



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA

Yasmin Maria Marques Carneiro

**Avaliação da toxicidade e da balneabilidade da água do mar em quatro
praias do litoral de Pernambuco**

RECIFE

2023

Yasmin Maria Marques Carneiro

Avaliação da toxicidade e da balneabilidade da água do mar em quatro praias do litoral de Pernambuco

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco como pré-requisito para a conclusão do curso de Bacharelado em Oceanografia.

Orientador: Prof. Dra. Lília Pereira Souza-Santos

Recife

2023

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

Carneiro, Yasmin Maria Marques.

Avaliação da toxicidade e da balneabilidade da água do mar em quatro praias do litoral de Pernambuco / Yasmin Maria Marques Carneiro. - Recife, 2023.

60 p. : il., tab.

Orientador(a): Lília Pereira Souza-Santos

(Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, , 2023.

1. Copepoda. 2. coliformes termotolerantes . 3. qualidade da água. 4. efluentes. 5. pluviosidade . I. Souza-Santos, Lília Pereira . (Orientação). II. Título.

500 CDD (22.ed.)

Yasmin Maria Marques Carneiro

Avaliação da toxicidade e da balneabilidade da água do mar em quatro praias do litoral de Pernambuco

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco como pré-requisito para a conclusão do curso de Bacharelado em Oceanografia.

Aprovado em: 27/09/2023

Nota de Aprovação:

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Lília Pereira Souza-Santos (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Dra. Andréa Shirley Xavier da Silva (Examinador Externo)
Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (CPRH)

Prof. Dra. Maria Christina Araújo (Examinador Externo)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Prof. Dra. Eliete Zanardi Lamardo (Examinador Suplente Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho a minha mãe, lêda, meu maior exemplo de força e coragem.

AGRADECIMENTOS

Durante a graduação na UFPE tive a oportunidade de conhecer e aprender muito com professores e amigos que foram fundamentais para que meu crescimento pessoal e profissional. Ter a oportunidade de estar numa universidade pública estudando oceanografia abriu muito meus horizontes e fez com que eu me conhecesse melhor.

Sou muito grata a minha mãe, Lêda, por sempre me incentivar a seguir meus sonhos e me dá coragem para superar os desafios, ao meu padrasto, João Paulo, que tem contribuído em conjunto com ela nessa função, ao meu pai, Iran, que durante minha infância investiu na minha educação e ao meu irmão, José, que sempre foi minha inspiração.

Quero agradecer a família LACE que sempre me apoiou durante meus anos no laboratório, especialmente a Lília que foi como uma mãe dentro da graduação, sempre aberta para conversar, ensinar e aconselhar. A Roberta também foi como uma irmã mais velha que sempre me ajudou e acreditou em mim.

Meus amigos tiveram um importante papel nesse processo servindo diversas vezes como rede de apoio durante a minha graduação, não vou citar todos aqui, mas aprecio muito a força e alegria que cada um deles me deu durante essa jornada. Quero fazer um agradecimento especial aos amigos que foram essenciais para mim nessa reta final: Thamiris, Syumara, Ishimaru, Eduardo e Victor.

Quero agradecer a Andréa e a equipe da CPRH por terem coletado as amostras e por terem nos fornecido alguns dados que foram usados nesse trabalho. A PQS pela bolsa de pesquisa durante minha graduação. E a André, secretário do curso de oceanografia, que foi um verdadeiro anjo ao longo da minha jornada no Docean.

“We need to respect the oceans and take care of them as if our lives depended on it. Because they do.”

Sylvia Earle

RESUMO

A praia é um ecossistema bastante suscetível a contaminação antrópica, principalmente devido a ausência de tratamento adequado do esgoto doméstico que acaba chegando nessas áreas. Essa contaminação traz malefícios a saúde humana e ao ecossistema. Uma das formas de monitorar a qualidade ambiental é através da balneabilidade das águas, que consiste na quantificação de coliformes termotolerantes presentes. Esse monitoramento indica a presença de conteúdo fecal na água do mar e a chegada de esgotos domésticos. Por outro lado, a ecotoxicologia avalia os efeitos dos contaminantes presentes na água em organismos vivos. O grupo Copepoda engloba organismos sensíveis sendo, portanto, bons indicadores da qualidade de água. Assim, o presente estudo avaliou a qualidade da água através de testes ecotoxicológicos com os náuplios do Copepoda *Tisbe biminiensis* em quatro praias de Pernambuco durante o período chuvoso com diferentes padrões de balneabilidade. Para isso, foram realizadas coletas semanais de água entre março e setembro de 2022, nas praias de Jaguaribe, Janga, Pina e Campas. Para avaliar a toxicidade ao organismo teste, o bioensaio consistiu na exposição de náuplios com 24 h de vida às amostras de água controle e testes com parâmetros físico-químicos controlados. A porcentagem de desenvolvimento e sobrevivência foi estimada após 72h. A quantificação da densidade de coliformes termotolerantes foram obtidos com a técnica de tubos múltiplos, que determina o número mais provável (NMP) de coliformes usando o método direto. Foram analisados também índices pluviométricos, salinidade, altura e amplitude de maré. Com base nesses resultados foram feitos testes estatísticos para identificar a correlação entre as variáveis. O ano de 2022 teve um acumulado de chuva acima da média, com maior precipitação nos meses de maio e junho. Para a presença de coliformes termotolerantes houve diferença significativa entre as praias. Contudo, para a sobrevivência e o desenvolvimento dos náuplios as diferenças não foram significativas entre as praias. Vale ressaltar também que, em mais de 50% do período do estudo todas as praias indicaram efeito letal para o Copepoda. Já para os coliformes termotolerantes, todas as praias, com exceção de Campas apresentam (NMP/ 100ml) acima do limite permitido em mais da metade da periodicidade do estudo. A correlação de Pearson não mostrou correlação significativa entre os resultados de coliformes termotolerantes e os de sobrevivência

ou desenvolvimento do Copepoda. Portanto, foi observado que o efeito na sobrevivência do Copepoda indicou a presença de algum estressor no ambiente, provavelmente associado a influência das plumas dos rios próximos aos locais de coleta além da chegada dos esgotos. Já para a presença de coliformes termotolerantes foi possível associar a maior contaminação a locais mais urbanizados devido a deficiência no tratamento adequado do esgoto doméstico. Assim, foi constatado que ambos os monitoramentos são complementares para uma visão mais holística do ambiente.

Palavras-chave: Copepoda; coliformes termotolerantes; qualidade da água; efluentes; pluviosidade

ABSTRACT

The beach is an ecosystem highly susceptible to anthropogenic contamination, mainly due to the lack of proper domestic sewage treatment, which ends up reaching these areas. This contamination is dangerous to human health and to the ecosystem. One way to monitor environmental quality is through the bathing water quality, which involves quantifying the presence of thermotolerant coliforms. This monitoring indicates the presence of fecal content in the seawater and the influx of domestic sewage. On the other hand, ecotoxicology assesses the effects of contaminants present in the water for living organisms. Copepods are sensitive organisms and therefore serves as a good indicators of water quality. Thus, the present study evaluated water quality of four beaches with different bathing quality patterns in Pernambuco through ecotoxicological tests using the nauplii of the Copepoda *Tisbe biminiensis* during its rainy season. For this purpose, water samples were weekly collected between March and September 2022 at Jaguaribe, Janga, Pina, and Campas beaches. To assess toxicity to the test organism, the bioassay involved exposing 24h-old nauplii to both control and test water samples with controlled physicochemical parameters. The percentage of development and survival was estimated after 72 hours. Quantification of thermotolerant coliform values were obtained using the multiple tube technique, which determines the most probable number (MPN) of coliforms using the direct method. The rainfall, salinity, height and amplitude of tides were also analyzed. Based on these results, statistical tests were conducted to identify correlations between variables. The year 2022 experienced above-average accumulated rainfall, with higher precipitation in May and June. Significant differences in thermotolerant coliform presence were observed among the beaches. However, there were no significant differences in nauplii survival and development between beaches. It's worth noting that during over 50% of the study period, all beaches indicated a lethal effect on the Copepoda. Regarding thermotolerant coliforms, all beaches, except Campas, had MPN levels above the allowed limit for more than half of the study period. Pearson correlation did not show a significant correlation between thermotolerant coliform results and naupliar survival and development. Therefore, it was observed that decrease at Copepoda survival indicated the presence of some stressors in the environment, likely associated with the influence of river plumes near the collection sites, in addition to sewage influx. As

for the presence of thermotolerant coliforms, higher contamination could be associated with more urbanized areas due to inadequate domestic sewage treatment. Thus, it was concluded that both monitoring approaches are complementary for a more holistic understanding of the environment.

Keywords: Copepods; thermotolerant coliforms; water quality; effluent; rainfall.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa da área de estudo.....	17
Figura 2- Desenho amostral do sistema de separação de prole.....	21
Figura 3- Desenho amostral do bioensaio com <i>Tisbe biminiensis</i>	22
Figura 4- Limite de NMP/100mL para cada categoria de classificação.	23
Figura 5- Incubação das amostras.	24
Figura 6- Diluição e volume inoculado das amostras.	25
Figura 7- Acumulado de precipitação mensal (mm) para o ano de 2022. As barras delimitadas em azul representam o valor para a região metropolitana do Recife (RMR), a linha preta é a climatologia (média mensal dos últimos 30 anos) e as barras delimitadas em vermelho representa o desvio entre os valores de 2022 e a climatologia.....	29
Figura 8- Acumulado de precipitação semanal (mm) dos 7 dias anteriores a data de cada coleta a partir da média diária das praias de Jaguaribe, Janga, Pina e Campas.	30
Figura 9- Média por praia das semanas estudadas para o número mais provável (NMP/ 100ml) de Coliformes Termotolerantes. A barra vertical representa o desvio padrão dos dados. As letras representam o resultado do teste de Tukey, letras diferentes representam médias estatisticamente diferentes.....	33
Figura 10- Médias por praia das semanas estudadas do percentual médio de sobrevivência e desenvolvimento de <i>Tisbe binimiensis</i> . A barra vertical representa o desvio padrão dos dados.	34
Figura 11- Resultados para a praia de Jaguaribe durante as semanas analisadas. O eixo da esquerda indica o percentual de sobrevivência dos náuplios de <i>Tisbe biminiensis</i> , o eixo da direita indica o número mais provável (NMP/ 100ml) de Coliformes Termotolerantes. Os losangos indicam o NMP de coliformes termotolerantes, os triângulos representam o controle, os círculos indicam a sobrevivência, sendo que os vermelhos mostram o efeito subletal significativo na	

sobrevivência ($p < 0.05$). A barra pontilhada indica o limite permitido de NMP, e as barras verticais indicam o desvio padrão dos dados. 36

Figura 12- Resultados para a praia do Janga durante as semanas analisadas. O eixo da esquerda indica o percentual de sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis*, o eixo da direita indica o número mais provável (NMP/ 100ml) de Coliformes Termotolerantes. Os losangos indicam o NMP de coliformes termotolerantes, os triângulos representam o controle, os círculos indicam a sobrevivência, sendo que os vermelhos mostram o efeito subletal na sobrevivência ($p < 0.05$). A barra pontilhada indica o limite permitido de NMP, e as barras verticais indicam o desvio padrão dos dados. 38

Figura 13- Resultados para a praia de Pina durante as semanas analisadas. O eixo da esquerda indica o percentual de sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis*, o eixo da direita indica o número mais provável (NMP/ 100ml) de Coliformes Termotolerantes. Os losangos indicam o NMP de coliformes termotolerantes, os triângulos representam o controle, os círculos indicam a sobrevivência, sendo que os vermelhos mostram o efeito subletal na sobrevivência ($p < 0.05$). A barra pontilhada indica o limite permitido de NMP, e as barras verticais indicam o desvio padrão dos dados. 39

Figura 14- Resultados para a praia de Campas durante as semanas analisadas. O eixo da esquerda indica o percentual de sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis*, o eixo da direita indica o número mais provável (NMP/ 100ml) de Coliformes Termotolerantes. Os losangos indicam o NMP de coliformes termotolerantes, os triângulos representam o controle, os círculos indicam a sobrevivência, sendo que os vermelhos mostram o efeito subletal na sobrevivência ($p < 0.05$). A barra pontilhada indica o limite permitido de NMP, e as barras verticais indicam o desvio padrão dos dados. 41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Dados de urbanização dos municípios estudados.....	18
Tabela 2- Dados de amplitude e altura da maré a partir do horário médio de coleta para as praias.....	26
Tabela 3- Acumulado de precipitação anual por ano dos últimos 10 anos em milímetros (mm) e a média de acumulado de precipitação referente a esses 10 anos em Pernambuco.....	28
Tabela 4- Valores médios \pm desvio padrão, máximo e mínimo de salinidade durante 27 semanas para as praias de Jaguaribe, Janga, Pina e Campas.....	30
Tabela 5- Dados de balneabilidade em cada praia para as semanas estudadas.	32
Tabela 6- Resultados significativos das análises de correlação de Pearson para as variáveis estudadas em todas as praias. Foram indicados na tabela apenas valores de p significativos (< 0.05).	35
Tabela 7- Correlação de Pearson para as variáveis estudadas em Jaguaribe. Foram indicados na tabela apenas valores de p significativos (< 0.05).	37
Tabela 8- Correlação de Pearson para as variáveis estudadas na praia do Janga. Foram indicados na tabela apenas valores de p significativos (< 0.05).	38
Tabela 9- Correlação de Pearson para as variáveis estudadas na praia de Pina. Foram indicados na tabela apenas valores de p significativos (< 0.05).	40
Tabela 10- Correlação de Pearson para as variáveis estudadas na praia dos Campas. Foram indicados na tabela apenas valores de p significativos (< 0.05).	42

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivos específicos	16
3. METODOLOGIA	17
3.1 Descrição da Área de Estudo	17
3.2 Coleta Das Amostras	19
3.3 Bioensaio ecotoxicológico	19
3.3.1 Cultivo de alga	20
3.3.2 Obtenção de organismo-teste	20
3.3.3 Bioensaio com <i>Tisbe biminiensis</i>	21
3.4 Balneabilidade	23
3.5 Dados de índices pluviométricos e de maré	25
3.6 Análises estatísticas	26
4. RESULTADOS	28
5. DISCUSSÃO	42
6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	49
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

1. INTRODUÇÃO

Em zonas costeiras o aumento crescente da presença humana está diretamente ligado à contaminação, especialmente em países em desenvolvimento, devido à falta de infraestrutura adequada (Cicin-Sain et al., 1998; Martinez et al., 2022). Dentre as maiores fontes de poluição de zonas costeiras, encontram-se os lançamentos de efluentes líquidos domésticos em rios, praias e estuários sem devido tratamento, representando uma ameaça para a saúde humana e para a biodiversidade (Zagatto & Bertoletti, 2006; Wear et al., 2021). Mais de 47% da população brasileira não tem acesso ao tratamento adequado de esgoto. Esse fato é prejudicial para o desenvolvimento social e econômico do país, além de reduzir a qualidade de vida da população (Danelon et al, 2021). Essa ameaça é ainda maior próxima a centros urbanos, podendo impactar na saúde da população e até inviabilizar o abastecimento humano. Isso ocorre devido a problemas de qualidade da água, relacionados ao maior aporte de matéria orgânica e nutrientes (ANA, 2017). Além do conteúdo fecal, o esgoto doméstico contém outros contaminantes associados, como por exemplo compostos orgânicos sintéticos (Wear & Thurber, 2015). As substâncias poluidoras provenientes desses efluentes apresentam ao mesmo tempo toxicidade, persistência e bioacumulação na cadeia alimentar, portanto para impedir a degradação marinha é preciso adotar políticas que promovam o uso sustentável dos recursos hídricos (ONU, 1995).

O Brasil tem uma grande diversidade de praias arenosas com fundamental importância, não apenas para a biodiversidade, como também para a sociedade que utiliza esse espaço de muitas formas, sendo uma delas o uso recreacional (Amaral et al., 2016). Esses espaços em muitos casos, são os únicos para recreação ao ar livre da população. Por isso, é fundamental garantir que a praia seja segura e higiênica para os usuários, assim é importante garantir o manejo adequado do esgoto e da água de escoamento pluvial das áreas urbanas (Breton et al., 1996). Os critérios de balneabilidade em águas doces, salobras e marinhas é regulamentada pelo Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), por meio da resolução CONAMA 274/00. Nessa resolução foram estabelecidos critérios para avaliar a balneabilidade, de forma a assegurar as condições necessárias à recreação (Brasil, 2000). A balneabilidade é o conjunto de fatores que define a qualidade da água para fins de recreação de contato primário, ou seja, aquela em que as pessoas podem se

banhar e que ocorre de forma mais prolongada (CPRH, 2008). É fundamental considerar a qualidade das águas avaliando a balneabilidade, pois seu uso para banho é uma questão de saúde pública, já que pode causar efeitos deletérios a saúde. A balneabilidade serve não apenas como um importante indicador de qualidade ambiental, como também gerencial e social (Costa & Costa, 2020).

No estado de Pernambuco, a Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) é o órgão estadual responsável pela execução das normas estabelecidas pelo CONAMA, com atuação na proteção, conservação e pesquisa aplicada às atividades do controle ambiental, para o aproveitamento dos recursos naturais do Estado (Pernambuco, 2007). Dentre suas atribuições, a CPRH realiza o monitoramento semanal da balneabilidade das praias do estado de Pernambuco sendo um estudo muito importante para a região (Silva, 2022). A alta presença de coliformes termotolerantes em amostras de água indica a possível presença de contaminação associada ao conteúdo fecal, podendo acarretar riscos a saúde humana, portanto nesse caso a praia se torna imprópria para uso recreacional (Williams & Micallef, 2009). Ainda que a balneabilidade seja influenciada pela precipitação e alterações na maré, a principal influência é a falta de tratamento adequado de esgoto doméstico. E apesar do monitoramento da balneabilidade visar a proteção e saúde dos usuários das praias, suas fontes de contaminação continuam desconhecidas (Costa, 2021).

A falta de tratamento adequado em conjunto com a falta de conhecimento sobre a toxicidade de novos compostos químicos tem como consequência o despejo de Contaminantes de preocupação emergente (CEC) nos corpos hídricos. Os CEC são substâncias encontradas em produtos de cuidado pessoal como cosméticos, remédios e produtos de limpeza (Newman, 2015). Poucos estudos mostram seus possíveis efeitos agudos e crônicos em espécies aquáticas, entretanto esses estudos precisam se tornar mais frequentes para ter uma avaliação mais realista da contaminação ambiental no ecossistema marinho, assim será possível proteger não apenas os seres humanos como também as espécies aquáticas (Starling et al., 2019). Para avaliar os efeitos da contaminação sobre a biota é indispensável o monitoramento contínuo de parâmetros biológicos (Maciel et al., 2015).

O monitoramento de qualidade da água realizado no Rio Itaguaré localizado em São Paulo, mostrou que a quantificação de coliformes termotolerantes indicou

padrões aceitáveis para balneabilidade, entretanto mostrou toxicidade aguda e crônica em testes com o cladóceros *Daphnia similis*. Esse resultado indicou que fontes pontuais de esgoto doméstico não tratados comprometem a qualidade das águas pela introdução de substâncias químicas com potencial tóxico (Morais et al., 2011). Contudo, Vidakovic (1983) analisou a composição da meiofauna do sedimento do mar Adriático, esse estudou mostrou que locais com maior presença de esgoto possuem um aumento na densidade do Copepoda, indicando que a presença do conteúdo fecal não é tóxica para o grupo. Por outro lado, o estudo realizado por Trombini et al. (2016) apontou a sensibilidade do Copepoda *Tisbe battagliai* para avaliação da toxicidade de produtos farmacêuticos, revelando a eficácia do animal para avaliação destes contaminantes tóxicos associados ao esgoto.

O Copepoda Harpacticoida *Tisbe biminiensis* é um organismo-teste eficaz para avaliação de toxicidade crônica e aguda em amostras de água do mar (Lavorante et al., 2013; Souza-Santos et al., 2015). Essa espécie é cultivada em laboratório desde 1998 em alta densidade populacional, com baixo custo e fácil manutenção (Araújo -Castro, 2009; Ribeiro & Souza-Santos, 2011). Nesse contexto, é extremamente importante comparar os resultados obtidos pelos testes de coliformes termotolerantes com os bioensaios toxicológicos para uma visão mais ampla da qualidade ambiental dos locais estudados. Atualmente, tanto o teste de tubos múltiplos utilizando NMP (número mais provável) quanto o teste ecotoxicológico utilizando o copepoda *Tisbe biminiensis* são testes de referência para avaliação da qualidade ambiental (American Public Health Association, 2017; Lavorante et al., 2013; Régis et al., 2018). No entanto, apesar da importância desses testes, há uma escassez de trabalhos comparando os resultados obtidos por eles. Portanto, o presente estudo visa preencher essa lacuna de conhecimento, comparando os resultados de quantificação de coliformes termotolerantes com os de testes ecotoxicológicos nas praias de Jaguaribe, Janga, Pina e Campas, localizadas no estado de Pernambuco, e com diferentes padrões de balneabilidade.

2. OBJETIVOS

Avaliar a qualidade da água através de testes ecotoxicológicos com o Copepoda Harpacticoida *Tisbe biminiensis* Volkmann-Rocco, 1973 em quatro praias de Pernambuco, relacionando-a com a densidade de coliformes termotolerantes.

2.1 Objetivos específicos

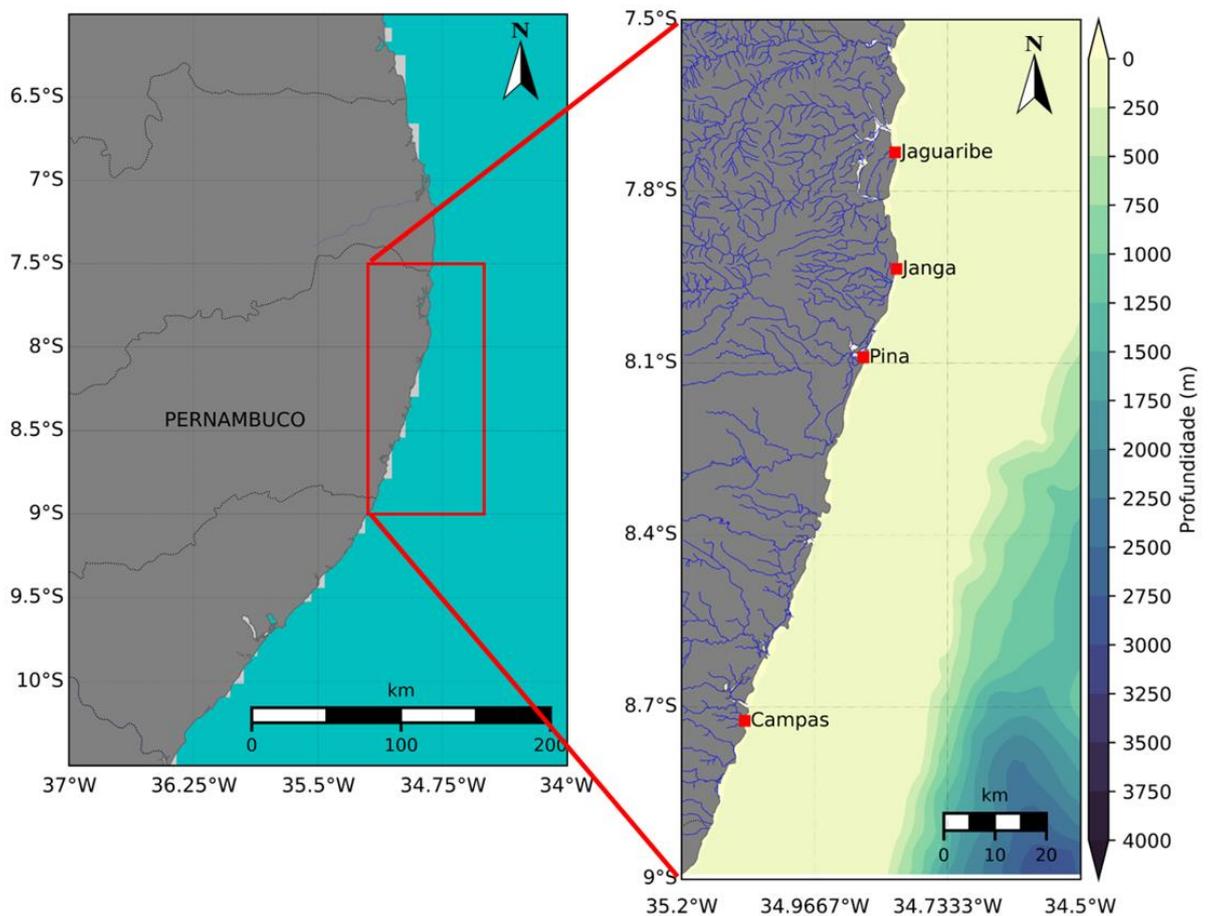
- Avaliar a toxicidade letal e subletal de amostras de água superficial coletadas em quatro praias em Pernambuco durante a estação chuvosa sobre Copepoda *Tisbe biminiensis*;
- Analisar a qualidade microbiológica através da densidade de coliformes termotolerantes das águas balneares em quatro praias de Pernambuco durante o período chuvoso;
- Verificar a influência da pluviosidade, maré e salinidade nos resultados de qualidade ambiental;
- Comparar os resultados de sobrevivência e desenvolvimento do *Tisbe biminiensis* com os de densidade de coliformes termotolerantes para identificar se há correlação entre eles.

3. METODOLOGIA

3.1 Descrição da Área de Estudo

Esse estudo foi realizado em quatro praias localizadas no estado de Pernambuco (Figura 1), sendo três delas situadas na Região Metropolitana do Recife (RMR): praia de Jaguaribe, em frente à Rua Santina de Barros, em Itamaracá ($7^{\circ} 43'56.42''S$ $34^{\circ}49'30.48''O$), do Janga, em frente à Rua Cláudio S. Bastos nº 190 (Condomínio Roberto Barbosa), em Paulista ($7^{\circ} 56'9.35''S$ $34^{\circ}49'20.97''O$), do Pina, em frente à Rua Comendador Morais com Engenheiro Antônio de Góes, antigo Cassino Americano, Recife ($8^{\circ} 5'25.38''S$ $34^{\circ}52'51.02''O$). E a praia de Campas, em frente ao Hotel Marinas de Tamandaré localizada no município de Tamandaré ($8^{\circ}43'26.82''S$ $35^{\circ} 5'19.61''O$), que serviu como uma praia controle em relação a presença de coliformes termotolerantes.

Figura 1- Mapa da área de estudo



Fonte: Autora (2023)

O estado de Pernambuco está inserido na Zona de Convergência Intertropical, e em sua zona costeira o bioma predominante é a floresta tropical úmida, denominada como Mata Atlântica. Os principais rios do Estado são Capibaribe, Beberibe, Ipojuca, Una, Pajeú, Jaboatão e São Francisco (Pernambuco). A temperatura média do ar é de 25°C com máxima de 32°C e mínima de 18°C (EMBRAPA). Devido ao clima Atlântico Tropical as estações do ano são divididas entre seca e chuvosa, sendo o período chuvoso de março a agosto (Zachariah et al, 2022). A maré é semidiurna e a amplitude é meso-maré, com predominância de ventos de sudeste (Costa *et al.*, 2010).

Em termos de urbanização a região litorânea do estado de Pernambuco vem tendo uma intensa urbanização em direção a costa, principalmente em Recife, capital do Estado, que juntamente com outros 13 municípios compõe a RMR, formando o quinto maior conglomerado populacional do país (Recife, 2020). O complexo industrial Portuário de Suape em conjunto com o polo farmoquímico e a implementação da Fiat causam uma maior pressão antrópica sobre os municípios (Recife, 2023). Há um maior impacto também na RMR devido a alterações morfológicas das praias com construções próximas a linha de costa. Já o litoral sul do Estado possui áreas pouco urbanizadas, com pequenos núcleos urbanos, assim como linha de costa estável e bem conservada (Pereira, et al. 2015). O município de Tamandaré, por exemplo, possui apenas 3,27% do território urbanizado, com 17,9% do esgoto sanitário tratado, contrastando com a capital do Estado, que possui uma área urbana de 65,34% e tratamento de 69,2% do esgoto sanitário (Tabela 1).

Tabela 1- Dados de urbanização dos municípios estudados.

Municípios	Itamaracá	Paulista	Recife	Tamandaré
Área urbanizada (%)	18,44	49,70	65,34	3,27
Esgotamento sanitário (%)	20,5	60,8	69,2	17,9

Fonte: Trata Brasil - Adaptada (2023)

As áreas estudadas sofrem influência da pluma dos rios que chegam às praias. Em Itamaracá a principal influência é do Canal de Santa Cruz, em Paulista; os rios Timbó, Paratibe e Beberibe, em Recife; os rios Jaboatão, Beberibe e

Capibaribe; e por fim em Tamandaré dos rios Formoso, Una e Sirinhaém. Todos os rios citados recebem aporte de efluentes domésticos e industriais, bem como há presença de atividades industriais na Bacia. As bacias dos rios Una, Sirinhaém, Capibaribe e Jaboatão também são influenciadas pelo cultivo da Cana-de-açúcar (CPRH, 2020).

3.2 Coleta Das Amostras

As coletas foram realizadas pelo laboratório da CPRH semanalmente, ao longo de 27 semanas, com início no dia 16 de março e término no dia 28 de setembro de 2022. Cada praia teve apenas um ponto de coleta, totalizando quatro pontos, os quatro pontos constam na rede de monitoramento de balneabilidade das praias da CPRH (ITA- 20, PAL-20, REC-80 e TAM-14). Em cada ponto foram coletadas oito amostras de água superficial, sendo uma para medição da salinidade, mantida a temperatura ambiente; uma para análise da presença de coliforme, que foi refrigerada; e seis réplicas para os testes de toxicidade, que foram congeladas. Três réplicas foram usadas para análise toxicológica e três mantidas por segurança caso houvesse necessidade de fazer um novo teste. Apenas na primeira semana do estudo não foi realizado a quantificação dos coliformes termotolerantes, totalizando em 26 semanas de análise.

