

**JULIANO GOMES DE SOUZA**

**USO DA ESPÉCIE DE CARANGUEJO RECIFAL *Eriphia gonagra* (FABRICIUS,  
1781) (DECAPODA: BRACHYURA: ERIPHIIDAE) COMO BIOINDICADORA DE  
IMPACTOS AMBIENTAIS NO LITORAL DE PERNAMBUCO**

**SERRA TALHADA,**

**2023**

**JULIANO GOMES DE SOUZA**

**USO DA ESPÉCIE DE CARANGUEJO RECIFAL *Eriphia gonagra* (FABRICIUS, 1781) (DECAPODA: BRACHYURA: ERIPHIIDAE) COMO BIOINDICADORA DE IMPACTOS AMBIENTAIS NO LITORAL DE PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação da Universidade Federal Rural de Pernambuco como exigência para obtenção do título de Mestre.

Linha de pesquisa: Ecologia, Conservação e uso da Biodiversidade de Ambientes Aquáticos

**Prof.(a) Dr.(a) Jesser Fidelis de Souza Filho**  
Orientador

**Prof.(a) Dr.(a) Girlene Fábila Segundo Viana**  
Co-orientadora

**SERRA TALHADA,**

**2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Sistema Integrado de Bibliotecas  
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

S729uu

Souza, Juliano Gomes de

USO DA ESPÉCIE DE CARANGUEJO RECIFAL *Eriphia gonagra* (FABRICIUS, 1781) (DECAPODA: BRACHYURA: ERIPHIIDAE) COMO BIOINDICADORA DE IMPACTOS AMBIENTAIS NO LITORAL DE PERNAMBUCO / Juliano Gomes de Souza. - 2023.

78 f. : il.

Orientador: Jesser Fidelis de Souza Filho.  
Coorientadora: Girlene Fabia Segundo Viana.  
Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, Serra Talhada, 2023.

1. Petróleo. 2. Alimentação. 3. Genotoxicidade. I. Filho, Jesser Fidelis de Souza, orient. II. Viana, Girlene Fabia Segundo, coorient. III. Título

---

CDD 338.95

**JULIANO GOMES DE SOUZA**

**USO DA ESPÉCIE DE CARANGUEJO RECIFAL *Eriphia gonagra* (FABRICIUS, 1781) (DECAPODA: BRACHYURA: ERIPHIIDAE) COMO BIOINDICADORA DE IMPACTOS AMBIENTAIS NO LITORAL DE PERNAMBUCO**

Dissertação julgada adequada para obtenção do título de mestre em Biodiversidade e Conservação. Defendida e aprovada em 31/05/2023 pela seguinte Banca Examinadora.

---

Prof. Dr. Jesser Fidelis de Souza-Filho - Orientador  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Mauro Melo Junior – Membro Interno  
Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Dr<sup>a</sup>. Julianna de Lemos Santana – Membro Externo  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Renata Akemi Shinozaki Mendes – Membro Interno (suplente)  
Universidade Federal Rural de Pernambuco/ Unidade Acadêmica de Serra Talhada

---

Prof.Dr.José Souto Rosa Filho – Membro Externo (suplente)  
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho *in memoriam* a minha avó  
Autelina Davi da Silva

## **Agradecimentos**

Agradeço a Universidade Federal Rural de Pernambuco, Unidade Acadêmica de Serra Talhada pelo suporte e apoio.

Ao Programa de Pós-graduação em Biodiversidade e Conservação, assim como todo corpo docente pelos ensinamentos.

Ao órgão de fomento Capes pela concessão de bolsa e a Facepe pelo financiamento do projeto.

Ao meu orientado Prof. Jesser Fidelis de Souza-Filho, pela confiança depositada em mim por esses dois anos, bem como todos os ensinamentos no qual incorporarei na minha vida.

À minha coorientadora Profa. Girlene Fábria Segundo Viana, por toda atenção e cuidado possibilitando a construção desse trabalho.

Ao Museu de Oceanografia na Universidade Federal de Pernambuco, por ceder suas dependências possibilitar as análises de conteúdo estomacal.

Ao laboratório Organomar pelas análises de HPAs e Metais Traços.

Ao Laboratório de Genômica Evolutiva e Ambiental e a Profa. Mônica Lúcia Adam pelo auxílio no desenvolvimento da metodologia para análise de danos genômicos.

Ao laboratório de Genética e a Profa. Claudia Rodeh por ceder o espaço do seu laboratório e possibilitar as análises de Ensaio cometa.

À Camila Lima, Camila Araújo, Gislane Pereira e pelo auxílio no desenvolvimento do Ensaio Cometa e a Aleson Silva pelo treinamento nas a analises do mesmo.

À Aline Rios e Julianna Lemos por coletar e ceder uma parte do material analisado.

Agradeço a minha Família, meu pai João José de Souza, minha Mãe Felismina Gomes de Souza e a minha irmã Adriana Gomes de Souza, por me assegurar e acreditar nas minhas decisões bem como incentivar a nunca desistir e sempre procurar o melhor para minha vida.

Aos amigos que fiz no Museu de Oceanografia em especial os do Labcarcino, pelos momentos alegres além do auxílio nas saídas de campo.

Aos meus amigos do Mestrado Alyson, Inayara, Nathane e Verônica, que apesar da pandemia não ter permitido nos conhecermos pessoalmente, mas uma grande amizade foi formada nos momentos que tivemos juntos.

E por fim as minhas amigas Larissa Joyce, Maria Angélica, Elenice Santos e Dona Lucicleide.

## Resumo

Em meados do segundo semestre de 2019 grande parte dos recifes enfrentaram o derramamento de petróleo no qual, estruturas do recife foram cobertas por óleo impactando toda a fauna que ali se encontravam. O estudo tem como objetivo observar, através da alimentação e da análise de danos genéticos, o potencial do caranguejo *Eriphia gonagra* como bioindicador de derramamento de petróleo. Os indivíduos foram mensurados e em laboratório foram extraídos os estômagos para as análises de conteúdo estomacal. Foram realizadas coletas de sedimento nas praias e posteriormente a extração e análise dos HPAs e MT. Após um ano do evento foram coletados animais e analisados danos de genoma (Micronúcleo e Ensaio Cometa) a fim de observar se existe persistência de contaminação. Para o estudo de alimentação, os indivíduos foram coletados levando em consideração o período do derramamento (ANT, DUR, DEP). As coletas de MC e EC foram realizadas após um ano do derramamento. No período do derramamento, os resultados apontam um aumento nos níveis de HPAs e MT em Gaibu, foram encontradas diferenças nos itens alimentares, principalmente praia de Carneiros, com uma alimentação rica em macroalgas. Os danos genotóxicos revelaram uma pressão moderada causada pela contaminação crônica, não necessariamente correlacionada com o derramamento de óleo de 2019. Na alimentação, dois fatores são preponderantes para explicar os impactos causados alimentação da *E. gonagra* na Praia de Carneiros. O primeiro, correlacionado com a diminuição das presas que morreram após a chegada do óleo, o segundo são os efeitos duradouros dos contaminantes (HPAs e MT) na capacidade de predação da espécie. Os danos genéticos demonstram que a espécie é exposta a contaminação crônica não havendo correlação direta com o derramamento.

**Palavras-chave:** Petróleo. Alimentação. Genotoxicidade.

## **Abstract**

In the middle of the second half of 2019, a large part of the reefs faced an oil spill in which reef structures were covered by oil, impacting all the fauna found there. The study aims to observe, through feeding and analysis of genetic damage, the potential of the crab *Eriphia gonagra* as a bioindicator of oil spills. The individuals were measured and the stomachs were extracted in the laboratory for stomach content analyses. Sediment collections were carried out on the beaches and later the extraction and analysis of PAHs and Trace Metals. One year after the event, animals were collected and genome damage analyzed (Micronucleus and Comet Assay) to observe if there is a persistence of contamination. For the feeding study, individuals were collected taking into account the spill period (ANT, DUR, DEP). For the study, collections were carried out one year after the spill. During the spill period, the results point to an increase in the levels of PAHs and MT in Gaibu, differences were found in food items, mainly Carneiros beach, with a diet rich in macroalgae. Genotoxic damage revealed a moderate pressure caused by chronic contamination, not necessarily correlated with the 2019 oil spill. In terms of food, two factors are predominant to explain the impacts caused by *E. gonagra* feeding on Praia de Carneiros. The first has to be the decrease in prey that died after the arrival of the oil, the second is the lasting effects of contaminants (HPAs and MT) on the predation capacity of the species. Genetic damage demonstrates that the species is exposed to chronic contamination, with no direct correlation with the spill.

**Keywords:** Petroleum. Feeding. Genotoxicity.

## Lista de figuras

### **ARTIGO 1: Alimentação do caranguejo *Eriphia gonagra* (Fabricius, 1781) (Decapoda: Brachyura: Eriphiidae) como ferramenta para avaliar os impactos de derramamento de petróleo**

Figura 1: Localização das áreas de estudos nas praias de Gaibu e Carneiros (Pernambuco, Brasil).....32

Figura 2: *Eriphia gonagra*. a) Vista dorsal de um indivíduo fêmea, b) Vista interna de uma fêmea (a seta indica a localização do estômago). Escala: 1 cm.....34

Figura 3: Estratégia alimentar do caranguejo *E. gonagra* nos três períodos do derramamento. a, b, c: Praia de Gaibu, antes, durante e depois do derramamento, respectivamente. d, e, f: Carneiros antes, durante e depois do derramamento, respectivamente. MOD: matéria orgânica digerida; MOL: Mollusca; MP: Microplástico; MAC: Macroalgas; ART: Arthropoda; SED: Sedimento; CHIR: Chironomidae; STO: Estomatopoda; PAG: Paguroidea; INS: Insecta; HAM: Haminoeidae; OVO: Ovos; ECH: Echinoidea; BRA: Brachiura; AMP: Amphipoda; ACA: Acari; ZOE: Zoea; POL: Polychaeta; ISO: Isopoda; FOR: Foraminifera; TAN: Tanaidacea; MIT: Mithracidae.....41

Figura 4. Análise de componentes principais aplicada aos dados de HPAs e MT nos sedimentos dos recifes de arenito das Praias de Gaibu (GAI) e Carneiros (CAR) nos períodos antes (ANT), durante (DUR) depois (DEP) derramamento do óleo. Naf: naftaleno; 2-MN: 2-metil naftaleno; Aci: acenaftileno; Ace: acenafteno; Flu: fluoreno, Fen: fenantreno; Ant: antraceno; Flo: fluoranteno; Pir: pireno; B[a]A: benzo[a]antraceno; Cri: criseno; B[b]F: benzo[b]fluoranteno; B[k]F: benzo[k]fluoranteno; B[a]P: benzo[a]pireno; I[123]P: indeno[1,2,3-cd]pireno; D[a,h]A: dibenzo[a,h]antraceno; B[g,h,i]P: benzo[g,h,i]perileno...44

Figura 5. Análise de Redundância aos dados de composição alimentar e contaminantes (HPA's e MT) nos sedimentos do recifes de arenito das Praias de Gaibú (GAI) e Carneiros (CAR) nos períodos antes (ANT), durante (DUR) e depois (DEP) do derramamento do óleo. Naf: naftaleno; Zn: zinco; Cr: cromo; Ni: níquel.....45

**ARTIGO 2:Análise dos danos genômicos em caranguejos *Eriphia gonagra* (Fabricius, 1781) (Brachyura:Eriphiidae) de áreas recifais pernambucana impactadas pelo derramamento de petróleo**

Figura 1: Imagem dos hemócitos da *E. gonagra* após a coloração de Giemsa através do microscópio óptico (100x). MN: micronúcleo; NCEL: células normais; APT: células apopticas.....67

Figura 2: Frequência de células micronucleadas (média ± erro) observada nos caranguejos *E. gonagra*, letras representam diferenças significamente distintas. BC: Barra de Catuama; CA: Carneiros; GB: Gaibu.....67

Figura 3: Frequência de células apoptóticas (média ± erro) observada nos caranguejos *E. gonagra*, letras representam diferenças significamente distintas. BC: Barra de Catuama; CA: Carneiros; GB: Gaibu.....68

Figura 4: Classificação dos nucleoides da *E. gonagra* de acordo com o grau de danos; 0 - 4, onde 0 representa a ausência de danos e 4 células com o máximo de danos.....69

Figura 5:Análise temporal do índice de dano genômico (média ± erro) na *E. gonagra* ns três recifes. a: Barra de Catuama; b: Carneiros; c: Gaibu.....69

## Lista de tabelas

### **ARTIGO 1: Alimentação do caranguejo *Eriphia gonagra* (Fabricius, 1781) (Decapoda: Brachyura: Eriphiidae) como ferramenta para avaliar os impactos de derramamento de petróleo**

Tabela 1: composição da dieta (FO(%): frequência de ocorrência; V(%): volume; IA: Índice alimentar) da *E. gonagra*. ANT: antes; DUR: durante; DEP: depois; MOD: matéria orgânica digerida; MOL: Mollusca; DS: detrito sintético; MAC: Macroalgas; ART: Arthropoda; SED: Sedimento; CHIR: Chironomidae; STO: Estomatopoda; PAG: Paguroidea; INS: Insecta; HAM: Haminoeidae; OVO: Ovos; ECH: Echinoidea; BRA: Brachiura; AMP: Amphipoda; ACA: Acari; ZOE: Zoea; POL: Polychaeta; ISO: Isopoda; FOR: Foraminifera; TAN: Tanaidacea; MIT: Mithracidae.....39

Tabela 2: Resultados da PERMANOVA de dois fatores aplicada aos dados de dieta de *E. gonagra*.....40

Tabela 3: Concentração de HPAs e MT (ng/g) coletados no sedimento de duas praias estudadas. Os dados são média  $\pm$  erro padrão. nd=Não detectado.....43

Tabela 4: Seleção dos elementos que mais influenciaram a composição dos dados alimentares no modelo DistLM.....45

### **ARTIGO 2: Análise dos danos genômicos em caranguejos *Eriphia gonagra* (Fabricius, 1781) (Brachyura: Eriphiidae) de áreas recifais pernambucana impactadas pelo derramamento de petróleo**

Tabela 1: Células danificadas (%) e índice de danos genômicos (ID) encontrados na *E. gonagra* nos três recifes de arenito.....70

## Lista de abreviaturas e siglas

°C	Graus Celsius
µl	Microlitro
µm	Micrometro
2-MN	2-metil naftaleno
ACA	Acari
Ace	Acenafteno
Aci	Acenaftileno
AMP	Amphipoda
ANOVA	Análise de variância
ANT	Antes
Ant	Antraceno
APA	Área de proteção ambiental
APT	Células apoptóticas
ART	Arthropoda
As	Arsênio
B[a]A	Benzo[a]antraceno
B[a]P	Benzo[a]pireno
B[b]F	Benzo[b]fluoranteno
B[g,h,i]P	Benzo[g,h,i]perileno
B[k]F	Benzo[k]fluoranteno
BRA	Brachiura
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CAR	Praia de Carneiros
CAT	Praia Barra de Catuama
CHIR	Chironomidae
Cr	Cromo
Cri	Criseno
Cu	Cobre
CV	Coefficiente de variação
D[a,h]A	Dibenzo[a,h]antraceno
dbRDA	Análise de redundância baseada em distância
DEP	Depois

DistLM	Modelo de regressão linear baseado em distância
DMSO	Dimetilsulfóxido
DNA	Ácido desoxirribonucleico
DS	Detrito sintético
DUR	Durante
EC	Ensaio cometa
ECH	Echinoidea
ER	Estado de repleção
FACEP	Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco
Fen	Fenantreno
Flo	Fluoranteno
Flu	Fluoreno
FO%	Frequência de ocorrência
FOR	Foraminifera
g	Gramma
GAI	Praia de Gaibu
HAM	Haminoeidae
HCl	Ácido clorídrico
HClO <sup>4</sup>	Ácido perclórico
HF	Ácido fluorídrico
HNO <sup>3</sup>	Ácido nítrico
HPA	Hidrocarboneto Policíclico Aromático
I[123]P	Indeno[1,2,3-cd]pireno
IA	Índice alimentar
ICP- MS	Espectrometria de massa plasmática indutivamente acoplada
INS	Insecta
ISO	Isopoda
LAGEA	Laboratório de Genômica Evolutiva e Ambiental
LM	Low melting
mA	Miliampere
MAC	Macroalgas
min	Minuto
MIT	Mithracidae

ml	Mililitros
MN	Micronúcleo
MOD	matéria orgânica digerida
MOL	Mollusca
MOUFPE	Museu de Oceanografia Prof. Petrônio Alves Coelho
MT	Metais Traços
Naf	Naftaleno
NCEL	Células normais
nd	Não detectado
ng	Nanograma
ng/g	Nanograma por grama
Ni	Níquel
ORGANOMAR	Laboratório de Compostos Orgânicos em Ecossistemas Costeiros e Marinhos
OVO	Ovos
PAG	Paguroidea
Pb	Chumbo
PCA	Análise de componentes principais
Permanova	Análise de variância multivariada permutacional
Pi	abundância específica da presa
Pir	Pireno
POL	Polychaeta
SED	Sedimento
STO	Estomatopoda
TAN	Tanaidacea
V	Volts
V%	Volume
Zn	Zinco
ZOE	Zoea

## Sumário

<b>1- Introdução.....</b>	<b>16</b>
<b>2- Referências bibliográficas.....</b>	<b>20</b>
<b>3- Artigo científico.....</b>	<b>28</b>
<b>3.1- Alimentação do caranguejo <i>Eriphia gonagra</i> (Fabricius, 1781) (Decapoda: Brachyura: Eriphiidae) como ferramenta para avaliar os impactos de derramamento de petróleo .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2- Análise dos danos genômicos em caranguejos <i>Eriphia gonagra</i> (Fabricius, 1781) (Brachyura:Eriphiidae) de áreas recifais pernambucana impactadas pelo derramamento de petróleo.....</b>	<b>61</b>
<b>4. Conclusões.....</b>	<b>78</b>

## 1- Introdução

As atividades de exploração de petróleo movimentam uma grande quantidade monetária, contudo suas ações estão sujeitas a acidentes, tornando assim os eventos de derramamento acidental um fenômeno comum, gerando estressores ambientais nas principais áreas produtivas (ANDRAWS et al., 2021). Em sua maioria, os acidentes com derramamento de petróleo, são causados por abalroamento entre embarcações ou por encalhes em locais rasos, que ocorrem próximo à costa, dentro de 10 milhas náuticas (ITOPF, 2020).

As rotas oceânicas são as melhores formas de transporte atualmente e cada vez mais o Brasil passa pelo aumento de rotas e fluxo de embarcações (TOURNADRE, 2014). Essa expansão possibilita e intensifica as chances de acidentes, o que aumenta os incidentes entre embarcações, potencializando os riscos de derramamentos de petróleo nas principais rotas marítimas (MUSK, 2012). Desta forma, isso torna os impactos do derramamento de petróleo em áreas costeiras uma situação recorrente, ligada ao crescimento das atividades do setor, tendo como problema o potencial de degradação que estes eventos podem causar ao ambiente (SOUSA et al., 2013).

Dentre eles destacam-se os impactos econômicos e turísticos associados a contaminação (CHEONG, 2012; RIBEIRO et al., 2020). Neste contexto, associados à presença do óleo no ambiente, existem também outros problemas que afetam, não apenas as comunidades biológicas, mas também os seres humanos que dependem diretamente dos recursos locais, podendo ocasionar uma série de problemas sociais, culturais e psicológicos (PALINKAS et al., 1993).

A partir do segundo semestre de 2019, fragmentos de óleo começaram a atingir a costa brasileira, em especial na região Nordeste, sendo reportadas manchas de óleo desde o litoral do Maranhão até as praias do Rio de Janeiro (WWF, 2019; LESSA et al., 2021). Após análises geoquímicas forenses das amostras, os resultados demonstraram que as partículas possuíam características químicas compatíveis ao óleo venezuelano (OLIVEIRA et al., 2020). Estimativas apontam um volume de óleo derramado variando entre 5000 e 12500m<sup>3</sup>, a cerca de 700 km da costa, permanecendo desconhecido a fonte do derramamento e o real causador desse desastre (LESSA et al., 2021; ZACHARIAS et al., 2021).

Uma série de fatores fizeram com que esse evento tivesse tal proporção, a falta de um real responsável, algo que impossibilita as ações de identificação do local do acidente, as características do óleo, impedindo a rápida detecção das manchas, além de uma série de tomadas de decisões governamentais tardias, que fizeram com que a comunidade civil tivesse

que atuar no processo de limpeza e extração do óleo (LOURENÇO et al., 2020; PENA et al., 2020). Toda essa junção de fatores auxiliou na ampliação do derramamento tornando assim um dos maiores desastres ocorrido na América do Sul, como também um dos mais importantes na região tropical (SOARES et al., 2020 a, b; MAGALHÃES et al. 2021).

Devido às características do físico-químicas do óleo, apresentando uma densidade maior que a água, não houve uma flutuação na superfície marinha, impossibilitando assim a visão da deriva das manchas de óleo, fazendo com que sua detecção só ocorresse muito próximo à costa (LOURENÇO et al., 2020) impedindo que houvesse uma ação preventiva e bem mais eficaz. Devido a extensão do problema, impactos econômicos e ambientais foram reportados em 11 estados, 130 municípios e 1009 localidades, além de cerca de mais de 55 áreas de preservação costeira importantes para a manutenção da vida marinha (SOARES et al., 2020 a, b; IBAMA, 2020; MAGALHÃES et al., 2021).

O efeito do óleo varia conforme o ambiente impactado e o seu grau de sensibilidade ao evento, tornando assim necessário a investigação dos possíveis fatores de estresse na fauna (WAKE, 2005). No geral, os riscos estão ligados ao potencial das manchas de óleo atingirem as principais áreas mais produtivas junto à costa, como os mangues, estuários e recifes que possuem uma vasta variedade de organismos delicados, com as mais complexas vulnerabilidades (GUNDLACH e HAYES, 1978). A presença do petróleo no ambiente marinho possibilita a formação de uma série de compostos orgânicos tóxicos, que associado à sua fragmentação em substâncias secundárias, causam e potencializam ainda mais os danos ambientais (ANDRADE et al., 2010).

Esses efeitos possuem duas atuações sobre a fauna, inicialmente um impacto agudo, com a mortalidade muito grande dos animais, seguido pelos efeitos de médio e longo prazo devido a presença de resíduos secundários (SCHLACHER et al., 2011). Por isso, é necessário o monitoramento utilizando diversas ferramentas, além do uso de outros grupos de bioindicadores, para avaliar a persistência dos efeitos e ter noção do real impacto (BOLOGNESI et al., 2006; SCHLACHER et al., 2011). Dentre os ambientes marinhos, os organismos que vivem nas regiões entremarés são passíveis a uma ação maior do impacto (SAMIULLAH, 1985; GARCIA et al., 2020).

A costa brasileira possui importantes áreas produtivas para a manutenção da vida marinha e dentre esses ambientes se encontram os recifes de arenito. Os recifes de arenito são distribuídos entre a região do Cabo de São Roque, Rio Grande do Norte e a desembocadura do Rio São Francisco, podendo ainda ter algumas formações avistadas no litoral da Bahia e Espírito Santo, sendo o seu máximo encontrado entre as cidades de Recife,

Pernambuco e Maceió, Alagoas (VILLAÇA, 2009). Estas formações recifais permitem atuar como substratos suplementar para a colonização de diversos invertebrados como poliquetas, moluscos e crustáceos, formando assim microambientes adicionais, possibilitando que os seres tenham diversos benefícios de um ambiente de grande energia (CACABELOS et al., 2010; SARMENTO e SANTOS, 2012). Devido a sua baixa mobilidade os organismos bentônicos são fundamentais componentes na detecção de perturbações ambientais. Segundo Elmgren et al. (1983) um derramamento de petróleo pode atuar na fauna bentônica e dependendo do grau essa ação pode reverberar por grande tempo necessitando assim uma investigação sobre os efeitos na fauna.

Historicamente, os recifes de arenito, já passam por perturbações antrópicas devido ao seu apelo turístico e a formação de piscinas naturais o que gera atrativo principalmente nessas áreas (DEBEUS e CRISPIM, 2008). Com presença humana intensa aliados ao aporte de efluentes agem de forma substancial sobre a fauna que ali residem gerando assim pressão sobre toda a comunidade (BROSMAN e CRUMRINE, 1994; MARINHO et al., 2012; VASCONCELOS et al., 2019). Além de todo o impacto já existente houve também a chegada de extensa manchas de petróleo que cobriu partes consideradas dessas formações.

Diversos trabalhos que foram desenvolvidos ao longo do tempo mostram, em sua maioria, os efeitos sobre o derramamento de petróleo envolvendo peixes e moluscos bivalves (BOLOGNESI et al., 2006; FRANCONI et al., 2007; BOLOGNESI e HAYASHI, 2011; BARŠIENĖ et al., 2012; GIANNAPAS et al., 2012; WHITEHEAD et al., 2012; DELUNARDO et al., 2015; MARTINOVIĆ et al., 2015). Contudo os crustáceos decápodes são um dos importantes veículos na detecção de impactos, uma vez que conseguem absorver e metabolizar em seu corpo uma série de componentes químicos do ambiente no qual estão inseridos (FIRAT et al., 2008; BAYRAKLI, 2021). Estes animais conseguem mostrar efeitos desde a sua fase larval e na fase adulta podem acumular altas concentrações de compostos de origem petrogênica, sejam elas HPAs e MTs, e com isso transferir para nichos tróficos superiores (ROCHA et al., 2012; IHUNWO e IBEZIM-EZEANI, 2021, KARAM e AL-WAZZAN, 2021). E dessa forma entender os efeitos letais e subletais que o óleo vem a provocar nesses animais são importantes uma vez que tais ações podem afetar a população que se encontram inseridas no local (GILTZ e TAYLOR, 2017).

Em uma mesma população, os indivíduos podem responder de diversas formas, fatores como sexo e período de vida pode tornar mais ou menos susceptível ao impacto (ZENGEL et al., 2016; CAMPELO et al., 2021; SANTANA et al., 2022a), alterando padrões populacionais ou até mesmo o recrutamento das espécies. Outro padrão de resposta a ser

observado são as alterações fisiológicas e morfológicas que podem aparecer em no organismo dos caranguejos ao contato com o contaminante. De forma aguda, além da morte dos animais danos em partes externas do corpo, principalmente patas e carapaças são comuns e observadas, além de alterações internas como dano em brânquias e outros órgãos, causando complicações para esses indivíduos (FELDER et al., 2014; PHUKAOKAEW e SUKHSANGCHAN, 2019). Os componentes que são liberados na água, podem agir no sistema nervoso dos animais causando efeitos neurotóxicos influenciando diretamente em padrões de respostas comuns para a espécie, sejam eles movimentos de fuga, pastagem ou construções de galerias intensificando assim uma pressão nas espécies (CULBERTSON et al., 2007).

Os decápodes consistem em um grupo muito diversificado. Segundo De Graves et al., (2009) cerca de 14.334 espécies são descritas para a ordem, sendo reportado para o Brasil mais de 500 espécies (AMARAL e JABLONSKI, 2005). Estes animais possuem uma ampla distribuição ocorrendo desde as áreas polares até as regiões tropicais, sendo a sua maior diversidade nessa área (BOSCHI, 2000). Dos decápodes, uma quantidade expressiva de espécies faz uso dos recifes de arenito, tornado essas áreas essenciais na manutenção da vida desse grupo (SOUZA, 2018).

Dentre os crustáceos decápodes habitantes dos recifes de arenito do litoral brasileiro, está a espécie *Eriphia gonagra* (Fabricius, 1781). Pertencente à família Eriphiidae, sendo a única espécie do gênero que ocorre na costa brasileira, a espécie tem a sua ocorrência documentada principalmente no Atlântico Oeste, estendendo-se desde as Bermudas até a Patagônia e na costa brasileira, sendo comumente encontrada habitando os costões rochosos e recifes de arenito, sob pedras e cavidades localizadas na região entremarés até cinco metros de profundidade (PINHEIRO et al., 1997; MELO, 1996; KOH e NG, 2008).

Uma série de estudos ecológicos envolvendo a espécie já foram realizados e isso é um ponto importante, que o torna fundamental na tomada de decisão da escolha de um bom bioindicador (HOLT e MILLER, 2011). Alguns aspectos ecológicos já foram alvos de pesquisas, tais como desenvolvimento larval, comportamento e seleção de presa, crescimento relativo, heteroquelia, análise da razão sexual, estrutura, dinâmica populacional e ocupação do habitat, biologia populacional em simpatria com outra espécie (*Pachygrapsus transversus*), variação do investimento reprodutivo e análise reprodutiva (FRANSOZO, 1987; NALESSO, 1996; GOES e FRANSOZO, 1997; 1998; 2000; ANDRADE et al., 2014; ARAÚJO et al., 2016; TEIXEIRA et al., 2017, RIOS et al., 2022). Contudo, poucos estudos a respeito da *E. gonagra*, como bioindicadora, apontam o potencial da espécie em responder

a alterações antrópicas e ambientais no seu organismo. Dos estudos existentes, pode-se destacar os trabalhos de Bolla Junior (2014) e Azevedo-Farias et al. (2021), estes autores apontam a capacidade da espécie em responder efeitos morfológicos desde a fase larval até a fase adulta em resposta a interações antrópicas, bem como na alimentação da *E. gonagra*. Sendo assim, tais indicadores podem ser utilizados como ferramentas eficazes para a elucidação das condições do ambiente no qual a espécie se encontra inserida (RODRIGUES et al., 2020; SANTANA et al., 2022b).

Desta forma, como sendo uma das principais espécies residentes nos recifes, o presente estudo tem com objetivo, observar alterações relacionadas ao derramamento de petróleo e com isso servir de subsídio não só para observar os impactos deste evento na população de *E. gonagra* como também, servir de espécie sentinela para ser utilizada como bioindicador de futuros eventos. O presente estudo traz a espécie como possível ferramenta na detecção dessas perturbações, utilizando as alterações alimentares e os dados sobre os danos citogenéticos, acrescentando assim informações sobre a espécie.

## 2- Referências bibliográficas

- AMARAL, Antônia Cecília Z. JABLONSKI, Sílvia. Conservação da biodiversidade marinha e costeira no Brasil. **Megadiversidade**, v.1, n.1, p. 43-51, 2005.
- ANDRADE, Juliano de Almeida. AUGUSTO, Fabio. JARDIM, Isabele Cristina Sales Fontes. Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. **Eclética química**, v. 35, p.17-43, 2010.
- ANDRADE, Luciana Segura de et al. Differential habitat use by demographic groups of the redfinger rubble crab *Eriphia gonagra* (Fabricius, 1781). **Brazilian Journal of Biology**, v. 74, p. 597-606, 2014.
- ANDREWS, Nathan et al. Oil, fisheries and coastal communities: A review of impacts on the environment, livelihoods, space and governance. **Energy Research & Social Science**, v.75, n. 102009, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221462962100102X?via%3Dihub>. Acesso em: 11 dezembro 2022.
- ARAÚJO, Marina de Sá Leitão Câmara de et al. Population biology of two sympatric crabs: *Pachygrapsus transversus* (Gibbes, 1850)(Brachyura, Grapsidae) and *Eriphia gonagra* (Fabricius, 1781)(Brachyura, Eriphiidae) in reefs of Boa Viagem beach, Recife, Brazil. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 11, n. 3, p. 197-210, 2016.
- AZEVEDO-FARIAS, Ana K. et al. Urbanization effects on morphological traits of *Eriphia gonagra* (Decapoda, Eriphiidae) in tropical intertidal reefs of the Northeastern Brazil. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 16, n. 2, p. 141-149, 2021.

BARŠIENĖ, Janaina et al. Environmental genotoxicity and cytotoxicity studies in mussels before and after an oil spill at the marine oil terminal in the Baltic Sea. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 184, p. 2067-2078, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-011-2100-0>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-011-2100-0> Acesso em: 18 maio 2021

BAYRAKLI, Barış. Concentration and potential health risks of trace metals in warty crab (*Eriphia verrucosa* Forskal, 1775) from Southern Coasts of the Black Sea, Turkey. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, p. 14739–14749, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11563-9>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-020-11563-9>. Acesso: 17 fevereiro 2022.

BOLLA JUNIOR, Eduardo Antônio. Aquecimento global e acidificação oceânica : efeitos da temperatura, salinidade e dióxido de carbono no desenvolvimento larval do caranguejo intertidal *Eriphia gonagra* (Crustacea, Decapoda, Eriphiidae). 2014. **Tese (doutorado)** - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Botucatu, Botucatu,

BOLOGNESI, Claudia. HAYASHI, Makoto. Micronucleus assay in aquatic animals. **Mutagenesis**, v. 26(1), p. 205-213, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1093/mutage/geq073>. Disponível em: <https://academic.oup.com/mutage/article/26/1/205/1061611>. Acesso em: 10 maio 2022

BOLOGNESI, Claudia et al. Bioindicators in monitoring long term genotoxic impact foil spill: Haven case study. **Marine Environmental Research**, v. 62, p. 287-291, 2006. DOI: [doi:10.1016/j.marenvres.2006.04.047](https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2006.04.047). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141113606000687?via%3Dihub> . Acesso em: 10 maio 2022

BOSCHI, Enrique E. Biodiversity of Marine Decapod Brachyurans of the Americas. **Journal of Crustacean Biology**, v. 20, n.5, p. 337-342. 2000. DOI: <https://doi.org/10.1163/1937240X-90000036>. Disponível: <https://academic.oup.com/jcb/article/20/5/337/2419527>. Acesso: 05 fevereiro 2023

BROSNAN, Deborah M. CRUMRINE, Lana L. Effects of human trampling on marine rocky shore communities. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 177, n.1, p. 79-97, 1994. DOI: [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(94\)90145-7](https://doi.org/10.1016/0022-0981(94)90145-7). Disponível: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0022098194901457?via%3Dihub>. Acesso: 05 fevereiro 2023

CACABELOS, Eva. 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.

CAMPELO, Renata Polyana de Santana et al. Oil spills: The invisible impact on the base of tropical marine food webs. **Marine Pollution Bulletin**, v. 167, n. 112281, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112281> disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X21003155?via%3Dihub>. Acesso em: 06 junho 2021

CHEONG, So-Min. Fishing and tourism impacts in the aftermath of the Hebei-Spirit oil spill. **Journal of Coastal Research**, v.28,n. 6, p.1648-1653, 2012.

CULBERTSON, Jennifer B. et al. Long-term biological effects of petroleum residues on fiddler crabs in salt marshes. **Marine Pollution Bulletin**, v. 54, n.7, p. 955-962, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.02.015>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X0700077X?via%3Dihub>. Acesso em: 06 junho 2021.

DEBEUS, Guiherme; CRISPIM, Maria Cristina. O turismo nas piscinas naturais de Picãozinho, João Pessoa, PB – percepções, conflitos e alternativas. **Revista de Estudos Ambientais**, v. 10, n. 1, p. 21-32, 2008. ISSN 1983-1501. DOI: <http://dx.doi.org/10.7867/1983-1501.2008v10n1p21-32>. Disponível em: <https://proxy.furb.br/ojs/index.php/rea/article/view/899>. Acesso em: 30 junho 2023.

DELUNARDO, Frederico Augusto Cariello et al. Seahorse (*Hippocampus reidi*) as a bioindicator of crude oil exposure. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 117, p. 28-33. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2015.03.016>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651315001153?via%3Dihub>. Acesso em: 19 maio 2021

DE GRAVE, S.; et al. A Classification of Living and Fossil Genera of Decapod Crustaceans. **Raffles Bulletin of Zoology**, v.21, p. 1-109, 2009.

ELMGREN, Ragnar. The “Tsesis” oil spill: Acute and long-term impact on the benthos. **Marine Biology**, v.73, n. 1, p.51–65, 1983. DOI:10.1007/bf00396285. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00396285>. Acesso em: 19 maio 2021

FELDER, Darryl L. et al. Seaweeds and Decapod Crustaceans on Gulf Deep Banks after the Macondo Oil Spill. **BioScience**, v. 64, n. 9, p. 808-819, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1093/biosci/biu119>. Disponível em: <https://academic.oup.com/bioscience/article/64/9/808/269431>. Acesso em: 19 maio 2021

FIRAT, Özgür et al. Concentrations of Cr, Cd, Cu, Zn and Fe in crab *Charybdis longicollis* and shrimp *Penaeus semisulcatus* from the Iskenderun Bay, Turkey. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 147, p. 117-123, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-007-0103-7>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-007-0103-7>. Acesso em: 10 janeiro 2023

FRANCIONI, Eliene et al. Polycyclic aromatic hydrocarbon in inter-tidal mussel *Perna perna*: Space–time observations, source investigation and genotoxicity. **Science of The Total Environment**, v. 372, n. 2-3, p. 515-531, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2006.08.046>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969706006887>. Acesso em: 07 junho 2021

FRANSOZO, Adilson. Desenvolvimento larval de *Eriphia gonagra* (Fabricius, 1781)(Decapoda, Xanthidae), em laboratório. **Revista brasileira de Zoologia**, v. 4, p. 165-179, 1987.

GARCIA, Sara M. et al. Sublethal effects of crude oil and chemical dispersants on multiple life history stages of the eastern oyster, *Crassostrea virginica*. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 8, n. 10, p. 808, 2020.

GIANNAPAS, Marios. KARNIS, Loucas. DAILIANIS, Stefanos. Generation of free radicals in haemocytes of mussels after exposure to low molecular weight PAH components: Immune activation, oxidative and genotoxic effects. **Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology**, v. 155, n. 2, p. 182-189, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2011.08.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1532045611001505?via%3Dihub>. Acesso em: 07 junho 2021

GILTZ, Sarah M. TAYLOR, Caz M. Sublethal toxicity of crude oil exposure in the blue crab, *Callinectes sapidus*, at two life history stages. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 98, p. 178-182, 2017.

GÓES, João Marcos de. FRANSOZO, Adilson. Heterochely in *Eriphia gonagra* (Fabricius, 1781)(Crustacea, Decapoda, Xanthidae) of the rocky coast from Praia Grande, Ubatuba (SP), Brazil. **Biotemas**, 11, n. 1, p. 71-80, 1998.

GÓES, João Marcos de. FRANSOZO, Adilson. Relative growth of *Eriphia gonagra* (Fabricius, 1781) (Crustacea, Decapoda, Xanthidae) in Ubatuba, state of São Paulo, Brazil. **Nauplius**, v.5, n. 2, p.85-98, 1997.

GÓES, João Marcos de. FRANSOZO, Adilson. Sex ratio analysis in *Eriphia gonagra* (Decapoda, Xanthidae). **Iheringia, Serie. Zoologia**, n. 88, p.151-157, 2000

GUNDLACH, Erich R. HAYES, Miles O. Vulnerability of coastal environments to oil spill impacts. **Marine technology society Journal**, v. 12, n. 4, p.18-27,1978.

HOLT, Emily A. MILLER, Scott W. Bioindicators: Using Organisms to Measure Environmental Impacts. **Nature Education Knowledge**, v. 2, n. 2, p.8, 2011

IBAMA. **Localidades atingidas**. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/ibama/pt-br/assuntos/fiscalizacao-e-protecao-ambiental/emergencias-ambientais/manchasdeoleo/localidades-atingidas>. Acesso em: 15 maio 2023.

IHUNWO, Owhonda Chikeru. IBEZIM-EZEANI, Millicent Uzoanaka. Distribution, Source Appropriation, and Human Health Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons due to Consumption of *Callinectes amnicola* from Woji Creek in Sambreiro River. **Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 21, n. 5, p. 245-253, 2021. DOI: [http://doi.org/10.4194/1303-2712-v21\\_5\\_04](http://doi.org/10.4194/1303-2712-v21_5_04). Disponível em: <https://www.trjfas.org/abstract.php?id=14826>. Acesso em: 15 maio 2023.

ITOPF. **Oil tanker spill statistics 2019**. London, UK, 2020

KARAM, Qusaie. AL-WAZZAN, Zainab. Toxicity of petroleum hydrocarbons to Brachyuran crabs: a review of deleterious effects of oil-related xenobiotics on life stages. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, p. 1–16, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0025315421000370>. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-the-marine-biological-association-of-the-united-kingdom/article/abs/toxicity-of-petroleum-hydrocarbons-to-brachyuran-crabs-a-review-of-deleterious-effects-of-oilrelated-xenobiotics-on-life-stages/67A4E0D1758E7779378F45231BEB3D39>. Acesso em: 02 janeiro 2023

- KOH, S.K. NG, Peter K.L. A revision of the shore crabs of the genus *Eriphia* (Crustacea: Brachyura: Eriphiidae). **Raffles Bulletin of Zoology**, v. 56, n. 2, p. 327-55. 2008.
- LESSA, Guilherme C. et al. The 2019 Brazilian oil spill: Insights on the physics behind the drift. **Journal of Marine Systems**, v.222, n. 103586, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2021.103586>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924796321000841?via%3Dihub>. Acesso em: 08 fevereiro 2022
- LOURENÇO, Rafael André et al. Mysterious oil spill along Brazil's northeast and southeast seaboard (2019–2020): Trying to find answers and filling data gaps. **Marine Pollution Bulletin**, v. 156, n. 111219, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111219>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X20303374?via%3Dihub>. Acesso em: 01 maio 2023
- MAGALHÃES, Karine Matos et al. Oil spill + COVID-19: A disastrous year for Brazilian seagrass conservation. **Science of The Total Environment**, v. 764, n. 142872, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142872>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720364020?via%3Dihub>. Acesso em: 14 fevereiro 2022
- MARINHO, Rafaella Suruagy Lima et al. A problemática dos resíduos encontrados nas praias urbanas de Maceió/Alagoas e suas consequências ambientais. **Caderno de Graduação - Ciências Biológicas E Da Saúde - UNIT – ALAGOAS**, v. 1, n. 1, p. 17–26, 2012.
- MARTINOVIĆ, Rajko et al. Genotoxic potential and heart rate disorders in the Mediterranean mussel *Mytilus galloprovincialis* exposed to Superdispersant-25 and dispersed diesel oil. **Marine Environmental Research**, v. 108, n. 83-90, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.05.001>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0141113615000689?via%3Dihub>. acesso em: 07 junho 2021
- MELO, Gustavo Augusto Schmidt de. **Manual de identificação dos Brachyura (caranguejo e siris) do litoral brasileiro**. São Paulo, Plêiade FAPESP, p 604, 1996.
- MUSK, Susannah. Trends in oil spills from tankers and ITOPF non-tanker attended incidents. In: **Proceedings of the Thirty-fifth AMOP Technical Seminar on Environmental Contamination and Response**. Environment Canada, Vancouver, British Columbia, Canada. 2012. p. 775-797.
- NALESSO, Rosebel Cunha. Comportamento e seleção de presas em *Eriphia gonagra* (Decapoda, Xanthidae) no costão da praia do rio verde, E.E. Juréia-Itatins, SP.1993. **Tese (Doutorado)** - Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 143p.
- OLIVEIRA, Olívia Maria Cordeiro et al. Environmental disaster in the northeast coast of Brazil: Forensic geochemistry in the identification of the source of the oily material. **Marine Pollution Bulletin**, v. 160, n. 111597, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111597>. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X20307153?via%3Dihub>. Acesso em: 08 fevereiro 2022

PALINKAS, Lawrence A. et al. Social, cultural, and psychological impacts of the Exxon Valdez oil spill. **Human Organization**, v. 52, n. 1, p. 1-13, 1993.

PINHEIRO, Marcelo Antonio Amaro et al. Decapod crustaceans associated to sand reef *Phragmatopoma lapidosa* Kimberg, 1867 (Polychaeta, Sabellariidae) at Praia Grande, Ubatuba, SP, Brazil. **Nalpius**, v.5, n. 2, p. 77-83, 1997.

PENA, Paulo Gilvane Lopes et al. The crude oil spill on the Brazilian coast in 2019: the question of public health emergency. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 36, e00231019, 2020.

PHUKAOKAEW, Suticha. SUKHSANGCHAN, Charuay. Toxicity of water soluble fraction of crude oil on morphology and behavior of soldier crabs *Dotilla wichmanni* DeMan, 1892. **Phuket marine biological Center Reseach Bulletin**, v. 76, p. 63-70, 2019

RIBEIRO, Luiz Carlos de Santana et al. Blue water turns black: economic impact of oil spill on tourism and fishing in Brazilian Northeast. **Current Issues in Tourism**, v. 24, n. 8, p. 1042-1047, 2020. DOI: 10.1080/13683500.2020.1760222. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13683500.2020.1760222>. Acesso em: 05 maio 2021

RIOS, Aline dos Santos et al. Ovarian development of the crab *Eriphia gonagra* (Fabricius, 1781)(Decapoda: Brachyura: Eriphiidae) in northeastern Brazil. **Journal of Crustacean Biology**, v. 42, n. 3, 2022.

ROCHA, Arthur José da Silva et al. Assessment of trophic transfer of benzo(a)pyrene genotoxicity from the post-larval pink shrimp *F. brasiliensis* to the juvenile Florida pompano *T. carolinus*. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 34, n. 3, p. 969-976, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2012.07.010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1382668912001123?via%3Dihub>. Acesso em: 02 janeiro 2023

RODRIGUES, Larissa R. et al. Evaluation of the stomach contents of *Eriphia gonagra* from a rocky shore in the southeastern Brazilian coast. **Iheringia. Série Zoológica**, v. 110, 2020.

SAMIULLAH, Yusaf. Biological effects of marine oil pollution. **Oil and Petrochemical Pollution**, v. 2, n.4, p. 235-264, 1985.

SANTANA, Julianna de Lemos. CALADO, Tereza Cristina dos Santos. SOUZA-FILHO, Jesser Fidelis de. Feeding of *Eriphia gonagra* (Crustacea: Eriphiidae) in two polluted reef areas in tropical Brazil with records of ingestion of microplastics. **Thalassas: An International Journal of Marine Sciences**, v. 38, n.1, p. 431-443, 2022a.

SANTANA, Julianna Lemos de et al. Reef crab population changes after oil spill disaster reach Brazilian tropical environments. **Marine Pollution Bulletin**, v. 183, n. 114047, 2022b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114047>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X22007299?via%3Dihub>. Acesso em: 19 dezembro 2022.

SARMENTO, Visnu C. SANTOS, Paulo J. P. Trampling on coral reefs: tourism effects on harpacticoid copepods. **Coral Reefs**, v. 31, n. 1, p. 135-146, 2012.

SCHLACHER, Thomas Alfred et al. Impacts of the 'Pacific Adventurer' Oil Spill on the Macrobenthos of Subtropical Sandy Beaches. **Estuaries and Coasts**, v.34, p. 937-949, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12237-010-9354-6>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12237-010-9354-6>. Acesso em: 10 janeiro 2023

SOARES, Marcelo de Oliveira et al. Brazil oil spill response: Time for coordination. **Science**, 367, n. 6474, p. 155-155. 2020 a.

SOARES, Marcelo de Oliveira et al. Oil spill in South Atlantic (Brazil): Environmental and governmental disaster. **Marine Policy**, 115, 103879. 2020 b. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103879>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308597X19308346?via%3Dihub>. Acesso em: 27 junho 2021

SOUSA, Luis Gabriel Rodrigues. MIRANDA, Antônio Carlos de. MEDEIROS, Herika Bastos de. Impacto ambiental e socioeconômico do derramamento de óleo na baía de guanabara. **Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 9, n. 2, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.17271/19800827922013633>. Disponível em: [https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum\\_ambiental/article/view/633](https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/forum_ambiental/article/view/633). Acesso em: 05 maio 2023

SOUZA, Juliano Gomes de. Comunidade de crustáceos, com ênfase na ordem Decapoda, da praia de Boa Viagem, Recife, Pernambuco. **Monografia**. 2018. Universidade Federal Rural de Pernambuco/ Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Serra Talhada.

TEIXEIRA, Gustavo M. et al. Reproductive investment and multiple spawning evidence in the redfinger rubble crab *Eriphia gonagra* (Brachyura, Eriphioidea). **Nauplius**, v. 25, 2017.

TOURNADRE, Jean. Anthropogenic pressure on the open ocean: The growth of ship traffic revealed by altimeter data analysis. **Geophysical Research Letters**, v.41, n. 22, p.7924–7932, 2014. DOI: 10.1002/2014GL061786. Disponível em: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/journal/19448007>. Acesso em: 13 janeiro 2023

VILLAÇA, Roberto. Reifes Biológicos. In: PEREIRA, Renato Crespo. SOARES-GOMES, Abílio. (org). **Biologia Marinha, Interciência**, 2º ed., Rio de Janeiro, 2009

WAKE, Helen. Oil refineries: A review of their ecological impacts on the aquatic environment. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 62, n. 1-2, p. 131-140, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2004.08.013>

WHITEHEAD, Andrew et al. Genomic and physiological footprint of the Deepwater Horizon oil spill on resident marsh fishes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 50, p. 20298-20302, 2012.

WWF. **O que se sabe até agora sobre o derramamento de óleo no Nordeste**, 2019. Disponível em: [https://www.wwf.org.br/informacoes/noticias\\_meio\\_ambiente\\_e\\_natureza/?73944/O-que-se-sabe-ate-agora-sobre-o-derramamento-de-oleo-no-Nordeste](https://www.wwf.org.br/informacoes/noticias_meio_ambiente_e_natureza/?73944/O-que-se-sabe-ate-agora-sobre-o-derramamento-de-oleo-no-Nordeste). Acesso em: 05 maio 2021

ZACHARIAS, Daniel Constantino. GAMA, Carine Malagolini. FORNARO, Adalgiza. Mysterious oil spill on Brazilian coast: Analysis and estimates. **Marine Pollution Bulletin**, v. 165, n. 112125, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112125>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X21001594?via%3Dihub>. Acesso em: 04 janeiro 2023

ZENGEL, Scott et al. Deepwater Horizon oil spill impacts on salt marsh fiddler crabs (*Uca* spp.). **Estuaries and Coasts**, v. 39, p. 1154-1163, 2016.

### **3- Artigo científico**

#### ***3.1 - Artigo científico I***

Artigo científico a ser encaminhado a Revista Marine Biology Research.

Todas as normas de redação e citação, doravante, atendem as estabelecidas pela referida revista, exceto o idioma.

## **Alimentação do caranguejo *Eriphia gonagra* (Fabricius, 1781) (Decapoda: Brachyura: Eriphiidae) como ferramenta para avaliar os impactos de derramamento de petróleo**

### **RESUMO**

Este estudo visa observar as alterações na alimentação do caranguejo *E. gonagra* em decorrência do derramamento de petróleo ocorrido no ano de 2019 em duas praias do litoral de Pernambuco (Gaibu e Carneiros), Nordeste do Brasil. As mudanças na alimentação da espécie foram investigadas levando em consideração os períodos (ANT, DUR e DEP) do derramamento e correlacionadas com as análises de contaminação de sedimento (HPAs e MT). A partir das análises de 140 animais foram encontrados 24 itens alimentares havendo uma prevalência de Mollusca e Macroalgas na dieta. Não houve a detecção de fragmentos de petróleo nos estômagos dos animais, contudo foram observados diferentes padrões na alimentação da espécie estudada nos períodos ANT, DUR e DEP do derramamento. Na praia dos Carneiros as alterações alimentares foram mais pronunciadas, havendo um aumento do item Macroalgas principalmente durante o derramamento. Apesar da espécie apresentar um hábito generalista, é possível constatar alterações em relação às presas capturadas, podendo assim observar uma alimentação com baixos níveis nutricionais causados principalmente em ambientes impactados. Dois fatores são preponderantes para explicar os impactos causados na alimentação de *E. gonagra* na Praia de Carneiros. O primeiro, tem a haver a diminuição das presas que morreram após a chegada do óleo, o segundo são os efeitos duradouros dos contaminantes (HPAs e MT) na capacidade de predação da espécie.

**Palavras-chave:** Dieta alimentar, Impacto ambiental, Derramamento de óleo, Bioindicador.

### **INTRODUÇÃO**

A indústria petrolífera movimenta uma grande quantidade monetária, contudo as suas explorações se concentram em áreas produtivas vulneráveis, gerando assim, estressores onde a exposição a derramamentos de petróleo são um dos eventos prováveis a ocorrerem (Andrews et al., 2021). Os impactos do derramamento de petróleo em áreas costeiras se caracterizam como uma situação recorrente com o crescimento ligados à atividade do setor, tendo como problema principal os efeitos que os desastres geram sobre a biota (Sousa et al., 2013). Os riscos que o ambiente corre está relacionado ao fato de que normalmente esses distúrbios não são de fácil mitigação, e agem de forma complexa sobre a comunidade que ali vive, podendo assim levar anos para a recuperação total do ambiente impactado (Elmgren et

al., 1983; Castège et al. 2014). Cada evento de derramamento possui características próprias, o que torna válido a investigação de cada um desses episódios.

Em 30 de agosto de 2019, foi observada a presença de óleo nas praias do estado da Paraíba e a partir dessa data, outras partículas foram constatadas na costa brasileira, impactando principalmente a região Nordeste, havendo relatos da presença desde a praia de Currupuru no Maranhão até São João da Barra no Rio de Janeiro (Wwf, 2019; Lessa et al. 2021), apresentando assim, uma extensa área litorânea impactada. Tomadas de decisões lentas, tardias e desordenadas foram, a princípio, um dos principais problemas que proporcionaram a ampliação do desastre (Soares et al. 2020 a, b), impactando diretamente áreas marinhas de importância produtiva, atingindo o setor econômico, região muito dependente do turismo e da pesca artesanal, bem como, a parte ambiental, impactando as comunidades e a fauna que se encontram inseridas nos mais diversos ambientes (Brum et al. 2020; Campelo, 2021; Estevo et al. 2021; Ferreira et al. 2021; Magalhães et al. 2022; Sousa et al. 2022; Rosa, 2022; Santana et al. 2022a).

Após o derramamento, o petróleo afeta a fauna local direta e indiretamente, isso devido a sua complexa composição, compostos tóxicos podem ser formados e tais substâncias atuam no organismo dos braquiúros e interferindo a saúde desses animais (Culbertson et al. 2007, Zengel et al. 2016, McClain et al. 2019). Segundo Bolognesi et al. (2006) devido a essa característica de potencial de contaminação, faz-se necessário o monitoramento ambiental ao longo do tempo, utilizando diversas ferramentas, além do uso de outros grupos de bioindicadores, para avaliar a persistência e ter uma real noção do impacto em diferentes ecossistemas.

Os recifes são regiões tropicais com uma intensa área produtiva, esses ecossistemas costeiros foram diretamente atingidos pelo derramamento de petróleo. Entre os crustáceos decápodos que vivem nos ambientes recifais costeiros de Pernambuco, está o caranguejo *Eriphia gonagra* (Fabricius, 1781). Esta espécie tem sua ocorrência documentada principalmente no Atlântico Oeste, estendendo-se desde as Bermudas até a Patagônia e na costa brasileira, é comumente encontrada habitando os costões rochosos e recifes de arenito, sob pedras e cavidades localizadas do entremarés até 5 metros de profundidade (Pinheiro et al. 1997; Melo, 1996; Koh e Ng, 2008). A ecologia da espécie encontra-se relativamente bem definida, e de acordo com Holt e Miller (2011) isso é um ponto importante, que a torna fundamental na escolha de um bom bioindicador.

Estudos feitos com *E. gonagra* apontam o potencial da espécie em responder a alterações antrópicas e ambientais, constatando efeitos morfológicos na espécie desde a fase larval até a fase adulta (Bolla Júnior, 2014; Azevedo-Farias et al. 2021). Outros estudos também evidenciam a ação de impactos ambientais na alteração da alimentação da *E. gonagra*, como demonstrado por Rodrigues et al. (2020) e Santana et al. (2022b) possibilitando a investigação desse método para avaliar a resposta do animal a um impacto dessa magnitude. Nesse contexto o estudo buscou observar as alterações na alimentação do caranguejo *E. gonagra* em decorrência do derramamento de petróleo ocorrido no ano de 2019 em duas praias do litoral de Pernambuco (Gaibu e Carneiros), Nordeste do Brasil.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **Caracterização da área de estudo**

As coletas do material foram realizadas sobre os recifes localizados nas praias de Gaibu (8°19'46.5"S; 34°56'59.3"W) e praia de Carneiros (8°42'13.8"S; 35°04'43.0"W), (Figura 1). Localizada entre a foz do rio Ariquindá até a foz do rio Formoso a praia de Carneiros encontra-se inserida em duas áreas de preservação a APA Guadalupe e a APA dos Corais, possuindo uma economia que gira em torno do turismo, a região possui baixa densidade populacional sendo intensificada nos períodos de alta temporada (Selva, 2012; Cordeiro et al, 2013). Segundo Köppen (1936) o tipo de clima predominante, em ambas as regiões ~~de tipo as~~, se caracteriza por possuir um clima tropical úmido e com invernos chuvosos e verões secos. Essas duas praias foram escolhidas, pois possuem diferentes níveis de poluição causadas pelo homem e de grau de urbanização e ocupação de pós-praia (Araújo et al. 2007). Além disso, os municípios de Cabo de Santo Agostinho e Tamandaré foram os principais impactados pelo derramamento, sendo retirada cerca de 1363,27 toneladas de petróleo, representando assim, cerca de 82,62% de todo petróleo encontrado nas praias de Pernambuco (Mesquita e Quinamo, 2020).

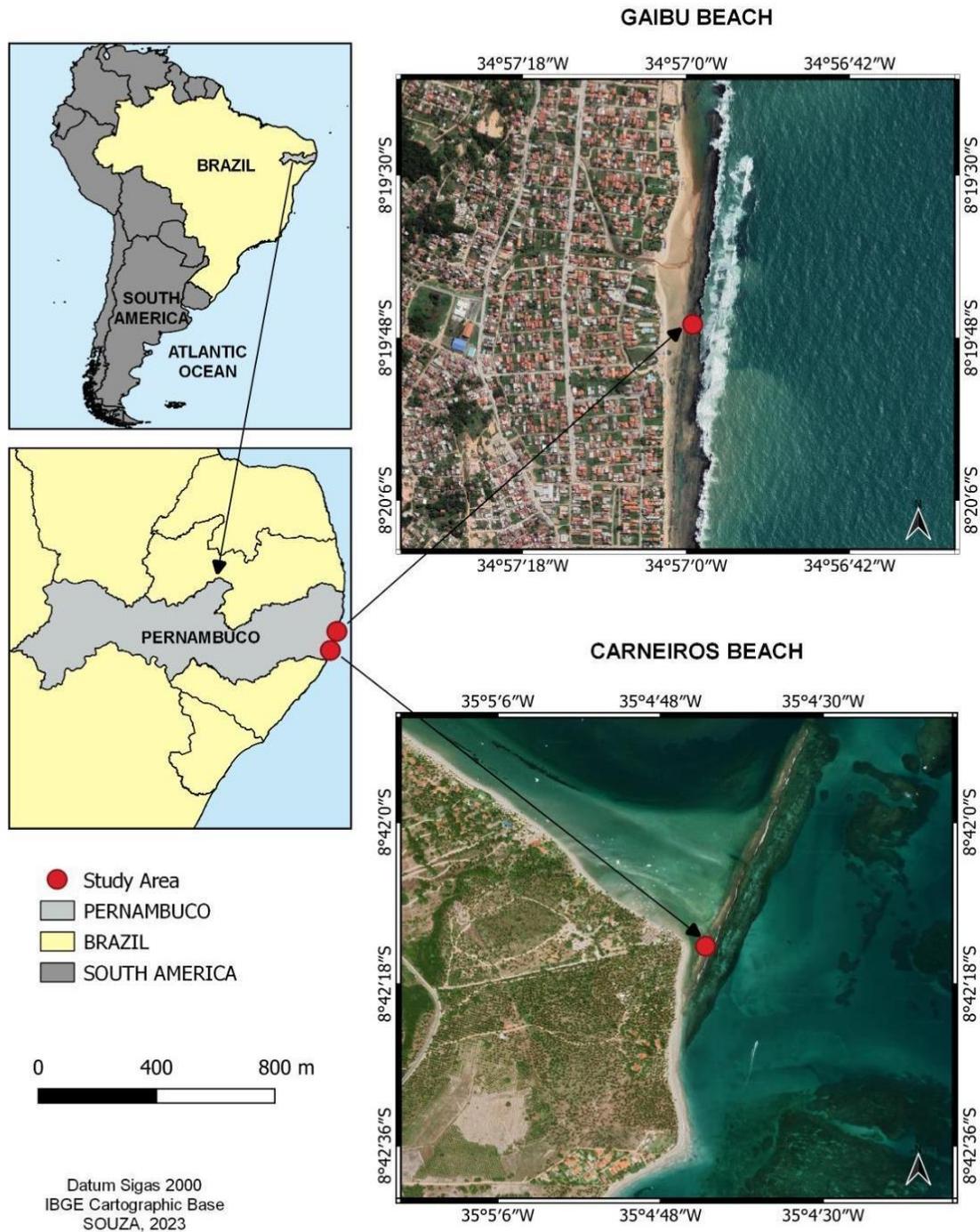


Figura 1: Localização das áreas de estudos nas praias de Gaibu e Carneiros (Pernambuco, Brasil). Fonte: Autor.

### Obtenção e análise do material

Na praia de Gaibu os indivíduos foram coletados nos meses de junho de 2019 a agosto de 2019 (GAI ANT), novembro de 2019 (GAI DUR), fevereiro de 2020, novembro de 2020, novembro de 2021 e maio de 2022 (GAI DEP). Na praia dos Carneiros as coletas ocorreram

em fevereiro, maio e agosto de 2019 (CAR ANT), em novembro de 2019 (CAR DUR), fevereiro e novembro de 2020, novembro de 2021 e maio de 2022 (CAR DEP). Os caranguejos foram coletados de forma aleatória, manualmente com auxílio de pinças e transportados para o Laboratório de Crustáceos (Museu de Oceanografia Prof. Petrônio Alves Coelho) em sacos plásticos com água do local sob refrigeração, para evitar os processos metabólicos de digestão dos animais (figura 2a). Os indivíduos foram quantificados, sexados e medidos com o auxílio de um paquímetro eletrônico com precisão de 0,01mm. A medida aferida foi o comprimento da carapaça (CC) – medida a partir da extremidade frontal até a extremidade posterior da carapaça. A sexagem dos espécimes foi realizada com base na forma do abdômen, número de pleópodos e presença ou não de gonópodos. O peso úmido, dos animais, foi obtido com o auxílio de uma balança de análise de precisão 0,001g.

A retirada dos estômagos foi realizada a partir de um corte dorsal margeando a carapaça para a remoção do trato digestivo, com o auxílio de pinça e tesoura, para a posterior análise seguindo a metodologia proposta por Santana et al. 2019 (Figura 2b). O estado de repleção estomacal (ER) foi classificado em três classes: 1 (semi vazio – 25 a 50% de repleção), 2 (semi cheio - 50 a 75% de repleção) e 3 (cheio – 75 a 100% de repleção), como sugerido por Branco e Verani (1997), sendo desconsiderados os estômagos vazios ou que não apresentaram conteúdo significativo (< 25% de repleção). Logo após, os estômagos foram pesados individualmente com o auxílio de uma balança analítica de precisão 0,001 g e conservados em formalina 4%.

O conteúdo dos estômagos foi removido com jatos de água e depositado em placa de Petri para análise em microscópio ou estereomicroscópio (Stevens et al. 1982; Branco e Verani 1997). Os itens alimentares foram identificados até o menor táxon possível e conservados em solução de formalina a 4%. A frequência de ocorrência foi calculada segundo a expressão:  $FO\% = \left(\frac{bi}{N}\right) * 100$ , onde  $b$  representa o número de indivíduos em que ocorreu determinado item alimentar  $i$  e  $N$  o número total de estômagos com alimento (Oliveira et al. 2006). Os itens alimentares oriundos da poluição humana foram todos nomeados como microplásticos.

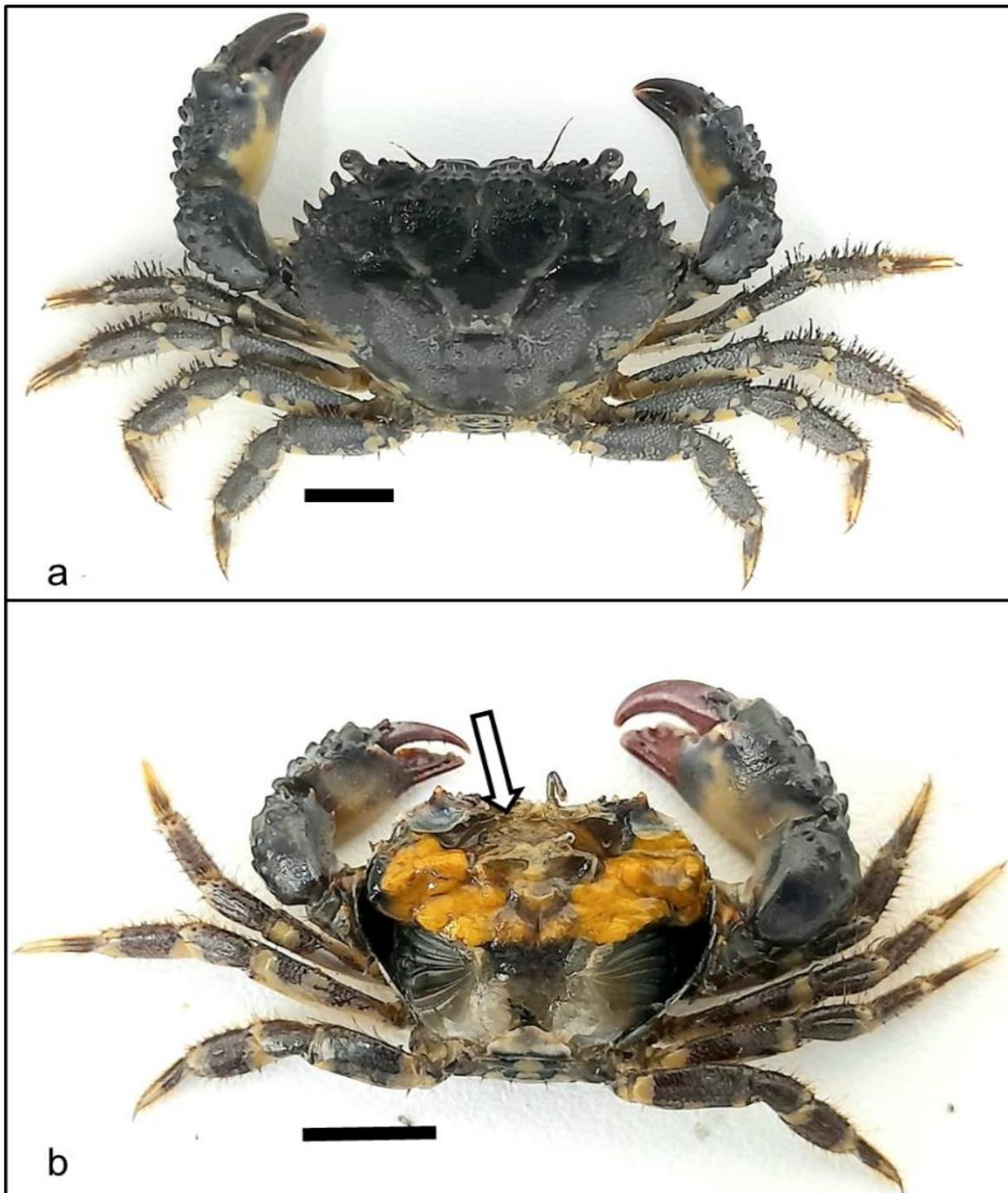


Figura 2: *Eriphia gonagra*. a) Vista dorsal de um indivíduo fêmea, b) Vista interna de uma fêmea (a seta indica a localização do estômago). Escala: 1 cm. Fonte: Autor

O método de pontos foi utilizado para quantificar o volume (V) de dado item, expresso em percentual, em relação ao volume de todos os itens alimentares presentes nos estômagos (Williams, 1981), sendo calculado como:  $V\% = \frac{\sum (a_{ij})}{A} * 100$ , onde  $a_{ij}$  o número de pontos do item  $i$ ,  $A$  é número total de pontos para todos os itens e multiplicado por 100 afim de determinar o valor em porcentagem. O  $a_{ij}$  de cada item foi estimado atribuindo pontos a cada estágio de repleção estomacal (ER1 – 0,35 ponto; ER2 – 0,65 ponto; ER3 – 1 ponto). A

contribuição e os pontos do estágio de repleção foram multiplicados e agrupados para cada item. O Índice de Importância Alimentar (Kawakami e Vazzoler, 1980) foi calculado utilizando a equação:  $IA_i = FO.V / \sum(FO.V)$ , onde FO é a frequência de ocorrência dos itens alimentares e V à contribuição relativa do item alimentar *i* em volume. O Índice de Importância Alimentar foi correlacionado, a partir de uma dbRDA, com os dados de PAHs e Metrais Traços a partir das análises de sedimento.

Foi proposta a análise de estratégia alimentar seguindo o método de Costello (1990) modificado por Amundsen et al. (1996), através da correlação entre a frequência de ocorrência com a abundância específica da presa que foi calculada através da fórmula  $P_i = (\sum S_i / \sum S_{ti}) \times 100$ ; onde  $S_i$  é o conteúdo do estômago composto pela presa *i*, e  $S_t$  o conteúdo do estômago nos predadores em que a presa *i* ocorreu em seu estômago. Para a interpretação dos gráficos gerados foi utilizado o diagrama proposto por Amundsen et al. (1996).

### **Caracterização dos contaminantes no sedimento**

O sedimento da praia foi coletado em quadruplicada de forma aleatória, mais próximo do recife, nos meses maio de 2019 (ANT), novembro de 2019 (DUR) e fevereiro de 2020 (DEP), o material foi armazenado e levado ao laboratório para posteriores análises.

#### **a) Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs)**

As análises seguiram a metodologia proposta por Santana (2022) onde as amostras foram liofilizadas, moídas e passadas por uma peneira de malha de 500 µm. 15 g de sedimentos foram usadas para análise de HPA. Exatamente 100 µl de padrão interno de HPA (acenafteno-D10, fenantreno-D10 e criseno-D12 a 1000 ng ml<sup>-1</sup>) foram adicionados padrões às amostras para calcular a recuperação dos analitos. Os extratos foram obtidos através de um extrator Soxhlet, utilizando 80 ml de uma mistura contendo n-hexano: diclorometano (1: 1; v/v) por 8 horas. Os extratos foram concentrados até 1 ml e divididos em duas partes iguais. O primeiro foi limpo e fracionado em uma coluna de sílica/alumina (5% desativada) para determinação de HPA. Sequencialmente a coluna foi diluída com 10 ml de n-hexano e 15 ml de uma mistura de n-hexano: diclorometano (7: 3; v/v). Os últimos 15 ml foram coletados para análise de HPA (Arruda-Santos et al. 2018). A fração foi injetada em um cromatógrafo a gás (sistema Agilent Technologies 7820A GC) equipado com uma coluna capilar de sílica fundida (HP-5ms, 30m x 25 mm x 0,25 µm) e acoplada a um espectrômetro de massa (Agilent Technologies 5975c ms) (GC- EM) (ver Zanardi-Lamardo et al. 2019).

Para as análises foram considerados 16 HPAs prioritários listados pela USEPA (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos), nos quais levam em conta o seu potencial tóxico. O controle da qualidade foi baseado em espaços em branco de laboratório, recuperações de padrões internos e análise duplicada do material de referência certificado (SRM 1944 - Nova York/Nova Jersey sedimentos à hidrovía adquiridos do Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia dos Estados Unidos, NIST) (Santana, 2022).

A recuperação dos padrões internos variou de 45 a 115%. A recuperação média dos analitos no material de referência foi de  $81 \pm 19\%$  das concentrações certificadas.

### **b) Metais Traços (MT)**

Todas as amostras foram pulverizadas manualmente, até tamanhos de partículas de um limite de 500  $\mu\text{m}$ . 100 g da alíquota foi separada e enviada para o Laboratório SGS Geosol (<https://www.sgsgeosol.com.br>) para análise de metal. A extração incluiu digestão multiácida com  $\text{HNO}_3$ , HF,  $\text{HClO}_4$  e HCl. Seis elementos foram escolhidos levando em consideração seu potencial de toxicidade: As, Cr, Cu, Ni, Pb e Zn. Esses MT foram identificados e quantificados por espectrometria de massa plasmática indutivamente acoplada (ICP-MS). O material de referência padrão (certificado canadense até 3) esteve do desvio padrão das concentrações certificadas para todos os elementos analisados. O coeficiente de variação (CV) entre duplicatas variou de 4 a 12% (Santana, 2022).

### **Análise estatística**

Com base na matriz de dados abióticos (HPA e MT) foi construída uma análise de componentes principais (PCA), para tanto os dados foram normalizados. Para avaliar a influência dados abióticos sobre os bióticos (alimentação) a matriz foi transformada em raiz quarta e Bray Curtis para construção da matriz de similaridade, onde foi aplicado um modelo de regressão linear baseado em distância (DistLM) com o método de seleção “Best”, para selecionar o modelo final foi utilizado o critério de seleção ( $R^2$ ). A partir desses dados foi construída aplicada uma análise de redundância baseada em distância (dbRDA) (McArdle & Anderson, 2001). Os fatores para comparação utilizados foram período (ANT, DUR e DEP) e praia (GAI e CAR). A Permanova, ao nível de 5% de significância, foi utilizada para se detectar as diferenças alimentares na população, levando em consideração as alterações nos padrões de alimentação entre os períodos e as praias. Para as análises foram utilizados o programa Primer 6.

## RESULTADOS

Foram analisados 140 animais (71 em Gaibu e 69 em Carneiros). Em Gaibu foram capturados 36 machos, 31 fêmeas não ovígeras e quatro fêmeas ovígeras, e em Carneiros foram 36 machos, 26 fêmeas não ovígeras e sete fêmeas ovígeras. O comprimento da carapaça dos caranguejos na praia de Gaibu variou entre 10,17 e 35,1 cm. Em Carneiros o comprimento da carapaça variou entre 8,9 e 28,02 cm. O peso dos caranguejos em Gaibu variou entre 1,4 e 22,82 g em Carneiros de 1,45 e 26,66 g.

### Análise alimentar

*Eriphia gonagra* consumiu um total de 24 itens alimentares de origem animal e vegetal, além de detritos sintéticos. Não foram encontrados fragmentos de óleo nos estômagos dos animais em todo período do estudo. Dentre os itens alimentares, Mollusca (fragmentos) e Macroalgas se caracterizaram como os mais importantes na dieta, com valores acima de 50%. O item Mollusca foi representado nos estômagos através, principalmente, de fragmentos de conchas e pedaços de rádula. Alguns itens participaram de forma acessória na alimentação, tais como Arthropoda (cutícula), sedimento e MOD. Outros apareceram com baixa frequência se caracterizando como algo esporádico na dieta como Acaro, Amphipoda, Brachyura, Echinodermata, Harpacticoida, Insecta, Majidae, Tanaidacea, Ostracoda, Polychaeta, Ovo, Foraminifera, Haminoeidae, Mithracidae, Stomatopoda, Paguroidea, Chironomidae, Isopoda, Zoea.

Em GAI, os itens Macroalgas, Mollusca (fragmento) e MOD se sobressaíram na frequência de ocorrência, sendo reportados na maioria dos estômagos e no geral não são sentidas grandes mudanças na alimentação, permanecendo constante. Contudo, o item Arthropoda (cutícula) não foi consumido no período DUR (FO: 0%), mas posteriormente no período DEP é reportado (FO: 24%) (Tabela 1). Em CAR são observadas diferenças—marcantes principalmente ANT e DUR. O item Macroalgas apresentava uma baixa ocorrência (FO: 29%) nos estômagos e no período DUR apresentou um aumento na sua frequência (FO: 60%). O contrário é observado no item Mollusca, que aparece em 54% dos estômagos e no período DUR tem uma redução em 34% dos estômagos (Tabela 1).

Em Gaibu, os maiores volumes de conteúdo nos estômagos da *E. gonagra* foi composto de matéria vegetal (Macroalgas) junto com sedimento, que juntos representam mais de 50% do volume dos itens. A MOD animal possuiu alterações nos períodos do derramamento, no geral ficando muito próximo os valores nos três períodos ANT, DUR e DEP com respectivamente

de, 46,29; 45,73 e 47,57% (Tabela 1). Em Carneiros, foram observadas as mudanças mais bruscas no volume alimentar, entre as áreas analisadas. Antes do derramamento de petróleo, os animais apresentaram um volume em sua maioria composto por itens de origem animal representando 75,96%. Durante o derramamento ocorreu uma redução para 30,93% do volume total de itens de origem animal, e a partir do derramamento ocorre um aumento novamente desses itens (Tabela 1).

Relacionado ao IA, é possível observar diferenças entre as praias e entre os períodos do derramamento ( $p>0,05$ ) (Tabela 2). Na praia de Gaibu três presas se destacaram foram Macroalgas, Mollusca (fragmento) e MOD. O item preferencial foi Macroalgas com valores de IA acima de 0,5 permanecendo assim nos três períodos do derramamento, o item Mollusca, com um IA nos três períodos de, respectivamente 0,23; 0,32; 0,32 aparece como item secundário, assim como o item Sedimento (IA:0,10) antes do derramamento, já matéria orgânica digerida, aparece com um IA constante de respectivamente nos três períodos de 0,07; 0,09; 0,05(Tabela 1).

Os mesmos itens de destaque na praia de Gaibu, foram encontrados nos estômagos dos caranguejos da praia de Carneiros. Na praia de Carneiros foram observadas as maiores diferenças no IA. Antes do derramamento, Mollusca (fragmento) (IA: 0,32) e Matéria orgânica digerida (IA: 0,43) são preferência na alimentação dos caranguejos e neste mesmo período Macroalgas (IA: 0,09) aparece como item secundário na alimentação (Tabela 2). No período DUR o item, Macroalgas (IA: 0,59) se torna um item preferencial, seguido de Matéria orgânica digerida (IA: 0,32), já Mollusca (fragmento) (IA: 0,01) possuiu uma redução. Posterior ao derramamento, Macroalga (IA: 0,43) continua com valores altos e Mollusca (fragmento) (IA: 0,40) torna-se preferencial na alimentação (Tabela 1). Os outros itens encontrados nos estômagos tiveram IA inferior a 0,1 sendo itens assessorios na alimentação (Tabela 1).



Tabela 2: Resultados da PERMANOVA de dois fatores aplicada aos dados de dieta de *E. gonagra*.

Fatores	Df	SS	F	P(perm)
Praia	1	19,291	2,6509	<b>0,0132</b>
Período	2	26,392	1,8134	<b>0,031</b>
Praia X Período	2	35,553	2,4427	<b>0,0026</b>
Res	134	975,15		
Total	139	1052		

Com relação a estratégia alimentar, foi observado um padrão generalista na alimentação da espécie, com os pontos de abundância não excedendo 50%, exceto para Carneiros no período do derramamento de óleo. Esse padrão ocorreu em ambas as praias, durante os três períodos do derramamento. Foi observado um alto componente infrafenótipo nas praias e nos três períodos do derramamento (Figura 3).

Em Gaibu, é observado uma tendência a especialização em macroalgas, com valores de frequência e abundância maiores aos demais itens encontrados, onde este padrão se repete nos três momentos, apresentando uma dominância de Macroalgas e Mollusca (fragmentos), ficando pronunciado no período DUR (figura 3a, b, c). As mudanças mais amplas de nicho, melhor observadas na praia de Carneiros nos três períodos do derramamento (figura 3d, e, f). Antes do derramamento, observou-se uma alimentação generalista, apresentando poucos destaques para alguns itens, não havendo dominância de presas na alimentação (figura 3d). Contudo, durante o derramamento de petróleo, foi possível observar uma especialização no item macroalgas (figura 3e), algo que após o derramamento tende a diminuir essa especialização (figura 3f). O item Arthropoda (cutícula), antes do derramamento, apresentou uma certa dominância em ambas as praias, algo não observado durante o derramamento (figura 3a, f), em Carneiros existe uma tendência de retorno dessa após o derramamento (figura 3f).

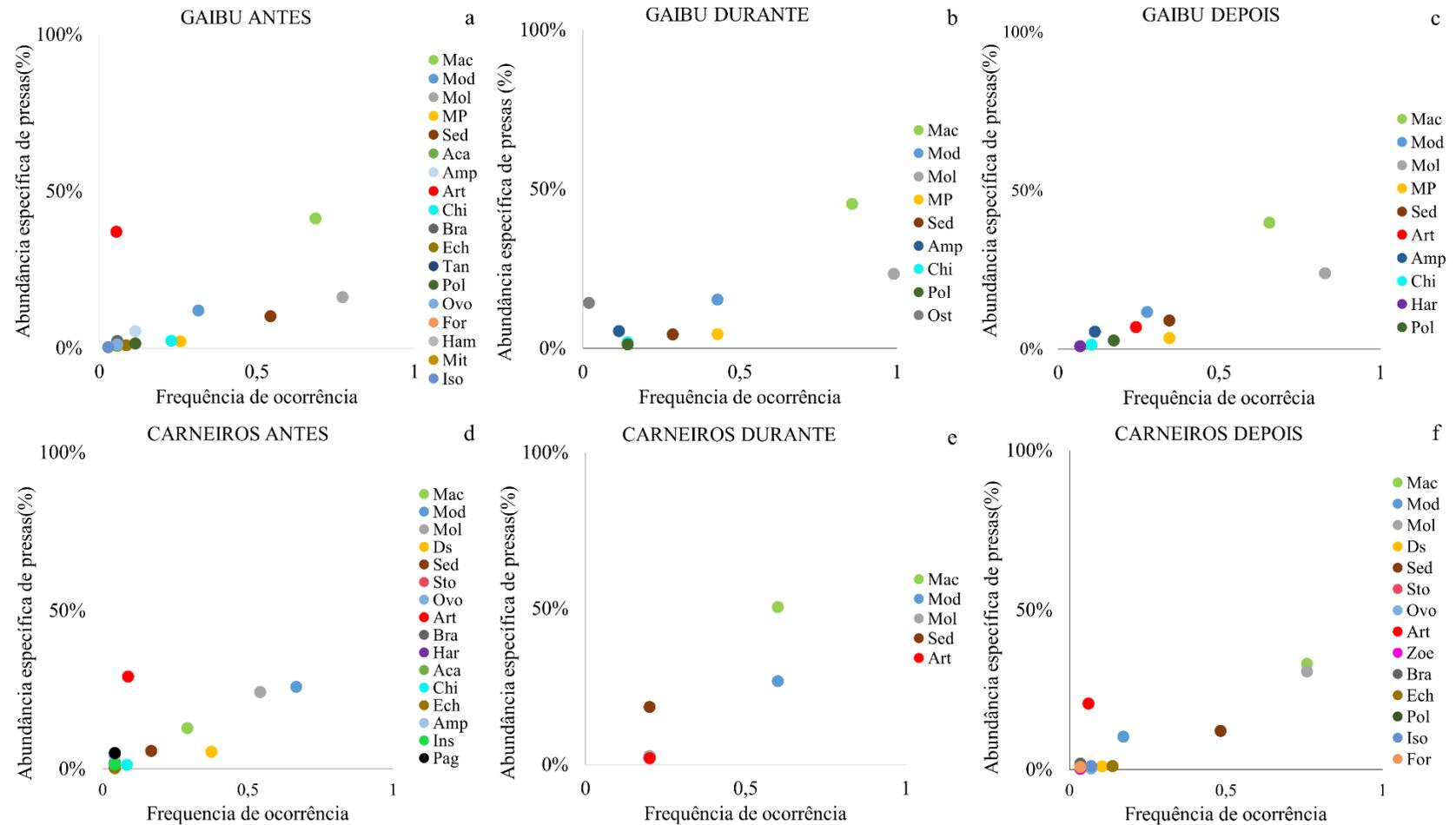


Figura 3: Estratégia alimentar do caranguejo *E. gonagra* nos três períodos do derramamento. a, b, c: Praia de Gaibu, antes, durante e depois do derramamento, respectivamente. d, e, f: Carneiros antes, durante e depois do derramamento, respectivamente. MOD: matéria orgânica digerida; MOL: Mollusca; MP: Microplástico; MAC: Macroalgas; ART: Arthropoda; SED: Sedimento; CHIR: Chironomidae; STO: Estomatopoda; PAG: Paguroidea; INS: Insecta; HAM: Haminoeidae; OVO: Ovos; ECH: Echinoidea; BRA: Brachiura; AMP: Amphipoda; ACA: Acari; ZOE: Zoea; POL: Polychaeta; ISO: Isopoda; FOR: Foraminifera; TAN: Tanaidacea; MIT: Mithracidae. Fonte: Autor.

### **Níveis de HPAs e MT no sedimentos**

Todos os HPAs e MTs analisados foram detectados nas análises de sedimento. No período DUR os níveis de HPAs foram maiores na praia de Gaibu comparados aos níveis observados na praia de Carneiros. As maiores concentrações médias encontradas na praia de Gaibu, em novembro, no período DUR, foram os compostos Fen, Cri, Pir, B[a]A, B[a]P, B[b]F, Flo e Flu (Tabela 1). No mesmo período, a praia de Carneiros apresentou valores inferiores, os compostos que possuíram as maiores concentrações foram o Pireno, Fenantreno e o Naftaleno, estando esses mesmos compostos em destaque ANR e DEP (Tabela 3). Após o derramamento, em fevereiro de 2020, foi observado uma redução nos níveis encontrados em Gaibu e um aumento nos níveis de HPAs em Carneiros (Tabela 3).

Depois do derramamento o Ar apresentou uma concentração média 11 ng/g na praia de Gaibu, seguido do Zi, ANT e DUR na praia de Carneiros com 7 ng/g. A maior concentração de Cr encontrada em GAI ANT do derramamento (3,25 ng/g). Para o Cu, a maior concentração encontrada foi em CAR ANT (4,75 ng/g). Já o Ni e o Pb, apenas na praia de Carneiros no período ANT foram detectados (Ni: 1,28 ng/g; Pb: 3,03 ng/g) (Tabela 3).

A PCA aplicada aos dados de HPAs e MT, demonstrou as diferenças dos níveis de contaminação entre as áreas de coleta e os períodos amostrados (Figura 4). Os dois primeiros eixos juntos, explicaram 91,0% da variação dos dados. O primeiro eixo, com 68,3%, posicionou no eixo positivo GAI DUR e os maiores valores de concentração dos contaminantes 2-MN, Acenaftileno, Ant, B[a]A, B[b]F, B[k]F, B[a]P, B[ghi]P, Cri, D[a,h]A, Fen, Flo, Flu, I[1,2,3]P e Pir, os quais ficaram inversamente correlacionados à GAI ANT, posicionado no eixo negativo, quando estes contaminantes apresentaram valores inferiores a 0,33 ng/g (Tabela 3). O segundo eixo explicou 22,7% da variância total dos dados, no quadrante positivo, CAR DUR, CAR DEP e GAI DEP formaram um grupo associados ao arsênio, já no eixo negativo ficou posicionado CAR ANT juntamente com Naf, Cu, Zi, Ni, Pb, Cr e Ace.

Tabela 3: Concentração de HPAs e MT (ng/g) extraídos do sedimento de duas praias estudadas. Os dados são média  $\pm$  erro padrão. ANT: antes; DUR: durante; DEP: depois; nd= não detectado, Naf: naftaleno; 2-MN: 2-metil naftaleno; Aci: acenaftileno; Ace: acenafteno; Flu: fluoreno, Fen: fenantreno; Ant: antraceno; Flo: fluoranteno; Pir: pireno; B[a]A: benzo[a]antraceno; Cri: criseno; B[b]F: benzo[b]fluoranteno; B[k]F: benzo[k]fluoranteno; B[a]P: benzo[a]pireno; I[123]P: indeno[1,2,3-cd]pireno; D[a,h]A: dibenzo[a,h]antraceno; B[g,h,i]P: benzo[g,h,i]perileno; Ar: arsênio; Cr: cromo; Cu: cobre; Ni, níquel; Pb Chumbo; Zi zinco:

HPA's	GAIBU			CARNEIROS		
	ANT	DUR	DEP	ANT	DUR	DEP
Naf	0,46 $\pm$ 0,03	0,44 $\pm$ 0,16	0,39 $\pm$ 0,07	<b>0,56</b> $\pm$ 0,21	0,28 $\pm$ 0,10	0,32 $\pm$ 0,08
2-Mn	0,11 $\pm$ 0,02	<b>0,81</b> $\pm$ 0,60	0,07 $\pm$ 0,005	<b>0,24</b> $\pm$ 0,09	0,14 $\pm$ 0,03	0,20 $\pm$ 0,05
Aci	0,09 $\pm$ 0,02	0,09 $\pm$ 0,03	0,07	<b>0,08</b> $\pm$ 0,01	0,06 $\pm$ 0,01	0,06 $\pm$ 0,01
Ace	0,04 $\pm$ 0,01	<b>1,50</b> $\pm$ 1,35	0,04 $\pm$ 0,01	<b>0,06</b> $\pm$ 0,01	0,04 $\pm$ 0,01	0,05 $\pm$ 0,02
Flu	nd	<b>4,68</b> $\pm$ 4,45	nd	0,07 $\pm$ 0,01	0,04 $\pm$ 0,01	<b>0,11</b> $\pm$ 0,08
Fen	0,19 $\pm$ 0,06	<b>56,77</b> $\pm$ 56,01	0,16 $\pm$ 0,05	0,51 $\pm$ 0,17	0,35 $\pm$ 0,07	<b>0,86</b> $\pm$ 0,33
Ant	0,10 $\pm$ 0,02	<b>2,71</b> $\pm$ 2,55	0,08 $\pm$ 0,01	0,06 $\pm$ 0,01	0,06 $\pm$ 0,01	<b>0,11</b> $\pm$ 0,02
Flo	0,21 $\pm$ 0,11	<b>6,76</b> $\pm$ 5,78	0,19 $\pm$ 0,08	<b>0,20</b> $\pm$ 0,06	0,19 $\pm$ 0,04	0,45 $\pm$ 0,08
Pir	0,17 $\pm$ 0,07	<b>20,86</b> $\pm$ 19,73	0,52 $\pm$ 0,41	0,26 $\pm$ 0,07	0,56 $\pm$ 0,18	<b>1,22</b> $\pm$ 0,33
B[a]A	0,12 $\pm$ 0,04	<b>16,37</b> $\pm$ 15,96	0,58 $\pm$ 0,50	0,07 $\pm$ 0,01	0,06 $\pm$ 0,01	<b>0,18</b> $\pm$ 0,06
Cri	0,16 $\pm$ 0,06	<b>23,48</b> $\pm$ 23,01	1,18 $\pm$ 1,08	0,10 $\pm$ 0,02	0,11 $\pm$ 0,02	<b>0,54</b> $\pm$ 0,27
B[b]F	0,33 $\pm$ 0,02	<b>7,44</b> $\pm$ 6,88	0,42 $\pm$ 0,34	0,11 $\pm$ 0,03	0,07 $\pm$ 0,02	<b>0,47</b> $\pm$ 0,15
B[k]F	0,09 $\pm$ 0,03	<b>2,83</b> $\pm$ 2,5	0,10 $\pm$ 0,06	0,09 $\pm$ 0,02	0,05 $\pm$ 0,01	<b>0,20</b> $\pm$ 0,16
B[a]P	0,10 $\pm$ 0,06	<b>11,97</b> $\pm$ 11,55	0,38 $\pm$ 0,34	0,09 $\pm$ 0,03	0,06 $\pm$ 0,02	<b>0,29</b> $\pm$ 0,13
I[1,2,3]P	0,13 $\pm$ 0,08	<b>1,24</b> $\pm$ 0,61	0,11 $\pm$ 0,04	0,09 $\pm$ 0,03	0,06 $\pm$ 0,03	<b>0,51</b> $\pm$ 0,18
D[a,h]A	nd	<b>2,39</b> $\pm$ 2,28	0,17 $\pm$ 0,13	Nd	Nd	<b>0,12</b> $\pm$ 0,04
B[ghi]P	0,19 $\pm$ 0,13	<b>4,16</b> $\pm$ 3,29	0,43 $\pm$ 0,32	0,10 $\pm$ 0,03	0,06 $\pm$ 0,03	<b>0,68</b> $\pm$ 0,25
MTs		<b>GAIBU</b>			<b>CARNEIROS</b>	
	ANT	DUR	DEP	ANT	DUR	DEP
Ar	nd	2,53 $\pm$ 2,49	<b>11</b> $\pm$ 0,6	Nd	<b>5,27</b> $\pm$ 3,03	nd
Cr	<b>3,25</b> $\pm$ 0,85	0,01 $\pm$ 0,009	0,25 $\pm$ 0,02	<b>3</b> $\pm$ 2	0,02 $\pm$ 0,01	0,5 $\pm$ 0,29
Cu	<b>2,75</b> $\pm$ 0,85	nd	nd	<b>4,75</b> $\pm$ 0,25	Nd	nd
Ni	nd	nd	nd	<b>1,28</b> $\pm$ 1,24	Nd	nd
Pb	nd	Nd	nd	<b>3,03</b> $\pm$ 2,99	Nd	nd
Zi	<b>3,75</b> $\pm$ 1,0	0,27 $\pm$ 0,24	0,77 $\pm$ 0,46	<b>7</b> $\pm$ 3,02	0,26 $\pm$ 0,25	3 $\pm$ 0,58

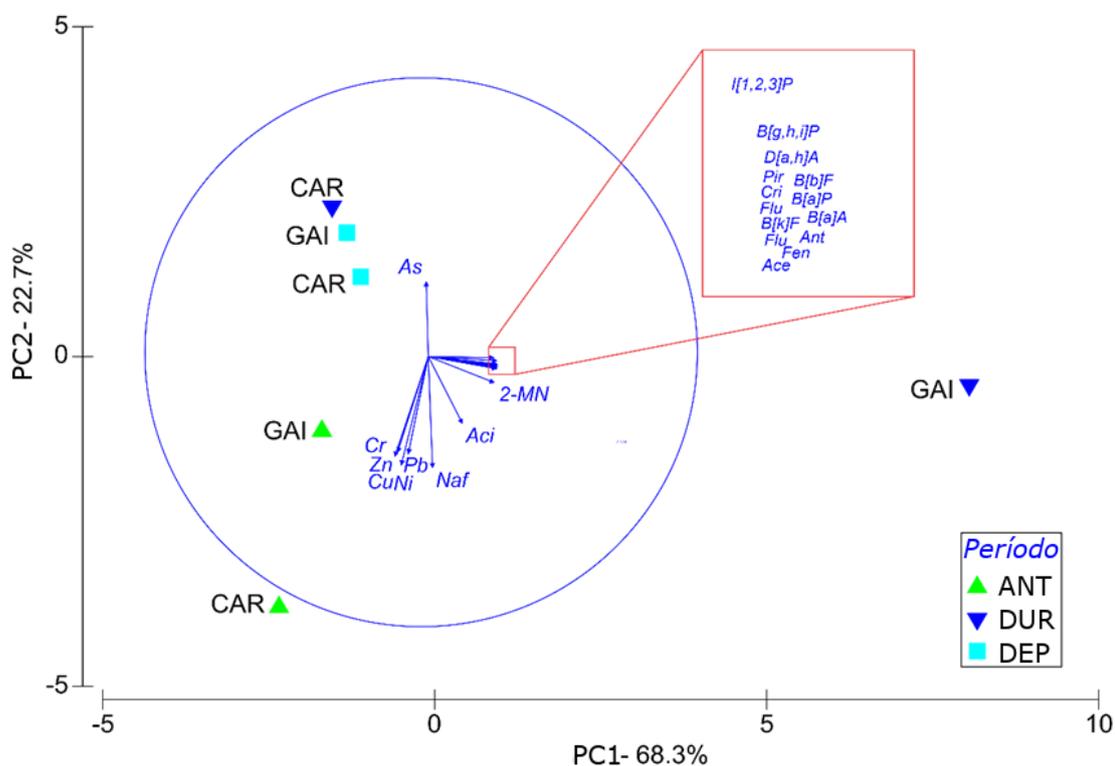


Figura 4. Análise de componentes principais aplicada aos dados de HPAs e MT nos sedimentos dos recifes de arenito das Praias de Gaibu (GAI) e Carneiros (CAR) nos períodos antes (ANT), durante (DUR) depois (DEP) derramamento do óleo. Naf: naftaleno; 2-MN: 2-metil naftaleno; Aci: acenaftileno; Ace: acenafteno; Flu: fluoreno, Fen: fenantreno; Ant: antraceno; Flo: fluoranteno; Pir: pireno; B[a]A: benzo[a]antraceno; Cri: criseno; B[b]F: benzo[b]fluoranteno; B[k]F: benzo[k]fluoranteno; B[a]P: benzo[a]pireno; I[123]P: indeno[1,2,3-cd]pireno; D[a,h]A: dibenzo[a,h]antraceno; B[g,h,i]P: benzo[g,h,i]perileno; Ar: arsênio; Cr: cromo; Cu: cobre; Ni, níquel; Pb Chumbo; Zi zinco;. Fonte: Autor.

#### **Integração dos dados sobre alimentação de *E. gonagra* com os dados abióticos**

O modelo DistLM selecionou quatro contaminantes (um HPA, Naf e três metais, Zi, Ni e Cr) dentre os 23 contaminantes analisados como preditores que influenciaram na composição dados de composição alimentar, com correlação acumulada de 0,98 (Tabela 4). A configuração gráfica do RDA explicou 70,73% dos dados nos dois primeiros eixos juntos. O Eixo 1 explicou 41,36% da variação dos dados e posicionou no quadrante positivo CAR DUR inversamente correlacionado a CAR ANT e GAI ANT, nas coordenadas negativas. O eixo 2 demonstrou explicação de 29,38% da variância, onde no eixo positivo GAI ANT, CAR DUR e CAR DEP

com os metais Cr e Zi, enquanto nas coordenadas negativas estiveram posicionadas GAI ANT e GAI DEP com o metal Ni (figura 5).

Tabela 4: Seleção dos elementos que mais influenciaram a composição dos dados alimentares no modelo DistLM. Naf: naftaleno; Zi: zinco, Ni: níquel; Cr: cromo.

Variável	R <sup>2</sup>	SS(trace)	F	P(perm)
Naf	0,38041	965,82	2,4558	<b>0,011</b>
Zi	0,65516	697,58	2,3902	<b>0,097</b>
Ni	0,86535	533,67	3,1222	<b>0,14</b>
Cr	0,98435	302,13	7,6054	<b>0,086</b>
Melhor solução				
R <sup>2</sup>	0,98435			

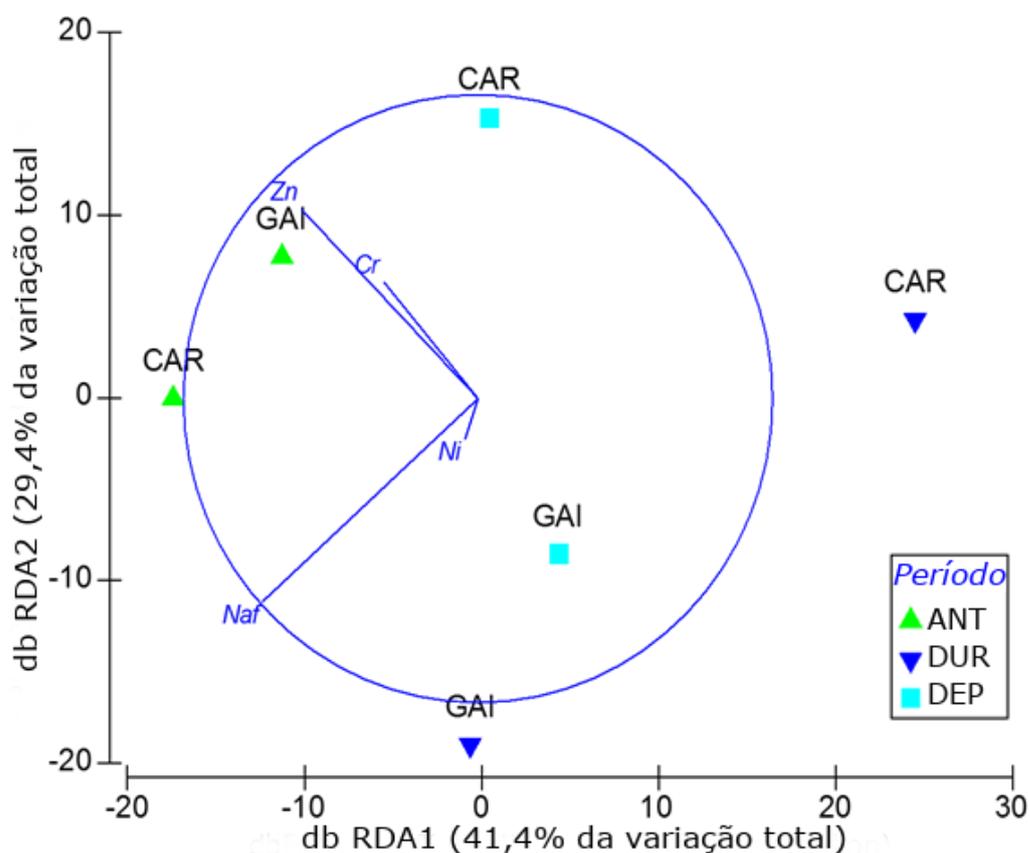


Figura 5. Análise de Redundância aos dados de composição alimentar e contaminantes (HPA's e MT) nos sedimentos dos recifes de arenito das Praias de Gaibú (GAI) e Carneiros (CAR) nos períodos antes (BEF), durante (DUR) e depois (LAT) do derramamento do óleo. Naf: naftaleno; Zn: zinco; Cr: cromo; Ni: níquel. Fonte: Autor.

## DISCUSSÃO

A fragmentação grande fragmentação dos itens estomacais, dificultando assim a melhor identificação, decorre da *E. gonagra* possuir o hábito esmagador e descascador no ato da

alimentação (Turra et al. 2005). Nesta espécie são encontradas uma série de especializações nos apêndices, principalmente nas quelas, como a presença de uma heteroquelia, existência de dentes molares e dentes curvos no dedo móvel da quela o que facilita o animal explorar uma dieta durófaga (Schweitzer e Feldmann, 2010).

A diversidade de itens encontrados nos estômagos dos caranguejos, permite definir que *E. gonagra*, na área estudada, possui um hábito alimentar onívoro oportunista, semelhante a classificação proposta para a espécie ( ver Santana et al. 2022b) com uma composição baseada em moluscos e macroalgas, além de outros invertebrados (principalmente crustáceos) e sedimento. Esses resultados, demonstram algo característico envolvendo a espécie, uma vez que, valores similares foram documentados para diferentes locais da costa brasileira (Nalesso, 1993; Rodrigues et al. 2020; Santana et al. 2022b). No entanto, outras espécies do mesmo gênero, como *E. verrucosa* e *E. smithi* são classificadas como carnívoras oportunísticas, as quais se alimentam prioritariamente de moluscos e equinodermos, com baixa ou nenhuma contribuição de material vegetal (Vannini et al. 1989; Pérez-Miguel et al. 2017; Acar et al. 2022).

As diferenças encontradas na proporção do consumo de fontes de origem animal e vegetal, tanto nos períodos de coleta, quanto entre as praias, traz uma ideia de resposta da espécie às perturbações causadas pelo derramamento de óleo. Nas duas praias estudadas, *E. gonagra* apresentou diferenças nas proporções de consumo de material vegetal (macroalgas) e animal, e conseqüentemente, com mudanças na estratégia alimentar. Essas mudanças foram mais visíveis em Carneiros, onde antes do derramamento de petróleo, os animais consumiram cerca de 13% de macroalgas, e inverteram sua dieta para cerca de 51% durante o derrame. Após o derramamento, os valores reduziram tendem a uma recuperação. Porém, em Gaibu essas proporções permaneceram muito semelhantes entre os períodos de coleta, com uma leve redução do consumo de material animal no período do derramamento. A alimentação generalista, semelhante a que foi encontrada para *E. gonagra*, favorece o sucesso do animal em explorar outros nichos. As espécies que não possuem uma alimentação especializada possuem uma vantagem perante as perturbações ambientais e conseguem sobreviver a certos ambientes degradados, uma vez que não dependem diretamente de um recurso fixo, podendo se alimentar de outras fontes disponíveis no ambiente (Schmitt et al. 2019).

A estratégia alimentar dos caranguejos, reflete seu comportamento e a disponibilidade de itens alimentares no ambiente (Laughlin, 1982). As mudanças de nicho demonstrado pela estratégia

alimentar na *E. gonagra* no período de derramamento de petróleo, revelaram que a espécie é capaz de variar o foco da alimentação e em uma área impactada é fundamental para o sucesso dos indivíduos. Experimentos realizados em Nova Jersey (USA) com siris (*Callinectes danae*), demonstraram que a espécie preferiu o consumo de macroalgas e outras plantas, e menos presas vivas (ex.: peixes e outras crustáceos de vida livre) no estuário contaminado por metais, quando comparado com o estuário sem contaminação (Reichmuth et al. 2009). As mudanças na dieta estão correlacionadas por alguns fatores, incluindo a redução de sua coordenação motora para capturar presas móveis, muito embora não ocorra a perda de apetite ou motivação. Isto porque, seria capaz de consumir animais sésseis (ex. mexilhões), caso estejam disponíveis e façam parte de sua dieta. Mudanças comportamentais, como resposta de fuga e velocidade de alimentação são documentadas como efeito agudo da contaminação do óleo em caranguejos chama-marés após o derramamento causado pelo Deepwater Horizon na região do golfo do México (Culbertson et al. 2007; Zengel et al. 2016).

Outro fator que precisa ser observado sobre a estratégia alimentar de uma espécie generalista, além da disponibilidade de presas, são as diferenças de comportamento durante os turnos diurno-noturno e alturas de marés. Observações feitas em campo sobre a hábitos alimentares de *E. smithi*, em um golfo na Somália, revelaram que a espécie é mais ativa nas marés baixas noturnas, durante o dia prefere se alimentar daquilo que está disponível no entorno de suas tocas, especialmente algas, detritos e presas que estejam aderidas às algas ou sobre o substrato (Vannini et al. 1987). Durante a noite, nas marés baixas, os indivíduos maiores (cw 40-44 mm) podem se deslocar por mais de 10 m de distância, quando aproveitam para predação fontes de alimento de origem animal (moluscos e outros crustáceos) (Vannini, 1980; Vannini et al. 1987).

As análises demonstram um padrão de recuperação da dieta na praia de Carneiros, onde após o derramamento a sua dieta apresentou uma tendência aos níveis apresentados antes do derramamento. Devido a sua alta densidade e um aspecto mais sólido do óleo foram aspectos fundamentais na retirada do óleo, diminuindo assim a presença no ambiente, favorecendo uma recuperação rápida da meiofauna, itens utilizados como fonte alimentar por *E. gonagra* (Lourenço et al. 2020; Oliveira et al. 2020, Craveiro et al. 2020, Rosa et al. 2022). Por outro lado, em Gaibu, onde não houve alterações na estratégia alimentar, os impactos crônicos (urbanização, degradação e turismo) são preponderantes para explicar os padrões observados na alimentação da espécie. Em ambientes recifais, onde existem impactos de pisoteio, despejo

de esgoto sem tratamento, poluição por plástico e urbanização elevada, a dieta da *E. gonagra* foi composta basicamente de algas e detritos (Rodrigues et al. 2020, Santana et al. 2022b)

Os problemas de um animal onívoro, onde sua alimentação é alterada para altos teores de compostos vegetais, é que essa dieta é de baixa qualidade, possuindo níveis de nitrogênio e carbono de difícil digestão (Cannicci et al. 2007). Muitas vezes, essa proporção não atende as necessidades energéticas necessárias para a espécie, influenciando diretamente estoques de carboidrato e lipídios, que estão correlacionados nas funções fisiológicas do animal como crescimento, esforços reprodutivo, maturidade e atividade reprodutiva (Linton e Greenaway, 2007; Belgrad e Griffen, 2016). Porém, no estudo realizado sobre a contribuição isotópica dos itens alimentares no tecido muscular em *E. verrucosa*, as macroalgas (Clorhophyta e Ochrophyta) participaram com mais de 19%, enquanto gastropoda foi o principal (57%), seguido por Crustacea (16%), com variações na ordem de importância dependendo do modelo de análise bayesiana adotado (Acar et al. 2022).

grandes volumes de macroalgas encontradas nos estômagos dos caranguejos da praia de Gaibu, bem como aos grandes volumes encontrados durante o derramamento de petróleo em Carneiros estão relacionados a um processo compensatório. Diferente dos animais herbívoros, onde existe toda uma fisiologia voltada ao consumo de matéria vegetal, os indivíduos onívoros não possuem essa fisiologia que auxilia na absorção de nutrientes, resolvendo esse déficit com um consumo de grandes volumes de alimentos (algas) uma vez que possuem baixa assimilação por parte do animal (Riley et al. 2014).

Em todos os estômagos analisados no período em que sucedeu a chegada das machas, não foram encontrados partículas visíveis de petróleo. Contudo, apesar da não constatação visual, a presença do petróleo no ambiente pode desencadear uma série de alterações fisiológicas nos animais. No siri *Polybius henslowii*, as análises de conteúdo estomacal também não constataram a presença de partículas de óleo no estômago, após o derramamento causado pelo petroleiro Prestige na costa galega em 2002, entretanto presença de petróleo no ambiente foi responsável pelo aumento da enzima acetilcolinesterase, biomarcador de estresse neurotóxico utilizado para avaliar contaminação Signa et al. (2008).

A análise de PCA, demonstrou a formação de dois grupos com relação aos contaminantes. As concentrações de HPAs estiveram associadas principalmente com a praia de Gaibu durante o derramamento, e os MT associados principalmente com a praia de Carneiros antes do derramamento. De modo geral, os valores encontrados demonstraram uma contaminação moderada comparada com os valores encontrados em áreas verdadeiramente poluídas e que apresentam intensa entrada de contaminantes (Scolo et al. 2000; Readman et al. 2002, Silva et al, 20) contudo, devido a constatação da presença dos contaminantes é possível observar outras fontes de contaminantes presente nas praias, como a entrada de contaminantes pirolíticos, a queima de combustíveis e a entrada de efluentes (Scollo et al. 2000; Pacheco e Santos, 2001; Muniz et al. 2006)

Uma longa exposição aos processos de intemperismo, auxilia na decomposição do óleo ao chegar na praia e favorece com que grandes HPAs se degradem em compostos menores mais biodisponíveis (Doerffer 1992; Huettel, 2022). Diferente das áreas de manguezais os fatores como alta dinâmica, maior granulometria do sedimento e uma intensa oxigenação, encontradas principalmente em ambientes de praia, impede a permanência desses contaminantes e possibilita uma maior lixiviação e diminuição das concentrações encontradas (Barth, 2001; Huettel, 2022). Outro fator que influencia nos resultados das concentrações de HPAs é a rapidez no processo de limpeza da praia. Segundo Richetti e Milaré (2021), os processos de limpeza ocorreram quando as manchas chegaram nas praias e toda uma comoção por parte da sociedade, auxiliaram na extração do óleo das praias. Esse processo de limpeza traz reflexo na diminuição dos níveis de HPAs observados após o derramamento.

Os derreamentos de petróleo bruto são responsáveis pela contaminação de MT no ambiente (Chinedu e Chukwuemeka 2018). Contudo, no presente estudo podemos inferir que existem fontes distintas e crônicas, independentes do derramamento de óleo ocorrido nas áreas de coleta. O que explica a detecção de contaminantes antes da chegada do petróleo. As concentrações de Zinco são muitas vezes associadas a contaminação por despejos de efluentes (Righi et al. 2022) que podem ser transportados e depositados no ambiente. É possível observar uma associação do Arsênio a praia de Carneiros durante e depois do derramamento e em Gaibu após o derramamento. Neste contexto, os vazamentos de petróleo fazem com que os níveis de arsênio, retidos nos HPAs, sejam liberados no ambiente (Schreiber e Cozzarelli, 2021). No entanto, outro fator que não pode ser desconsiderado. Essas áreas costeiras compostas por rochas sedimentares e vulcânicas que, naturalmente, contêm elemento químico (Mendes, 2015) e

através dos processos naturais de erosão e lixiviação, é liberado do solo e das rochas são lixiviados podendo acumular-se na água do mar e na areia da praia.

De acordo com análise do índice alimentar e os dados abióticos, o Naftaleno possuiu uma maior influência nos padrões de alimentação na praia de Gaibu e Carneiros antes do derramamento, correlacionando de forma contrária em Carneiros no período do derramamento. Já Zi e Cr apresentaram uma correlação positiva em Carneiros no período após o derramamento. O Níquel esteve correlacionado principalmente na praia de Gaibu durante e depois do derramamento. Esta relação aos compostos, principalmente Naf, Zi e Cr, a partir das análises de HPAs e MT, são contaminantes constante no ambiente e essa relação antes do derramamento, demonstrando a presença de uma contaminação presente no ambiente. Devido seu hábito alimentar, os crustáceos possuem uma facilidade com o contato das fontes de contaminação no sedimento o que favorece a exposição (Voorspoels et al. 2004). Os MT e os oligoelementos possuem a capacidade de biomagnificação e em certas concentrações podem ser tóxicos para os animais atuando nos processos fisiológicos induzindo a danos teciduais (Doerffer, 1992; Shahidul Islam e Tanaka, 2004; Righi et al. 2022), no entanto deve-se levar em consideração as altas concentrações de contaminantes assim com a biodisponibilidade.

Nos crustáceos, a contaminação está relacionada com a toxicidade que a exposição a certas concentrações pode ocasionar nos animais. No organismo dos crustáceos, o naftaleno é acumulado e metabolizado no órgão perigástrico, este órgão atua como armazenamento lipídico que são utilizados no processo de reprodução o pode trazer uma série de problemas, principalmente nos processos de vitelogênese (Vijayavel et al. 2004). A taxa de evaporação de alguns compostos de HPAs, aliada à hidrodinâmica da praia faz com que as concentrações de maiores riscos sejam agudos e com o passar do tempo a biodisponibilidade desses componentes diminuam (Zambrano et al. 2012). Além disso, os crustáceos possuem uma excelente forma de limpeza do seu corpo, principalmente pelos processos de muda, uma vez que a sua carapaça representa a maior parte da biomassa corporal, existe uma acumulação neste órgão fazendo com que não exceda os níveis em seu corpo tornado assim tóxico para o animal (Righi et al. 2022). Adeleke et al. (2020), reporta níveis significativamente altos de MT no sedimento, em contrapartida, é encontrado uma baixa concentração de MT no organismo do caranguejo *Dotilla fenestrata*.

## CONCLUSÃO

Devido ao seu hábito generalista a *E. gonagra* apresenta um potencial de adaptabilidade as pressões antrópicas geradoras de impactos. As alterações na alimentação, principalmente nos recifes da praia de Carneiros, que está inserida na APA dos Corais e APA Guadalupe, consiste em uma resposta do efeito do petróleo sobre os animais. Os maiores volumes de macroalgas, principalmente nos estômagos no período do derramamento reforça esse ponto. Desta forma, os resultados demonstram que em áreas impactadas existe a preferência pelo item alimentar, assim como é observado nos animais da praia de Gaibu, área com a presença antrópica fortemente consolidada. A detecção de HPAs e MT antes da chegada do óleo endossa o fato que em menor e maior grau, as praias são impactadas de forma crônica (esgoto, turismo, contaminação por metais, etc.) e que os efeitos só foram acrescidos com a chegada das grandes manchas de petróleo. Apesar da espécie apresentar um hábito alimentar generalista, alterações são observadas em sua dieta. Diante do exposto, dois fatores são preponderantes para explicar os impactos causados alimentação da *E. gonagra*. O primeiro, tem a haver com a diminuição da disponibilidade presas que morreram após a chegada do óleo, bem como a baixa quantidade de presas disponíveis nos recifes e o segundo, são os efeitos duradouros dos contaminantes (HPAs e MT) na capacidade predadora da espécie. O estudo de alimentação, é uma ferramenta importante e os resultados apresentados demonstram os efeitos que um distúrbio age sobre a espécie e desta forma servirão como subsídios para futuros eventos com magnitude comparada ao ocorrido no ano de 2019 no Nordeste do Brasil.

## AGRADECIMENTOS

A FACEPE pela concessão do subsídio para desenvolver o projeto. A CAPES pela concessão de bolsa. Ao laboratório ORGANOMAR pelas análises de HPAs e Metais Traços. Ao Laboratório de Crustáceos/ MOUFPE pelo auxílio nas coletas do material biológico bem como o uso de suas dependências para as análises.

## REFERÊNCIAS

- Acar S, Ertürk Gürkan S, Ateş AS. 2022. A Contribution on the Diet of the Warty Crab, *Eriphia verrucosa* (Forskål, 1775) by Informative Bayesian Stable Isotope Mixing Models. Russian Journal of Marine Biology 48: 495-503 . doi: <https://doi.org/10.1134/S1063074022060025>
- Adeleke B, Robertson-Andersson, D, Moodley, G. 2020. Comparative analysis of trace metal levels in the crab *Dotilla fenestrata*, sediments and water in Durban Bay harbour, Richards Bay

harbour and Mlalazi estuary, Kwazulu-Natal, South Africa. *Heliyon*, 6(8) e04725. doi: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04725>

Amundsen PA., Gabler HM, Staldvik FJ. 1996. A new approach to graphical analysis of feeding strategy from stomach contents data—modification of the Costello (1990) method. *Journal of fish biology* 48(4): 607-14.

Andrews N, Bennett NJ, Le Billon P, Green SJ, Cisneros-Montemayor AM, Amongin S, Gray NJ, Sumaila UR. 2021. Oil, fisheries and coastal communities: A review of impacts on the environment, livelihoods, space and governance. *Energy Research & Social Science* 75, 102009. doi: <https://doi.org/10.1016/j.erss.2021.102009>

Araújo MCB, Souza ST, Chagas ACO, Barbosa SC, Costa MF. 2007. Análise da ocupação urbana das praias de Pernambuco, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management* 7(2):97-104.

Arruda-Santos RHD, Schettini CAF, Yogui GT, Maciel DC, Zanardi-Lamardo E. 2018. Sources and distribution of aromatic hydrocarbons in a tropical marine protected area estuary under influence of sugarcane cultivation. *Science of The Total Environment* 624:935-44. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.174>.

Azevedo-Farias AK, Castro RB, Silva VEL, Calado TCS. 2021. Urbanization effects on morphological traits of *Eriphia gonagra* (Decapoda, Eriphiidae) in tropical intertidal reef of the Northeastern Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 16(2):141-49

Barth HJ. 2001. The coastal ecosystems 10 years after the 1991 Gulf War oil spill. National Commission for Wildlife Conservation and Development, Riyadh and German Research Foundation, Frankfurt.

Belgrad BA, Griffen BD. 2016. The Influence of Diet Composition on Fitness of the Blue Crab, *Callinectes sapidus*. *PLOS ONE* 11(1):e0145481

Bolla Júnior EA. 2014. Aquecimento global e acidificação oceânica: efeitos da temperatura, salinidade e dióxido de carbono no desenvolvimento larval do carangejo intertidal *Eriphia gonagra* (Crustacea, Decapoda, Eriphiidae). Tese, Botucatu, 160p

- Bolognesi C, Perrone E, Roggieri P, Sciutto A. 2006. Bioindicators in monitoring long term genotoxic impact of oil spill: Haven case study. *Marine Environmental Research*, 62:287–91. doi:10.1016/j.marenvres.2006.04.047
- Branco JO, Verani JR. 1997. Dinâmica da alimentação natural de *Callinectes danae* Smith (Decapoda, Portunidae) na Lagoa da Conceição, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Zoologia* 14(4):1003–18
- Brum HD, Campos-Silva JV, Oliveira EG. 2020. Brazil oil spill response: government inaction. *Science*, 367 (6474): 155–56.
- Campelo RPDS, Lima CDMD, Santana, CS, Silva, AJ, Neumann-Leitão S, Ferreira BP, Soares MDO, Melo Júnior MD, Melo PAMDC. 2021. Oil spills: The invisible impact on the base of tropical marine food webs. *Marine Pollution Bulletin* 167 (112281). doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112281>
- Cannicci S, Gomei M, Dahdouh-Guebas F, Rorandelli R, Terlizzi A. 2007. Influence of seasonal food abundance and quality on the feeding habits of an opportunistic feeder, the intertidal crab *Pachygrapsus marmoratus*. *Marine Biology* 151:1331-42. doi: <https://doi.org/10.1007/s00227-006-0570-3>
- Carqueija CRG, Gouvêa EP. 1998. Hábito alimentar de *Callinectes larvatus* Ordway (Crustacea, Decapoda, Portunidae) no manguezal de Jiribatuba, Baía de Todos os Santos. Bahia. *Revista Brasileira de Zoologia* 15(1):273-78
- Castège I, Milon E., Pautrizel F. 2014. Response of benthic macrofauna to an oil pollution: Lessons from the “Prestige” oil spill on the rocky shore of Guéthary (south of the Bay of Biscay, France). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 106: 192-197. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.09.035>
- Chinedu E, Chukwuemeka CK. 2018. Oil Spillage and Heavy Metals Toxicity Risk in the Niger Delta, Nigeria. *Journal of Health & Pollution* 8(19). doi: <https://doi.org/10.5696/2156-9614-8.19.180905>
- Craveiro N, Alves RVA, Silva JM, Vasconcelos E, Almeida AJ, Rosa Filho JS (2021) Immediate effects of the 2019 oil spill on the macrobenthic fauna associated with macroalgae

on the tropical coast of Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 165(112107). doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112107>

Culbertson JB, Valiela I, Peacock EE, Reddy CM, Carter A, VanderKruik R. 2007. Long-term biological effects of petroleum residues on fiddler crabs in salt marshes. *Marine Pollution Bulletin*, 54: 955-62

Doerffer JW. 2013. Oil spill response in the marine environment. Elsevier.

Elmgren R, Hansson S, Larsson U, Sundelin B, Boehm PD. 1983. The “Tsesis” oil spill: Acute and long-term impact on the benthos. *Marine Biology* 73(1):51–65. doi:10.1007/bf00396285

Estevo MO, Lopes PFM, Oliveira Júnior JGC, Junqueira AB, Santos APO, Lima JAS, Malhado ACM, Ladle RJ, Campos-Silva JV. 2021. Immediate social and economic impacts of a major oil spill on Brazilian coastal fishing communities. *Marine Pollution Bulletin*, 164 (111984). doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.111984>.

Holt EA, Miller SW. 2011. Bioindicators: Using Organisms to Measure Environmental Impacts. *Nature Education Knowledge* 2(2):1-8

Huettel M. 2022. Oil pollution of beaches. *Current Opinion in Chemical Engineering* 36 (100803). doi: <https://doi.org/10.1016/j.coche.2022.100803>

Kawakami E, Vazzoler G. 1980. Método gráfico e estimativa de índice alimentar aplicado no estudo de alimentação de peixes. *Bol Inst Oceanog USP*, 29(2):205–207

Koh SK, Ng PKL. 2008. A revision of the shore crabs of the genus *Eriphia* (Crustacea: Brachyura: Eriphiidae). *Raffles Bulletin of Zoology* 56(2):327-55.

Köppen W. 1948. *Climatologia*. Mexico, Ed. Fondo de la Cultura Economica.

Laughlin RA. 1982. Feeding habits of the blue crab, *Callinectes sapidus* Rathbun, in the Apalachicola estuary, Florida. *Bulletin of Marine Science* 32(4):807-822.

Lessa GC, Teixeira CEP, Pereira J, Santos FM. 2021. The 2019 Brazilian oil spill: Insights on the physics behind the drift. *Journal of Marine Systems* 222. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2021.103586>.

Linton SM, Greenaway PA. 2007. Review of feeding and nutrition of herbivorous land crabs: adaptations to low quality plant diets. *Journal of Comparative Physiological B* 177:269-286. doi: <https://doi.org/10.1007/s00360-006-0138>

Lourenço RA, Combi T, Alexandre MDR., Sasaki ST, Zanardi-Lamardo E, Yogui GT. 2020. Mysterious oil spill along Brazil's northeast and southeast seaboard (2019–2020): Trying to find answers and filling data gaps. *Marine Pollution Bulletin*, 156(111219). doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111219>

Magalhães KM., Barros KVDS, Lima MCSD, Rocha-Barreira CDA., Rosa Filho JS, Soares MDO. 2021. Oil spill + COVID-19: A disastrous year for Brazilian seagrass conservation. *Science of The Total Environment* 764(142872). doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142872>

McClain CR, Nunnally C, Benfield MC. 2019. Persistent and substantial impacts of the Deepwater Horizon oil spill on deep-sea megafauna. *Royal Society. Open Science*. 6 (191164). doi: <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.191164>

Melo GAS.1996. Manual de identificação dos Brachyura (caranguejo e siris) do litoral brasileiro. São Paulo, Plêiade FAPESP, p 604.

Mendes NMTS. 2015. Background geoquímico para sedimentos de regiões estuarinas de Pernambuco. Tese, Recife, p 133.

Mesquita B, Quinamo T. 2020. Justiça azul e pesca artesanal no centro do debate do derramamento de petróleo no Brasil. In: Impactos socioeconômicos e ambientais da contaminação por petróleo nas praias do litoral da região Nordeste do Brasil. Fundação Joaquim Nabuco

Muniz P, Pires-Vanin AM, Martins CC, Montone RC, Bicego MC. 2006. Trace metals and organic compounds in the benthic environment of a subtropical embayment (Ubatuba Bay, Brazil). *Marine Pollution Bulletin* 52(9):1098-1105. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.05.014>

- Nalesso RC.1993. Comportamento e seleção de presa em *Eriphia gonagra* (Decapoda, Xanthidae) no costão da praia do Rio Verde, E.E. Juréia-Itatins, SP. Tese, Universidade Estadual de Campinas, p 135.
- Oliveira A, Pinto TK, Santos DPD, D’Incao F. 2006. Dieta natural do siri-azul *Callinectes sapidus* (Decapoda, Portunidae) na região estuarina da Lagoa dos Patos, Rio Grande, Rio Grande do Sul, Brasil. Iheringia. Série Zoologia 96(3):305-13
- Oliveira OMC, Queiroz AFS, Cerqueira JR, Soares SAR, Garcia KS, Filho AP, Rosa MLS, Suzart CM, Pinheiro LL, Moreira ITA. 2020. Environmental disaster in the northeast coast of Brazil: forensic geochemistry in the identification of the source of the oily material. Marine Pollution Bulletin 160(111597). doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111597>
- Pacheco M, Santos MA. 2001. Biotransformation, endocrine, and genetic responses of *Anguilla anguilla* L. to petroleum distillate products and environmentally contaminated waters. Ecotoxicology and Environmental Safety 49(1): 64-75. doi: <https://doi.org/10.1006/eesa.2000.2025>
- Pérez-Miguel M, Drake P, Cuesta JA. 2017. Experimental predatory behavior of the stone crab *Eriphia verrucosa* (Forskål, 1775) (Decapoda, Brachyura, Eriphiidae). Nauplius 25. doi: <https://doi.org/10.1590/2358-2936e2017033>
- Pinheiro MAA, Bertini G, Fernandes-Góes LC, Fransozo A. 1997. Decapod crustaceans associated to sand reef *Phragmatopoma lapidosa* Kimberg, 1867 (Polychaeta, Sabellariidae) at Praia Grande, Ubatuba, SP, Brazil. Nauplius, 5(2):77-83.
- Readman J, Fillmann G, Tolosa I, Bartocci J, Villeneuve J, Catinni C, Mee L. 2002. Petroleum and PAH contamination of the Black Sea. Marine Pollution Bulletin, 44(1): 48-62. doi: [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(01\)00189-8](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(01)00189-8)
- Reichmuth JM, Roudez R, Glover T, Weis JS. 2009. Differences in prey capture behaviour in populations of blue crab (*Callinectes sapidus* Rathbun) from contaminated and clean estuaries in New Jersey. Estuaries Coast 2(2):298-308
- Richetti GP, Milaré T. 2021. O óleo no nordeste brasileiro: aspectos da (an)alfabetização científica e tecnológica. Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências 21:1-29. doi: <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2021u11871215>

Righi BDP, Abujamara LD, Barcarolli IF, Jorge MB, Zebral YD, Costa PG, Martinez CBR, Bianchini A. 2022. Response of biomarkers to metals, hydrocarbons and organochlorine pesticides contamination in crabs (*Callinectes ornatus* and *C. bocourti*) from two tropical estuaries (São José and São Marcos bays) of the Maranhão State (Northeastern Brazil). *Chemosphere* 288(132649). doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132649>

Riley ME, Vogel M, Griffen BD. 2014. Fitness-associated consequences of an omnivorous diet for the mangrove tree crab *Aratus pisonii*. *Aquatic Biology* 20(1):35-43. doi: <https://doi.org/10.3354/ab00543>

Rodrigues LR, Góes JMD, Silva TED, Teixeira GM, Andrade LS, Fransozo A. 2020. Evaluation of the stomach contents of *Eriphia gonagra* from a rocky shore in the southeastern Brazilian coast. *Iheringia. Série Zoologia* 110:e2020013

Rosa LC. 2022. Sandy beach macroinfauna response to the worst oil spill in Brazilian coast: No evidence of an acute impact. *Marine Pollution Bulletin* 180(113753). doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113753>

Santana JL, Carneiro VAR, Santos WJ, Calado TCS. 2019. Stomach contents and feeding habitat of *Plagusia depressa* (Fabricius, 1775) (Crustacea: Decapoda: Plagusiidae) in sandstone reefs of Northeast Brazil. *Revista Nordestina de Zoologia* 12(1):147-64.

Santana JL. 2022. Alterações morfológicas e efeitos genotóxicos em crustáceos da infraordem Brachyura expostos a sedimentos contaminados por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, organoclorados e metais traços em ambientes recifais. Tese, Recife, p143.

Santana JL, Rios AS, Calado TCS, Zanardi-Lamardo E, Souza-Filho JF. 2022a. Reef crab population changes after oil spill disaster reach Brazilian tropical environments. *Marine Pollution Bulletin* 183(114047). doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.114047>

Santana JL, Calado TCS, Souza-Filho JF. 2022b. Feeding of *Eriphia gonagra* (Crustacea: Eriphiidae) in two polluted reef areas in tropical Brazil with records of ingestion of microplastics. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences*, 38:431-43. doi: <https://doi.org/10.1007/s41208-021-00380-7>

Schmitt JD, Peoples BK, Castello L, Orth DJ. 2019. Feeding ecology of generalist consumers: a case study of invasive blue catfish *Ictalurus furcatus* in Chesapeake Bay, Virginia,

- USA. Environmental Biological Fish 102: 443-65. doi: <https://doi.org/10.1007/s10641-018-0783-6>
- Schreiber ME, Cozzarelli IM. 2021. Arsenic release to the environment from hydrocarbon production, storage, transportation, use and waste management. Journal of Hazardous Materials 411(125013). doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.125013>
- Schweitzer CE, Feldmann RM. 2010. The Decapoda (Crustacea) as predators on Mollusca through geologic time. PALAIOS 25(3): 167-182. doi:10.2110/palo.2009.p09-054r
- Scolo H, Garrigues P, Ewald M. 2000. Origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coastal marine sediments: case studies in Cotonou (Benin) and Aquitaine (France) Areas. Marine Pollution Bulletin 40(5): 387-396. doi: [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(99\)00200-3](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00200-3)
- Selva VSF. 2012. Litoral da Área de Proteção Ambiental (APA) de Guadalupe: de ambiente natural a espaço do turismo. Revista Nordestina de Ecoturismo 5(1):8-16.
- Shahidul Islam M, Tanaka M. 2004. Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: A review and synthesis. Marine Pollution Bulletin 48(7-8): 624-49. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2003.12.004>
- Signa G, Cartes JE, Solé M, Serrano A, Sánchez F. 2008. Trophic ecology of the swimming crab *Polybius henslowii* Leach, 1820 in Galician and Cantabrian Seas: Influences of natural variability and the Prestige oil spill. Continental Shelf Research, 28(19): 2659-2667.
- Soares MO, Teixeira CEP, Bezerra LEA, Rossi S, Tavares T, Cavalcante RM. 2020a. Brazil oil spill response: Time for coordination. Science 367 (6474) 155.
- Soares MO, Teixeira CEP, Bezerra LEA, Paiva SV, Tavares TCL, Garcia TM, Araújo JT, Campos CC, Ferreira SMC, Matthews-Cascon H, Frota A, Mont'Alverne TCF, Silva S T, Rabelo EF, Barroso CX, Freitas JEP, Melo Júnior M, Campelo RPS, Santana CS, Carneiro PBM, Meirelles AJ, Santos BA, Oliveira AHB, Horta P, Cavalcante RM. 2020b. Oil spill in South Atlantic (Brazil): environmental and governmental disaster. Marine Policy 115 (103879). doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103879>.

- Sousa LGR, Miranda AC, Medeiros HB. 2013. Impacto ambiental e socioeconômico do derramamento de óleo na baía de Guanabara. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, 9(2). doi: <http://dx.doi.org/10.17271/19800827922013633>
- Sousa AM, Pereira MJ, Matos HA. 2022. Oil-in-water and water-in-oil emulsions formation and demulsification. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 210(110041). doi: <https://doi.org/10.1016/j.petrol.2021.110041>
- Stevens BG, Armstrong DA, Cusimano R. 1982. Feeding habits of the dungeness crab *Cancer magister* as determined by the index of relative importance. *Marine Biology* 72(1):135-45
- Turra A, Denadai M, Leite FPP. 2005. Predation on gastropods by shell-breaking crabs: effects on shell availability to hermit crabs. *Marine Ecology Progress Series* 286:279-91.
- Vannini M, Chelazzi G, Gherardi F. 1989. Feeding habits of the pebble crab *Eriphia smithi* (Crustacea, Brachyura, Menippidae). *Marine Biology* 100(2):249-52.
- Vannini M. 1987. Notes on the ecology and behaviour of the pebble crab *Eriphia smithi* McLeay (Decapoda Brachyura) pubblicazioni del centro di studio per la faunistica ed ecologia tropicali del cnr: CCCXIII. *Monitore Zoologico Italiano. Supplemento* 22(1): 383-410.
- Vijayavel K, Gomathi R, Durgabhavani K, Balasubramanian M. 2004. Sublethal effect of naphthalene on lipid peroxidation and antioxidant status in the edible marine crab *Scylla serrata*. *Marine Pollution Bulletin* 48(5-6): 429-433. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2003.08.017>
- Voorspoels S, Covaci A, Maervoet J, Meester I, Schepens P. (2004). Levels and profiles of PCBs and OCPs in marine benthic species from the Belgian North Sea and the Western Scheldt Estuary. *Marine Pollution Bulletin* 49: 393-404.
- Williams MJ. 1981. Methods for analysis of natural diet in portunid crabs (Crustacea: Decapoda: Portunidae). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 52(1):103-113. doi: [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(81\)90174-X](https://doi.org/10.1016/0022-0981(81)90174-X)
- Wwf. 2019. O que se sabe até agora sobre o derramamento de óleo no Nordeste, 2019. Disponível em: [https://www.wwf.org.br/informacoes/noticias\\_meio\\_ambiente\\_e\\_natureza/?73944/O-qu](https://www.wwf.org.br/informacoes/noticias_meio_ambiente_e_natureza/?73944/O-qu) e-

se-sabe-ate-agora-sobre-o-derramamento-de-oleo-no-Nordeste. Acessado em: 05 de maio de 2021

Zambrano M, Prada J, Arencibia G, Vidal A. 2012. Bioacumulación de naftaleno y fluoranteno en el molusco bivalvo *Anadara tuberculosa* (Sowerby, 1833). Revista Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales Actualidad e Divulgación Científica 15(2), 283-90.

Zanardi-Lamardo E, Mitra S, Vieira-CamposAA, Cabral CB, Yogui GT, Sarkar SK, Biswas JK, Godhantaraman N. 2019. Distribution and sources of organic contaminants in surface sediments of Hooghly river estuary and Sundarban mangrove, eastern coast of India. Marine Pollution Bulletin 146:39-49. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.05.043>

Zengel S, Pennings SC, Silliaman B, Montague C, Weaver J, Deis DR, Krasnec MO, Rutherford N, Nixon Z. 2016. Deepwater Horizon oil spill impacts on salt marsh fiddler crabs (*Uca* spp.). Estuarine and Coasts 39: 1154-63. doi: [https://doi.org/10.1007/s12237-016-0072-](https://doi.org/10.1007/s12237-016-0072-6)

6

**- Artigo científico**

**3. 2 - *Artigo científico II***

Artigo científico a ser encaminhado a Revista Ecotoxicology.

Todas as normas de redação e citação, doravante, atendem as estabelecidas pela referida revista, exceto o idioma.

**Análise dos danos genômicos em caranguejos *Eriphia gonagra* (Fabricius, 1781)  
(Brachyura:Eriphiidae) de áreas recifais pernambucana impactadas pelo  
derramamento de petróleo**

## **RESUMO**

Os danos genômicos são ótimas ferramentas para avaliar o efeito rápido de contaminantes no ambiente. Nesse estudo, avaliamos os danos genômicos na espécie *Eriphia gonagra* após um ano do derramamento de óleo três áreas recifais de Pernambuco (praia de Carneiros, praia de Gaibu e praia Barra de Caruama). Dois testes de genotoxicidade, micronúcleo (MN) e ensaio cometa (EC), foram usados para observar a presença de danos no DNA. A partir das análises, foram observados danos em baixa quantidade MN, não havendo diferenças entre praias e tempo, o mesmo foi observado nas análises de EC. Maiores quantidades de células em apoptose foram encontradas na praia de Barra de Catuama. Nossos estudos apontam que os danos encontrados reportam efeitos de uma contaminação crônica e serve como base para futuros estudos envolvendo a espécie.

**Palavra-chave:** Genotoxicidade, Micronúcleo, Ensaio cometa, Recife de arenito

## **INTRODUÇÃO**

Os recifes apresentam uma grande importância tanto no aspecto turístico, ambiental e econômico. Esses ambientes atuam como excelente substrato para a consolidação da vida marinha, fazendo com que a biodiversidade nesses locais seja alta e complexa (Correia e Sovierzoski, 2005). Apresentando apelo visual, esses ambientes possuem uma forte pressão antrópica expondo os animais a uma série de componentes tóxicos tornando os organismos bentônicos susceptíveis aos danos gerados pelo contato com elementos disponíveis no ambiente gerado pela presença humana nesses locais (Edinger et al, 1998).

Recentemente, o litoral nordestino teve suas praias afetadas por misteriosas manchas de óleo, cobrindo uma vasta área, com diversos ambientes importantes para a manutenção da vida (Craveiro et al. 2021). Em decorrência desse evento, todo um ecossistema foi, de alguma forma, impactado, atingindo também a fauna que ali estão inseridos (Magalhães et al. 2021; Craveiro et al. 2021). Os derramamentos de petróleo consistem em eventos que podem tomar grandes proporções. Composto de uma mistura complexa rica em hidrocarbonetos, em contato com o ambiente ela pode se fragmentar devido as intemperes e com isso liberar uma série de compostos orgânicos tóxicos, intensificando a contaminação do ambiente (Doerfer, 1992;

Andrade et al. 2010). A presença de alguns compostos secundários, podem atuar de forma significativa no organismo dos animais, causando danos em órgãos, além de afetar funções endócrinas, neurológicas ocasionando também mutações a nível celular como câncer (Doerffer, 1992; Islam e Tanaka, 2004). Segundo Bolognese et al. (2006) devido essa característica de potencial de contaminação, faz-se necessário o monitoramento ambiental ao longo do tempo utilizando diversas ferramentas, além do uso de outros grupos de bioindicadores, para avaliar a persistência e ter uma real noção do impacto em diferentes ecossistemas.

Devido seu hábito de vida, os caranguejos possuem a facilidade de entrarem em contato com contaminantes, tais como HPAs, MT e pesticidas que conseqüentemente são assimilados pelo organismo desencadeando uma série de efeitos que podem ser detectadas a partir do efeito no organismo dos animais (Adeleke et al. 2020; Righi et al. 2022). O uso de bioindicadores são fundamentais para a detecção precoce de causadores de estresse, além de fornecer dados a respeito da exposição dos animais aos contaminantes (Lomartire et al. 2021). As alterações morfológicas evidentes não são de rápidas visualizações, algo que é observado a partir de uma exposição contínua e longa dos animais a um contaminante e apenas a constatação dessa alteração morfológicas não são o suficiente, necessitando de outras ferramentas mais minuciosas para observar essa pressão (Pinheiro e Toledo, 2010).

Como uma ferramenta para observar os efeitos de contaminantes, os estudos de genotoxicidade atuam como um meio na detecção prévia de mutações genéticas causadas pela exposição a agentes causadores de contaminação (Araldi et al. 2015). Estas análises possuem uma alta sensibilidade capaz revelar efeitos a uma vasta lista de agentes contaminantes (Bolognesi e Fenech, 2012). A aplicabilidade dos estudos genotóxicos em crustáceos, na intenção de analisar a saúde dos ambientes, pode ser uma ferramenta eficaz para elucidar os efeitos precoce de contaminantes nesses animais ou ter uma noção dos efeitos crônicos após um desastre (Falcão et al. 2020; Pinheiro et al. 2013; Pinheiro et al. 2022). A ampla distribuição de espécies bem como a relação direta com o ambiente torna os caranguejos uma excelente espécie sentinela e as características como endemismo, residente e uma baixa vagilidade (Adam et al. 2023) características essas, que tornam a espécie *Eriphia gonagra* uma candidata como espécie sentinela no monitoramento dos recifes de arenito.

Da vasta fauna de espécies que utilizam os recifes de arenito a *E. gonagra* é um caranguejo comumente encontrado associado a esse ambiente e de ampla distribuição pela costa brasileira sendo facilmente encontrado sob tocas. Seu registro vai desde a região do Caribe até a região

da Patagônia, habitando principalmente costões rochosos e recifes de arenito, do entremaré até cinco metros de profundidade (Pinheiro et al. 1997; Melo, 1996; Koh e Ng, 2008). Os poucos estudos envolvendo a *E. gonagra* como bioindicadora evidenciam o potencial de resposta da espécie as interações antrópicas (Bolla Junior, 2014; Rodrigues et al. 2020; Azevedo-Farias et al. 2022; Santana et al. 2022).

De acordo com Bolognesi et al. (2006) após um derramamento de petróleo existe o potencial de fontes residuais de contaminantes causadores de danos mutagênicos e cancerígeno, aflorem e continuem liberado compostos. De acordo com Lourenço et al. (2020) devido as características do óleo que chegou nas praias em 2019, fragmentos podem permanecer presos no sedimento e através dos processos de dinâmica do oceano podem se suspender e voltar a contaminar as áreas e após os processos de limpeza faz-se necessário o monitoramento ambiental para ter noção da contaminação e dos efeitos da limpeza sobre a fauna que ali vivem (Cantagallo et al. 2007)

O presente estudo busca apresentar indicativos ecológicos genômicos no caranguejo recifal *Eriphia gonagra* em três recifes de arenito, impactados de diferentes formas pelo derramamento de petróleo e com isso ter uma perspectiva da saúde dos recifes após e contribuir como dados basais a respeito dos danos genéticos.

## **METODOLOGIA**

Foram coletados hemolinfa de 10 indivíduos em três localidades, Praia de Carneiros (8°42'13,8"S; 35°04'43,0"W), praia de Gaibu (8°19'46,5"S; 34°56'59,3"W) e praia Barra de Catuama (7°40'41,6"S 34°49'51,6"W), Pernambuco, Brasil. Para o teste Micronúcleo, as coletas ocorreram nos meses de novembro de 2020, maio de 2022 e novembro de 2022. Para o ensaio-cometa, as coletas ocorreram nos meses de novembro de 2020, novembro de 2021 e novembro de 2022. Os caranguejos foram capturados de forma manual, com duas pessoas percorrendo o recife, com o auxílio de pinças na retirada dos animais das tocas. Os indivíduos foram acondicionados em sacos plásticos com água do local. Em laboratório foram realizadas punções nas articulações, com seringas com 1 ml de hemofol previamente colocados, a fim de retirar a hemolinfa dos animais. Após as punções, uma parte do material foi utilizado na realização dos esfregaços para o teste de micronúcleo e a outra fração de cinco indivíduos foram acondicionados em tubos de ependorf, embalados em alumínio, protegidos da luz até a realização do ensaio-cometa.

### **Teste de Micronúcleo (MN)**

Para o teste de micronúcleo, as lâminas foram limpas com extran, lavadas com água destilada, enxaguadas com etanol 70% e secas em temperatura ambiente. 15 µl do material biológico (hemolinfa) foram gotejados nas lâminas e realizado o esfregaço em duplicata. Após, as lâminas foram secas na posição horizontal por 3 minutos à temperatura ambiente. Seguindo a metodologia modificada de Bolognesi e Frenech (2012) e Falcão et al. (2020), todas as lâminas foram postas em um berço de coração e colocadas em uma cuba contendo álcool metílico por cinco minutos, lavadas em água destilada e secas em ambiente. Após secas, foram coradas com solução de Giemsa (puro) por três minutos e lavadas em água destilada até a retirada do excesso de corante, todas as lâminas foram distribuídas horizontalmente até a secagem completa em temperatura ambiente e guardadas em refrigeração para posterior leitura. A leitura das lâminas realizou-se por meio de um microscópio óptico (100x), onde foi contado um total de 1000 células micronucleadas.

### **Procedimento Ensaio cometa (EC)**

O procedimento seguiu o protocolo modificado de Singh et al. (1988), onde as lâminas foram revestidas com agarose de alto ponto de fusão. Em uma sala protegida pela luz, a alíquota de 15 µl do material biológico foi homogeneizada em 100 µl de agarose de baixo ponto de fusão (LM). A mistura foi transferida para as lâminas revestidas com agarose, cobertas com uma lamínula e incubadas em uma temperatura de 4°C por 10 min. Após passado o tempo, foram retiradas as lamínulas e submetidas a solução de lise (1 ml de Triton x100, 10 ml de DMSO, 89 ml de solução lise pH 10). Decorrido 24h na solução de lise, as lâminas foram submetidas a eletroforese (33V~300 mA por 20 min) em tampão alcalino. Passado o tempo todas foram imersas em solução de neutralização por 15min, fixadas em etanol absoluto por 5min e secas em temperatura ambiente. As lâminas foram mantidas em refrigeração até a coloração. Para a coloração foi utilizado GelRed (Biotium®) na proporção de 1 µl de corante homogeneizado em 1000 µl de água deionizada estéril. A leitura das lâminas realizou-se por meio de um microscópio de fluorescência (40x) aplicando 50 µl do corante sobre a lâmina e contabilizado 100 células por animais.

Os nucleóides (cometas) foram classificados visualmente em cinco classes, de não danificados (classe 0) a completamente danificados (classe IV), de acordo com o formato da cabeça e o comprimento da cauda. Com base nos valores arbitrários atribuídos às diferentes classes (da

classe 0 = 0 à classe IV = 4), um índice de dano genético (ID) foi calculado como a soma dos nucleoides observados em cada classe de dano multiplicada pelo valor da respectiva classe [(número de células da classe 0 × 0) + (número de células da classe I × 1) + (número de células da classe II × 2) + células (número de células da classe III × 3 células) + (número de células da classe IV × 4)]/ número de animais (Collins et al. 1995 ).

### **Análise estatística**

A normalidade dos dados foi verificada pelo teste Shapiro-Wilk. Os dados que apresentaram uma distribuição normal foram avaliados a partir do teste ANOVA seguido pelo teste Tukey. Já os dados não normais, foram analisados pelo teste de Kruskal-Wallis, e posteriormente, pelo teste de comparação de Dunn, a fim de observar as diferenças entre praias e períodos. Foram considerados estatisticamente diferentes nos valores de  $p$  5%.

## **RESULTADOS**

Foram capturados 90 animais para as análises, 56 fêmeas (7 ovígeras) e 34 machos. Na praia de Barra de Catuama, os animais tiveram o comprimento de carapaça médio de 20,20 cm e o peso médio de 13,23 g. Na praia de Carneiros, o comprimento da carapaça médio de 18,63 cm e o peso médio de 8,55 g. Já na praia de Gaibu, o comprimento da carapaça médio de 17,90 cm e o peso médio de 7,77 g

### **Teste micronúcleo (MN)**

Nas três praias foram detectadas anomalias celulares (Figura 1). Independentemente do tempo, não foram observadas diferenças nas médias das frequências de células micronucleadas ( $p > 0.05$ ), contudo, houve diferenças entre as praias no mês de novembro de 2020 entre Carneiros e Gaibu ( $p < 0,05$ ). Em Barra de Catuama a média ficou em  $3,63 \pm 0,42$  MN‰,  $3,09 \pm 0,41$  MN‰ e  $3,14 \pm 0,46$  MN‰. Na praia de Gaibu  $4,50 \pm 0,93$  MN‰,  $3,08 \pm 0,93$  MN‰,  $3,25 \pm 0,45$  MN‰. Em Carneiros as menores frequências foram observadas  $2,25 \pm 0,34$  MN‰,  $1,92 \pm 0,47$  MN‰,  $1,86 \pm 0,51$  MN‰ (Figura 2).

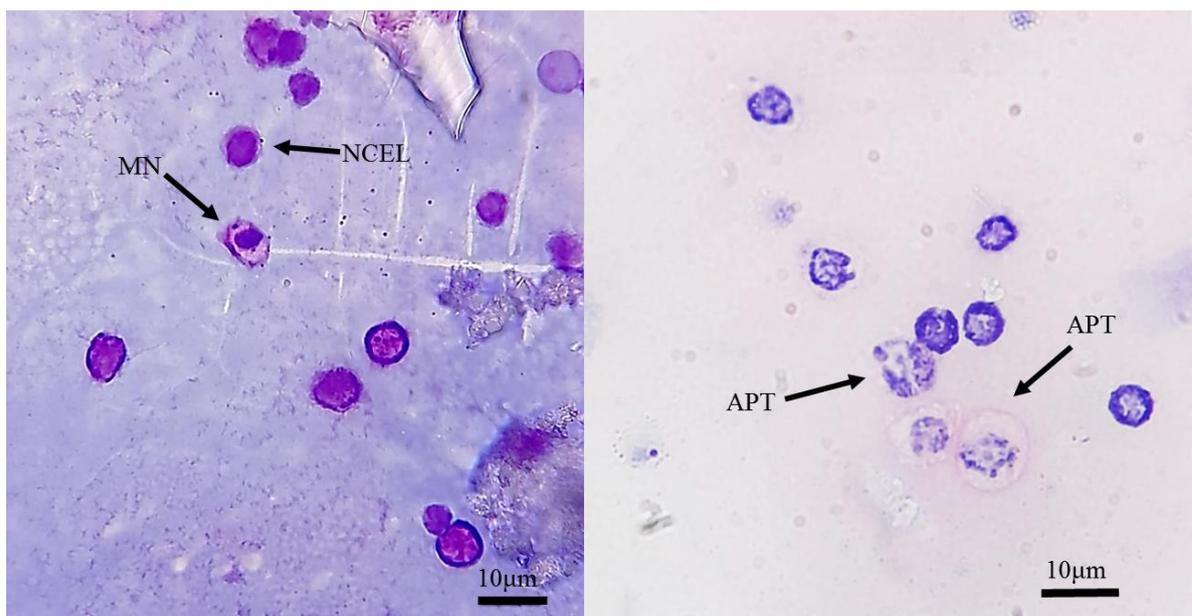


Figura 1: Imagem dos hemócitos da *E. gonagra* após a coloração de Giemsa através do microscópio óptico (100x). MN: micronúcleo; NCEL: células normais; APT: células apoptóticas. Fonte: Autor.

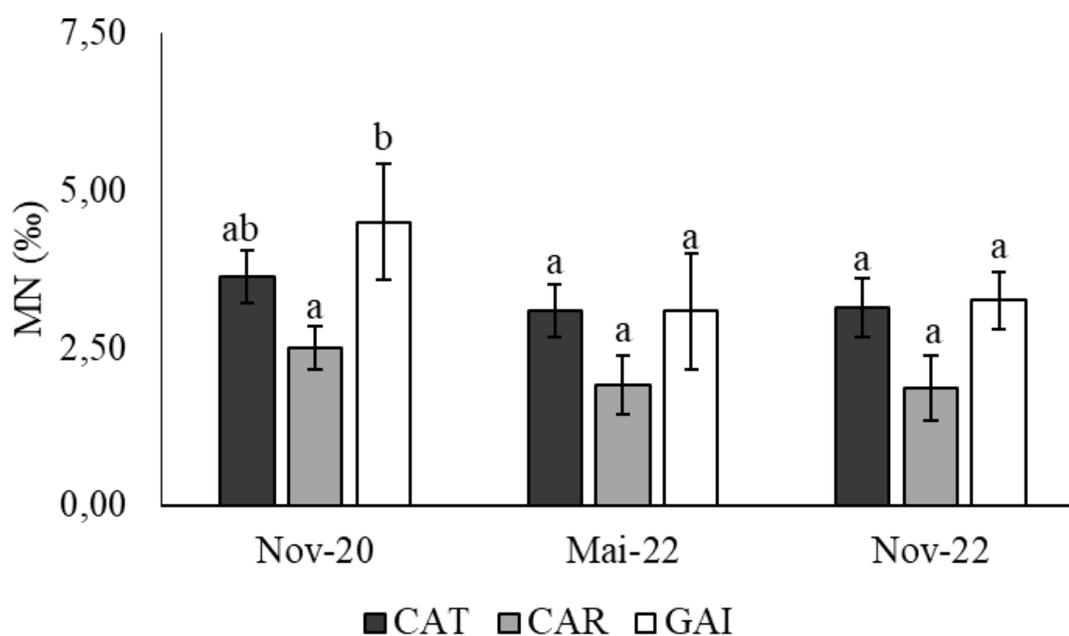


Figura 2: frequência de células micronucleadas (média  $\pm$  erro) observada nos caranguejos *E. gonagra*, letras representam diferenças significativamente distintas. BC: Barra de Catuama; CA: Carneiros; GB: Gaibu. Fonte: Autor.

Na praia de Barra de Catuama, foi reportada uma frequência maior de células em apoptose a média diferenças significativas ( $p < 0,05$ ) foram observadas entre as praias (Figura 3). A praia diferiu das demais principalmente nos meses de novembro de 2020 e em novembro de 2022.

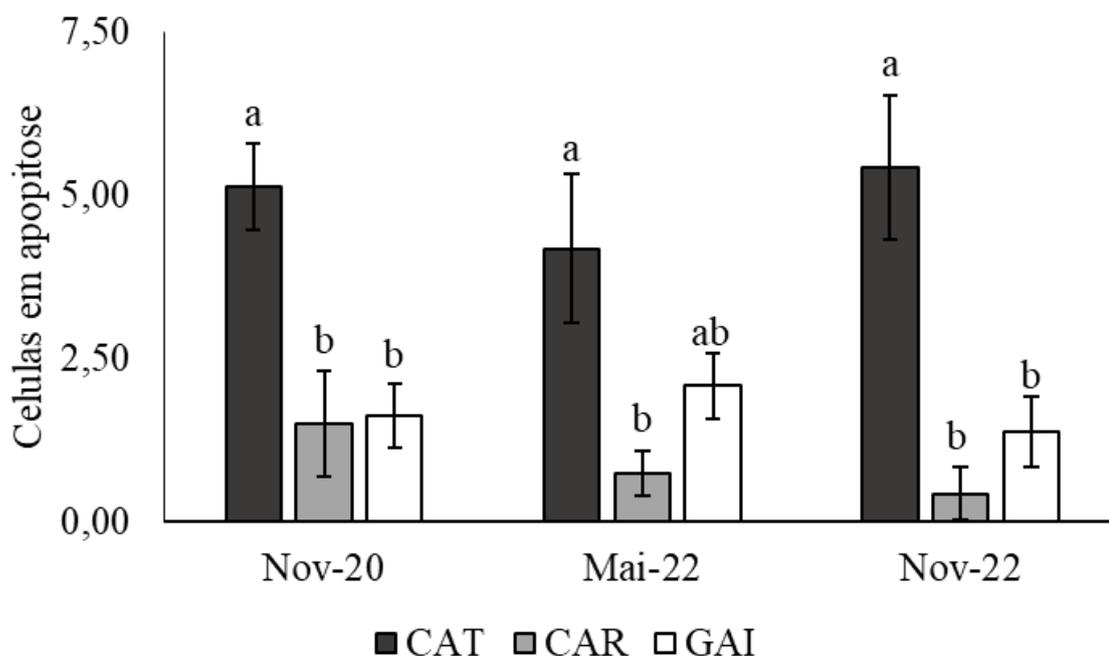


Figura 3: frequência de células apoptóticas (média  $\pm$  erro) observada nos caranguejos *E. gonagra*, letras representam diferenças significativamente distintas. BC: Barra de Catuama; CA: Carneiros; GB: Gaibu. Fonte: Autor.

### Ensaio cometa (EC)

Os resultados de EC revelam a presença de danos nos animais. Essas alterações genômicas foram reportados nas três praias, Gaibu, Carneiros e Barra de Catuama (Figura 4). Não foram observadas diferenças significativas com relação ao tempo e as praias ( $p > 0,05$ ) (Figura 5).

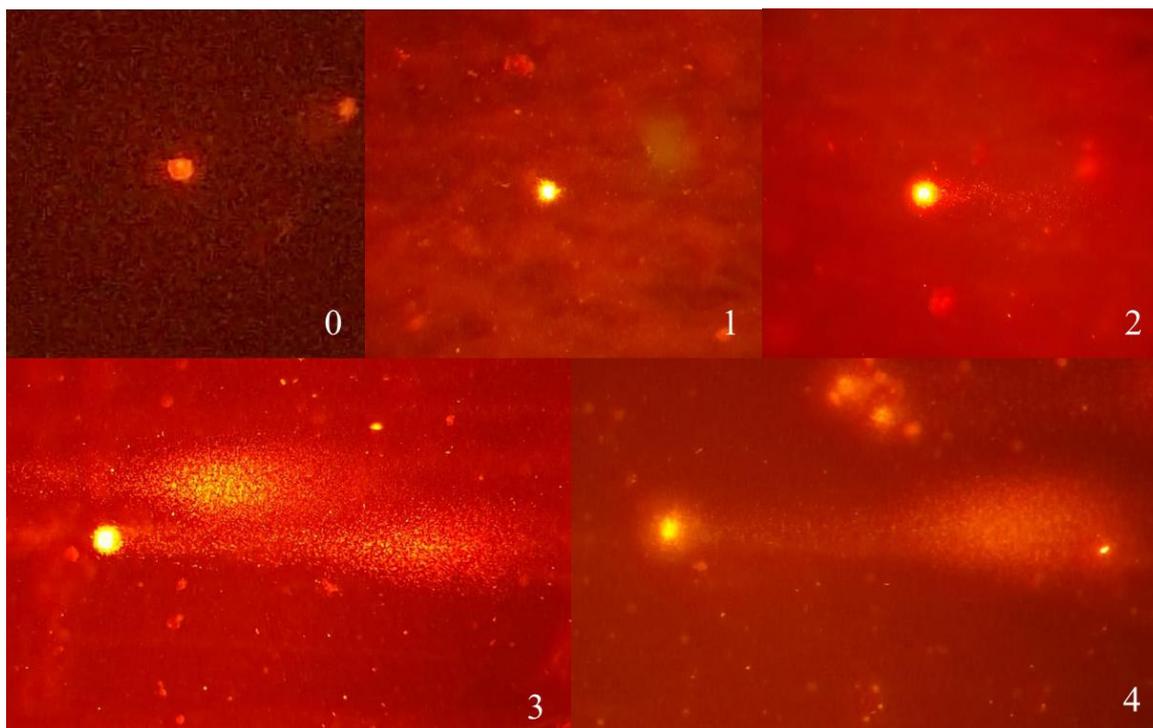


Figura 4: Classificação dos nucleoides da *E. gonagra* de acordo com o grau de danos; 0 - 4, onde 0 representa a ausência de danos e 4 células com o máximo de danos. Fonte: Autor.

Na praia de Carneiros foram encontradas as menores porcentagens de células danificadas em novembro de 2021 e 2022 com 29.8% (Tabela 4). Em Gaibu foram encontrados os maiores valores com 40.6% de células danificadas no mês de novembro de 2020 (Tabela 1).

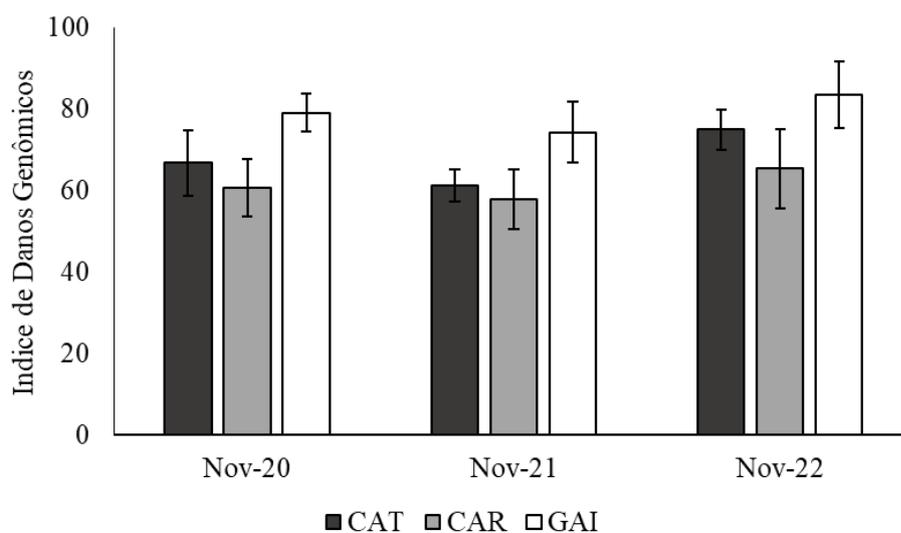


Figura 5: Análise temporal do índice de dano genômico (média  $\pm$  erro) na *E. gonagra* nos três recifes. a: Barra de Catuama; b: Carneiros; c: Gaibu. Fonte: Autor.

Tabela 1: Células danificadas (%) e índice de danos genômicos (ID) encontrados na *E. gonagra* nos três recifes de arenito.

Áreas Recifais	Período	Células Danificadas	ID
Barra de Catuama	Nov-20	35,2%	66,8 ± 7,05
	Nov-21	31,2%	61,2 ± 7,34
	Nov-22	33,4%	75,0 ± 9,68
Praia de Carneiros	Nov-20	35,8%	60,8 ± 4,78
	Nov-21	29,8%	57,8 ± 7,50
	Nov-22	29,8%	65,4 ± 8,27
Praia de Gaibu	Nov-20	40,6%	79,2 ± 8,05
	Nov-21	38,2%	74,4 ± 3,93
	Nov-22	37,6%	83,6 ± 4,83

## DISCUSSÃO

A partir dos dados de EC e MN nos caranguejos *E. gonagra*, foram encontrados danos causadores de mutagêneses e tais resultados trazem indícios da presença crônica de agentes estressores. A entrada de petróleo no ambiente pode liberar compostos que intensificam a presença de células com danos. Tais efeitos em *E. gonagra* já foram documentados, no qual foi detectado um aumento na frequência de células micronucleadas, principalmente no período próximo a chegada das manchas, seguido de uma recuperação logo após o período de retirada do petróleo Santana (2022). Desta forma, os resultados encontrados confirmam a presença desta recuperação no ambiente e demonstra a ação de outras fontes causadoras de danos.

A literatura para caranguejos em sua maioria abrange espécies de manguezais (Araldi et al. 2015, Duarte et al. 2016, Pinheiro et al. 2013, 2021). As características ambientais diferem físicoquimicamente das condições encontradas nos recifes. As áreas recifais possui intensa dinâmica, com um ambiente grande energia de ondas e alta permeabilidade do solo o que facilita a oxigenação da área e conseqüentemente a oxidação de compostos químicos, principalmente os de origem do derramamento de petróleo, aumentando a degradação e reduzindo o seu efeito (Bontempo Filho et al. 2022, Huettel, 2022). No geral, as áreas de manguezais são portas de entrada para contaminantes, atuando como sumidouros de compostos químicos e devido a sua baixa oxigenação existe uma permanência desses compostos, tornado assim biodisponíveis ao longo tempo e por conseqüência maiores danos aos caranguejos que possuem contatos com o solo (Bayen, 2012).

A praia de Carneiros está inserida em áreas de proteção (APA dos Corais e APA Guadalupe) é possível observar baixos níveis de MN em comparação com as outras praias. Os padrões

encontrados para a *E. gonagra* de MN em Barra de Catuama e Gaibu se aproximam de áreas que apresentam interações antrópicas. No *Ucides cordatus* é reportado 4 MN‰ como valor de base para o no caranguejo do mangue, e valores menores a 2 MN‰ relacionados principalmente em praias de São Paulo (Cananéia, baixo impacto humano e Juréia, área intocada) com características de preservação e pouca interação humana (Duarte et al. 2016 e Pinheiro et al. 2013). No *Cardisoma guanhumi* foram encontrados valores muito variados, no litoral pernambucano o máximo de MN encontrado foi 4,1 MN‰ no período de inverno associados a contaminação, com valor de base por volta de 0,2 MN‰ associados a baixa contaminação (Araldi et al. 2015). Em Juréia, área preservada, é relatado uma média para o *Aratus pisonii* de 0,9 MN‰, *Goniopsis cruentata* 1,7 MN‰ e *U. cordatus* valores 1,3 MN‰ (Pinheiro et al. 2021). Contudo, a *E. gonagra* habita um ambiente distinto, das espécies anteriormente citadas, com características físicoquímicas diferentes que podem alterar a disponibilidade de contaminantes, e neste caso, valores basais para outras espécies podem não refletir as condições reais do animal. Os fatores como, alimentação e estilo de vida podem influenciar no contato com contaminantes e conseqüentemente faz com que os valores variem, no geral espécies de maior nível trófico possuem uma maior facilidade de contaminação o que acarreta maior frequência de MN (Pinheiro et al. 2021).

Uma das principais formas de contato da *E. gonagra* com causadores de estressores vem do hábito de forrageamento sobre os recifes. Essa característica é classificada como uma das principais consequência para o *Goniopsis cruentata* apresentar níveis de MN maior que outras duas espécies (*Ucides cordatus* e *Aratus pisonii*) encontradas no mesmo manguezal (Pinheiro et al. (2021). No geral, esses locais possuem proximidades a áreas estuarinas, bem como áreas urbanas, no qual intensos despejos de efluentes oriundo do interior do continente costumam chegar a praia e aos recifes, além da presença contante e intensa do fluxo de embarcações que liberam compostos químicos na água (Dila et al, 2022; Hermansson et al, 2023) e conseqüentemente propicia o contato com contaminantes, muitos deles com potenciais genotóxicos.

Barra de Catuama apresentou uma maior incidência de deterioração celular, com a presença de células apoptóticas demonstrando a indução da morte celular. A entrada de um causador de danos pode induzir diretamente a célula nos processos de apoptose fazendo com que ela não passe pelos processos de divisão celular e conseqüentemente a formação do micronúcleo, desta forma é possível detectar uma baixa quantidade de células micronucleadas, mas em

contrapartida, uma maior quantidade de células em apoptose. (Araldi et al. 2015; Falcão et al. 2020).

Com relação ao ID encontrado na *E. gonagra* é possível ver a presença de dano moderado nos animais com valores variando  $57,8 \pm 7,50$  na praia de Carneiros a  $83,6 \pm 4,83$  na praia de Gaibu. Os modelos biológicos possuem sensibilidades diferentes, o que fazem responder de forma distinta, além de que não há um consenso com relação a metodologia de análise de danos, uma vez que alguns trabalhos usam métodos empíricos ou valores de medidas da cauda (Lee e Steinert, 2003; