

MacroZona	codigo	Município	Data de coleta	Matriz	HPA	HA	Metais	OC/PCB	OT	Estrógenos/Bisfenol-A	Agroquímicos	Toxicidade <i>Oreochromis niloticus</i>	Toxicidade <i>Poecilia vivipara</i>	Toxicidade <i>Danio rerio</i>	Toxicidade <i>Tisbe biminiensis</i>	Abundância de ictiofauna	IQA	IET	Referência
1	POÇ	Poção																	
1	JAT	Jataúba																	
1	PES	Pesqueira																	
1	SAN	Sanharó																	
1	BJA	Belo Jardim																	
1	BMD	Brejo da Madre d Deus																	
1	TAC	Tacaimbó																	
1	SCC	Santa Cruz do Capibaribe	2015/2016/2017	A			X					X							da Silva, Chagas et al. 2024
1	SCAI	São Caitano																	
1	TNO	Taquaritinga do Norte																	
1	TOR	Toritama	2015/2016/2017	A			X					X							da Silva, Chagas et al. 2024
1	TOR	Toritama	2017	A															OLIVEIRA, 2017
2	SUR	Surubim	2015/2016/2017	A			X					X							da Silva, Chagas et al. 2024
2	VER	Vertentes																	
2	CAR	Caruaru																	
2	FMI	Frei Miguelinho																	
2	RAL	Riacho das Almas																	
2	SMC	Santa Maria do Cambucá																	
2	VLE	Vertente do Lério																	
2	SUR	Surubim																	
2	BEZ	Bezerros																	
2	CUM	Cumaru																	
2	CAS	Casinhas																	
2	SAL	Salgadinho																	
2	GRA	Gravatá																	
2	PAS	Passira																	
2	BJA	Bom Jardim																	
2	JAL	João Alfredo																	
2	CB-10	Limoeiro	2016/2019	A													X	X	CPRH, 2019
2	CB-10	Limoeiro	2018/2019	A	X									X					Alves et al., 2021
2	CB-10	Limoeiro	2015/2016/2017	A			X					X							da Silva, Chagas et al. 2024
2	FNO	Feira Nova																	
2	GGO	Glória do Goitá																	
3	LCA	Lagoa do Carro																	
3	LIT	Lagoa de Itaenga																	
3	CAR	Carpina																	
3	CB-30	Carpina/Lagoa de Itaenga	2016/2019	A													X	X	CPRH, 2019
3	CB-30	Carpina/Lagoa de Itaenga	2018/2019	A	X									X					Alves et al., 2021
3	CAL	Chã de Alegria																	
3	TRA	Tracunhaém																	
3	CB-40	Paudalho	2016/2019	A													X	X	CPRH, 2019
3	CB-40	Paudalho	2018/2019	A	X									X					Alves et al., 2021
3	PAU	Paudalho	2019	A												X			Collier, de Almeida Neto et al. 2019
3	MOR	Moreno																	
3	CB-55	São L.Mata/Paudalho	2016/2019	A													X	X	CPRH, 2019
3	CB-55	São L.Mata/Paudalho	2018/2019	A	X									X					Alves et al., 2021

Tabela 1. Referências bibliográficas envolvendo análises químicas de contaminantes e/ou análises ecotoxicológicas ao longo do curso do rio Capibaribe nas suas 3 principais macrozonas

MacroZ	codigo OTona	Município	Data de coleta	Matriz	HPA	HA	Metais	OC/PCB	Estrógenos/B isfenol-A	Agroquímicos	Toxicidade <i>Oreochromis niloticus</i>	Toxicidade <i>Poecilia vivipara</i>	Toxicidade <i>Danio rerio</i>	Toxicidade <i>Tisbe biminiensis</i>	Abundância ictiofauna	IQA	IET	Referência
3	CB-60	São Lourenço da Mata	2015/2016/2017	A			X				X							da Silva, Chagas et al. 2024
3	CB-60	São Lourenço da Mata	2016/2019	A												X	X	CPRH, 2019
3	CB-60	São Lourenço da Mata	2018/2019	A	X								X					Alves et al., 2021
3	CGR	Chã Grande																
3	POM	Pombos																
3	CB-62	Vitória de Santo Antão	2016/2019	A												X	X	CPRH, 2019
3	CB-62	Vitória de Santo Antão	2018/2019	A	X								X					Alves et al., 2021
3	CB-71	São Lourenço da Mata	2016/2019	A												X	X	CPRH, 2019
3	CB-71	São Lourenço da Mata	2018/2019	A	X								X					Alves et al., 2021
3	CB-72	São Lourenço da Mata	2016/2019	A												X	X	CPRH, 2019
3	CB-72	São Lourenço da Mata	2018/2019	A	X								X					Alves et al., 2021
3	CAM	Camaragibe																
3	VAR	Várzea	2019	A											X			Collier, de Almeida Neto et al. 2019
3	VAR	Várzea	2014/2015	S					X	X				X				Régis, Souza-Santos et al. 2018
3	VAR	Várzea	2014/2015	S										X				Régis, Souza-Santos et al. 2018
3	VAR	Várzea	2015/2016/2017	A			X				X							da Silva, Chagas et al. 2024
3	CB-80	Recife	2016/2019	A												X	X	CPRH, 2019
3	CB-80	Recife	2018/2019	A	X								X					Alves et al., 2021
3	CB-80	Recife	2017	S									X					Gomes, Carvalho et al. 2020
3	CB-80	Recife	2015	A					X			X						de Melo, de Paulo et al. 2021
3	IPU	Iputinga	2014/2015	S					X	X				X				Régis, Souza-Santos et al. 2018
3	PST	Parque santana	2017	S									X					Gomes, Carvalho et al. 2020
3	PST	Parque santana	2014/2015	S					X				X	X				Régis, Souza-Santos et al. 2018
3	CB-95	Recife- SPORT	2016/2019	A												X	X	CPRH, 2019
3	CB-95	Recife- SPORT	2019/2018	A	X								X					Alves et al., 2021
3	CB-95	Recife- SPORT	2014/2015	S					X	X				X				Régis, Souza-Santos et al. 2018
3	CB-95	Recife- SPORT	2015	A					X			X						de Melo, de Paulo et al. 2021
3	CB-95	Recife- SPORT	2015/2016/2017	A			X				X							da Silva, Chagas et al. 2024
3	EST	Recife	2011	S				X										Yogui et al., 2018
3	EST	Recife	2017	S									X					Gomes, Carvalho et al. 2020
3	EST	Recife	2014	S										X				Maciel, Costa et al. 2015
3	EST	Recife	2014/2015	S					X	X				X				Régis, Souza-Santos et al. 2018
3	EST	Recife	2014/2015	S					X	X				X				Régis, Souza-Santos et al. 2018
3	EST	Recife	2011	S		X												Maciel, de Souza et al. 2016
3	EST	Recife	2011	S	X													Maciel, de Souza et al. 2015
3	EST	Recife	2011/2012	S					X									Maciel, Castro et al. 2018
3	EST	Recife	2013	S				X										MOURA 2016

HPA: hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
 HA: hidrocarbonetos alifáticos
 OC/PCB: organoclorados e bifenilas policloradas
 OT: organoestânicos

A: água
 S: sedimento