3.3 Bioensaio ecotoxicológico

O organismo utilizado nos bioensaios ecotoxicológicos foi o Copepoda Harpacticoida *Tisbe biminiensis* Volkmann-Roco, 1973. Ele foi coletado na praia do Farol em Olinda, Pernambuco, e vem sendo cultivado no Laboratório de Cultivo e Ecotoxicologia (LACE) do Departamento de Oceanografia da UFPE desde 1998, usando metodologia descrita em Ribeiro & Souza-Santos (2011). Para isto, a água do mar natural foi coletada na Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais em Tamandaré e previamente tratada com cloro, desclorada e filtrada a 5 µm. O cultivo destes organismos foi feito em recipientes plásticos com capacidade de 20 litros, com 4 litros de água do mar. Os animais foram alimentados com microalga *Chaetoceros muelleri* e ração para peixes marinhos (INVE®). A manutenção do cultivo era realizada duas vezes por semana, onde era feita higienização dos recipientes, troca da água e reposição do alimento. A aeração foi constante, a

temperatura se manteve dentro de $28\pm 2^{\circ}\text{C}$, a salinidade 35 ± 1 , com fotoperíodo natural 12h:12h claro/escuro. O bioensaio seguiu o protocolo estabelecido por Lavorante et al. (2013).

3.3.1 Cultivo de alga

O cultivo da microalga *Chaetoceros muelleri* foi feito em meio f/2 de Guillard (Lourenço et al., 2006). Para a preparação desse meio a solução de nutrientes e o tampão Tris (pH = 7,8) foram adicionados à água do mar, em seguida foram esterilizados na autoclave a 120°C por 15 min em 1 atm. de pressão. Após isso foram adicionadas as vitaminas previamente filtradas a $0,2\ \mu\text{m}$ ao meio já resfriado. O cultivo foi mantido em fotoperíodo controlado de 12h:12h claro/escuro, a 28°C e repicado semanalmente.

3.3.2 Obtenção de organismo-teste

Os náuplios recém eclodidos do Copepoda Harpacticoida *T. biminiensis* foram obtidos através de um sistema de separação de prole (Figura 2). A separação foi feita em duas caixas sobrepostas separadas por uma malha de $120\ \mu\text{m}$ com 3 L de água do mar filtrada e diatomáceas *C. muelleri* sedimentadas. Esse sistema foi montado cerca de 24 horas antes do teste ecotoxicológico, sendo adicionados copépodos adultos, incluindo fêmeas ovadas ($>250\ \mu\text{m}$). Nesse sistema, ao eclodirem, os náuplios passaram pela malha em busca do alimento que se encontrava sedimentado ao fundo.

No dia do teste, os adultos retornaram para o cultivo, enquanto a água presente na parte inferior da caixa passou por uma malha de $64\ \mu\text{m}$ que reteve os náuplios. Em seguida esses organismos foram concentrados em um béquer de volume de 250 ml, com 100 ml de água do mar com salinidade 35 ± 1 . Então, alíquotas de 0,5 mL foram coletadas, com auxílio da pipeta automática, e quantificadas com a utilização de um microscópio estereoscópico. A partir da média desta densidade por 0,5 mL, foi feito um cálculo para determinar o volume que seria adicionado em cada recipiente-teste para que houvesse uma média aproximada de 200 náuplios com menos de 24h de vida.

Figura 2- Desenho amostral do sistema de separação de prole.

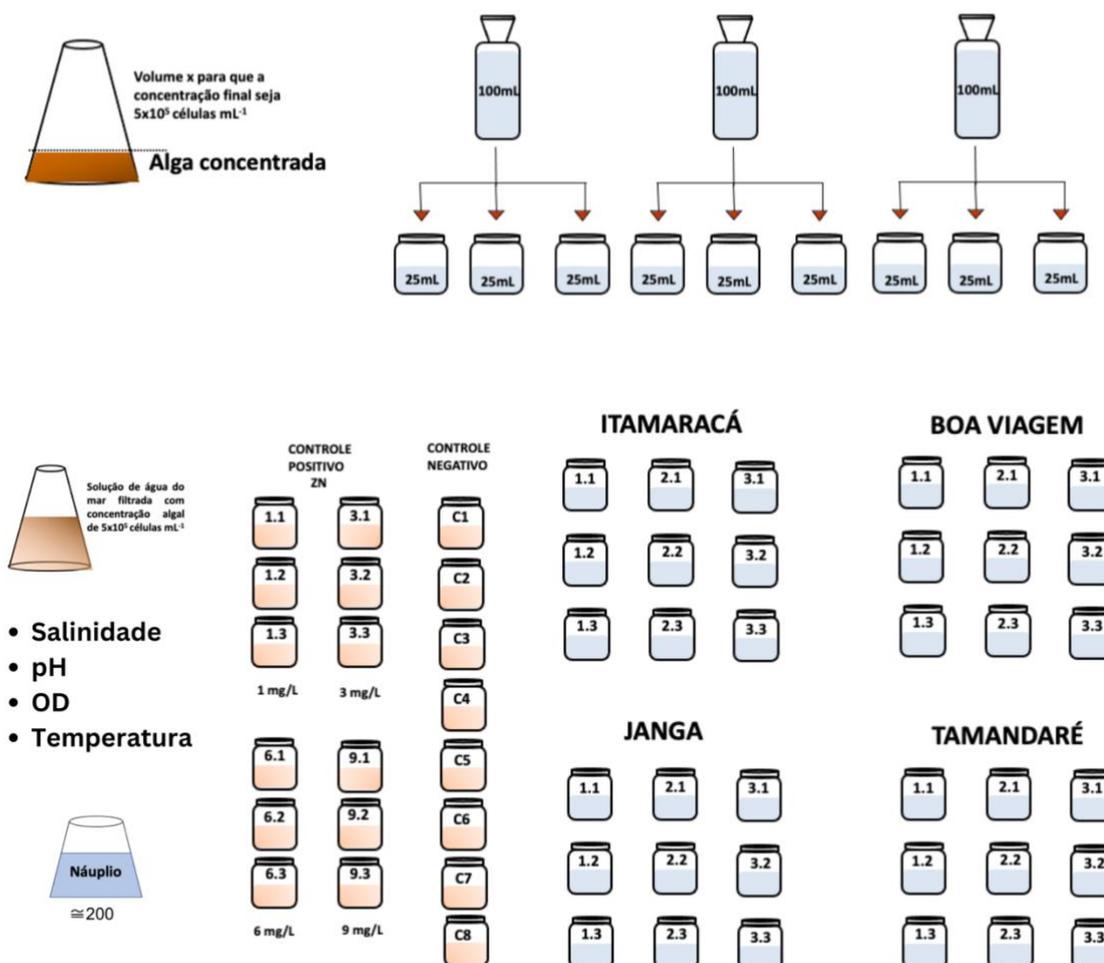


Fonte: Autora (2023)

3.3.3 Bioensaio com *Tisbe biminiensis*

As amostras de água foram descongeladas, cada amostra de 100 mL ($n=3$) foi distribuída em 3 sub-réplicas de 25 mL ($n=9$) em recipientes de vidro de 100 mL de fundo chato (Figura 3). A salinidade foi medida com o refratômetro, salinidades inferiores a 29 e superiores a 40 foram ajustadas com salmoura e água destilada, respectivamente. Logo em seguida, foi adicionada a suspensão concentrada da alga *C. muelleri* de forma a alcançar a concentração final de 5×10^5 células. mL⁻¹. Foram medidos os parâmetros físico-químicos do pH e oxigênio dissolvido (OD), com o pHmetro e oxímetro, respectivamente. Após a verificação de que os parâmetros estavam normais para águas marinhas, foram pipetados aproximadamente 200 náuplios por recipiente-teste. Logo após, os recipientes-teste foram mantidos a 28 ± 2 °C por 72h com fotoperíodo natural. Para estimativa da média real de náuplios inoculados inicialmente em cada recipientes, alíquotas foram coletadas aleatoriamente entre os recipientes-testes e logo após fixadas a formaldeído 4% e corante rosa bengala, a fim de serem contadas em microscópio estereoscópio após pelo menos 48 horas.

Figura 3- Desenho amostral do bioensaio com *Tisbe biminiensis*.



Fonte: Autora (2023)

Ao final do teste, foram medidos novamente os parâmetros físico-químicos de salinidade, pH e temperatura. Houve a troca de recipiente e os organismos presentes foram fixados a formaldeído 4% e corados com rosa bengala.

Para verificar a saúde dos organismos foi realizado um teste de referência (controle positivo) com sulfato de zinco heptahidratado em 4 concentrações (1 mg/L, 3 mg/L, 6 mg/L e 9 mg/L) e controle negativo com água do mar filtrada e suspensão algal na concentração de 5×10^5 células mL^{-1} . Os parâmetros físico-químicos desses recipientes-teste também foram medidos.

A contagem da amostragem inicial dos náuplios com menos de 24h de vida foi realizada com microscópio comum em câmara de Sedgewick Rafter. A média e o coeficiente de variação (CV) do número inicial de náuplios foram estimados.

Após 72 horas do encerramento do teste e fixação das amostras, foi feita a análise da quantidade de copépodos vivos (corados de vermelho) ao final do teste, bem como seu estágio de vida, com a utilização de um microscópio estereoscópio. Cada amostra foi colocada em uma placa de Dollfus para contagem de náuplios e copepoditos. Com base nesses valores foram estimadas a percentagem de desenvolvimento, calculada a partir do número de copepoditos dividido pela soma de náuplios e copepoditos. E a percentagem de sobrevivência, calculada a partir da soma de náuplios e copepoditos dividido pela média de náuplios no início do teste.

3.4 Balneabilidade

A balneabilidade das praias foi definida de acordo com os critérios estabelecidos pela Resolução CONAMA Nº. 274/00 (Brasil, 2000). O critério de enquadramento da praia como imprópria baseia-se nas concentrações de coliformes termotolerantes em um conjunto de amostras de cinco semanas consecutivas. Valores acima de 1000 em mais de 20% das amostras, ou cujo valor obtido na última amostragem foi superior a 2500 foram consideradas impróprias para banho (Figura 4).

Figura 4- Limite de NMP/100mL para cada categoria de classificação.

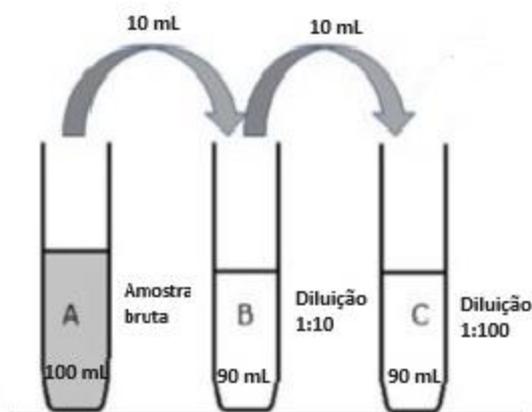
Categoria	Limite de NMP de coliformes termotolerantes/100ml
Excelente	Máximo de 250 em 80% ou mais das amostras
Muito Boa	Máximo de 500 em 80% ou mais das amostras
Satisfatória	Máximo de 1000 em 80% ou mais das amostras
Imprópria	Acima de 1000 em mais de 20% das amostras ou valor obtido na última amostragem for superior a 2500

Fonte: CPRH (2022)

Os coliformes termotolerantes foram estimados a partir da técnica de tubos múltiplos, que determina o número mais provável (NMP) de coliformes usando o método direto da metodologia descrita em Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, método 9221 E2 (2017). Esta análise foi realizada pelo laboratório da CPRH.

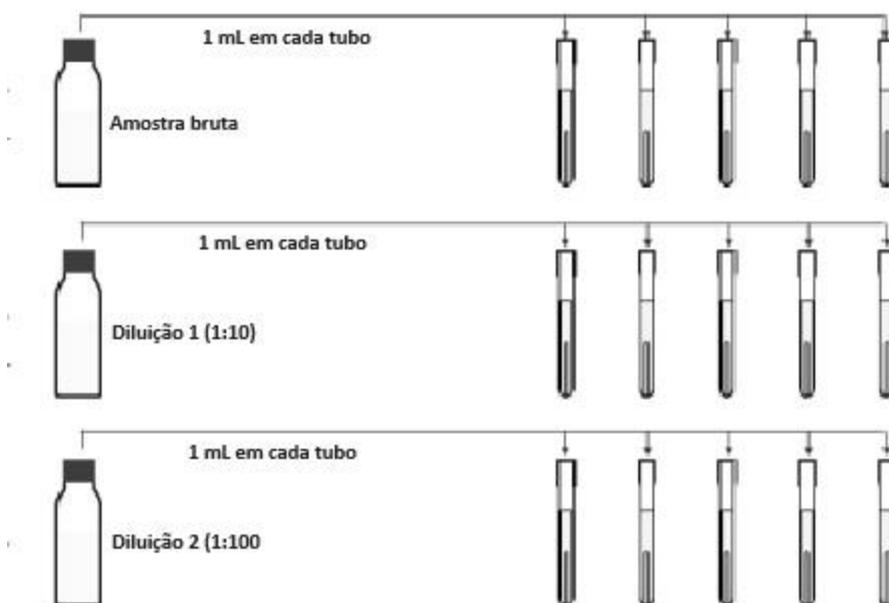
Para o método direto foi utilizada 31,5 g/L de Meio A1 em água destilada. Em seguida, foram distribuídos 10 mL em tubos de ensaio com tubos de Durham invertidos, quantidade suficiente para cobrir pelo menos metade ou dois terços do tubo após a esterilização. Logo após, os tubos foram fechados com tampas de metal ou algodão hidrófobo e esterilizados em autoclave a 121 ° C por 10 min. Para a análise foram realizadas diluições decimais, com a primeira diluição (1:10) correspondendo a 0,1 mL da amostra e a segunda (1:100) a 0,01 mL da amostra (Figura 5). Para cada amostra analisada, foram dispostas em estantes 3 fileiras com 5 tubos cada. Foi transferido 1 mL da amostra bruta para os tubos da primeira fileira, seguidos de 1 mL de cada diluição nas fileiras seguintes, mantendo uma sequência crescente em relação aos volumes inoculados da amostra (Figura 6). Os tubos foram incubados em estufa a 35 ± 0,5°C por 3h e posteriormente transferidos para banho-maria a 44,5 ± 0,2°C por mais 21h. Após esse período foi realizada a leitura, com a formação de gás constituindo reação positiva.

Figura 5- Incubação das amostras.



Fonte: CPRH- arquivo do laboratório (2022)

Figura 6- Diluição e volume inoculado das amostras.



Fonte: CPRH - arquivo do laboratório (2022)

Os dados são reportados em NMP/100 mL, estimativa da densidade de bactérias em uma amostra, obtida a partir da combinação de resultados positivos e negativos, baseado na tabela de índice NMP, respeitando as diluições utilizadas. Para possibilitar as comparações quantitativas foi utilizado nas análises a densidade de coliformes termotolerantes.

3.5 Dados de índices pluviométricos e de maré

Foi feito o levantamento da precipitação acumulada para as diferentes semanas para visualizar a interferência da chuva nos parâmetros estudados. Dessa forma, os dados pluviométricos foram obtidos no site da Apac (<http://old.apac.pe.gov.br/>). Foi realizado tratamento e análise dos dados de acumulação de chuva a partir da somatória dos índices diários referentes a 7 dias anteriores a cada coleta, também foram avaliados as médias de precipitação anual dos últimos 10 anos.

Os dados de amplitude de maré foram obtidos através do site do INPE (<http://ondas.cptec.inpe.br>), referentes ao período de março a setembro de 2022 (Tabela 2).

Tabela 2- Dados de amplitude e altura da maré a partir do horário médio de coleta para as praias.

Datas	Horário Médio	Amplitude	Maré
16-Mar	09:40	1.9	enchente
22-Mar	09:45	1.9	vazante
04-Apr	10:45	1.5	vazante
11-Apr	09:12	2	enchente
18-Apr	09:21	0.9	vazante
25-Apr	08:57	2.3	enchente
02-May	09:25	1.2	vazante
09-May	09:30	2	enchente
16-May	09:37	0.7	vazante
23-May	09:17	2.3	enchente
01-Jun	11:30	1.2	enchente
06-Jun	09:30	1.8	vazante
20-Jun	09:42	1	vazante
27-Jun	09:02	1.6	Baixa-mar
04-Jul	09:20	1.5	vazante
11-Jul	09:02	1.4	enchente
18-Jul	09:25	1.8	vazante
25-Jul	09:55	1.9	enchente
01-Aug	09:20	1.3	vazante
08-Aug	10:17	1.8	enchente
15-Aug	10:08	1.4	vazante
22-Aug	09:50	2.3	enchente
29-Aug	09:50	0.9	vazante
05-Sep	11:30	2.2	enchente
12-Sep	10:12	0.9	vazante
19-Sep	09:55	2.5	enchente
26-Sep	09:50	0.7	vazante

Fonte: Autora (2023) a partir de dados do INPE.

3.6 Análises estatísticas

Para avaliação da qualidade ecotoxicológica das amostras ambientais, foi feita a verificação de normalidade dos valores de efeitos letais (% de sobrevivência) e efeitos subletais (% de desenvolvimento) utilizando Teste de Kolmogorov-Smirnov

($\alpha = 0,05$). Em seguida, para os dados paramétricos, as médias dos controles de água do mar foram comparadas com teste-t de Student às médias dos pontos amostrados e verificados os efeitos letais (% de sobrevivência) e efeitos subletais (% de desenvolvimento). Para dados que não apresentaram normalidade ou homoscedasticidade, foi utilizado o teste não-paramétrico U de Mann-Whitney.

Para análise das diferenças das médias de toxicidade e NMP de coliformes termotolerantes entre as praias e o período estudado foi utilizada ANOVA unifatorial. Quando os resultados da ANOVA foram significativos foi utilizado o teste de Tukey para comparar quais grupos possuíam médias diferentes entre si.

Também foi realizado teste de correlação de Pearson para determinar a relação entre as variáveis estudadas, esse valor varia de +1 a -1, onde o +1 indica uma correlação positiva perfeita. Quanto mais próximo de 0 menor é a relação entre as variáveis. Para estas análises todos os valores foram relativizados em relação aos seus respectivos controles (média da amostra x 100/média do controle).

4. RESULTADOS

Pluviosidade

O ano de 2022 teve um acumulado de chuva acima da média quando comparados com os últimos 10 anos. Atingindo um acumulado de precipitação anual de 2105.5 mm, enquanto todos os demais anos apresentaram acumulado anual inferior a 2000 mm. O ano de 2021, 2019 e 2013 também apresentaram acumulado de precipitação anual acima da média (Tabela 3).

Tabela 3- Acumulado de precipitação anual por ano dos últimos 10 anos em milímetros (mm) e a média de acumulado de precipitação referente a esses 10 anos em Pernambuco.

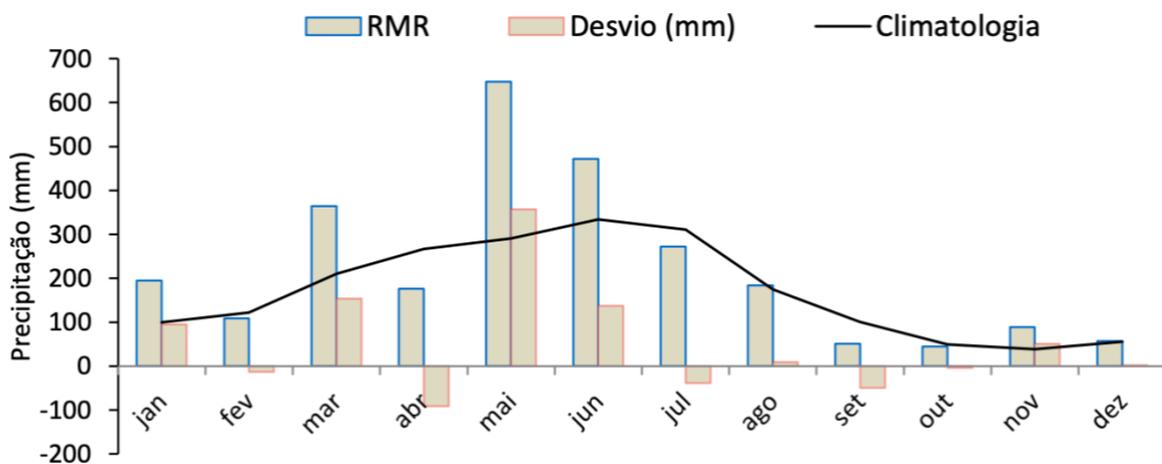
Ano	Acumulado Anual (mm)
2013	1653,0
2014	1574,0
2015	1259,7
2016	1573,7
2017	1520,9
2018	1363,1
2019	1664,7
2020	1546,9
2021	1817,1
2022	2105,5
Média	1573,9

Fonte: Autora (2023) a partir de dados da Apac (<http://old.apac.pe.gov.br/>).

No ano de 2022 os meses com maior índice de precipitação acumulada (mm) foram maio (653.3 mm) e junho (448.5 mm) (Figura 7), o maior índice durante o mês de maio é uma anomalia climática positiva com o valor maior que o dobro dos últimos 30 anos (294.3 mm). Usualmente, o maior acumulado de precipitação anual ocorre durante o mês de junho (337.6 mm), seguido por julho (313 mm). Durante o

ano de 2022, julho apresentou média mensal de 267.7 mm, estando, portanto, abaixo da média climatológica. O mês de setembro apresentou a menor precipitação durante os meses estudados (48.5 mm), esse valor também foi abaixo da média dos anos anteriores (102.1 mm) (Figura 7).

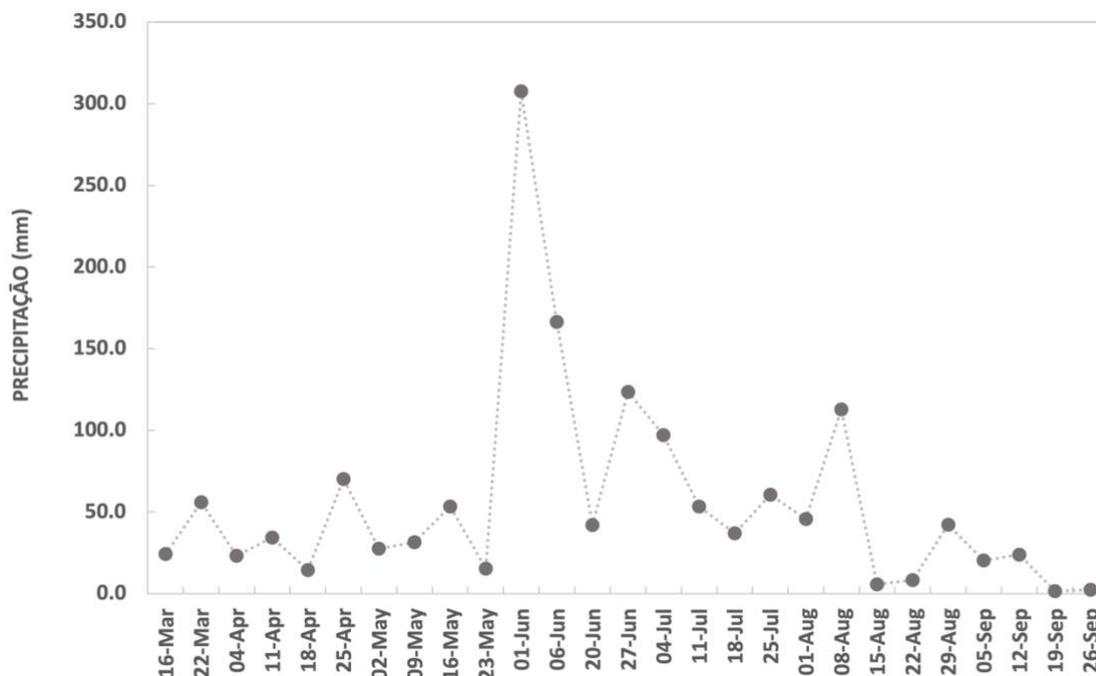
Figura 7- Acumulado de precipitação mensal (mm) para o ano de 2022. As barras delimitadas em azul representam o valor para a região metropolitana do Recife (RMR), a linha preta é a climatologia (média mensal dos últimos 30 anos) e as barras delimitadas em vermelho representa o desvio entre os valores de 2022 e a climatologia.



Fonte: APAC (2022)

O maior valor de precipitação acumulada ocorreu na semana dos dias 24 de maio a 01 de junho com o valor de 307.7 mm (Figura 8). Também apresentaram altos índices pluviométricos as semanas do dia 2 a 6 de junho (166.4 mm), 21 a 27 de junho (123.5 mm), 28 de junho a 04 de julho (97 mm) e 02 a 15 de agosto (112.9 mm). Já a semana do dia 12 a 19 de setembro apresentou o menor acumulado de precipitação com 1.5 mm, também apresentaram valores inferiores a 10 mm as semanas dos dias 09 a 22 de agosto e 20 a 26 de setembro (Figura 8). A média semanal de precipitação acumulada durante as semanas estudadas foi 36.8 mm.

Figura 8- Acumulado de precipitação semanal (mm) dos 7 dias anteriores a data de cada coleta a partir da média diária das praias de Jaguaribe, Janga, Pina e Campas.



Fonte: Autora (2023)

Salinidade

A salinidade média durante as 27 semanas de coleta foi de 35,5 com os valores médios de 32, 34, 35 e 36 para as praias de Jaguaribe, Janga, Pina e Campas, respectivamente. Já o valor mínimo foi em Jaguaribe (15), seguido por Janga (20), Pina (25) e Campas (30). O valor máximo foi igual para todas as praias (39) (Tabela 4).

Tabela 4- Valores médios \pm desvio padrão, máximo e mínimo de salinidade durante 27 semanas para as praias de Jaguaribe, Janga, Pina e Campas.

Salinidade	Jaguaribe	Janga	Pina	Campas
Média	32 \pm 5	34 \pm 4	35 \pm 3	36 \pm 2
Máximo	39	39	39	39
Mínimo	15	20	25	30

Fonte: Autora (2023)

Aspectos gerais das 4 praias

A balneabilidade foi classificada como imprópria em todas as semanas estudadas nas praias do Pina (REC-80) e Jaguaribe (ITA-20). Por sua vez, a praia do Janga (PAL- 20) só estava própria para banho durante 3 semanas, em abril e setembro, enquanto a praia de Campas esteve própria para banho durante todo o período estudado (TAM- 14) (Tabela 5).

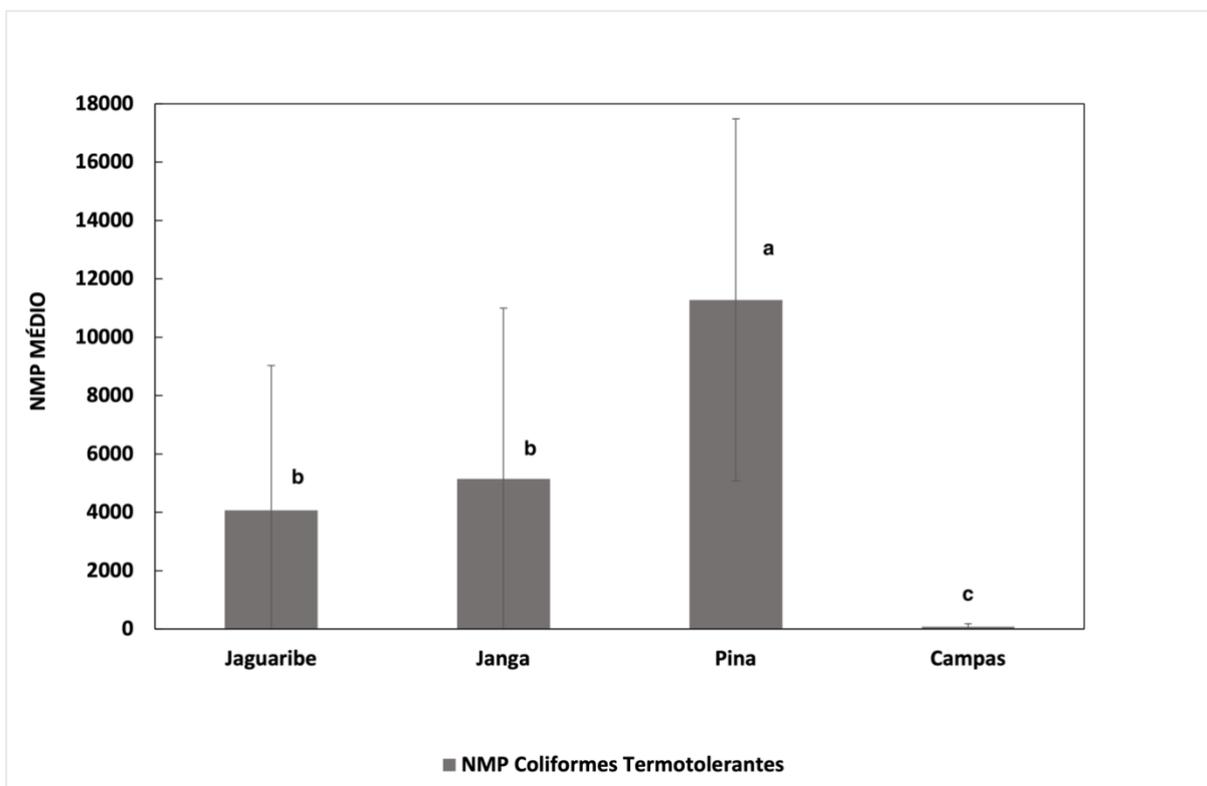
A densidade estimada de coliformes termotolerantes apresentou diferenças significativas entre as praias (ANOVA, $p < 0.0001$), com maior valor médio em Pina (11278 NMP/100mL), seguido por Janga (5149 NMP/100mL), Jaguaribe (4063 NMP/100mL) e Campas (80 NMP/100mL) (Figura 9). Já com relação a sobrevivência do Copepoda não houve diferença significativa entre as praias (ANOVA, $p=0.9895$) (Figura 10). Houve pouca variação no desenvolvimento do Copepoda ao longo das semanas estudadas (Figura 10). O teste de correlação de Pearson não mostrou correlação significativa entre os resultados de coliformes termotolerantes e sobrevivência e desenvolvimento do Copepoda ($p=0.4135$; $p=0.2879$, respectivamente).

Tabela 5- Dados de balneabilidade em cada praia para as semanas estudadas.

Datas	Jaguaribe	Janga	Boa Viagem	Campas
18-Apr	P	I	I	P
25-Apr	I	I	I	P
02-May	I	I	I	P
09-May	I	I	I	P
16-May	I	I	I	P
23-May	I	I	I	P
01-Jun	I	I	I	P
06-Jun	I	I	I	P
20-Jun	I	I	I	P
27-Jun	I	I	I	P
04-Jul	I	I	I	P
11-Jul	I	I	I	P
18-Jul	I	I	I	P
25-Jul	I	I	I	P
01-Aug	I	I	I	P
08-Aug	I	I	I	P
15-Aug	I	I	I	P
22-Aug	I	I	I	P
29-Aug	I	I	I	P
05-Sep	I	I	I	P
12-Sep	P	I	I	P
19-Sep	P	I	I	P
26-Sep	I	I	I	P

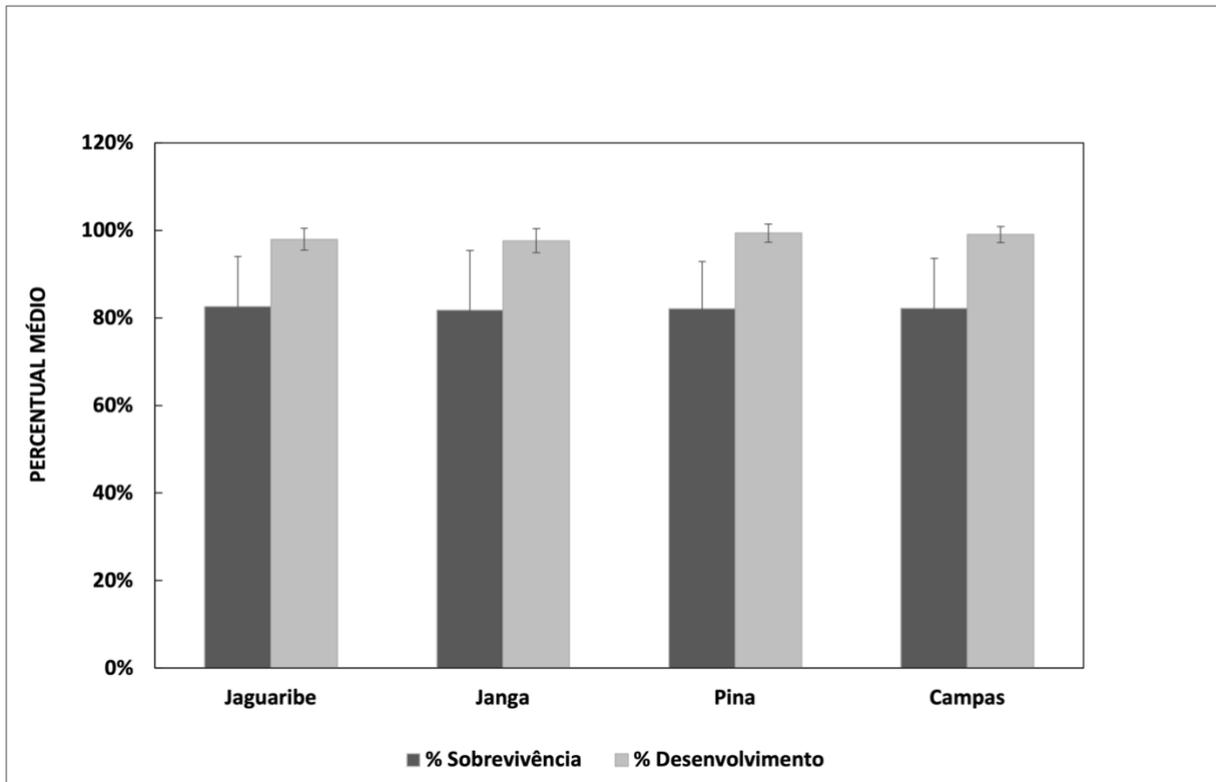
Fonte: Autora (2023) a partir dos dados disponibilizados pelo CPRH.

Figura 9- Média por praia das semanas estudadas para o número mais provável (NMP/ 100ml) de Coliformes Termotolerantes. A barra vertical representa o desvio padrão dos dados. As letras representam o resultado do teste de Tukey, letras diferentes representam médias estatisticamente diferentes.



Fonte: Autora (2023)

Figura 10- Médias por praia das semanas estudadas do percentual médio de sobrevivência e desenvolvimento de *Tisbe binimiensis*. A barra vertical representa o desvio padrão dos dados.



Fonte: Autora (2023)

A sobrevivência dos náuplios foi positivamente relacionada com a pluviosidade e negativamente com a amplitude de maré e a salinidade (4). Já o desenvolvimento apresentou correlação negativa apenas com a amplitude maré. Houve também correlação negativa entre salinidade e pluviosidade. Assim como, correlação positiva entre altura da maré e amplitude. Todas as correlações foram fracas ($r < 0.5$) (Tabela 6).

Tabela 6- Resultados significativos das análises de correlação de Pearson para as variáveis estudadas em todas as praias. Foram indicados na tabela apenas valores de p significativos (< 0.05).

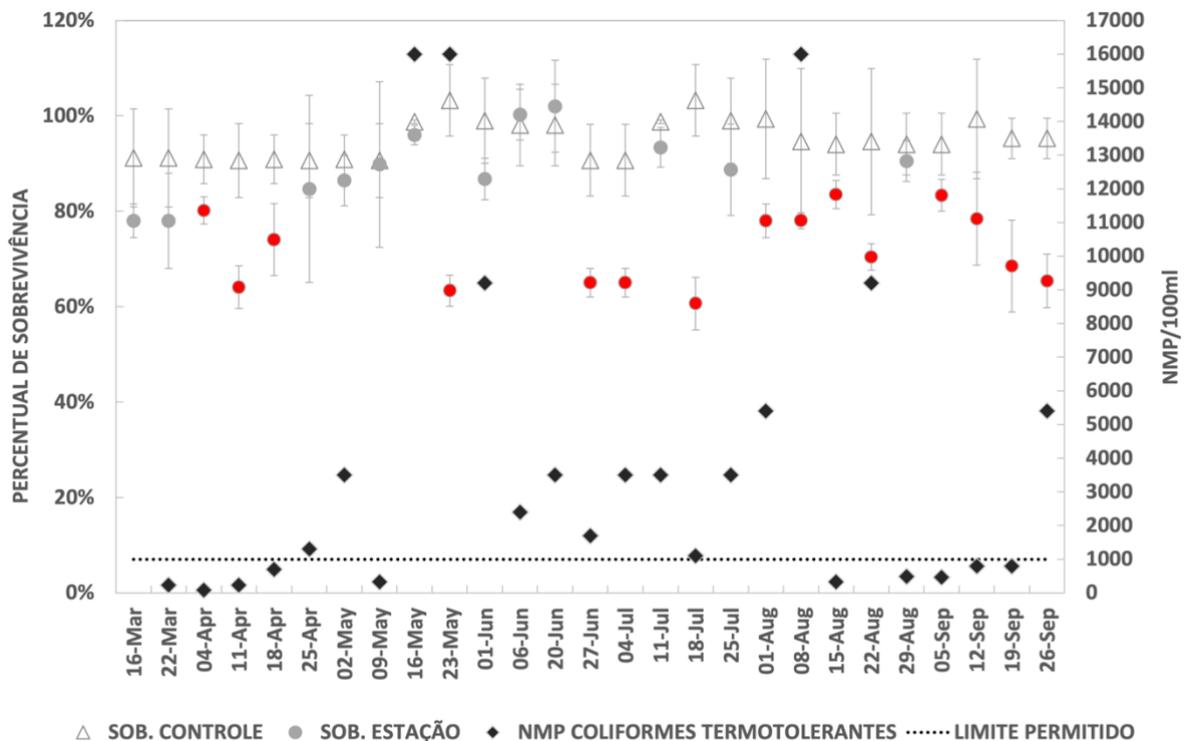
Praias	n (pares)	r (Pearson)	p
Sobrevivência x Amplitude	104	-0.1983	0.0435
Sobrevivência x Pluviosidade	104	0.2385	0.0147
Sobrevivência x Salinidade	104	-0.2187	0.0256
Desenvolvimento x Amplitude	104	-0.3467	0.0003
Pluviosidade x Salinidade	104	-0.4759	< 0.0001
Maré x Amplitude	104	0.362	0.0002

Fonte: Autora (2023)

Jaguaribe, Itamaracá

A praia de Jaguaribe apresentou valores acima de 1000 NMP/100 ml em 16 das 26 semanas estudadas, sobretudo entre fim de abril e agosto (Figura 11). Os valores de sobrevivência média nos controles variaram pouco entre as semanas com valor médio e desvio de $95 \pm 4\%$. Observou-se o efeito letal em 15 das 27 semanas, de modo geral esse efeito foi identificado durante as três primeiras semanas de abril, na última semana de maio, e de 27 de junho a 28 de setembro, o menor percentual de sobrevivência foi durante o mês de julho (61%), já em setembro foi possível observar um decréscimo na sobrevivência do copépodo no decorrer das semanas (83 para 65%). Não houve efeito subletal importante pois os valores de desenvolvimento variaram de 92% a 101% de desenvolvimento.

Figura 11- Resultados para a praia de Jaguaribe durante as semanas analisadas. O eixo da esquerda indica o percentual de sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis*, o eixo da direita indica o número mais provável (NMP/ 100ml) de Coliformes Termotolerantes. Os losangos indicam o NMP de coliformes termotolerantes, os triângulos representam o controle, os círculos indicam a sobrevivência, sendo que os vermelhos mostram o efeito subletal significativo na sobrevivência ($p < 0.05$). A barra pontilhada indica o limite permitido de NMP, e as barras verticais indicam o desvio padrão dos dados.



Fonte: Autora (2023)

Para esta praia, a salinidade apresentou correlação negativa significativa com os coliformes termotolerantes e com a pluviosidade, entretanto essa correlação foi fraca ($r < 0.5$). Também houve correlação positiva forte ($r > 0.5$) entre altura e amplitude da maré (Tabela 7).

Tabela 7- Correlação de Pearson para as variáveis estudadas em Jaguaribe. Foram indicados na tabela apenas valores de p significativos (< 0.05).

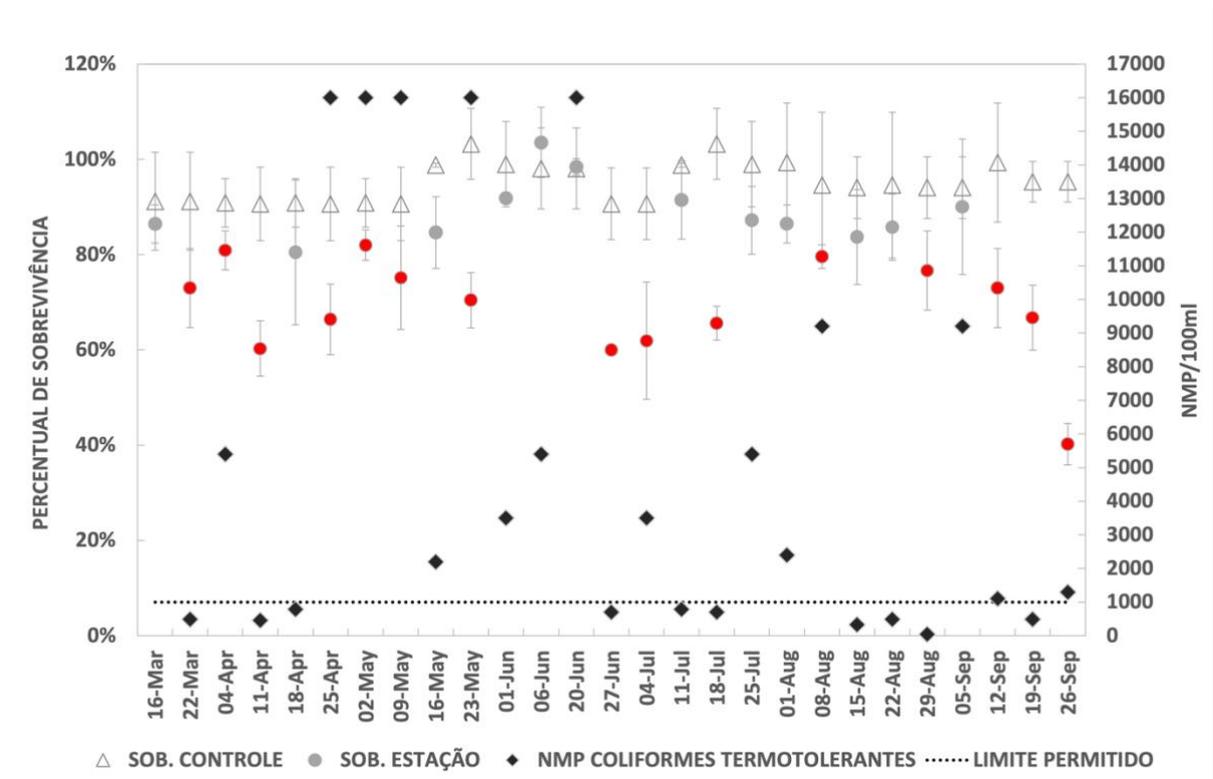
Jaguaribe	n (pares)	r (Pearson)	p (sig.)
Coliforme x Salinidade	26	-0.4735	0.0145
Pluviosidade x Salinidade	26	-0.4317	0.0276
Maré x Amplitude	26	0.773	< 0.0001

Fonte: Autora (2023)

Janga, Paulista

O número de coliformes termotolerantes na praia do Janga foi superior a 1000 em 16 das 26 semanas monitoradas, principalmente entre o final de abril e julho (Figura 12). O efeito letal para o Copepoda foi observado em 15 das 27 semanas, todos os meses estudados apresentaram efeito letal para o Copepoda, entretanto essa toxicidade não foi constante e apenas durante o mês de setembro foi observado uma queda constante na sobrevivência do Copepoda (90 para 40%) (Figura 12). Já o desenvolvimento variou de 90% a 104%, indicando que não houve efeito subletal para o Copepoda em nenhuma semana estudada.

Figura 12- Resultados para a praia do Janga durante as semanas analisadas. O eixo da esquerda indica o percentual de sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis*, o eixo da direita indica o número mais provável (NMP/ 100ml) de Coliformes Termotolerantes. Os losangos indicam o NMP de coliformes termotolerantes, os triângulos representam o controle, os círculos indicam a sobrevivência, sendo que os vermelhos mostram o efeito subletal na sobrevivência ($p < 0.05$). A barra pontilhada indica o limite permitido de NMP, e as barras verticais indicam o desvio padrão dos dados.



Fonte: Autora (2023)

No Janga, apenas pluviosidade e salinidade apresentaram correlação negativa significativa com correlação moderada ($r = 0.55$) (Tabela 8).

Tabela 8- Correlação de Pearson para as variáveis estudadas na praia do Janga. Foram indicados na tabela apenas valores de p significativos (< 0.05).

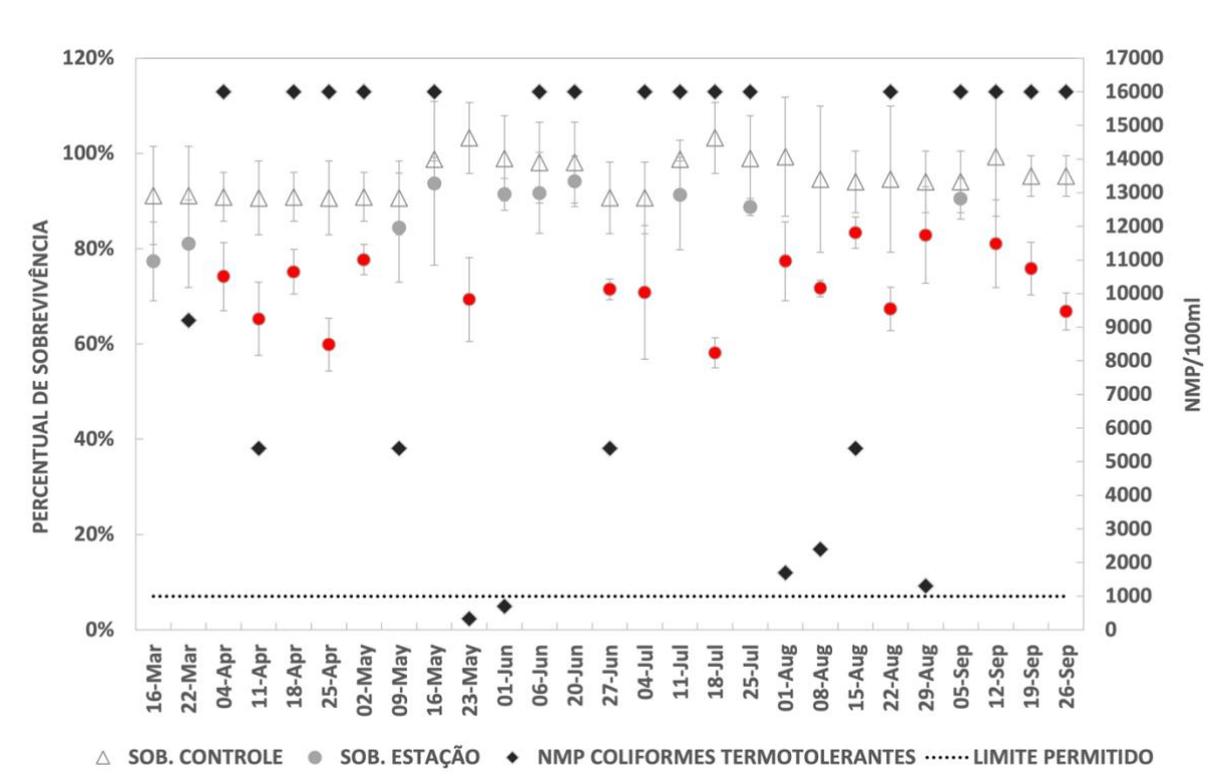
Janga	n (pares)	r (Pearson)	p (sig.)
Pluviosidade x Salinidade	26	-0.5544	0.0033

Fonte: Autora (2023)

Pina, Recife

Para a praia de Pina, apenas 2 semanas apresentaram valores de NMP/100 ml inferiores a 1000 (Figura 13). Em 16 semanas o valor de coliformes termotolerantes foi superior a 16000 NMP/100 ml. Essa praia apresentou também um efeito letal na sobrevivência do Copepoda em 17 das 27 semanas, sendo tóxicos durante todo o mês de abril e agosto. O mês de setembro também teve efeito letal na sobrevivência do *T. biminiensis* em 3 das 4 semanas estudadas, variando de 90 para 67%. O valor mais baixo na sobrevivência do Copepoda foi no mês de julho com valor de 58%. Não houve efeito subletal, o desenvolvimento variou entre 93% e 102%.

Figura 13- Resultados para a praia de Pina durante as semanas analisadas. O eixo da esquerda indica o percentual de sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis*, o eixo da direita indica o número mais provável (NMP/ 100ml) de Coliformes Termotolerantes. Os losangos indicam o NMP de coliformes termotolerantes, os triângulos representam o controle, os círculos indicam a sobrevivência, sendo que os vermelhos mostram o efeito subletal na sobrevivência ($p < 0.05$). A barra pontilhada indica o limite permitido de NMP, e as barras verticais indicam o desvio padrão dos dados.



Fonte: Autora (2023)

Os coliformes termotolerantes apresentaram correlação negativa com a pluviosidade e positiva com a salinidade, ambas as correlações foram fracas ($r > 0.5$). Por sua vez, a correlação entre salinidade e a pluviosidade foi negativa e moderada ($r = 0.61$) (Tabela 9). As demais variáveis não apresentaram correlações significativas.

Tabela 9- Correlação de Pearson para as variáveis estudadas na praia de Pina. Foram indicados na tabela apenas valores de p significativos (< 0.05).

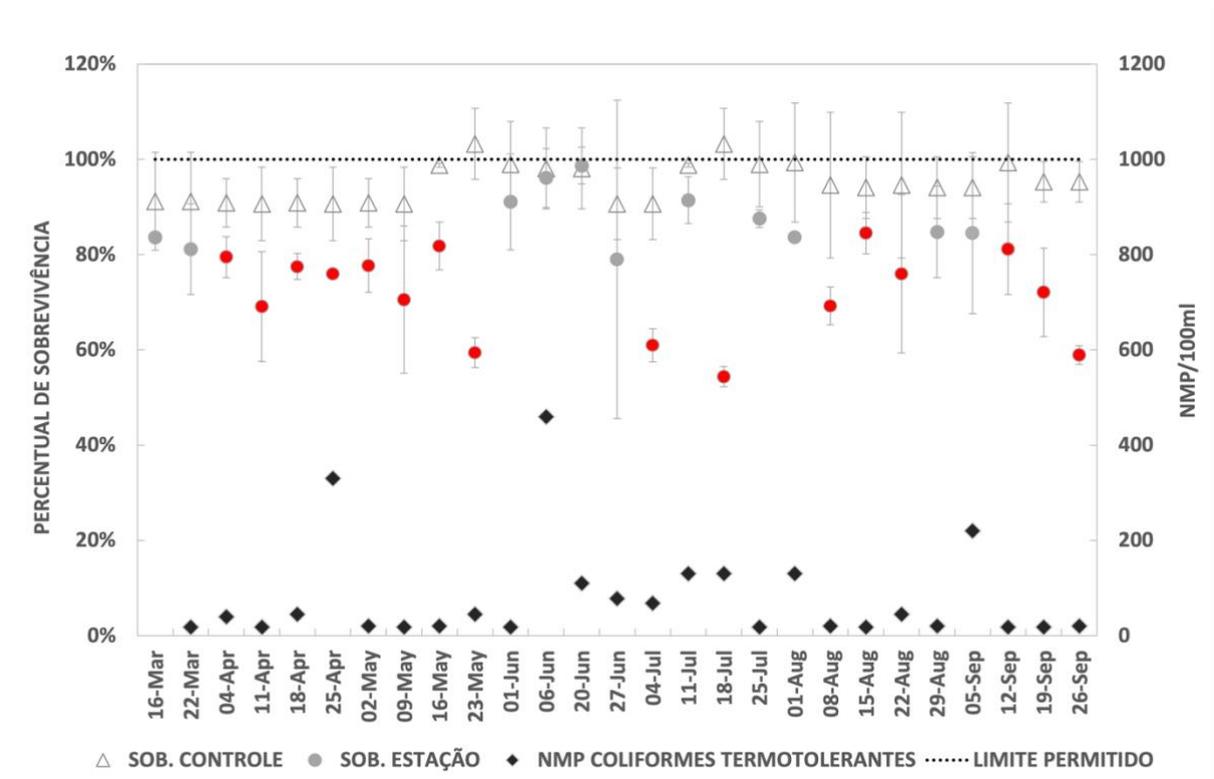
Pina	n (pares)	r (Pearson)	p (sig.)
Pluviosidade x coliforme	26	-0.3749	0.0591
Coliforme x Salinidade	26	0.4012	0.0421
Pluviosidade x Salinidade	26	-0.6187	0.0007

Fonte: Autora (2023)

Campas, Tamandaré

Durante todas as semanas estudadas, na praia dos Campas, a densidade de coliformes termotolerantes foi inferior a 1000 NMP/100 ml (Figura 14). Para o Copepoda, houve efeito letal em 16 das 27 semanas estudadas. Esse efeito ocorreu durante todo o mês de abril e maio, com variação de 82 a 59% de sobrevivência, sendo também encontrado efeito durante os meses de agosto e setembro. No mês de setembro foi possível observar um decréscimo na sobrevivência do Copepoda ao longo das semanas (85 para 59%). A sobrevivência do Copepoda atingiu valor mais baixo durante o mês de julho (54%). A porcentagem de desenvolvimento variou de 94% a 102% e não houve efeito subletal.

Figura 14- Resultados para a praia de Campas durante as semanas analisadas. O eixo da esquerda indica o percentual de sobrevivência dos náuplios de *Tisbe biminiensis*, o eixo da direita indica o número mais provável (NMP/ 100ml) de Coliformes Termotolerantes. Os losangos indicam o NMP de coliformes termotolerantes, os triângulos representam o controle, os círculos indicam a sobrevivência, sendo que os vermelhos mostram o efeito subletal na sobrevivência ($p < 0.05$). A barra pontilhada indica o limite permitido de NMP, e as barras verticais indicam o desvio padrão dos dados.



Fonte: Autora (2023)

Para Campas, o desenvolvimento apresentou correlação negativa fraca ($r < 0.5$) com altura e amplitude de maré. Houve também correlação negativa entre pluviosidade e salinidade e positiva entre altura e amplitude de maré. Ambas as correlações foram moderadas ($r = 0.6$) (Tabela 10). Outras variáveis não apresentaram correlação significativa.

Tabela 10- Correlação de Pearson para as variáveis estudadas na praia dos Campas. Foram indicados na tabela apenas valores de p significativos (< 0.05).

Campas	n (pares)	r (Pearson)	p (sig.)
Desenvolvimento x Maré	26	-0.4593	0.0182
Desenvolvimento x Amplitude	26	-0.4615	0.0176
Pluviosidade x Salinidade	26	-0.6168	0.0008
Maré x Amplitude	26	0.6498	0.0003

Fonte: Autora (2023)

5. DISCUSSÃO

Os resultados do presente estudo evidenciaram que o ano de 2022 foi marcado por chuvas acima da média quando comparado com os anos de 2020 e 2021, os meses de maio e junho apresentaram índices pluviométricos maiores que a média climatológica, esse resultado foi observado também por Marengo *et al.* (2023). Ademais, a partir da média climatológica histórica foi constatado que normalmente os maiores valores ocorrem entre os meses de junho e julho. A intensificação das chuvas foi considerada um dos piores eventos chuvosos na história de Pernambuco (Zachariah *et al.*, 2022). Esse ano também foi marcado pelo evento climático La Niña no oceano Pacífico Tropical (APAC, 2022a; NOAA, 2023). O fenômeno contribuiu para alta nos índices de pluviosidade em Recife em anos anteriores, considerados como muito chuvosos a partir dos cálculos de índice de anomalia climática (IAC) (Andreoli & Kayano, 2007; Silva *et al.*, 2020; Jardim *et al.*, 2021).

Entre os dias 24 de maio a 01 de junho foi evidenciado o maior índice pluviométrico do período estudado. Essa chuva forte com rajadas de vento ocasionou quedas de árvores, alagamentos, inundações, mortes e deslizamento de barreiras (APAC, 2022b). Com esse desastre era esperado um aumento no nível de contaminação antrópica, devido ao grande aporte de material que seria associado a chuva. Uma vez que, a água pluvial ao escoar, provavelmente seria poluída por

contaminantes físico-químicos e microbianos, devido a mecanismos de contaminação como lixiviação e contaminação fecal, tanto de animais quanto humanas (Gwenzi, et al. 2015). Entretanto nas praias estudadas nessa data não houve toxicidade na água que afetasse a sobrevivência do Copepoda. Por outro lado, houve correlação positiva significativamente fraca entre a sobrevivência e a pluviosidade, o que sugere que a chuva foi um possível diluidor a essa contaminação. De modo geral, as praias tiveram uma toxicidade mais constante nos meses de abril, agosto e setembro. Esse resultado foi observado principalmente em setembro, pois houve um decréscimo constante da sobrevivência do Copepoda no decorrer das semanas. Esse padrão foi observado também no estudo realizado em Suape, onde foi possível associar uma maior toxicidade letal ao Copepoda a transição entre o período chuvoso para o seco, constatando que a piora na qualidade da água poderia estar relacionada com o aumento da concentração dos contaminantes na transição para estação seca (Souza-Santos *et al.*, 2015). Também foi evidenciado que a alta intensidade de chuva dilui a concentração de substâncias com potencial tóxico encontradas em estações de tratamento de esgoto, como óleos e graxas (Oliveira et al., 2020).

Indícios de piora da qualidade da água decorrentes do aumento da pluviosidade serviram como base para a escolha da periodicidade desse estudo (março a setembro). Dados de toxicidade da água de praia em várias praias de Pernambuco coletadas em dezembro de 2020, não indicaram toxicidade para o Copepoda na maior parte delas (dados não publicados). No entanto, em março de 2021, o estudo de Andrade (2022) já indicou efeito tóxico na água de algumas praias em Pernambuco, sugerindo que este aumento possa estar relacionado à chegada das chuvas em março. Esse resultado também foi observado na costa do nordeste brasileiro relacionando uma piora na balneabilidade em momentos com maior concentração de chuva (Costa, 2021). A correlação positiva entre o aumento da precipitação e do número de coliformes termotolerantes em praias da Califórnia, EUA foi evidenciada no estudo realizado por Ackerman & Weisberg (2003). Contudo, essa correlação não foi observada no presente estudo, isso pode estar relacionado ao fato de a pluviosidade ter sido relacionada estatisticamente apenas com a densidade de coliformes termotolerantes e não com a balneabilidade, uma vez que a classificação leva em consideração um conjunto de amostras. Apenas a praia de

Pina apresentou correlação negativa entre a presença de coliformes e a pluviosidade, contrário ao que era esperado. Para as praias de Jaguaribe, Janga e Campas não foi encontrado correlação entre precipitação e coliformes termotolerantes. Apesar do aumento da pluviosidade ser associada com o aumento na presença de coliformes em vários estudos, não foi encontrada correlação significativa entre a pluviosidade e a presença de bactérias na costa da Croácia (Ordulj et al., 2022).

A presença de coliformes está relacionada a vários fatores, como lançamento de esgoto doméstico, qualidade de rios urbanos e movimento das marés (Alves, 2020). Não houve correlação significativa nesse estudo entre os movimentos de maré e a presença de coliformes. Em contrapartida, a amplitude foi correlacionada negativamente a sobrevivência do Copepoda, indicando que quanto menor a variação da maré maior a sobrevivência, isso pode estar relacionado ao maior aporte de água pluvial adentrando o mar quando há maior variação de maré, trazendo consigo contaminações existentes na pluma dos rios. Já em relação a salinidade e a sobrevivência do Copepoda, houve correlação significativa fraca mostrando uma redução da sobrevivência com o aumento da salinidade, este resultado pode ter relação a diluição provocada pela água da chuva conforme sugerido anteriormente. O estudo realizado por Melo (2022) indicou que a faixa de tolerância dos naúplios do Copepoda para que não ocorra uma redução significativa na sobrevivência é entre 24 e 42. A fêmea consegue ter uma sobrevivência de quase 100% na faixa dos 27 a 34, sendo mais aconselhável para a sobrevivência do *T. biminiensis* manter valores de salinidade médios próximos a 34, considerando também a maior fecundidade das fêmeas nessa faixa (Souza-Santos, et al. 2006). Inclusive, no presente estudo as salinidades inferiores a 30 e superiores a 40 foram ajustados para a realização do bioensaio. Já para o coliforme a praia de Pina apresentou correlação positiva fraca entre a presença de coliformes e a salinidade, em Jaguaribe a correlação foi negativa com a salinidade. No estudo de Šolić & Krstulović (1992) também foi observado relação negativa entre a presença de coliformes termotolerantes e a salinidade. As praias de Janga e Campas não apresentaram correlação significativas para salinidade, assim não foi observado um padrão de correlação entre salinidade e coliformes.

A escolha das praias estudadas foi influenciada pela qualidade da água monitorada pela CPRH em anos anteriores. De acordo com o órgão a praia de Pina se encontrava imprópria para banho a maior parte do tempo, por sua vez Jaguaribe e Janga oscilavam entre períodos próprios e impróprios, enquanto Campas estava sempre própria para banho. Esse resultado foi também observado no presente estudo, com a maior presença de coliformes termotolerantes em Pina, Janga, Jaguaribe e Campas, respectivamente. Vale ressaltar que no estado de Pernambuco apenas 45% do esgoto é tratado, esse fator contribui para um maior comprometimento na qualidade das águas em áreas mais urbanizadas, uma vez que a grande densidade populacional intensifica o lançamento de efluentes sem o devido tratamento (ANA, 2017). Desse modo, a maior quantificação de NMP pode estar relacionada ao maior nível de urbanização das praias. O estudo de Araújo & Costa (2008) analisou um conjunto de características socioambientais para classificar as praias do litoral pernambucano, constatando que as praias do município de Recife são superdesenvolvidas, devido ao crescimento vertical em conjunto com a grande influência antrópica suprimindo a vegetação natural. Enquanto em Paulista e Itamaracá essas praias foram classificadas como desenvolvidas, já em Tamandaré as praias foram consideradas como menos desenvolvidas, justamente por ser considerada uma região de veraneio onde o alto fluxo antrópico não é constante e ainda há uma maior presença da vegetação natural, esse padrão foi corroborado neste estudo.

O diferente grau de urbanização não foi, contudo, um fator determinante para a sobrevivência do Copepoda, já que 55,5% das semanas estudadas apresentaram toxicidade em todas as praias, assim como também foi constatado que não houve diferença significativa nas médias de sobrevivência e desenvolvimento dos Copepoda entre elas. Também foi identificada toxicidade que afetasse a sobrevivência do Copepoda em pelo menos uma semana de cada mês em todas as praias, com exceção do mês de março. Esse resultado indica que possivelmente um estressor comum esteja chegando a todas as quatro praias. Este estressor poderia vir do mar ou da terra. Nossa hipótese é de que venha da terra sendo transportada pelas plumas dos rios até as praias. Durante a estação chuvosa, foi observado toxicidade aos náuplios de *T. biminiensis* nas áreas de plataforma continental sob o efeito de várias plumas de rios em Pernambuco (Figueira, 2020). A chuva ao mesmo

tempo que lava do solo, arrasta para o corpo hídrico compostos orgânicos, sais minerais e nutrientes. O uso do solo também estabelece fontes pontuais de efluentes que podem conter contaminantes químicos, como surfatantes e óleos, comuns em áreas de frequente atividade antrópica (Morais *et al.*, 2011). Bioensaios com o *T. biminiensis* em amostras de água do mar coletadas na região porto-industrial de Suape entre 2009 e 2010 indicam toxicidade provavelmente associada a metais pesados como ferro, chumbo e alumínio (Souza-Santos, et al. 2015).

Não foi encontrada correlação significativa entre a redução na sobrevivência do Copepoda e aumento na densidade de coliformes termotolerantes. Desse modo, a utilização de ambos os testes permitiu uma visão mais ampla da saúde ambiental, esse fato foi mais evidente em Campas que não apresentou contaminação fecal, porém apresentou toxicidade para a sobrevivência do Copepoda. O uso de bactérias fecais como bioindicadores é apropriado para indicar a qualidade ambiental em situações em que a contaminação fecal é predominantemente de fontes humanas (Lamparelli *et al.*, 2015). Portanto, outras fontes de contaminação podem estar afetando não apenas os organismos daquele ecossistema como também a saúde humana e podem acabar não sendo detectadas. Assim, em monitoramentos ambientais é recomendada a utilização de mais de uma espécie com diferentes níveis tróficos para evitar falsos negativos, tendo em vista que diferentes espécies possuem sensibilidade distintas aos estressores ambientais (Souza-Santos *et al.*, 2015). A integralização de estratégias de monitoramento que envolvam diferentes níveis tróficos, assim como análises químicas num mesmo corpo d'água e período são essenciais para um entendimento mais holístico do ambiente (Connon *et al.*, 2012).

A praia de Pina apresentou valores de NMP superiores a 16000 em mais de 50% das semanas estudadas, nessa praia, apenas o período entre 23 de maio a 01 de junho apresentou NMP dentro do limite permitido, contudo devido a quantificação das demais semanas durante todo período do estudo a água foi considerada imprópria para uso recreacional. Como falado anteriormente, isso pode estar relacionado a maior urbanização da praia, localizada em Recife. Com base nos dados do CPRH para balneabilidade, em Recife foi identificado que durante o período chuvoso a água esteve a maior parte do tempo imprópria para banho, esse percentual variou de 26,5% em 2018 para 60,1% em 2021 (Silva, 2022). Esses

resultados mostram uma possível piora da qualidade da água no município do Recife com o passar dos anos. Os dados da Compesa em 2007 mostram que apenas 43% da população possui tratamento de esgoto (Recife, 2020). Além disso, essa questão sanitária pode estar conectada também a alta presença de animais domésticos que transitam pela areia e atuam como prováveis vetores a contaminação (Silva *et al.*, 2018).

Inclusive os testes ecotoxicológicos com o Copepoda indicaram redução na sobrevivência em mais da metade das semanas estudadas na praia de Pina, principalmente durante todo o mês de abril e agosto. Foi identificada contaminação por metais pesados como cromo, ferro, manganês e zinco no sedimento do estuário do Rio Capibaribe devido a urbanização da cidade do Recife e a alta presença de indústrias localizadas próximas ao estuário do rio (Macedo *et al.*, 2007). Bioensaios com *Tisbe biminiensis* apontaram a toxicidade do sedimento do Rio Capibaribe, assim foi observado correlação entre a presença de metais pesados e o aumento da mortalidade (Régis *et al.*, 2018). No ano de 2019, durante todo o período monitorado, a qualidade da água do Rio Capibaribe apresentava inconformidade com os padrões estabelecidos pela CONAMA para a presença de coliformes termotolerantes e para a concentração de fósforo total, essa inconformidade também foi observada no Rio Jaboatão (CPRH, 2020). O constante despejo de vísceras e sangue de matadouros, além do chorume oriundo do lixão da Muribeca no Rio Jaboatão também comprometem a qualidade da água nas praias de Pina e Piedade. Do mesmo modo, há ainda a descarga de efluentes nos recifes de coral, provenientes do esgoto domésticos transportado pelo rio, muitas vezes sem o tratamento adequado (Chaves & Feitosa, 2018).

A praia de Jaguaribe apresentou qualidade da água imprópria para uso recreacional em 61,5% das semanas estudadas. Em Itamaracá, foi observado que as condições impróprias reduziram de 49,0% em 2005 para 23,4% em 2016 (Costa, 2021). Esse resultado em 2022 pode estar associado a existência de esgoto a céu aberto, adicionado ao uso antrópico do ambiente de praia, em conjunto com a presença de animais domésticos (Santos *et al.*, 2021). Já para a sobrevivência do Copepoda, foi identificado efeito em 55% das semanas estudadas. Na ilha de Itamaracá foram identificados focos de contaminação localizados no rio Botafogo em áreas próximas as fábricas de soda cáustica, cloro e papel, além das fontes

constantes de esgoto domésticos no canal de Santa Cruz (Azevedo-Linhares *et al.*, 2015). Esse canal é influenciado pelas atividades de indústrias metalúrgicas e químicas, atividades de policultura e aquicultura, além de recepção de efluentes domésticos e industriais que comprometem sua qualidade. O impacto em 2019 foi observado, principalmente, em meses chuvosos potencialmente devido a uma contribuição mais acentuada dos rios que desaguam no canal (CPRH, 2020).

Na praia do Janga a água foi imprópria para banho em pelo menos 60% da periodicidade do estudo. Esse resultado também foi evidenciado no estudo de Costa (2021), mostrando que no município de Paulista durante o período de 2005 a 2016, a qualidade da água foi considerada a maior parte do tempo imprópria no ápice da estação chuvosa. Já para a sobrevivência do Copepoda a toxicidade foi maior entre final de abril e julho, assim como setembro quando a sobrevivência caiu para 50% ao longo das 4 semanas. O estudo de Andrade (2022) também mostrou efeito letal na sobrevivência do Copepoda nos meses de março e outubro de 2019, porém esse efeito apesar de significativo foi inferior a 20%. A praia do Janga recebe descarga fluvial do Rio Timbó. Em 2019, na maior parte do período monitorado, houve comprometimento na qualidade da sua água ocasionando alta presença de Coliformes Termotolerantes e fósforo total, isso pode estar relacionado a presença de alguns polos industriais como têxtil, metalúrgica e minerais não-metálicos próximos a sua margem (CPRH, 2020). Ademais, o rio Paratibe recebe uma grande quantidade de poluentes devido a extração de recursos minerais, bem como exploração da vegetação, descarte de resíduos sólidos, ráfias de animais provenientes de granja de abate, assim como recipientes de óleo diesel. Esses resíduos químicos são tóxicos e podem adentrar águas superficiais e subterrâneas (Oliveira, 2015).

Houve redução na sobrevivência do Copepoda na praia dos Campas em pelo menos metade do período estudado, esse efeito ocorreu principalmente nos meses de abril, maio, agosto e setembro. Esse efeito letal da água do mar com redução significativa de 20% na sobrevivência com a mesma espécie de Copepoda também foi observado nos meses de março e outubro de 2021, inicialmente a hipótese é que essa contaminação estava relacionada ao óleo que chegou à costa do Nordeste em 2019, entretanto após análises químicas foi constatado que na verdade essa toxicidade é proveniente de alguma outra fonte (Andrade, 2022). No estuário do Rio

Formoso as concentrações de arsênio, zinco e estrôncio foram consideradas altas em alguns pontos de amostragem, possivelmente esse resultado está associado a atividades antropogênicas como presença de lixões e aviários (Silva, 2009). Esse rio recebe o aporte direto de efluentes com a limpeza dos tanques de carcinicultura, além disso a adubação química proveniente do cultivo da cana-de-açúcar, eleva as concentrações de arsênio e césio no rio Formoso (Arruda, 2010). O período de colheita da cana-de-açúcar é de setembro a março (Gunkel et al., 2007), o início do período chuvoso com o fim da colheita pode ser uma causa da toxicidade constante vivenciada pelo Copepoda durante os meses de abril e maio. Contudo, no presente estudo a praia de Campas foi considerada própria para banho durante todo o período, indicando não haver contaminação por coliformes termotolerantes. Esse resultado foi observado também no município de Tamandaré, onde a qualidade da água foi considerada excelente durante todo o ano, durante a estação chuvosa houve um aumento na qualidade da água considerada própria subindo de 64,7% em 2005 para 100% em 2016 (Costa, 2021). Assim ficou evidenciado a diferença da sensibilidade dos métodos de análise de coliformes e o bioensaio de toxicidade para avaliar a qualidade ambiental em Campas.

6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

Este estudo ressaltou a importância da utilização de mais de um indicador ambiental para monitorar a saúde dos ecossistemas costeiros, tendo em vista que foram observados diferentes padrões de contaminação entre os bioensaios toxicológicos e a densidade de coliformes termotolerantes.

Foi constatado que as quatro praias estudadas apresentam níveis de contaminação preocupantes que afetaram a sobrevivência do Copepoda durante todos os meses do estudo. O aumento de pluviosidade do ano de 2022 pode ter colaborado para esta contaminação. A chegada dos esgotos domésticos não foram os únicos responsáveis por este resultado já que praias com menor aporte de esgotos ainda apresentaram toxicidade semelhante na água. Desta forma sugere-se que essa contaminação pode estar associada a contaminantes que chegam através das plumas dos rios adjacentes a estas praias

A densidade de coliformes termotolerantes teve forte relação positiva com uma maior urbanização devido a falta de um tratamento adequado de esgoto sanitário, assim locais mais populosos com maior atividade antrópica são locais com uma maior presença de coliformes.

É fundamental que em atividades de monitoramento sejam utilizados outros parâmetros além da balneabilidade para uma visão mais abrangente da qualidade ambiental. O presente estudo indicou que a praia de Campas, própria para banho, é tóxica para o *Tisbe biminiensis* indicando a presença de contaminantes, que podem afetar a saúde de outros organismos pertencentes ao ecossistema. Assim, seu uso recreacional pode acarretar, também, riscos a saúde humana. Ademais, para maior entendimento do impacto ambiental faz-se necessário estudos químicos complementares com o intuito de identificar as substâncias poluentes. É importante também a realização de estudos durante o período seco para uma percepção mais ampla da influência da pluviosidade nos resultados encontrados.

O entendimento mais holístico da saúde ambiental a partir da identificação de fontes de poluição é essencial para um gerenciamento costeiro adequado que visa não apenas monitorar os impactos como também os solucionar para assim preservar a biodiversidade marinha.

Por fim, espera-se que este estudo seja um primeiro passo para futuros estudos comparativos, visando aperfeiçoar os métodos de avaliação da qualidade ambiental em ecossistemas costeiros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACKERMAN, D.; WEISBERG, S.B. Relationship between rainfall and beach bacterial concentrations on Santa Monica Bay beaches. **Journal of Water and Health**, v. 1, p. 85-87, 2003.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Atlas esgotos: despolição de bacias hidrográficas**. Brasília, 2017.

ALVES, L. S.; MACHADO, B. B. N.; OLIVEIRA, D. F. Balneabilidade das praias do litoral de Salvador-BA: investigação da interferência da precipitação nas densidades de *Escherichia coli*. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 8, n. 4, 2020.

- AMARAL, A.C.Z.; CORTE, G. N.; FILHO, J. S. R.; et al. Brazilian sandy beaches: Characteristics, ecosystem services, impacts, knowledge, and priorities. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, p. 5-16, 2016.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater (23rd ed.)**. Method 9221: Multiple-Tube Fermentation Technique. Washington, D.C, 2017.
- ANDRADE, N. V. M. **Ecotoxicidade de áreas recifais impactadas por petróleo em Pernambuco (NE Brasil) utilizando o *tisbe biminiensis* (Copepoda: harpacticoida)**. TCC (Graduação) – Curso de Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2022.
- ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. A importância relativa do Atlântico Tropical Sul e Pacífico Leste na variabilidade de precipitação do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, p. 63-74, 2007.
- APAC. **Boletim do clima: Síntese climática dezembro de 2022**. Vol. 10 n 12. 2022a
- APAC. **Boletim do clima: Síntese climática maio de 2022**. Vol. 10 n 5. 2022b
- APAC. Site da Agência Pernambucana de Águas e Clima. Disponível em: <http://old.apac.pe.gov.br/>. Acesso em: 20/12/2022
- ARAÚJO-CASTRO, C. M. V.; SOUZA-SANTOS, L. P.; TORREIRO, A. G. A. G.; GARCIA, K. S. Sensitivity of the marine benthic copepod *Tisbe biminiensis* (Copepoda, Harpacticoida) to potassium dichromate and sediment particle size. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 57, p. 33-41, 2009.
- ARAÚJO, M. C. B.; COSTA, M. F. Environmental quality indicators for recreational beaches classification. **Journal of Coastal Research**, v. 24, p. 1439-1449, 2008
- ARRUDA, G. N. **Avaliação das concentrações recentes e históricas de metais pesados nos sedimentos de fundo do Estuário do Rio Formoso**,

Pernambuco. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

AZEVEDO-LINHARES, M.; FREIRE, C. A. Evaluation of impacted Brazilian estuaries using the native oyster *Crassostrea rhizophorae*: Branchial carbonic anhydrase as a biomarker. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 122, p. 483-489, 2015.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 274**, de 29 de novembro de 2000. Diário Oficial da União, Brasília, 2000.

BRETON, F.; CLAPÉS, J.; MARQUÈS, A.; PRIESTLEY, G. K. The recreational use of beaches and consequences for the development of new trends in management: The case of the beaches of the metropolitan region of Barcelona (Catalonia, Spain). **Ocean and Coastal Management**, v. 32, p. 153-180, 1996.

CHAVES, L. C. T.; FEITOSA, J. L. **Ecologia de peixes recifais em Pernambuco.** In: Impactos diretos e indiretos das atividades humanas sobre ambientes recifais e a ictiofauna associada, p. 84-140, 2018.

CICIN-SAIN, B.; KNECHT, R. W. **Integrated Coastal and Ocean Management: Concepts and Practices.** Washington DC: Island Press, 1998.

CONNON, R. E.; GEIST, J.; WERNER, I. Effect-based tools for monitoring and predicting the ecotoxicological effects of chemicals in the aquatic environment. **Sensors**, v. 12, p. 12741-12771, 2012.

COSTA, C. R. **Avaliação da balneabilidade em praias da costa leste do nordeste brasileiro.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2021.

COSTA, C. R.; COSTA, M. F. da. Revista Brasileira de Meio Ambiente Revisão de metodologias do monitoramento microbiológico da qualidade da água em praias recreativas. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 8, p. 92–113, 2020.

- COSTA, M. B. S. F.; PONTES, P. M.; MALLMANN, D. L. B.; ARAUJO, M. Vulnerability and impacts related to the rising sea level in the Metropolitan Center of Recife, Northeast Brazil. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, p. 341–349, 2010.
- CPRH. **Relatório de monitoramento de bacias hidrográficas do Estado de Pernambuco – 2019**. Recife: CPRH. 2020. 200p
- CPRH. **Relatório de atividades do CPRH**. 2008.
- DANELON, A. F. **Eficiência econômica do tratamento de água e esgoto no Brasil: uma abordagem por fronteira estocástica de custos**. 121 p. Tese (Doutorado) - USP / Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 2020.
- EMBRAPA. Território Mata Sul Pernambucana. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/territorios/territorio-mata-sul-pernambucana>. Acesso em: 12/08/2023
- FIGUEIRA, L. O. **Efeito das plumas dos rios na qualidade ecotoxicológica da água costeira do litoral sul de Pernambuco usando os naúplios do Copepoda Tisbe biminiensis**. 2020. TCC (Graduação) – Curso de Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Pernambuco.
- GUNKEL, G.; KOSMOL, J.; SOBRAL, M.; ROHN, H.; MONTENEGRO, S.; AURELIANO, J. Sugar cane industry as a source of water pollution - Case study on the situation in Ipojuca river, Pernambuco, Brazil. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 180, p. 261-269, 2007.
- GWENZI, W.; DUNJANA, N.; PISA, C.; TAURO, T.; NYAMADZAWO, G. Water Quality and Public Health Risks Associated with Roof Rainwater Harvesting Systems for Potable Supply: Review and Perspectives. **Sustainability of Water Quality and Ecology** 6, 107–118, 2015.
- INPE. Plataforma Ondas. Disponível em: <http://ondas.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 20/12/2022

- JARDIM, A. M. R. F.; SILVA, M. V.; SILVA, A. R.; SANTOS, A.; et al. et al. Spatiotemporal climatic analysis in Pernambuco State, Northeast Brazil. **Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics**, v. 223, 2021.
- LAMPARELLI, C. C., POGREBA-BROWN, K., VERHOUGSTRAETE, M., SATO, M.I.Z., DE CASTRO BRUNI, A., WADE, T.J., AND EISENBERG, J.N.S. Are fecal indicator bacteria appropriate measures of recreational water risks in the tropics: A cohort study of beach goers in Brazil? **Water Research**, v. 87, p. 59-68, 2015.
- LAVORANTE, B. R. B. O.; OLIVEIRA, D.D.; COSTA, B.V.M.; SOUZA-SANTOS, L.P. A new protocol for ecotoxicological assessment of seawater using nauplii of *Tisbe biminiensis* (Copepoda: Harpacticoida). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 95, p. 52-59, 2013.
- LOURENÇO, S. O. **Cultivo de microalgas marinhas – princípios e aplicações**. São Carlos: RiMa, 606 p. 2006.
- MACEDO, S. J; PHILIPPINI DA SILVA, H.K.; BRAYNER, F.M.M.; et al. Heavy metal concentrations in sediments of the Capibaribe River Estuary in the Metropolitan Region of Recife, Pernambuco-Brazil. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v. 102, p. 357-365, 2007.
- MACIEL, D. C., COSTA, B.V.M., SANTOS, L.P. DE S., DE SOUZA, J.R.B.; ZANARDI-LAMARDO, E. Avaliação da toxicidade dos sedimentos do sistema estuarino do rio Capibaribe (Pernambuco, Brasil) utilizando o copépodo bentônico *Tisbe biminiensis* Volkmann Rocco (1973). **Tropical Oceanography**, 2015.
- MARENGO, J. A.; ALCANTARA, E.; CUNHA, A.P.; et al. Flash floods and landslides in the city of Recife, Northeast Brazil after heavy rain on May 25–28, 2022: Causes, impacts, and disaster preparedness. **Weather and Climate Extremes**, v. 39, 2023.
- MARTINEZ, A. S.; UNDERWOOD, T.; CHRISTOFOLETTI, R.A.; et al. Reviewing the effects of contamination on the biota of Brazilian coastal ecosystems: Scientific

challenges for a developing country in a changing world. **Science of the Total Environment**, v. 803, 2022.

MELO, R. B. **Tolerância à salinidade de nauplios do copepoda epibentônico *Tisbe biminiensis***. 2022. TCC (Graduação) – Curso de Ciências Biológicas com ênfase em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Pernambuco.

MORAIS, A. V.; SANTOS BRETAS, E.; PEREIRA, C.D.S.; et al. Evaluation of environmental quality of Itaguapé river, Bertioga-SP, using toxicity tests and microbiological bathing conditions indexes. **Mundo Da Saúde**, v. 35, p. 55-63, 2011.

NEWMAN, M. C. **Fundamentals of Ecotoxicology: The Science of Pollution** (4th ed.). CRC Press, 2015.

NOAA. Índice de Oscilação El Niño-Oscilação Sul (ONI) - Versão 5. Disponível em: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php. Acesso em: 01/07/2023.

OLIVEIRA, D. B. C.; SILVA, A. E. L. A.; HOLANDA, M. A. C. R.; SOARES, W. A. Avaliação da influência da precipitação pluviométrica na qualidade do tratamento de esgoto tipo filtro biológico e decantação secundária. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 06, 2020, p. 2728-2743.

OLIVEIRA, P. C. **Degradação ambiental em fragmento de Mata Atlântica: floresta urbana Mata do Janga em Paulista/PE**. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

ORDULJ, M.; JOZIĆ, S.; BARANOVIĆ, M.; KRŽELJ, M. The effect of precipitation on the microbiological quality of bathing water in areas under anthropogenic impact. **Water** 14, 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. Capítulo 17, p. 231-266, 1995.

- PEREIRA, P. S; MARTINS, K. A.; NETO, A. V.; et al. **Atlas de vulnerabilidade à erosão costeira e mudanças climáticas em Pernambuco**. Recife: Editora Universitária UFPE, 2015.
- PERNAMBUCO. Decreto nº 30.462, de 25 de maio de 2007. Aprova o Regulamento da Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – CPRH, e dá outras providências. Diário Oficial do Estado de Pernambuco, Recife, PE, 2007.
- PERNAMBUCO. Geografia. Disponível em: <https://www.pe.gov.br/geografia>. Acesso em: 30/04/2023.
- RECIFE. Aspectos urbanísticos e ambientais do Recife. Disponível em: <https://www2.recife.pe.gov.br/servico/aspectos-urbanisticos-e-ambientais-do-recife>. Acesso em: 12/08/2023
- RECIFE. **Plano Local de Ação Climática da Cidade do Recife**. 2020.
- RÉGIS, C. G.; SOUZA-SANTOS, L. P.; YOGUI, G. T.; MORAES, A. S.; SCHETTINI, C. A. F. 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**, v. 137, p. 45-55, 2018.
- RIBEIRO, A. C. B.; SOUZA-SANTOS, L. P. Mass culture and offspring production of marine harpacticoid copepod *Tisbe biminiensis*. **Aquaculture**, v. 321, p. 280-288, 2011.
- SANTOS, A.R.; OLIVEIRA, H.C.; SILVA, A.M.C.; et al. Identificação e caracterização de bactérias potencialmente patogênicas isoladas de duas praias do litoral norte de Pernambuco. **Research, Society and Development**, v. 10, 2021.
- SILVA, E. A.; MANDÚ, T.B. Variabilidade da intensidade da precipitação no período chuvoso em Recife-PE. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, 2020.
- SILVA, N.M.T.N. **Avaliação das concentrações de elementos químicos nos sedimentos de fundo do estuário do Rio Formoso (PE)**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

- SILVA, P. P. A. O. **Qualidade Ambiental de Praias Urbanas de Uso Intenso, com ênfase na Avaliação Microbiológica da Água: Análise na Região Metropolitana do Recife (RMR)**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Pernambuco, 2022.
- SILVA, T.S.; TRIBST, A.L.; CARDOSO, Á.T.P.; MALINCONICO, N. Comparação de Indicadores de Qualidade Ambiental da praia em Pina (Pernambuco) nos anos de 2008 e 2018. **Revista Geama**, v. 4, 2018.
- ŠOLIĆ, M.; KRSTULOVIĆ, N. Separate and combined effects of solar radiation, temperature, salinity, and pH on the survival of faecal coliforms in seawater. **Marine Pollution Bulletin**, v. 24, 1992.
- SOUZA-SANTOS, L. P.; PASTOR, J.M.O.; FERREIRA, N.G.; et al. Developing the harpacticoid copepod *Tisbe biminiensis* culture: testing for salinity tolerance, ration levels, presence of sediment and density dependent analyses. **Aquaculture Research**, v. 37, n. 15, 2006.
- SOUZA-SANTOS, L.P.; OLIVEIRA, D.D.; LIMA, E.S. The use of epibenthic copepod *Tisbe biminiensis* nauplii to assess the toxicity of seawater samples in Suape Bay (state of Pernambuco; Brazil). **Ecotoxicology and Environmental Contamination**, v. 10, 2015.
- STARLING, M.C.V.M.; AMORIM, C.C.; LEÃO, M.M.D. Occurrence, control, and fate of contaminants of emerging concern in environmental compartments in Brazil. **Journal of Hazardous Materials**, 2019.
- TRATA BRASIL. Ranking do saneamento 2022. 2022.
- TROMBINI, C.; HAMPEL, M.; BLASCO, J. Evaluation of acute effects of four pharmaceuticals and their mixtures on the copepod *Tisbe battagliai*. **Chemosphere**, v. 155, 2016.
- VIDAKOVIC, J. The influence of raw domestic sewage on density and distribution of meiofauna. **Marine Pollution Bulletin**, v. 14, n. 3, p. 84-88, 1983.

- WEAR, S.L.; ACUÑA, V.; MCDONALD, R.; FONT, C. Sewage pollution, declining ecosystem health, and cross-sector collaboration. **Biological Conservation**, v. 255, 2021.
- WEAR, S.L.; THURBER, R.V. Sewage pollution: Mitigation is key for coral reef stewardship. **Annals of the New York Academy of Sciences**, v. 1355, p. 15-30, 2015.
- WILLIAMS, A. T.; MICALLEF, A. **Beach Management: Principles and Practice**. Chapter 9: A Bathing Area Registration and Classification Scheme. Earthscan, 2009.
- ZACHARIAH, M. VASCONCELOS JUNIOR, F.C.; SILVA, T. L. V.; et al. Climate change increased heavy rainfall, hitting vulnerable communities in Eastern Northeast Brazil. **World Weather Attribution**, 2022.
- ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E. **Ecotoxicologia aquática: Princípios e aplicações**. 3. ed. São Carlos: RiMa, 2006.