



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

LUCAS ALVES DE ANDRADE

**MACROFAUNA BENTÔNICA DO FITAL DE MACROALGAS COMO
INDICADORA DE EUTROFIZAÇÃO EM RECIFES COSTEIROS DE
PERNAMBUCO**

Recife

2024

LUCAS ALVES DE ANDRADE

**MACROFAUNA BENTÔNICA DO FITAL DE MACROALGAS COMO
INDICADORA DE EUTROFIZAÇÃO EM RECIFES COSTEIROS DE
PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Oceanografia.

Área de concentração: Oceanografia
Biológica.

Orientador: Prof. Dr. José Souto Rosa Filho

Segundo orientador: Prof. Dr. Edson R. T. P. P. de Vasconcelos

Recife

2024

Andrade, Lucas Alves.

Macrofauna Bentônica do fital de macroalgas como indicadora de eutrofização em recifes costeiros de Pernambuco / Lucas Alves de Andrade. - Recife, 2024.

44 f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós Graduação em Oceanografia, 2024|.

Orientação: José Souto Rosa Filho.

Coorientação: Edson Régis Tavares Pessoa Pinho de Vasconcelos.

1. macrofauna epifítica; 2. recifes areníticos; 3. eutrofização. I. Filho, José Souto Rosa. II. Vasconcelos, Edson Régis Tavares Pessoa Pinho de. III. Título.

UFPE-Biblioteca Central

LUCAS ALVES DE ANDRADE

MACROFAUNA BENTÔNICA DO FITAL DE MACROALGAS COMO INDICADORA
DE EUTROFIZAÇÃO EM RECIFES COSTEIROS DE PERNAMBUCO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Oceanografia. Área de concentração: Oceanografia Biológica

Aprovado em: 13/10/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Souto Rosa Filho (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Dr^a. Adilma de Lourdes Montenegro Cocentino (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr. Jesser Fidelis de Souza Filho (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr. Nykon Craveiro (Suplente Externo)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão ao CNPq pela concessão da bolsa de fomento que preza pela valorização da ciência e pela promoção do desenvolvimento acadêmico e tecnológico no país.

À Universidade Federal de Pernambuco e ao Departamento de Oceanografia .

Expresso a minha sincera gratidão ao meu Professor Dr José Souto Rosa filho pela orientação e o apoio ao longo deste processo. Sua dedicação, paciência e valiosas contribuições foram fundamentais para o desenvolvimento do meu trabalho. Agradeço não apenas pelo conhecimento transmitido, mas também pela confiança e incentivo constantes que me ajudaram a crescer tanto acadêmica quanto pessoalmente.

Gostaria de expressar minha profunda gratidão ao meu segundo orientador Professor Dr Edson Vasconcelos pela sua orientação e pelo apoio essencial que me ofereceu durante o desenvolvimento do meu trabalho. Seus conselhos e disponibilidade foram extremamente valiosos para o meu crescimento acadêmico, e cada contribuição fez uma grande diferença no resultado final.

Querida mãe, Cidete Cristina!

Não há palavras suficientes para expressar toda a minha gratidão por tudo o que você fez e continua fazendo por mim. Seu amor, cuidado, apoio incondicional e dedicação sempre foram fundamentais na minha vida. Agradeço por estar ao meu lado em todos os momentos, me incentivando, me fortalecendo e me guiando com sua sabedoria e carinho. “Te amo, até a Lua ida e volta!”

Querida Família e Queridos Avós,

Gostaria de expressar minha mais profunda gratidão a todos vocês por todo o amor, apoio e ensinamentos que me ofereceram ao longo da minha vida. Cada um de vocês teve um papel fundamental na minha jornada, e sou imensamente grato pelo carinho, pelos conselhos e pela presença constante em todos os momentos importantes.

Querido companheiro e parceiro Natanael Cicero,

Quero te agradecer pelo amor, pelo apoio incondicional e por estar ao meu lado em todos os momentos, sejam eles fáceis ou difíceis. Sua parceria, paciência e compreensão fazem toda a diferença na minha vida. Sou profundamente grato por cada sorriso compartilhado, por cada conversa, e por todo o carinho e cuidado que você me oferece. “Te amo, minha Porpita!”

Queridos amigos de laboratório de Bentos,

Gostaria de expressar minha gratidão a cada um de vocês pelo companheirismo e apoio durante nossa jornada no laboratório (Nykon Craveiro, Anny Laura, Davy Bérghamo, Ingrid Taiacolo, Gislayne Borges, Lucas Andrade, Suelen Santos, Vitor Ricardo, Rodrigo Vinícios, Mariana Cavalcanti, Danielle Avelino, Wendell, Thais de Lima, Yasmim, Elenilson e Gutembergue Silva. O trabalho em equipe, as trocas de ideias e o incentivo mútuo foram fundamentais para o desenvolvimento do meu projeto e para tornar essa experiência ainda mais enriquecedora. A

amizade e a colaboração de vocês tornaram os desafios mais leves e as conquistas mais significativas.

Á Nykon Craveiro e Davy Bérghamo Gostaria de agradecer profundamente a vocês dois por todo o apoio e ajuda durante algumas etapas na elaboração da minha dissertação. Suas sugestões, paciência e disposição para me ouvir e discutir ideias foram fundamentais para que eu pudesse concluir esse trabalho. Vocês fizeram toda a diferença nessa etapa importante da minha vida acadêmica.

Sou profundamente grato ao Vitor Ricardo (Vivi aguilera), pelas companhias em todas as minhas coletas, conselhos, amizade e conversas trocadas durante essa jornada!

Agradeço profundamente aos meus amigos Mattheus Norões e Suelen Santos pela sua amizade, lealdade e apoio incondicional são presentes que valorizo imensamente. Vocês sempre estiveram ao meu lado nos momentos bons e nos desafios, e sou muito grato por todas as risadas, conselhos e aventuras que compartilhamos.

Ao Laboratório de Oceanografia Química (LOQUIM) da UFPE, especialmente ao Prof. Manuel de Jesus Flores Montes e a Jamerson Henrique, por fornecer os equipamentos e o laboratório e por pendência suporte e colaboração nas análises dos nutrientes.

Á Adilma de Lourdes Montenegro Cocentino sou imensamente grato por tudo o que aprendi com você, sua amizade, paciência e seu exemplo são verdadeiros presentes nessa jornada!

Ao Laboratório de Macroalgas Marinhas (LAMAR) pelo apoio.

A todos que participaram de alguma forma no processo e desenvolvimento na minha dissertação em algum momento.

RESUMO

Aproximadamente 0,02% dos oceanos é ocupado por recifes, ambientes de grande complexidade e biodiversidade, que abrigam aproximadamente 1/4 das espécies marinhas. A proximidade com a costa torna os recifes muito vulneráveis a impactos causados por ações humanas na zona costeira. Globalmente estes ambientes vêm sofrendo fortes impactos negativos, proveniente dos distúrbios antropogênicos como urbanização descontrolada, exploração excessiva dos recursos naturais, lançamentos de efluentes urbanos e industriais e turismo. Portanto, esse trabalho teve como objetivo descrever o impacto da descarga de efluentes urbanos na estrutura das comunidades macrobentônicas associadas a macroalgas em recifes costeiros de Pernambuco. Para tal, foram coletadas amostras da macrofauna epifítica associadas a *Centroceras clavulatum*, *Chondracanthus acicularis* e *Caulerpa fastigiata* em duas praias em recifes costeiros próximos (praia do Pina) e afastados (praia de Boa Viagem) de pontos de lançamento de efluentes urbanos em diferentes graus de urbanização no litoral pernambucano, bem como foram coletados os parâmetros ambientais a fim auxiliar na caracterização desses ambientes. Na Praia do Pina foram registradas maiores concentrações de nutrientes. A estrutura da macrofauna variou significativamente entre locais e período sazonal. A abundância da macrofauna foi maior na Praia do Pina. Diversidade e riqueza foram maiores na Praia da Boa viagem, o que reforça que a macrofauna pode ser utilizada como uma ferramenta para bioindicação de perturbações ambientais antrópicas, como contaminação por efluentes.

Palavras-chave: macrofauna epifítica, recifes areníticos, eutrofização

ABSTRACT

Approximately 0.02% of the oceans are occupied by reefs, environments of great complexity and biodiversity, which are home to approximately 1/4 of marine species. The proximity to the coast makes reefs very vulnerable to impacts caused by human actions in the coastal zone, globally. These environments have been suffering strong negative impacts from anthropogenic disturbances such as uncontrolled urbanization, excessive exploitation of natural resources, releases of urban and industrial effluents and tourism. Therefore, this work aimed to describe the impact of the discharge of urban effluents on the structure of macrobenthic communities associated with macroalgae in coastal reefs of Pernambuco. To this end, samples of epiphytic macrofauna associated with *Centroceras clavulatum*, *Chondracanthus acicularis* and *Caulerpa fastigiata* were collected on two beaches on coastal reefs close (Pina beach) and far away (Boa Viagem beach) from urban effluent release points at different degrees of urbanization on the coast of Pernambuco, as well as environmental parameters were collected in order to assist in the characterization of these environments. At Praia do Pina, higher concentrations of nutrients were recorded. The structure of the macrofauna varied significantly between locations and seasonal periods. Abundance of macrofauna was greater at Praia do Pina. Diversity and richness were greater at Praia da Boa Viagem, which reinforces that macrofauna can be used as a tool for bioindication of anthropogenic environmental disturbances, such as contamination by effluents.

Keywords: epiphytic macrofauna, sandstone reefs, eutrophication

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área de estudo: Praia do Pina e Boa viagem, Recife – PE, Nordeste do Brasil.....	18
Figura 2 - Parâmetros ambientais (média $\pm$ desvio padrão) dos recifes areníticos de Boa viagem e Pina.....	21
Figura 3 - Análise canônica das coordenadas principais (CAP) dos parâmetros ambientais das praias do Pina e Boa Viagem. Os vetores representam os componentes que melhor explicam a formação dos grupos.....	23
Figura 4 - Gráfico da Análise canônica das coordenadas principais (CAP) da macrofauna associada a macroalgas dos recifes areníticos das praias do Pina e Boa viagem. A: <i>Centroceras clavulatum</i> , B: <i>Caulerpa fastigiata</i> , C: <i>Chondracanthus acicularis</i>	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo da PERMANOVA para a estrutura dos parâmetros ambientais das praias do Pina e Boa Viagem.....	22
Tabela 2 - Abundância (média $\pm$ desvio-padrão) da macrofauna associada a macroalgas dos recifes areníticos de Pina e Boa Viagem no litoral de Pernambuco com resumo dos resultados das ANOVA.....	23
Tabela 3 - Perfil de diversidade da macrofauna epifítica associada a macroalgas em recifes areníticos no nordeste brasileiro. C: Completude amostral. q=0 (riqueza de espécies). q=1 (espécies comuns). q=2 (espécies dominantes)	24
Tabela 4 - Resumo dos resultados da PERMANOVA para a macrofauna associada a macroalga <i>Centroceras clavulatum</i> nos recifes areníticos de Boa viagem e Pina no litoral de Pernambuco.....	25
Tabela 5 - Resumo dos resultados da PERMANOVA para a macrofauna associada a macroalga <i>Caulerpa fastigiata</i> nos recifes areníticos de Boa viagem e Pina no litoral de Pernambuco.....	25
Tabela 6 - Resumo dos resultados da PERMANOVA para a macrofauna associada a macroalga <i>Chondracanthus acicularis</i> nos recifes areníticos de Boa viagem e Pina no litoral de Pernambuco.....	26
Tabela 7 - Modelos ajustados entre os parâmetros ambientais e a macrofauna associada a macroalgas nos recifes areníticos das praias de Boa viagem e Pina.....	28

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. OBJETIVOS	16
1.1.1. Geral	16
1.1.2. Específicos	17
2. METODOLOGIA	17
2.1. Área de estudo	17
2.2. Procedimentos de campo	18
2.3. Procedimentos de laboratório	19
2.4. Análise dos dados	19
3. RESULTADOS	20
3.1. Parâmetros ambientais	20
3.2. Estrutura da macrofauna	23
4. DISCUSSÃO	29
5. REFERÊNCIAS	30

1. INTRODUÇÃO

Os humanos têm usado os oceanos como fonte de bens e serviços desde a pré-história (HALPERN et al., 2019). Os primeiros registros arqueológicos do uso de recursos marinhos por humanos datam de cerca de 167 mil anos, quando o *Homo sapiens* passou a consumir mariscos, peixes e outros organismos retirados de praias. Atualmente 2,4 bilhões de pessoas (aproximadamente 40% da população mundial) vive em um raio de 100 km da costa (CCICED, 2023), retirando de praias, recifes de coral e estuários, seu alimento, renda, remédios e inumeráveis serviços (como lazer, proteção contra eventos climáticos extremos e sequestro de carbono) (NEUMANN et al., 2015).

Aproximadamente 0,02% dos oceanos é ocupado por recifes (SPALDING e GRENFELL, 1997), ambientes de grande complexidade e biodiversidade, que abrigam aproximadamente 1/4 das espécies marinhas (DAVIDSON, 1998). De acordo com sua origem, os ambientes recifais podem ser classificados como de arenito, algálico e de coral verdadeiro (PEREIRA et al, 2009). No litoral pernambucano, assim como em outros estados da região Nordeste do Brasil, são abundantes esses substratos consolidados, formados predominantemente por recifes de formação arenítica (HORTA et al, 2001; GUERRA e MANSO, 2004).

Nos ambientes recifais a produtividade primária tem origem predominantemente no fitobentos, tendo as macroalgas, organismos fotossintetizantes bentônicos com grande variedade anatômica e complexidade morfológica, papel fundamental na estruturação e funcionamento das comunidades bentônicas (AZEVEDO et al, 2011). As macroalgas servem como local de abrigo, alimentação e reprodução para outros organismos, contribuindo significativamente para a abundância e a riqueza de espécies e por consequência, para a uma maior biodiversidade estrutural e funcional do ambiente marinho (VASCONCELOS, 2016; FRANCISCO et al 2020; CARVALHO et al., 2022).

O uso intensivo dos ambientes marinhos, particularmente das zonas costeiras tem comprometido a capacidade dessas áreas de prover bens e serviços (WEISS, 2015). A proximidade com a costa torna os recifes muito vulneráveis a impactos causados por ações humanas na zona costeira (ALTER, 2021). Globalmente estes ambientes vêm sofrendo fortes impactos negativos, proveniente dos distúrbios antropogênicos como urbanização descontrolada, exploração excessiva dos recursos naturais, lançamentos de efluentes urbanos e industriais e turismo (KNOWLTON, 2010; LEON et al., 2020; AZEVEDO et al. 2011). Essas perturbações afetam diretamente a biodiversidade e o funcionamento desses ecossistemas,

causando fragmentação e perda dos habitats, alterando o fluxo de energia, o ciclo dos nutrientes e a cadeia trófica, principalmente das comunidades bentônicas (ELLIOT e QUINTINO, 2007).

A costa pernambucana estende-se por 187 km onde os recifes de arenito são dominantes como estruturas paralelas a praia (SIMÕES et al, 2009). Estes são resultado da litificação da areia da praia por cimentação calcárea ou ferruginosa, sendo constituídos essencialmente por quartzo e fragmentos esqueléticos, principalmente de moluscos e algas (KEMPF, 1969). Esses ambientes servem como substrato de fixação para algas e invertebrados que fazem parte da cadeia alimentar do nécton (GUIMARAENS, 2021). Nesses recifes já foram identificados sinais de impactos advindos de ações humanas como pisoteio, urbanização, enriquecimento orgânico (SANTOS et al, 2015, SARMENTO e SANTOS, 2012) A presença da poluição orgânica no litoral do estado de Pernambuco, nordeste brasileiro, vem sendo um dos fatores mais prejudiciais para a sobrevivência e riqueza das comunidades recifais, principalmente em trechos da região metropolitana (LEON et al 2020; SOUSA e CONCENTINO, 2004).

O biomonitoramento é uma ferramenta amplamente utilizada para avaliar a saúde de ecossistemas terrestres e aquáticos (RUARO e GUBIANI, 2013) sendo monitorados, em diferentes escalas espaciais e temporais, os efeitos de mudanças ambientais na distribuição das espécies e no arranjo das comunidades (KYOSUKE e SHINYA, 2021). As comunidades bentônicas por sua grande intimidade com o fundo, é reconhecida como bom indicador de alteração no ambiente em ecossistemas aquáticos (POSSETTI 2015; FARRAPEIRA 2009) Diversas características as tornam ideais no diagnóstico e monitoramento da qualidade ambiental, como; natureza sedentária e o ciclo de vida relativamente longo permitem análise espacial e temporal dos efeitos das perturbações; elevado número de espécies resulta em amplo espectro de respostas ao stress; facilidade para coleta e análise de amostras quantitativas, uma vez que estas podem ser realizadas com equipamentos simples e baratos; a taxonomia de alguns grupos é bem estudada e relativamente simples e existem numerosos métodos para a análise dos dados (PEARSON e ROSEMBERG, 1979; GRAY e ELLIOTT, 2009).

Nos ambientes marinhos costeiros a relação macrofauna x macroalga é determinada por características físicas (morfologia/complexidade) e químicas (metabólitos secundários, lipídios, proteínas e etc.) das algas, que variam em função de sua identidade taxonômica e das condições ambientais (STENECK e DETHIER, 1994; CARVALHO et al, 2022; CABELOS et al 2010), e pelas características do ambiente como hidrodinâmica, ciclos de marés, sazonalidade e ações antrópicas como pisoteio, lançamento de efluentes e urbanização desordenada (RICHMOND, 1993; REVERTER et al., 2022; LIN et al., 2024). Dentre esses fatores, o

lançamento de efluentes domésticos com elevada carga orgânica representa dos principais estressores de comunidades biológicas de recifes costeiros rasos em países em desenvolvimento (BELL et al, 2006; WEAR et al., 2025; BARNES et al., 2019). Esse tipo de poluição afeta o desenvolvimento das comunidades bentônicas, podendo levar à diminuição da diversidade de espécies e favorecer espécies oportunistas (BREVES-RAMOS et al., 2005).

Na Cidade de Recife 44% dos esgotos são tratados, havendo o lançamento impróprio de 56% (IBGE, 2019) através de esgotos clandestinos lançados diretamente sobre os corpos d'água (canais que cortam a cidade ou nas praias), (PASSAVANTE e FEITOSA, 1995). O lançamento de efluentes urbanos, ricos em matéria orgânica e nutrientes, em quantidades acima daquela que os ambientes podem processar causa enriquecimento orgânico e eutrofização em muitos corpos d'água (RIBEIRO e ROOKE, 2010). O aumento da presença de alguns gêneros de macroalgas como *Ulva* e *Chondracanthus* em determinados ambientes é um bom indicador de adição de compostos nitrogenados na água (PORTUGAL et al., 2016). A ausência ou baixa ocorrência de Phaeophyceae pode estar relacionado com sensibilidade desse grupo a poluentes que interferem em seu ciclo reprodutivo (BELLGROVE et al. 1997). É sabido que proliferação de espécies oportunistas, como oligoquetas e poliquetas, e uma diminuição de espécies sensíveis, como anfípodes também estão associados à poluição orgânica (BELLAN-SANTINIE, 1980; GOMEZ et al, 2000).

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Geral

Descrever o impacto da descarga de efluentes urbanos na estrutura das comunidades macrobentônicas associadas a macroalgas em recifes costeiros de Pernambuco.

1.1.2. Específicos

- Caracterizar a estrutura das comunidades macrobentônicas (composição taxonômica, riqueza, abundância, diversidade, equitatividade e hábito alimentar) associadas a diferentes espécies de macroalgas (*Centroceras clavulatum*, *caulerpa fastigiata* e *chondracanthus acicularis*) em recifes costeiros próximos (praia do Pina) e afastados (praia de Boa Viagem) de pontos de lançamento de efluentes urbanos nos períodos seco e chuvoso;

- Monitorar as características da água (nitrito, nitrato, amônia, fosfato, pH, salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade) em recifes costeiros próximos e afastados de pontos de lançamento de efluentes urbanos nos períodos seco e chuvoso;
- Utilizar macrobentos como bioindicador da qualidade ambiental em recifes costeiros.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

As praias do Pina (8° 05' 40" S, 34° 52' 50" W) e Boa viagem (08°05'26''S, 34°52'55''W) se localizam na cidade de Recife, capital de Pernambuco (Fig. 1), com cerca de 4 km e 7 km de extensão respectivamente. Na área está longa faixa de edifícios, hotéis, centro comerciais e empresariais. Os recifes de arenito e ocorrem paralelos à linha de costa, ficando expostos durante as marés baixas (LABOREL et al., 2019).

Apesar de ambas as praias terem níveis similares de urbanização (VASCONCELOS et al. 2016), no Pina são comuns saídas de esgoto que lançam efluentes urbanos na praia, sendo classificada como imprópria para banho (menos 80% amostras com mais de 1000 coliformes termotolerantes por 100mL de água mais de 2500 coliformes termotolerantes na última amostragem – Resolução CONAMA 274/00) com base em avaliações semanais da Companhia Pernambucana de Recursos Hídricos, (CPRH 2021. Para a escolha dos locais de coleta e macroalgas foi realizada uma amostragem-piloto, onde as praias foram percorridas, sendo identificados os principais pontos de lançamento de esgotos e as espécies de macroalgas que ocorriam ao longo de toda a área.

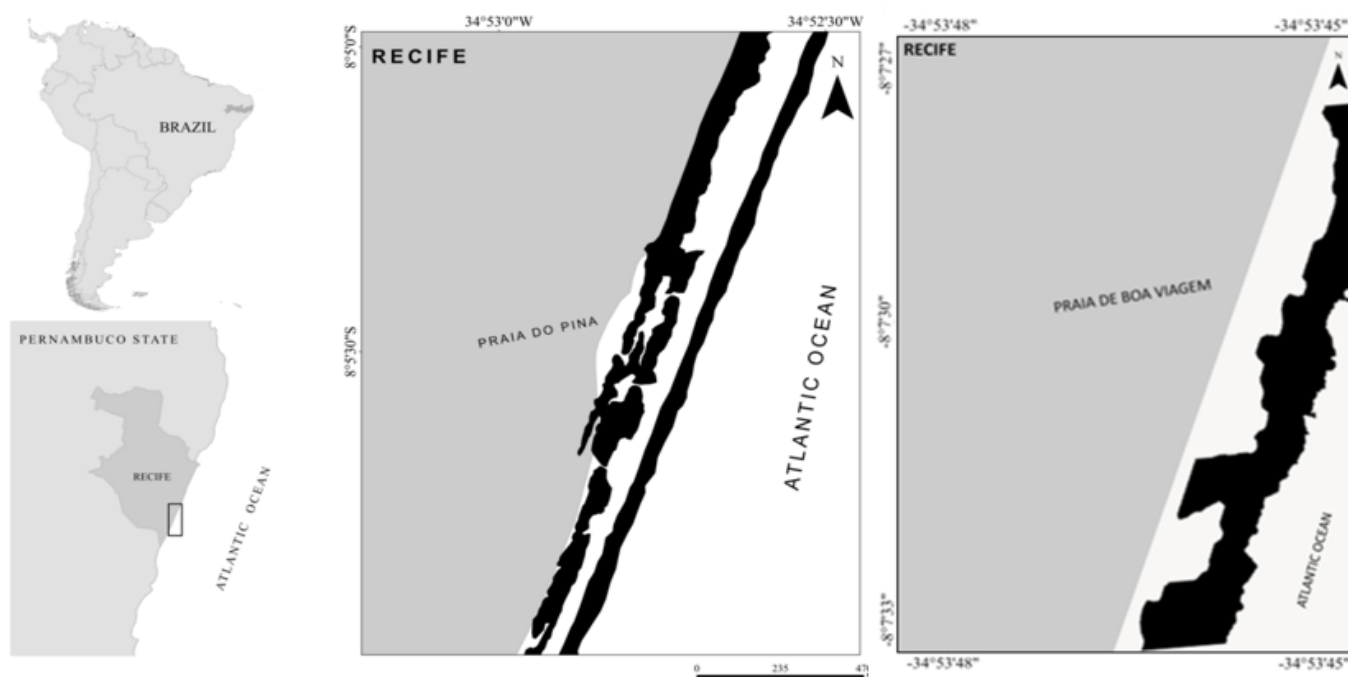


Figura 1. Área de estudo: Praia do Pina e Boa viagem, Recife – PE, Nordeste do Brasil.

2.2. Procedimentos de campo

Coleta de material biológico

Em ambas as praias foram coletadas amostras nos recifes areníticos da zona entremarés durante marés de sizígia, tomando-se cinco amostras de 100 ml das algas por macroalga e por período, sendo elas: *Centroceras clavulatum*, *Chondracanthus acicularis* e *Caulerpa fastigiata*. Estas algas estão presentes nas duas áreas ao longo de todo o ano. A escolha das três espécies de algas utilizadas neste estudo se deu principalmente pela disponibilidade nos pontos selecionados em campo. Durante a fase de coleta, essas foram as únicas espécies presentes em quantidade suficiente para possibilitar a realização de um número significativo de amostras. Dessa forma, a seleção foi baseada em critérios práticos de abundância e viabilidade de amostragem.

As coletas ocorreram em dois momentos no período seco (dezembro e janeiro de 2021) e dois no chuvoso (junho e julho de 2022), totalizando 480 amostras.

No Pina as amostras foram coletadas em frente aos pontos de lançamento de efluentes, e em Boa Viagem foram coletadas em área sem a presença de efluentes visíveis. Anterior a retirada do substrato, as algas foram envolvidas com sacos plásticos para evitar a fuga da fauna móvel. Posteriormente as amostras foram etiquetadas, acondicionadas em recipientes plásticos e transportadas para o Laboratório de Bentos do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, que posteriormente foram fixados em formalina salina a 4%.

Variáveis ambientais

Nos mesmos locais de tomada de amostras biológicas foram coletadas amostras de água de subsuperfície para determinação das concentrações de nutrientes (nitrato, nitrito, amônia e fosfato) e clorofila *a*. As amostragens ocorreram no dia da coleta do material biológico, essas amostras foram coletadas em garrafas plásticas de polietileno com volume de 1L, em triplicados, postas em caixas térmicas e transferidas para o laboratório onde foram filtradas e congeladas até análises. Paralelo a coleta dessas amostras, foram determinados na água a temperatura e salinidade utilizando sonda multiparâmetro (Horiba U50). Dados de pluviosidade foram obtidos em relatórios da Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC).

2.3. Procedimentos de laboratório

Caracterização da fauna associada e complexidade das algas

No laboratório as amostras de alga foram lavadas sob água corrente de malha de 0,3 mm de abertura. O material retido foi observado sob microscópio estereoscópico (ZEISS) para a separação dos animais. Após isso, os animais foram identificados ao menor nível taxonômico possível, contados e conservados em álcool etílico a 70%.

Determinação dos nutrientes na água

As amostras de água foram filtradas com auxílio de bombas a vácuo e filtros de 0,45 µm. Após a filtração os filtros foram cobertos com papel alumínio e congelados até futuras análises de clorofila *a*, seguindo protocolos propostos por Unesco (1966). De cada garrafa de 1L, após a filtração, foram retiradas alíquotas de 300 ml para mensuração das concentrações de amônia, nitrito, nitrato e fosfato foram determinadas utilizando os protocolos propostos por Strickland & Parsons (1972) e Grasshoff et al. (2009).

2.4. Análise dos dados

Com base no número de organismos por grama de macroalga foram calculados a completude amostral, a riqueza de espécies, a abundância (número de indivíduos por 10 g de peso seco de macroalgas) e a diversidade (número de Hill - Chao et al., 2020) foram calculadas para cada amostra de fauna.

Para comparar a abundância da macrofauna associada a cada espécie de alga foi utilizada a análise de variância (ANOVA) com dois fatores (Local e Período sazonal). A estrutura da macrofauna nas diferentes espécies de algas, as variáveis ambientais individualmente e em conjunto foi comparada utilizando Análise de Variância Permutacional (PERMANOVA) de

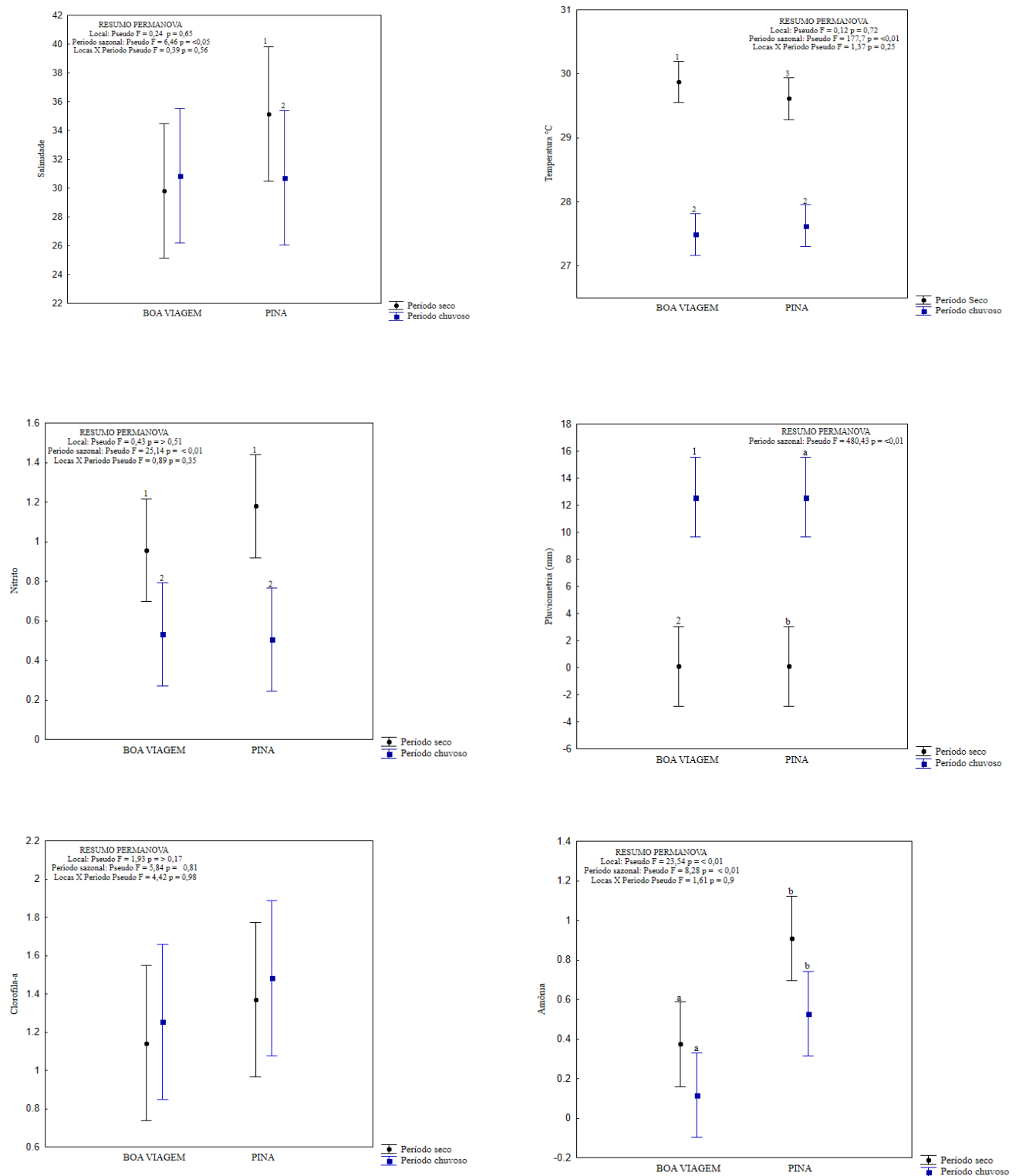
duas vias, considerando os fatores local e período sazonal. Para visualizar os padrões multivariados de distribuição das amostras foi utilizada análise canônica das coordenadas principais (CAP) e a associação entre as variáveis abióticas com a estrutura das comunidades macrobentônicas foi descrita ajustando modelos lineares baseados em distância (DistLm) (ANDERSON et al. 2008). As PERMANOVA, CAP e DistLM foram baseados em matrizes de semelhança calculadas utilizando o Índice de similaridade de Bray-curtis (dados biológicos transformados por raiz quarta) ou Distância Euclidiana (dados ambientais transformado pelo $\text{Log}(x+1)$). Em todas as análises foi considerado o nível de significância de 95%. As análises foram realizadas nos programas PRIMER 7 + PERMANOVA e Statistica 12.

3. RESULTADOS

3.1. Parâmetros ambientais

De maneira geral, os parâmetros ambientais responderam de forma semelhante às mudanças espaciais e temporais, variando significativamente entre períodos sazonais, mas não entre locais; exceções foram a clorofila, que não variou significativamente entre períodos sazonais e locais, e amônia e fosfato que variaram significativamente entre os dois fatores. Na estação seca foram registradas maiores concentrações de nutrientes tanto em Boa viagem quanto no Pina (Figura 2). As maiores concentrações de nutrientes e clorofila foram registradas no Pina, ainda que sem variação significativa entre locais. O conjunto dos nutrientes variou significativamente entre locais e período sazonal, mas sem interação entre os fatores (Tabela 1). É possível observar a formação de 4 grupos no gráfico da CAP (δ^2 CAP 1: 0.99, δ^2 CAP 2: 0.68), com 93,75% das amostras classificadas corretamente, que corresponderam aos diferentes locais e períodos sazonais (Figura 3).

Figura 2 – parâmetros ambientais (média $\pm$ desvio padrão) da água na região de Boa viagem e Pina.



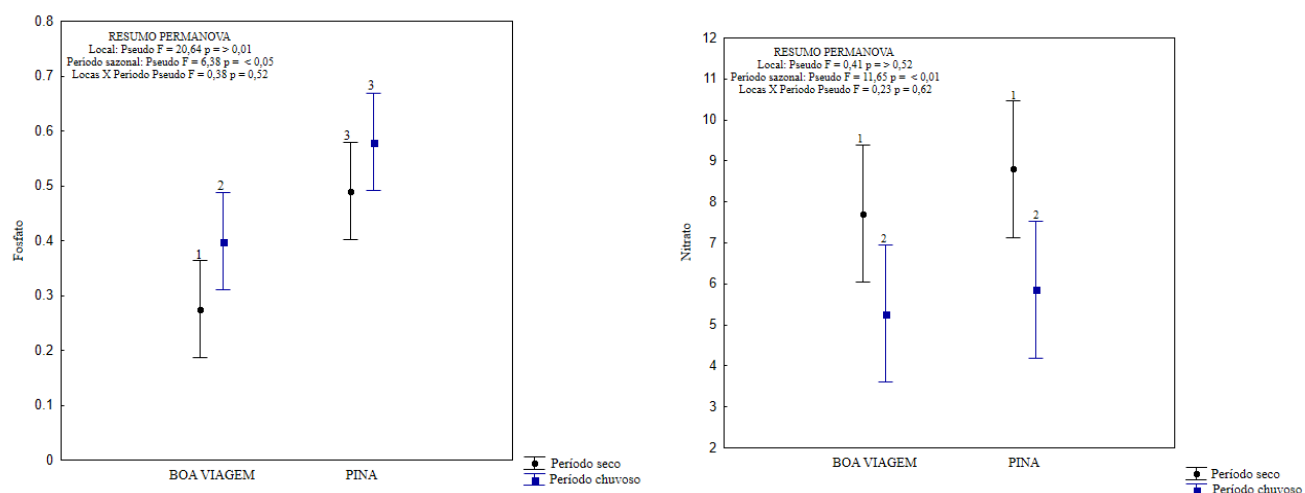
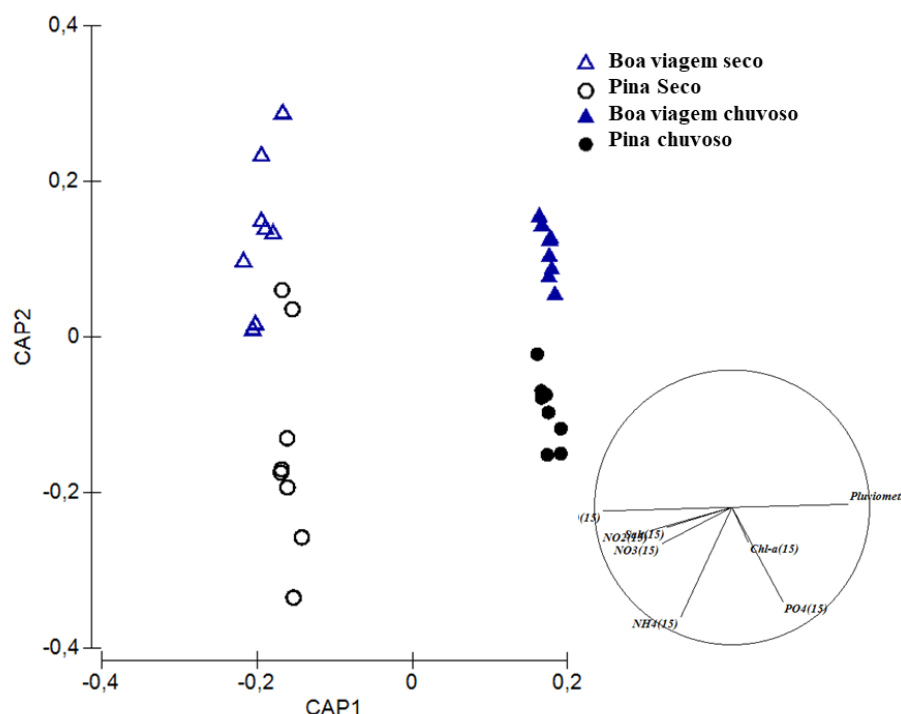


Tabela 1 - Resumo da PERMANOVA para a estrutura dos parâmetros ambientais das praias do Pina e Boa Viagem.

Fonte de variações	DF ¹	SS ²	MS ³	Pseudo-F	p(perm) ⁴	Permutações únicas
Local	1	26.5	26.5	5,83	<0,01	999
Período sazonal	1	92.6	92.6	20,38	<0,01	998
Período sazonal X Local	1	1,45	1,45	0,32	>0,05	998
Res	28	127,32	4,54			
Total	31	248				

¹ DF: Degree of Freedom, ² SS: Sum of Squares, ³ MS: Mean Square, ⁴ p(perm): p Valor de P após permutações

Figura 3 - Análise canônica das coordenadas principais (CAP) dos parâmetros ambientais das praias do Pina e Boa Viagem. Os vetores representam os componentes que melhor explicam a formação dos grupos.



3.2. Estrutura da macrofauna

Um total de 55,354 indivíduos foram identificados, pertencendo aos filos Cnidaria, Platyhelminthes, Nemertea, Mollusca, Annelida, Arthropoda e Echinodermata (Anexo 1), com dominância de amphipoda e polychaeta. A abundância da macrofauna foi significativamente maior no período chuvoso, sendo as maiores abundâncias registradas na praia do Pina em *Centroceras clavulatum*, *caulerpa fastigiata* e *chondracanthus acicularis*. as maiores abundâncias ocorreram no período seco (Tabela 2).

Tabela 2 – Abundância (média $\pm$ desvio-padrão) da macrofauna associada a macroalgas dos recifes areníticos de Pina e Boa Viagem no litoral de Pernambuco com resumo dos resultados das ANOVA.

	Boa Viagem		Pina		ANOVA
	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso	
<i>Centroceras clavulatum</i>	625,46 $\pm$	875,85 $\pm$	1016,3 $\pm$	2148,14 $\pm$	BS<BC<PS<P
	389,72	341,26	585,78	1638,55	C
<i>Chondracanthus sp.</i>	609,36 $\pm$	291,24 $\pm$	561,82 $\pm$	308,14 $\pm$	BC=PC<PS=B
	228,65	188,63	378,45	182,22	S
<i>Caulerpa sp.</i>	325,87 $\pm$	415,12 $\pm$	433,02 $\pm$	1222,7 $\pm$	BS=PS=BC<P
	206,31	174,26	456,40	1109,22	C

BS: Boa Viagem seco; BC: Boa Viagem chuvoso; PS: Pina seco; PC: Pina chuvoso.

A completude amostral foi alcançada de maneira satisfatória para riqueza ($q=0$), espécies abundantes ($q=1$) e espécies dominantes ($q=2$). Para a macrofauna epifítica associada às três espécies de macroalgas (Tabela 3). Para todas as macroalgas, foram registrados maiores valores de riqueza e diversidade durante a estação seca, com exceção de *Caulerpa* no recife do Pina, que mostrou maiores valores de riqueza e diversidade no período chuvoso. No geral, os maiores valores de diversidade foram registrados em Boa viagem, e os menores na praia na praia do Pina (Tabela 3).

Tabela 3 - Perfil de diversidade da macrofauna epifítica associada a macroalgas em recifes areníticos no nordeste brasileiro. C: Completude amostral. $q=0$ (riqueza de espécies). $q=1$ (espécies comuns). $q=2$ (espécies dominantes).

<i>Chondracanthus sp.</i>				
	C	$q=0$	$q=1$	$q=2$
BC	100%	33	9,91	5,84
BS	100%	41	13,95	9,78
PC	100%	32	7,76	3,85
PS	100%	41	6,69	3,47
<i>Centroceras sp.</i>				
	C	$q=0$	$q=1$	$q=2$
BC	100%	25	4,82	3,13
BS	100%	39	6,67	3,92
PC	100%	23	2,53	1,52
PS	100%	28	4,01	2,40
<i>Caulerpa sp.</i>				
	C	$q=0$	$q=1$	$q=2$
BC	100%	32	6,35	4,53
BS	99%	35	8,98	5,48
PC	100%	30	3,79	2,19
PS	99%	29	4,40	2,76

BC: Boa Viagem Chuvoso; BS: Boa Viagem Seco; PC: Pina Chuvoso; PS: Pina Seco.

A estrutura da macrofauna variou significativamente entre os períodos sazonais e locais para as três macroalgas (Tabelas 4, 5 e 6). E houve interação entre os fatores. Foi possível observar a formação de quatro grupos no gráfico da CAP em *Caulerpa* (δ^2 CAP1: 0,83; δ^2 CAP2: 0,56 - 87,05% das amostras classificadas corretamente) e *Chondracanthus* (δ^2 CAP1: 0,61; δ^2 CAP2: 0,61 - 75% das amostras classificadas corretamente) e 3 grupos em *Centroceras* (δ^2 CAP1: 0,71, δ^2 CAP2: 0,50) 77,35% das amostras explicadas corretamente.

Tabela 4 - Resumo dos resultados da PERMANOVA para a macrofauna associada a macroalga *Centroceras clavulatum* nos recifes areníticos de Boa viagem e Pina no litoral de Pernambuco.

Fonte de variações	DF ¹	SS ²	MS ³	Pseudo-F	p(perm) ⁴	Permutações únicas
Local	1	24344	24344	29,78	<0,01	998
Período sazonal	1	5124,2	5124,2	6,26	<0,01	998
Período sazonal X Local	1	4526,2	4526,2	5,53	<0,01	999
Res	155	1,26	817,27			
Total	158	1,6				

Teste de Pair-wise – Período sazonal

Período seco			Período chuvoso		
Grupos	t	P(perm)	Grupos	t	P(perm)
Boa Viagem X Pina	3,94	< 0,01	Boa Viagem X Pina	4,54	< 0.01

Boa Viagem			Pina		
Grupos	t	P(perm)	Grupos	t	P(perm)
Seco X Chuvoso	3,087	< 0.01	Seco X Chuvoso	1,84	< 0.01

¹ DF: Degree of Freedom, ² SS: Sum of Squares, ³ MS: Mean Square, ⁴ p(perm): p Valor de P após permutações.

Tabela 5 - Resumo dos resultados da PERMANOVA para a macrofauna associada a macroalga *Caulerpa fastigiata* nos recifes areníticos de Boa viagem e Pina no litoral de Pernambuco.

Fonte de variações	DF ¹	SS ²	MS ³	Pseudo-F	p(perm) ⁴	Permutações únicas
Local	1	46398	46398	49,47	<0,01	998
Período sazonal	1	13748	13748	14,66	<0,01	999
Período sazonal X Local	1	3778,2	3778,2	4,02	<0,01	999
Res	156	1,46	937,84			
Total	159	2,1				

Teste de Pair-wise – Período sazonal

Período seco			Período chuvoso		
Grupos	t	P(perm)	Grupos	t	P(perm)
Boa Viagem X Pina	4,64	< 0,01	Boa Viagem X Pina	5,93	< 0.01

Boa Viagem			Pina		
Grupos	t	P(perm)	Grupos	t	P(perm)
Seco X Chuvoso	3,6	< 0.01	Seco X Chuvoso	2,64	< 0.01

¹ DF: Degree of Freedom, ² SS: Sum of Squares, ³ MS: Mean Square, ⁴ p(perm): p Valor de P após permutações

Tabela 6 - Resumo dos resultados da PERMANOVA para a macrofauna associada a macroalga *Chondracanthus acicularis* nos recifes areníticos de Boa viagem e Pina no litoral de Pernambuco.

Fonte de variações	DF ¹	SS ²	MS ³	Pseudo-F	p(perm) ⁴	Permutações únicas
Local	1	22457	22457	20,13	<0,01	998
Período sazonal	1	19495	19495	17,47	<0,01	998
Período sazonal X Local	1	4261,4	4261,4	3,82	<0,01	999
Res	156	1,73	1115,3			
Total	159	2,2				

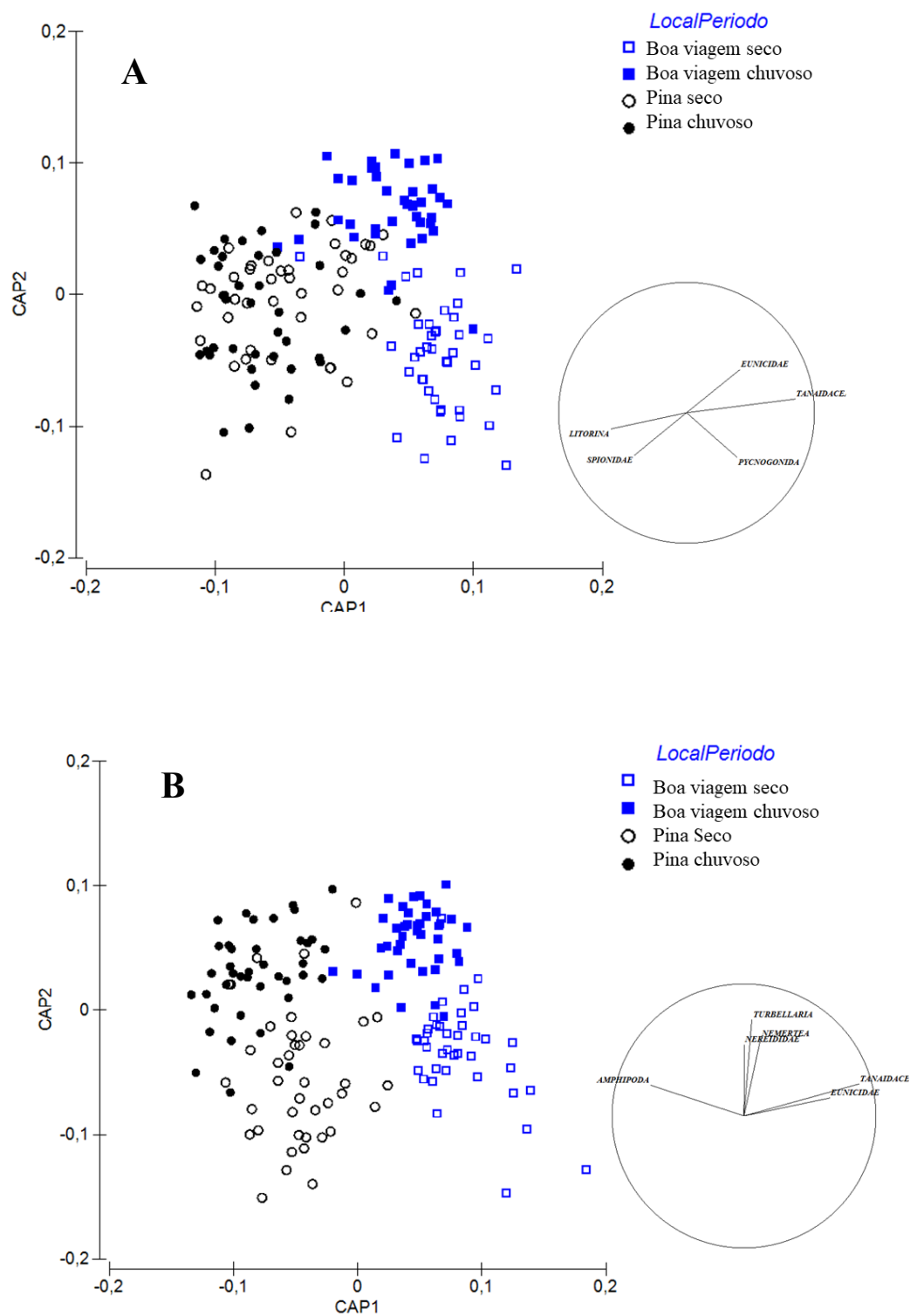
Teste de Pair-wise – Período sazonal

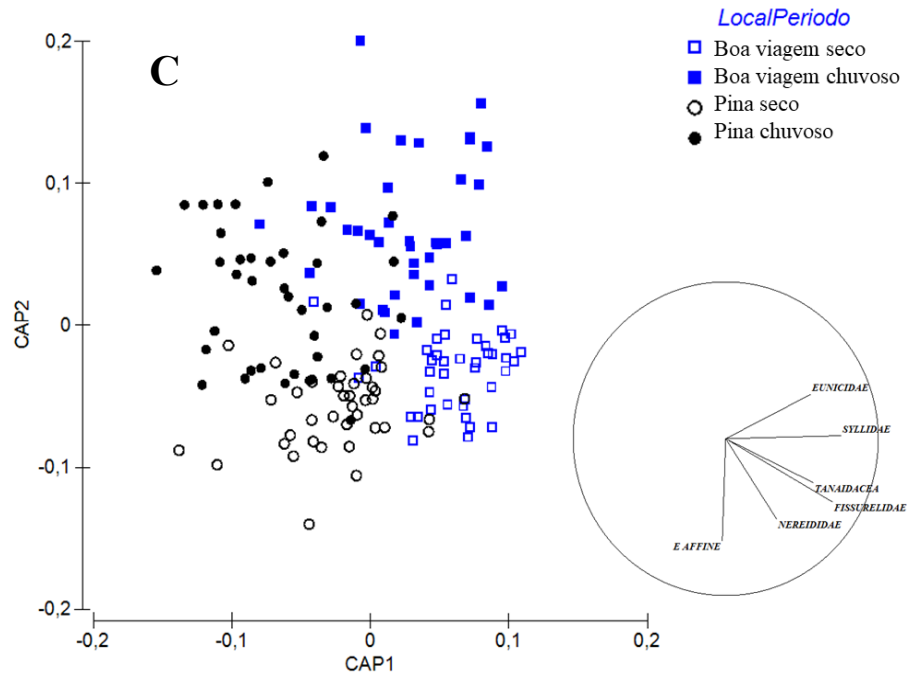
Período seco			Período chuvoso		
Grupos	t	P(perm)	Grupos	t	P(perm)
Boa Viagem X Pina	3,97	< 0,01	Boa Viagem X Pina	3,14	< 0.01

Boa Viagem			Pina		
Grupos	t	P(perm)	Grupos	t	P(perm)
Seco X Chuvoso	3,66	< 0.01	Seco X Chuvoso	2,87	< 0.01

¹ DF: Degree of Freedom, ² SS: Sum of Squares, ³ MS: Mean Square, ⁴ p(perm): p Valor de P após permutações.

Figura 4 – Gráfico da Análise canônica das coordenadas principais (CAP) da macrofauna associada a macroalgas dos recifes areníticos das praias do Pina e Boa viagem. A: *Centroceras clavulatum*, B: *Caulerpa fastigiata*, C: *Chondracanthus acicularis*.





As variáveis que melhor explicaram a estruturação da macrofauna foram temperatura, explicando 5,8% e 9,73% em *Centroceras* e *Caulerpa* e salinidade, que explicou 9,73% da variação em *Chondracanthus* (Tabela 7).

Tabela 7 – Modelos ajustados entre os parâmetros ambientais e a macrofauna associada a macroalgas nos recifes areníticos das praias de Boa viagem e Pina.

<i>Centroceras clavulatum</i>				
R ² : 0,14		RSS: 64156		
Variable	AIC	Pseudo-F	P	Prop. (%)
Temperatura	354,2	2,35	<0,01	5,8
Amônia	353,5	2,19	<0,05	4,27
Clorofila - a	353,8	2,09	<0,05	4,19
<i>Caulerpa fastigiata</i>				
R ² : 0,15		RSS: 68330		
Variable	AIC	Pseudo-F	P	Prop. (%)
Temperatura	355,46	4,96	<0,01	9,73
Amônia	354,52	2,83	<0,05	5,34
<i>Chondracanthus acicularis</i>				
R ² : 0,21		RSS: 52042		
Variable	AIC	Pseudo-F	P	Prop. (%)
Salinidade	351,45	0,49	>0,05	9,73
Clorofila - a	352,48	0,41	>0,05	8,54
Temperatura	350,04	3,97	<0,01	7,73
Amônia	348,8	2,06	<0,05	4,29
Nitrito	348,61	2,09	<0,05	4,26
Nitrato	349,71	0,83	>0,05	1,69
Fosfato	350,95	0,68	>0,05	1,4

4. DISCUSSÃO

Parâmetros ambientais

Apesar das Praias do Pina e Boa viagem serem classificadas como áreas de urbanização consolidadas (Vasconcelos et al., 2019), o Pina mostrou maiores teores de nutrientes e clorofila, um fator possivelmente associado à maior descarga de efluentes no local. Diferente na Praia de Boa viagem, a área apresenta escoadouros evidentes de efluentes nos ambientes recifais alvo da pesquisa, mostrando uma possível contaminação direta ao local. Estas características podem estar diretamente associadas às diferenças observadas entre as duas localidades.

Os parâmetros ambientais mostraram variações significativas entre os períodos sazonais, com nutrientes, temperatura e salinidade apresentando maiores flutuações, à exceção da clorofila. O clima sazonal tropical brasileiro é marcado pela presença de estações distintas, chuvosa e seca, influenciadas por diversos fatores climáticos, (Cordeiro et al., 2014). A

transição entre a estação seca e a chuvosa costuma ocorrer durante a primavera austral, principalmente entre os meses de setembro e novembro, com variações importantes nos padrões de precipitação dependendo da região (Silva et al., 2020; Domingues et al., 2017). Essas particularidades são refletidas em nossos resultados, marcados por máximas de temperatura e salinidade da água durante a estação seca e mínimas durante a estação chuvosa, um padrão sazonal previamente descrito para a plataforma continental do Nordeste brasileiro (Bastos et al., 2011; Domingues et al., 2017).

Amônia e fosfato destacaram-se tanto a nível local, com maiores valores na Praia do Pina quanto sazonal. Essas diferenças podem sofrer influência e estar relacionadas a fatores naturais e antropogênicos (Tayeb et al. 2015). Entre os fatores naturais que podem gerar mudanças locais e sazonais na concentração de nutrientes estão as alterações de temperatura, que afetam significativamente a regeneração de nutrientes, com sua elevação promovendo o aumento no fluxo de amônia e fosfato a partir do sedimento (Klump & Martens, 1989); interação sedimento-água e oxidação microbiana de matérias orgânica, levando a ciclos sazonais distintos de concentrações de nutrientes, fator também influenciado pela mudança sazonal de temperatura (Lillebo et al., 2002; Klump & Martens, 1989).

Por outro lado, as variáveis antropogênicas são resultantes da grande urbanização de zonas costeiras. Uma das principais características da alta urbanização é o aumento no aporte de efluentes domésticos e agrícolas em sistemas hídricos, resultando no aumento das concentrações de matéria orgânica e nutrientes, como altas concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido e fosfato (Brauko et al., 2020; Jiang et al., 2023). Na região Nordeste do Brasil, essa correlação já é ressaltada (Feitosa et al., 1999; Santos et al., 2020). Para Pernambuco, os rios Capibaribe e Jaboatão, dois importantes corpos d'água para o local, são destacados pelo seu nível de urbanização e, decorrente disso, alta entrada de nutrientes nas áreas costeiras (Collier et al., 2019; Silva et al., 2019).

Assim como amônia e fosfato, a clorofila, apesar de valores não significativos, mostrou maiores concentrações no Pina. Em ambientes marinhos próximos a ambientes urbanos, o aumento da clorofila está frequentemente associado à eutrofização, que ocorre quando grandes quantidades de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, entram nas águas através de efluentes e resíduos industriais (Häder & Gao, 2015; Tayeb et al. 2015). A introdução de elementos orgânicos como proteínas e ácidos nucleicos, pode favorecer o aumento dos níveis de amônia disponíveis nos ecossistemas por meio de processos de amonificação (Herbert, 1999). Da mesma forma, Tayeb et al. (2015) indicam que o tratamento inadequado de esgoto contribui para o aumento das concentrações de fósforo no ambiente aquático.

Estrutura da macrofauna

A praia de Boa viagem apresentou maiores valores de riqueza e diversidade e menores valores de abundância em comparação com a praia do Pina, que apresentou uma dinâmica ecológica distinta. A presença de efluentes direta no ambiente recifal pode ter levado a uma redução na riqueza e diversidade (Leite et al., 2020). A intensa presença de poluentes, como esgoto e resíduos sólidos, além de modificar o habitat, resulta em uma predominância de organismos que são mais adaptáveis a ambientes alterados (Vasconcelos et al., 2019). Nesses ambientes a abundância de organismos pode ser maior, mas isso não necessariamente reflete um ecossistema saudável (Ulloa et al., 2017). Por outro lado, a praia de Boa viagem mostrou um ambiente menos impactado pela urbanização, mostrando condições mais favoráveis para a coexistência de múltiplas espécies.

Invertebrados pertencentes ao filo Cnidaria, Platyhelminthes, Mollusca, Annelida, Nemertea, Sipuncula, Arthropoda e Echinodermata foram registrados em todas as macroalgas e áreas. O ambiente fital produzido pelas algas contribui positivamente para as comunidades de organismos associados, trazendo benefícios oriundos de suas características morfológicas, químicas e nutricionais, tornando esses ambientes propícios para a ocorrência de invertebrados que se beneficiam destas características (Jormalainen et al. 2001). Dentre os benefícios desta associação, está a utilização destes locais para fins de proteção, utilizando-os como abrigo contra predadores, dessecação e atenuação de impactos advindos de ações mecânicas do meio, além disso, o ambiente fital se torna propício também às necessidades reprodutivas das espécies e alimentação (Hauser et al., 2006; Serrano & Preciado, 2006; Hendriks et al., 2009; Hamdy et al., 2018). Essa interação traz efeitos positivos não só para a comunidade macrofaunística como também para o meio, uma vez que esses organismos desempenham papéis cruciais no funcionamento e na saúde dos ecossistemas. Os macroinvertebrados não apenas contribuem para a biodiversidade, mas também influenciam a ciclagem de nutrientes, transferência de matéria orgânica, estrutura do habitat, dinâmica das redes alimentares, produzindo impactos positivos na qualidade de água e disponibilidade de nutrientes para níveis tróficos superiores (Holomuzki et al., 2006; Kouamé et al., 2010; Vieira et al., 2024).

Os filos mais abundantes foram Arthropoda, Annelida e Mollusca. Vicente et al. (2023) encontraram padrões similares. Em seu estudo no Arquipélago de Alcatrazes, associadas a *Sargassum* e *Dictyota*, com predominância de artrópodes e moluscos. Dentre os grupos mais abundantes, Amphipoda e Polychaeta foram identificados como os representativos. Esse padrão já vem sendo evidenciado em muitos trabalhos (Guerra-García et al., 2011; Rosa Filho et al., 2024; Tano et al., 2016). A predominância destes grupos está associada a fatores diversos, a exemplo da complexidade estrutural das macroalgas (Gan et al., 2019; Craveiro & Rosa Filho, 2024) mostraram que algas filamentosas apresentam maiores abundâncias de invertebrados, dado que converge com trabalho realizado por Craveiro & Rosa Filho et al., (2024), mostrando que algas complexas favorecem o estabelecimento e a sobrevivência de populações densas de poliquetas.

Maiores abundâncias desses organismos em áreas com alto grau de urbanização pode estar ligadas tanto a fatores ecológicos quanto ambientais (Giangrande, 1997). Os poliquetas são descritos na literatura como organismos com estratégias de alimentação, reprodução e sobrevivência muito diversas, o que lhes confere grande adaptabilidade a quase todos os ambientes marinhos, especialmente o habitat fital devido a sua complexidade e capacidade, em alguns casos, de fornecer ambiente ideal para recrutamento e fornecimento de alimento rico em nutrientes para os juvenis (Cunha et al., 2013; Bazterrica et al., 2014; Jumars et al., 2015; Hadiyanto et al., 2024).

O Pina mostrou uma maior abundância de Spionidae e Capitellidae, podendo estar atrelado a resiliência de alguns gêneros dessas famílias a ambientes impactados antropicamente. Spionidae exibe níveis variados de sensibilidade a perturbações ao ecossistema marinho, considerado um bom bioindicador em estudos ambientais, principalmente na detecção de impactos causados pela poluição, incluindo eutrofização e deposição de matéria orgânica (Takata et al., 2010). Alguns gêneros desta família têm maior taxa de proliferação em ambientes eutrofizados, enquanto outros podem declinar (Augusto et al., 2018). A família capitellidae, é frequentemente associada a ambientes com altos níveis de matéria orgânica no sedimento, sendo indicadores de eutrofização e deposição de resíduos orgânicos (Ford e Lopez, 1990). São reconhecidos por sua resistência a condições de baixa oxigenação e maior abundância em áreas

com poluição orgânica (Gray et al., 2002). Eles são, portanto, indicadores de ambientes com altos níveis de contaminação. (Martín e Grémare, 1996).

Dentre os Artrópodes, Amphipoda foi o grupo mais abundante nos dois ambientes, especialmente a Praia do Pina, resultado pouco descrito na literatura, visto esse grupo de organismos e outros crustáceos são descritos como sendo sensíveis à áreas contaminadas (Cesar et al., 2002; Navarro-Barranco et al., 2012;). Entretanto, é válido ressaltar que comparações a nível específico podem trazer respostas mais esclarecedoras, tendo em vista a baixa resolução taxonômica utilizada na presente pesquisa, fator impeditivo de comparações mais aprofundadas, especialmente devido ao fato de que alguns trabalhos mostram diferentes respostas de anfípodes à poluição, com alguns até sendo mais tolerantes aos impactos (De-La-Ossa-Carretero et al., 2012; Ledesma et al., 2024). Diante deste impasse, a principal hipótese é que o grupo de anfípodes dos locais de estudo seja formado por espécies mais tolerantes à zonas contaminadas. Além disso, Vinagre et al. (2016) afirmam que maiores abundâncias de anfípodes em áreas impactadas ou próximas podem ter relação com a complexidade estrutural do ambiente, marcada pela presença de macroalgas.

Mollusca foi o terceiro filo mais representativo dentre os invertebrados, formando assembleias que são tanto diversas quanto abundantes, e exibem um conjunto diversos influenciados de fatores ambientais e biológicos (Leite et al., 2007; Barros, 2015). Correlações positivas entre assembleias de mollusca e vários aspectos da morfologia das macroalgas, contribuem diretamente de forma mais diversa a fauna a ela associada (Barros 2018; Duarte et al., 2020)

O filo Echinodermata foi pouco presente no estudo, em ambas as praias. Particularmente suas larvas, exibem alta sensibilidade a vários poluentes, tornando-os bioindicadores eficazes para avaliar a poluição marinha (Morrone et al., 2023). Pesquisas indicam que diferentes espécies de equinodermos respondem de forma variável a tóxicos, com pepinos-do-mar mostrando maior sensibilidade do que ouriços-do-mar a certos contaminantes (Rakaj et al., 2021). Essa sensibilidade é crucial para entender os impactos da poluição nos ecossistemas marinhos e pode orientar os esforços de monitoramento ambiental (Caetano et al., 2021). Apesar de mostrarem valores distintos de riqueza, diversidade e abundância, a quase ausência de representantes de echinodermata nesses dois ambientes reflete uma possível contaminação de poluentes em ambas as praias.

Este estudo contribui para um melhor entendimento do uso da macrofauna associada a macroalgas como bioindicadora para avaliar ambientes impactados pela urbanização, mostrando a descaracterização da comunidade epifaunal causada pelo impacto antrópico ao ambiente recifal costeiro por efluentes urbanos. A praia do Pina mostrou impactos antrópicos mais evidentes, refletindo numa possível contaminação mais intensa. O ambiente apresentou maiores concentrações de nutrientes, maiores valores de abundância de organismos e baixa riqueza de espécies em comparação à Praia de Boa viagem, o que reforça o papel negativo da urbanização no enriquecimento nutricional em áreas costeiras. Por outro lado, mostrou predominância de espécies oportunistas, conhecidas por se beneficiarem ou tolerarem ambientes contaminados.

As três algas usadas como substrato (*Caulerpa fastigiata*, *Centroceras clavulatum* e *Chondracanthus acicularis*) para coleta da macrofauna, responderam satisfatoriamente. Dessa forma, consideramos as três espécies como modelos importantes para estudos sobre impactos ambientais de áreas urbanizadas, possibilitando a obtenção de informações sobre a comunidade

macrobentônica associada ao fital, refletindo o impacto gerado pela pressão antrópica. Além disso, a temperatura e a salinidade foram as variáveis que ajudaram a melhor entender as variações na epifauna. A influência destes fatores se deve, provavelmente, à sua relação direta com as variações sazonais na região estudada e sua interferência nas interações ecológicas e ambientais observadas na macrofauna.

O refinamento a nível de gênero/espécie é necessário para melhor compreensão dos efeitos da complexidade estrutural na macrofauna e sua relação com perturbações ambientais. Dessa forma, poderemos saber com mais detalhes as reais proporções e quão graves são os impactos advindos da alta urbanização costeira sobre os ecossistemas recifais da região e de outras localidades, possibilitando a criação de políticas públicas que se concentrem em, ao menos, minimizar a escala destes impactos aos ambientes costeiros.

5. CONCLUSÃO

Esse estudo mostrou os efeitos da urbanização nos ecossistemas recifais costeiros, especialmente em resposta à influência dos efluentes urbanos na estrutura e composição da macrofauna associada a macroalgas. A análise comparativa entre as praias do Pina e de Boa Viagem revelou padrões diferentes de qualidade ambiental e biodiversidade, refletindo os variados níveis de impacto humano.

Na Praia do Pina, foram observadas as maiores concentrações de nutrientes, amônia e fosfato, bem como de clorofila. Além disso, houve maior abundância de organismos, embora com menor riqueza e diversidade. Esses resultados sugerem um ambiente em processo de eutrofização, caracterizado pela predominância de espécies oportunistas que podem indicar condições degradadas, particularmente de famílias como Spionidae e Capitellidae. Por outro lado, Boa Viagem exibiu uma comunidade da marofauna com maior diversidade, indicando um menor nível de perturbação ambiental.

As três espécies de macroalgas empregadas como substrato – *Caulerpa fastigiata*, *Centroceras clavulatum* e *Chondracanthus acicularis* – mostraram-se eficazes na análise da macrofauna epifítica, oferecendo um suporte estrutural e ecológico para entender os impactos ambientais locais. Os dados destacam o potencial dessas algas para serem usadas como bioindicadoras em pesquisas de monitoramento ambiental.

Em resumo, os resultados desta dissertação ajudam a compreender como a urbanização afeta os recifes costeiros, destacando a importância de estratégias de gestão e conservação ambiental baseadas em evidências científicas. A continuidade e o aprofundamento de pesquisas desse tipo são fundamentais para a criação de políticas públicas que visem reduzir os efeitos das atividades humanas em ecossistemas marinhos vulneráveis.

6. REFERÊNCIAS

- ANDERSON, M. J.; GORLEY, R. N.; CLARKE, K. R. 2008. PERMANOVA+. Guide to software and statistical methods. PRIMER-E. Plymouth.
- ANDRADE, G. O.; LINS, R. C. Os climas do Nordeste. In: VASCONCELOS SOBRINHO, J. (ed.). As regiões naturais do Nordeste, o meio e a civilização. CONDEPE, Recife, p. 95-138, 1971.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official Methods of Analysis, 20th ed. Association of Official Analytical Chemists Inc., Rockville, 2016.
- AZEVEDO, C. A. A.; CARNEIRO, M. A. A.; OLIVEIRA, S. R.; MARIHO-SORIANO, E. Macroalgae as an indicator of the environmental health of the Pirangi reefs, Rio Grande do Norte, Brazil. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, v. 21, p. 323-328, 2011.
- BARNES, M. D.; GOODELL, W.; WHITTIER, R.; FALINSKI, K. A.; CALLENDER, T.; HTUN, H.; LEVIOL, C.; SLAY, H.; OLESON, K. L. L. Decision analysis to support wastewater management in coral reef priority area. *Marine Pollution Bulletin*, v. 148, p. 16-29, 2019.
- BARROS, B. 2015. Estrutura e composição da malacofauna associada a macroalgas em um ambiente recifal neotropical. Graduação em Ciências Biológicas. Universidade Federal da Paraíba.
- BARROS, G. 2018. Comunidade de moluscos associados a macroalgas em ambientes recifais: uma abordagem funcional. Dissertação de Mestrado. Universidade Estadual da Paraíba.
- BASTOS, R. B.; FEITOSA, F. A. N.; KOENING, M. L.; MACHADO, R. C. A.; MUNIZ, K. 2011. Caracterização de uma zona costeira tropical (Ipojuca-Pernambuco-Brasil): Produtividade fitoplanctônica e outras variáveis ambientais. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, v. 15, n. 1, p. 1-10.
- BAZTERRICA, M. C.; STREFTARIS, N.; GIMÉNEZ, L.; ZAVATTERI, J.; LOPEZ GAPA, J. Effects of macroalgae on the recruitment, growth, and body condition of an invasive reef-forming polychaete in a southwestern Atlantic coastal lagoon. *Journal of Sea Research*, v. 88, p. 121-129, 2014.
- BRAUKO, K. M.; CABRAL, A.; COSTA, N. V.; HAYDEN, J.; DIAS, C. E. P.; LEITE, E. S.; WESTPHAL, R. D.; MUELLER, C. M.; HALL-SPENCER, J. M.; RODRIGUES, R. R.; RÖRIG, L. R.; PAGLIOSA, P. R.; FONSECA, A. L.; ALARCON, O. E.; HORTA, P. A. 2020. Marine heatwaves, sewage and eutrophication combine to trigger deoxygenation and biodiversity loss: A SW Atlantic case study. *Frontiers in Marine Science*, v. 7, p. 590258.

BELL, J.; RATNER, B.; ILONA, S.; OLIVER, J. Addressing the coral reef crisis in developing countries. *Ocean & Coastal Management*, v. 49, p. 976-985, 2006. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2005.12.001.

BELMGROVE, A.; CLAYTON, M. N.; QUINN, G. P. Effects of secondarily treated sewage effluent on intertidal macroalgal recruitment processes. *Marine & Freshwater Research*, v. 48, p. 137-146, 1997.

BELLAN-SANTINI, D. Relationship between amphipod populations and pollution. *Mar. Poluir. Touro*, v. 11, p. 224-227, 1980.

BREVES-RAMOS, A.; LAVRADO, H. P.; JUNQUEIRA, A. D. O. R.; SILVA, S. H. G. D. Succession in rocky intertidal benthic communities in areas with different pollution levels at Guanabara Bay (RJ-Brazil). *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 48, n. 6, p. 951-965, 2005.

CACABELOS, E.; OLABARRIA, C.; INCERA, M.; TRONCOSO, J. S. Effects of habitat structure and tidal height on epifaunal assemblages associated with macroalgae. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 89, n. 1, p. 43-52, 2010.

CAETANO, L. S.; PEREIRA, T. M.; ENVANGELISTA, J. D.; CABRAL, D. S.; CARVALHO COPPO, G.; DE SOUZA, L. A.; CHIPPARI-GOMES, A. R. Impact on fertility rate and embryo-larval development due to the association acidification, ocean warming and lead contamination of a sea urchin *Echinometra lucunter* (Echinodermata: Echinoidea). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, v. 106, n. 6, p. 923-928, 2021.

CARVALHO, N. F.; SILVA, R. C.; ROSA FILHO, J. S.; JACOBUCCI, G. B. Which structural traits in *Sargassum* species really matter for caprellid assemblages? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 265, p. 107703, 2022.

CARVALHO, NAYARA FERREIRA et al. The structure of gammarid amphipod (Crustacea, Peracarida) assemblages associated with *Sargassum* (Phaeophyta, Fucales) and their link with the structural complexity of algae. *Hydrobiologia*, v. 820, n. 1, p. 245-254, 2018.

CESAR, A.; MARÍN-GUIRAO, L.; VITA, R.; MARÍN, A. Sensitivity of Mediterranean amphipods and sea urchins to reference toxicants. *Ciencias Marinas*, v. 28, n. 4, p. 407-417, 2002.

CCICED. Building an Inclusive, Green and Low-Carbon Economy: CCICED Annual Policy Report 2022. Beijing: Springer, 2023. 499 p.

CHEMELLO, R.; MILAZZO, M. Effect of algal architecture on associated fauna: some evidence from phytal mollusks. *Marine Biology*, v. 140, p. 981-990, 2002.

CHRISTIE, H.; NORDERHAUG, K. M.; FREDRIKSEN, S. Macrophytes as habitat for fauna. *Marine Ecology Progress Series*, v. 396, n. December, p. 221-233, 2009.

CORDEIRO, I. A.; FEITOSA, F. A. N.; FLORES-MONTES, M. J.; SILVA, M. H. Distribuição sazonal e espacial da clorofila a e variáveis ambientais na plataforma continental de Pernambuco (Porto do Recife), Brasil. *Tropical Oceanography*, v. 42, n. 1, p. 60-76, 2014.

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

DAVIDSON, O. G. The enchanted braid: Coming to terms with nature on the Coral Reef. New York: John Wiley & Sons Inc, 1998. 269 p.

DE-LA-OSSA-CARRETERO, J. A.; DEL-PILAR-RUSO, Y.; GIMÉNEZ-CASALDUERO, F.; SÁNCHEZ-LIZASO, J. L.; DAUVIN, J. C. Sensitivity of amphipods to sewage pollution. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 96, p. 129-138, 2012.

DEYAB, M. D.; ELKATONY, T.; WARD, F. Qualitative and quantitative analysis of phytochemical studies on brown Seaweed, *Dictyota dichotoma*. *IJEDR*, v. 4, n. 2, p. 674–678, 2016.

DOMINGUES, E. C.; SCHETTINI, C. A. F.; TRUCCOLO, E. C.; OLIVEIRA FILHO, J. C. Hydrography and currents on the Pernambuco Continental Shelf. *RBRH*, v. 22, e43, 2017.

DORNFELD, C. B. Utilização de Chironomus sp (Diptera, Chironomidae) para a avaliação da qualidade de sedimentos e contaminação por metais. Tese de doutorado, Universidade de São Paulo, 2006.

DOS SANTOS, M. R.; MAIA, R. C. Obras de Urbanização e os Impactos Ambientais sobre a Macrofauna Bentônica: Estudo de Caso em uma Praia do Litoral Cearense. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, v. 21, n. 3, p. 135-145, 2021.

DUARTE, R. C. S. Influência da complexidade do habitat e da sazonalidade sobre a fauna associada a macroalgas de um manguezal hipersalino. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, 2014.

DUARTE, R. C. S.; BARROS, G.; MILESI, S. V.; DIAS, T. L. P. 2020. Influence of macroalgal morphology on the functional structure of molluscan community from hypersaline estuary. *Hydrobiologia*, v. 847, p. 1107-1119.

DUFFY, J. E.; HAY, M. E. Herbivore resistance to seaweed chemical defence: the roles of mobility and predation risk. *Ecology*, v. 72, p. 1286–1298, 1994.

ELIZABETH ALTER, S.; TARIQ, L.; CREED, J. K.; MEGAFU, E. Evolutionary responses of marine organisms to urbanized seascapes. *Evolutionary Applications*, v. 14, n. 1, p. 210-232, 2021.

ELLIOTT, M.; QUINTINO, V. The estuarine quality paradox, environmental homeostasis and the difficulty of detecting anthropogenic stress in naturally stressed areas. *Marine Pollution Bulletin*, v. 54, p. 640-645, 2007.

FARRAPEIRA, C. M. R.; MELO, A. V. D. O. M. D.; TENÓRIO, D. D. O. Comunidade bentônica de lagunas costeiras impactadas de Recife e Olinda, Pernambuco: possível agrupamento biológico bioindicador de poluição orgânica. 2009.

FEITOSA, F. A. N.; NASCIMENTO, F. C. R.; COSTA, K. M. P. 1999. Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplancônica relacionado com parâmetros hidrológicos na Bacia do Pina (Recife – PE). *Tropical Oceanography*, v. 27, n. 2, p. 199-210.

FERREIRA, TIAGO; RASASBAND, WAYNE. ImageJ User Guide. *ImageJ User Guide*, v. 1, 2019.

FORBES, T. L.; LOPEZ, G. R. 1990. The effect of food concentration, body size, and environmental oxygen tension on the growth of the deposit-feeding polychaete, *Capitella* species 1. *Limnology and Oceanography*, v. 35, n. 7, p. 1535-1544.

FRANCISCO, V. C.; MEDRANO, R. E. O.; GONZÁLEZ, M. G. Lista atualizada de la flora marina bentónica de cinco arrecifes coralinos del norte de Veracruz, México. *Revista Ciencias Marinas y Costeras (REVMAR)*, v. 12, n. 1, 2020.

GAN, S. X.; TAY, Y. C.; HUANG, D. Effects of macroalgal morphology on marine epifaunal diversity. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 99, n. 8, p. 1697-1707, 2019.

GIANGRANDE, A. Polychaete zonation and its relation to algal distribution down a vertical cliff in the western Mediterranean (Italy): a structural analysis. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 120, n. 3, p. 263–276, 1988.

GÓMES, J. L. G; DAUVIN, J.-C. Amphipods are good bioindicators of the impact of oil spills on soft-bottom macrobenthic communities. *Marine Pollution Bulletin*, v. 40, n. 11, p. 1017-1027, 2000. GRASSHOFF, K.; KREMLING, K.; EHRHARDT, M. Methods of seawater analysis. New York: John Wiley & Sons, 2009.

GRAY, J. S.; ELLIOTT, M. Ecology of marine sediments: from science to management. Oxford: Oxford University Press, 2009.

GRAY, J. S.; WU, R. S. S.; OR, Y. Y. 2002. Effects of hypoxia and organic enrichment on the coastal marine environment. *Marine Ecology Progress Series*, v. 238, p. 249-279.

GUERRA, N. C.; MANSO, V. A. V. Beachrocks (recifes de arenito). In: OCEANOGRAFIA: UM CENÁRIO TROPICAL. Recife: Ed. Bagaço, p. 109-130, 2004.

GUERRA-GARCÍA, J. M.; CABEZAS, M. P.; BAEZA-ROJANO, E.; IZQUIERDO, D.; CORZO, J.; ROS, M.; SÁNCHEZ, J. A.; DUGO-COTA, A.; FLORES-LEÓN, A. M.; SOLER-HURTADO, M. M. Abundance patterns of macrofauna associated to marine macroalgae along the Iberian Peninsula. *Zoologica Baetica*, v. 22, p. 3-17, 2011.

HÄDER, D. P.; GAO, K. 2015. Interactions of anthropogenic stress factors on marine phytoplankton. *Frontiers in Environmental Science*, v. 3, p. 14.

HADIYANTO, H.; PRINCE, J.; HOVEY, R. K. Latitudinal biodiversity gradients of rocky intertidal assemblages: Spatial scales and complex associations with environmental factors. *Marine Ecology*, e12789, 2024.

- HALPERN, B. S.; FRAZIER, M.; AFFLERBACH, J. et al. Recent pace of change in human impact on the world's ocean. *Scientific Reports*, v. 9, p. 11609, 2019.
- HAMDY, R.; KHALIL, A. E. N.; ATTA, M. M.; IBRAHIM, H. G. Diversity and distribution of polychaetes associated with macroalgae along the Alexandria coast, Egypt. *Journal of king abdulaziz university marine science*, v. 28, n. 2, p. 67-79, 2018.
- HAUSER, A; ATTRILL, M. J.; COTTON, P. A. Effects of habitat complexity on the diversity and abundance of macrofauna colonising artificial kelp holdfasts. *Marine Ecology Progress Series*, v. 325, p. 93-100, 2006.
- HARBONE, J.; HARBONE, A. *Phytochemical methods: A guide to modern techniques of plant analysis*. 3rd ed. New York: Chapman and Hall Int. Ed., 1998.
- HERBERT, R. A. 1999. Nitrogen cycling in coastal marine ecosystems. *FEMS Microbiology Reviews*, v. 23, n. 5, p. 563-590.
- HENDRIKS, I. E.; BOUMA, T. J.; MORRIS, E. P.; DUARTE, C. M. Effects of seagrasses and algae of the *Caulerpa* family on hydrodynamics and particle-trapping rates. *Marine Biology*, v. 157, n. 3, p. 473-481, 2009.
- HORTA, P. A.; AMÂNCIO, E.; COIMBRA, C. S.; OLIVEIRA, E. C. Considerações sobre a distribuição e origem da flora de macroalgas marinhas brasileiras. *Hoehnea*, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 243-265, 2001.
- HOLOMUZKI, J. R.; LOWE, R. L.; RESS, J. A. Comparing herbivory effects of stream macroinvertebrates on microalgal patch structure and recovery. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, v. 40, n. 2, p. 357-367, 2006.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico. 2010.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – 2019.
- JACOBUCCI, G. B.; PEREIRA-LEITE, F. P. The role of epiphytic algae and different species of *Sargassum* in the distribution and feeding of herbivorous amphipods. *Latin American Journal of Aquatic Research*, v. 42, n. 2, p. 353-363, 2014.
- JEAN-CLAUDE DAUVIN,; ANDRADE, H.; DE-LA-OSSA-CARRETERO, J. A.; DEL-PILAR-RUSO, Y.; RIERA, R. Polychaete/amphipod ratios: An approach to validating simple benthic indicators. *Ecological Indicators*, Elsevier, v. 63, p. 89-99, 2016. DOI: 10.1016/j.ecolind.2015.11.055.
- JIANG, L.; et al. 2023. Unraveling seasonal and interannual nutrient variability shows exceptionally high human impact in eutrophic coastal waters. *Limnology and Oceanography*, v. 68, n. 5, p. 1161-1171.

JUMARS, P. A.; DORGAN, K. M.; LINDSAY, S. M. Diet of Worms Emended: An Update of Polychaete Feeding Guilds. *Annual Review of Marine Science*, v. 7, n. 1, p. 497–520, 2015.

KEMPF, M.; MABESOONE, J. M.; TINICO, I. M. Estudo da plataforma continental na área do Recife (Brasil). I. Generalidades sobre o fundo. *Trab. Oceanogr. da Univ. Federal de Pernambuco*, Recife, v. 9/11, p. 125-148, 1967/69.

KLUMP, J. V.; MARTENS, C. S. 1989. The seasonality of nutrient regeneration in an organic-rich coastal sediment: Kinetic modeling of changing pore-water nutrient and sulfate distributions. *Limnology and Oceanography*, v. 34, n. 3, p. 559-577.

KOUAMÉ, M. K.; et al. Macroinvertebrate communities associated with macrophyte habitats in a tropical man-made lake (Lake Taabo, Côte d'Ivoire). *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, n. 400, p. 03, 2011.

KNOWLTON, N.; BRAINARD, R. E.; FISHER, R.; MOEWS, M.; PLAISANCE, L.; CALEY, M. J. Coral Reef Biodiversity. In: MCINTYRE, A. D. *Life in the World's Ocean: Diversity, Distribution and Abundance*. 1. ed. United Kingdom: Blackwell Publishing, cap. 4, p. 65-77, 2010.

LABOREL, D. F.; CASTRO, C. B.; NUNES, F. D.; PIRES, D. O. Recifes brasileiros: o legado de Laborel. Museu Nacional. Série Livros; 64. Rio de Janeiro, p. 116-117, 2019.

LEDESMA, M.; MUNAR, V.; SCHIEVANO, M.; CORTES, F.; BOTTO, F. Does pre-exposure to polluted sediment affect sub-cellular to population-level responses to contaminant exposure in a sentinel species?. *Environmental Pollution*, v. 341, p. 122882, 2024.

LEON, L. L.; BERTOLUCCI, J. B.; SOUZA, A. S.; GOES, A. Q.; BALTHAZAR-SILVA, D.; ROCHA-LIMA, A. B. C. Poluição dos ecossistemas marinhos brasileiros: uma breve revisão sobre as principais fontes de impacto e a importância do monitoramento ambiental. *UNISANTA Bioscience*, v. 9, n. 3, p. 166-173, 2020.

LEITE, D. S. L.; VASCONCELOS, E. R. T. P. P.; RIUL, P.; FREITAS, N. D. A.; MIRANDA, G. E. C. Evaluation of the conservation status and monitoring proposal for the coastal reefs of Paraíba, Brazil: bioindication as an environmental management tool. *Ocean & Coastal Management*, v. 194, p. 105208, 2020.

LEITE, F. P.; BOTTCHEER, C.; LEWINSOHN, I. D.; SIQUEIRA, S. G.; MANSUR, K. F.; LONGO, P. A.; VIEIRA, E. A. Asymmetric effects of changes in the habitat-forming algae *Sargassum* on different associated mobile faunas along São Paulo coast, Brazil. *Marine Ecology*, v. 42, n. 3, e12649, 2021.

LEITE, F. P. P.; TANAKA, M. O.; GEBARA, R. S. 2007. Structural variation in the brown alga *Sargassum cymosum* and its effects on associated amphipod assemblages. *Brazilian Journal of Biology*, v. 67, p. 215-221.

LILLEBO, A. I.; et al. 2002. Nutrient dynamics in the intertidal pools of the Mondego estuary: II-seasonal efflux of PO₄-P and NH₄-N in bare bottom and vegetated pools.

- LIN, Y. V.; CHÂTEAU, P.; NOZAWA, Y.; WEI, C.; WUNDERLICH, R. F.; DENIS, V. Drivers of coastal benthic communities in a complex environmental setting. *Marine Pollution Bulletin*, v. 203, p. 116462, 2024
- MARTIN, D.; GRÉMARE, A. 1997. Secondary production of *Capitella* sp. (Polychaeta: Capitellidae) inhabiting different organically enriched environments. *Marine Ecology Progress Series*.
- MORRONI, L.; RAKAJ, A.; GROSSO, L.; FLORI, G.; FIANCHINI, A.; PELLEGRINI, D.; REGOLI, F. Echinoderm larvae as bioindicators for the assessment of marine pollution: sea urchin and sea cucumber responsiveness and future perspectives. *Environmental Pollution*, v. 335, p. 122285, 2023.
- MENDONÇA, de I.; MONTEIRO, D.; Medeiros, M. D. S.; Mesquita, M. 2020. Investigating teleconnection patterns associated with the rainy season of the northern northeast Brazil using a hidden Markov model. *Climate Dynamics*, 55(7): 2075-2088.
- MOMATA, KYOSUKE; HOSOKAWA, SHINYA. Potential impacts of marine urbanization on benthic macrofaunal diversity. *Scientific Reports*, v. 11, n. 1, p. 1-12, 2021.
- NAVARRO-BARRANCO, C.; et al. 2020. Marine crustaceans as bioindicators: Amphipods as case study. *Fisheries and Aquaculture*, v. 9, p. 435-463.
- NEUMANN, B.; VAFEIDIS, A. T.; ZIMMERMANN, J.; NICHOLLS, R. J. Future Coastal Population Growth and Exposure to Sea-Level Rise and Coastal Flooding - A Global Assessment. *PLoS ONE*, v. 10, n. 3, e0118571, 2015.
- PASSAVANTE, J. Z. O.; FEITOSA, F. A. N. Produção primária do fitoplâncton da plataforma continental de Pernambuco (Brasil): área de Piedade. *Bol. Téc. Cient. CEPENE*, v. 3, n. 1, p. 7-22, 1995.
- PEARSON, T. H.; STANLEY, S. O. Comparative measurement of the redox potential of marine sediments as a rapid means of assessing the effect of organic pollution. *Marine Biology*, v. 53, n. 4, p. 371-379, 1979.
- PORTUGAL, A. B.; CARVALHO, F. L.; DE MACEDO CARNEIRO, P. B.; ROSSI, S.; DE OLIVEIRA SOARES, M. Increased anthropogenic pressure decreases species richness in tropical intertidal reefs. *Marine Environmental Research*, v. 120, p. 44-54, 2016.
- RASBAND, W. ImageJ [Software]. U.S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, 2015.
- RAKAJ, A.; MORRONI, L.; GROSSO, L.; FIANCHINI, A.; PENSA, D.; PELLEGRINI, D.; REGOLI, F. Towards sea cucumbers as a new model in embryo-larval bioassays: *Holothuria tubulosa* as test species for the assessment of marine pollution. *Science of The Total Environment*, v. 787, p. 147593, 2021.
- REISH, DJ. Um estudo ecológico da poluição em Los Angeles-Long Beach Harbors, Califórnia. *Publicações da Fundação Allan Hancock*, Documentos ocasionais, 22, p. 1-117, 1959.

- REVERTER, M.; HELBER, S. B.; ROHDE, S.; DE GOEIJ, J. M.; SCHUPP, P. J. Coral reef benthic community changes in the Anthropocene: Biogeographic heterogeneity, overlooked configurations, and methodology. *Global Change Biology*, v. 28, p. 1956–1971, 2022.
- RIBEIRO, J. W.; ROOKE, J. M. S. Saneamento básico e sua relação com o meio ambiente e a saúde pública. p. 10-11, 2010.
- RICHMOND, ROBERT. Coral Reefs: Present Problems and Future Concerns Resulting from Anthropogenic Disturbance. *Integrative and Comparative Biology*, v. 33, p. 524, 1993. DOI: 10.1093/icb/33.6.524.
- ROSA FILHO, J. S.; ALVES, R. V. A.; SANTOS, I. T.; OLIVEIRA, M. A.; FRÉDOU, F. L.; CRAVEIRO, N. The role of habitat heterogeneity and timescales on the recovery of reef epifaunal communities affected by a massive oil spill in the tropics. *Marine Pollution Bulletin*, v. 199, p. 116001, 2024.
- RUARO, R.; GUBIANI, É. A. A scientometric assessment of 30 years of the Index of Biotic Integrity in aquatic ecosystems: applications and main flaws. *Ecological Indicators*, v. 29, p. 105-110, 2013.
- SANTOS, G. S.; BURGOS, D. C.; LIRA, S.; SCHWAMBORN, R. The impact of trampling on reef macrobenthos in northeastern Brazil: how effective are current conservation strategies? *Environmental Management*, v. 56, n. 4, p. 847-858, 2015.
- SANTOS, L. S. S.; SCHERNER, F.; BURGOS, D. C.; PEREIRA, S. B. P. Avaliação Sazonal dos Impactos da Urbanização Costeira sobre Comunidades de Macroalgas na Costa de Pernambuco, Brasil. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 6, n. 7, p. 42905-42913, 2020.
- SANTOS, L. M. L.; CAMPOS, F. L. Macroalgas no Ensino de Ciências: Uma Abordagem Teórico-Prática em Escola Pública do Ensino Fundamental na Cidade da Parnaíba, Piauí. *Revista ESPACIOS*, v. 37, n. 23, 2016.
- SARMENTO, V. C.; SANTOS, P. J. P. Trampling on coral reefs: tourism effects on harpacticoid copepods. *Coral Reefs*, v. 31, n. 1, p. 135-146, 2012.
- SILVA, D. C.; FALCÃO, A. C. D.; AMARAL, M. F. D. Benthic macroinvertebrates of the emerged reefs of Gaibu and Boa Viagem, Pernambuco, Brazil. *Brazilian Journal of Development*, Curitiba, v. 6, n. 10, p. 80315-80331, oct. 2020.
- SILVA, L. M.; FEITOSA, F. A. N.; FLORES-MONTES, M. J.; OTSUKA, A. Y.; SALDANHA-CORRÊA, F.; NORIEGA, C. Phytoplankton Productivity and Hydrology in an Impacted Estuarine Complex in Northeastern Brazil. *Open Journal of Ecology*, v. 9, n. 10, p. 458-477, 2019.
- SIMÕES, I. P.; GUIMARAENS, M. A.; OLIVEIRA-CARVALHO, M. F.; VALDINHO, J.; PEREIRA, S. M. B. Avaliação florística e sucessão ecológica das macroalgas em recifes na Praia de Piedade (PE). *Neotropical Biology and Conservation*, v. 4, p. 49-56, 2009.

SOUSA, G. S.; CONCENTINO, A. L. M. Macroalgas como indicadoras da qualidade ambiental da Praia de Piedade, PE. *Tropical Oceanography*, v. 32, p. 1-22, 2004.

SPALDING, M. D.; GRENFELL, A. M. New estimates of global and regional coral reef areas. *Coral Reefs*, v. 16, n. 4, p. 225-230, 1997.

STENECK, R. S.; DETHIER, M. N. A functional group approach to the structure of algal-dominated communities. *Oikos*, v. 69, n. 3, p. 476-498, 1994.

STRICKLAND, J. D.; PARSONS, T. R. A practical handbook of seawater analysis. 1972. In: GRASSHOFF, K.; KREMLING, K.; EHRHARDT, M. Methods of seawater analysis. John Wiley & Sons, 2009.

TAKATA, N.; TAKAHASHI, H.; UKITA, S.; YAMASAKI, K.; AWAKIHARA, H. Ecology of *Polydora cornuta* Bosc, 1802 (Spionidae: Polychaeta) in the eutrophic port of Fukuyama, with special reference to life cycle, distribution, and feeding type. *Journal of Water and Environment Technology*, 2010. doi: 10.2965/JWET.2011.259.

TANO, S.; EGGERTSEN, M.; WIKSTRÖM, S. A.; BERKSTRÖM, C.; BURIYO, A. S.; HALLING, C. Tropical seaweed beds are important habitats for mobile invertebrate epifauna. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 183, p. 1-12, 2016.

TAYEB, A.; CHELLALI, M. R.; HAMOU, A.; DEBBAH, S. 2015. Impact of urban and industrial effluents on the coastal marine environment in Oran, Algeria. *Marine Pollution Bulletin*, v. 98, n. 1-2, p. 281-288.

UNESCO. Determinação de pigmentos fotossintéticos em águas do mar. Relatório do Grupo de Trabalho SCOR/UNESCO 17 com Carne de 4 a 6 de Junho de 1964, Monografias sobre Metodologia Oceânica, Paris, 1966. 66 p.

ULLOA, M. J.; ÁLVAREZ-TORRES, P.; HORAK-ROMO, K. P.; ORTEGA-IZAGUIRRE, R. Harmful algal blooms and eutrophication along the mexican coast of the Gulf of Mexico large marine ecosystem. *Environmental development*, v. 22, p. 120-128, 2017.

VASCONCELOS, E. R. T. P. P. Macroalgas marinhas como ferramenta de avaliação do estado de conservação de ambientes recifais em Pernambuco. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco; Centro de Tecnologia e Geociência, 2016.

VASCONCELOS, E. R. T. P. P.; VASCONCELOS, J. B.; REIS, T. N. V.; CONCENTINO, A. L. M.; MALLEA, A. J. A.; MARTINS, G. M.; NETO, A. I.; FUJII, M. T. 2019. Macroalgal responses to coastal urbanization: relative abundance of indicator species. *Journal of Applied Phycology*, v. 31, n. 2, p. 893-903.

VICENTE, V. S.; ZANATTA, G. M.; BIANCHINI, A.; TURRA, A.; AMÂNCIO, C. Biodiversity of macroalgae-associated invertebrates in the marine protected area of Alcatrazes archipelago, southeastern Brazil. *Biota Neotropica*, v. 24, p. e20241610, 2024.

VIEIRA, R.; et al. Macroinvertebrates associated with macroalgae within Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA) in earthen ponds: potential for accessory production. *Journal of Marine Science and Engineering*, v. 12, n. 8, p. 1369, 2024.

VINAGRE, P. A.; FERNANDES, F.; SANTOS, P. J. Response of macroalgae and macroinvertebrates to anthropogenic disturbance gradients in rocky shores. *Ecological Indicators*, v. 61, p. 850-864, 2016.

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, n. 1, p. 15-30, 2025.

ANEXO

Abundância da macrofauna (média $\pm$ desvio-padrão).

Taxa	Boa Viagem		Pina	
	Seco	Chuvoso	Seco	Chuvoso
Cnidaria				
Anthozoa	20,81 $\pm$ 35,47	4,44 $\pm$ 14,09	12,36 $\pm$ 20,16	8,97 $\pm$ 18,51
Platyhelminthes				
Turbellaria	32,82 $\pm$ 32,83	78,37 $\pm$ 79,20	27,02 $\pm$ 40,74	43,93 $\pm$ 62,82
Mollusca				
Polyplacophora	1,95 $\pm$ 3,59	0,25 $\pm$ 1,29	4,25 $\pm$ 8,35	1,58 $\pm$ 4,07
Fissurellidae	25,87 $\pm$ 37,50	8,41 $\pm$ 12,51	8,49 $\pm$ 14,26	3,08 $\pm$ 7,97
Caecum	2,28 $\pm$ 5,06	0,4 $\pm$ 2,02	0,31 $\pm$ 1,31	0,7 $\pm$ 3,14
E affine	9,28 $\pm$ 18,69	2,03 $\pm$ 5,08	27,9 $\pm$ 52,48	7,28 $\pm$ 19,41
Bivalve	6,91 $\pm$ 16,19	0,27 $\pm$ 1,31	0,79 $\pm$ 2,62	0 $\pm$ 0
Trochidae	0,04 $\pm$ 0,45	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0
Nudibranchia	0,27 $\pm$ 1,20	0,3 $\pm$ 1,72	0,33 $\pm$ 1,57	0,93 $\pm$ 3,72
Litorina	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	48,54 $\pm$ 187,65	12,56 $\pm$ 48,86
Gastropoda	3,46 $\pm$ 9,89	1,98 $\pm$ 6,18	1,45 $\pm$ 3,63	1,65 $\pm$ 5,12
E. Bellum	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	0,05 $\pm$ 0,55	0,07 $\pm$ 0,85
Stramonita	0,03 $\pm$ 0,41	0,052 $\pm$ 3,19	0,12 $\pm$ 1,32	0,25 $\pm$ 1,40
Haminoeidea	1,69 $\pm$ 5,25	1,47 $\pm$ 5,70	0,27 $\pm$ 1,31	0,98 $\pm$ 4,18
Mitrela	0,04 $\pm$ 0,53	0,05 $\pm$ 0,64	0,06 $\pm$ 0,66	0,27 $\pm$ 2,19
Cylichnidae	0,22 $\pm$ 1,30	0,15 $\pm$ 0,70	0,03 $\pm$ 0,27	0,07 $\pm$ 0,77
Pinctada	0,03 $\pm$ 0,38	0,22 $\pm$ 1,31	0,36 $\pm$ 4,02	0,16 $\pm$ 1,25
Epitonidae	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0	0,27 $\pm$ 2,02	0 $\pm$ 0
Annelida				
Nereididae	67,71 $\pm$ 61,79	75,26 $\pm$ 73,14	63,83 $\pm$ 62,86	65,42 $\pm$ 65,98
Syllidae	55,14 $\pm$ 66,29	35,16 $\pm$ 29,05	21,47 $\pm$ 34,50	29,37 $\pm$ 42,56
Eunicidae	16,53 $\pm$ 40,74	11,15 $\pm$ 12,93	2,99 $\pm$ 7,82	2,25 $\pm$ 8,68
Spionidae	3,91 $\pm$ 7,96	1,59 $\pm$ 5,55	38,47 $\pm$ 118,46	35,22 $\pm$ 122,64
Phyllodocidae	2,44 $\pm$ 5,29	1,34 $\pm$ 3,44	0,34 $\pm$ 1,38	0,69 $\pm$ 3,25
Polynoidae	1,17 $\pm$ 8,90	0,48 $\pm$ 2,32	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0
Orbiniidae	2,21 $\pm$ 6,48	2,89 $\pm$ 5,58	3,87 $\pm$ 15,72	1,59 $\pm$ 5,32
Cirratulidae	3,91 $\pm$ 16,42	2,77 $\pm$ 5,44	0,87 $\pm$ 3,83	0,76 $\pm$ 4,34
Sabelidae	0,64 $\pm$ 2,35	0 $\pm$ 0	0,10 $\pm$ 0,79	0 $\pm$ 0
Capitelidae	2,38 $\pm$ 5,59	2,37 $\pm$ 8,13	4,35 $\pm$ 15,75	35,73 $\pm$ 130,85
Polychaeta	10,08 $\pm$ 26,99	0,20 $\pm$ 1,32	1,14 $\pm$ 8,81	0,07 $\pm$ 0,75
Ampharetidae	2,12 $\pm$ 8,98	0,23 $\pm$ 1,44	0,05 $\pm$ 0,60	0,19 $\pm$ 2,03
Hesionidae	1,44 $\pm$ 4,69	0,23 $\pm$ 1,30	0 $\pm$ 0	0 $\pm$ 0
Terebelidae	6,31 $\pm$ 19,70	0,24 $\pm$ 1,26	0,45 $\pm$ 2,64	0,04 $\pm$ 0,43
Oligochaeta	0,09 $\pm$ 0,97	0,05 $\pm$ 0,59	0,05 $\pm$ 0,54	0 $\pm$ 0
Sipuncula	1,1 $\pm$ 3,45	0,31 $\pm$ 2,67	0,36 $\pm$ 2,15	0,21 $\pm$ 1,64
Arthropoda				

Amphipoda	120,36 ± 202,46	193,99 ± 277,53	387,96 ± 465,96	897,30 ± 1168,69
Caprellidae	2,96 ± 9,36	2,79 ± 11,32	0,44 ± 2,03	2,83 ± 14,94
Tanaidacea	103,64 ± 117,03	82,83 ± 106,91	6,54 ± 14,98	18,58 ± 96,61
Brachyura	0,40 ± 1,89	3,32 ± 10,67	0,22 ± 1,28	1,39 ± 4,70
Cirolana	0,05 ± 0,39	0,66 ± 2,67	3,94 ± 14,33	23,95 ± 68,50
Isopoda	0,97 ± 3,44	1,02 ± 5,39	2,52 ± 7,96	22,24 ± 56,21
Pycnogonida	4,36 ± 7,85	0,29 ± 1,83	2,98 ± 10,61	0,95 ± 3,75
Ostracoda	0,38 ± 2,12	0 ± 0	0,05 ± 0,40	0,13 ± 1,04
Chironomidae	0,45 ± 2,03	0 ± 0	0,01 ± 0,10	1,34 ± 5,35
Cumacea	0,06 ± 0,61	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0
Paguridae	0 ± 0	0 ± 0	0,21 ± 1,91	0,11 ± 1,25
Janaira	0,25 ± 1,57	0,08 ± 0,85	0,24 ± 1,73	0,11 ± 1,20
Idoteidae	0,21 ± 1,18	0 ± 0	0,40 ± 2,48	0,28 ± 2,36
Nemertea				
Nemertea	2,47 ± 6,54	5,85 ± 8,58	1,5 ± 3,46	2,21 ± 6,4
Echinodermata				
Ophiuroidea	0,09 ± 0,74	0 ± 0	0 ± 0	0 ± 0
Holothuria	0,59 ± 2,49	0 ± 0	0,1 ± 0,83	0 ± 0
Echinoidea	0 ± 0	0,43 ± 1,97	0 ± 0	0,8 ± 3,50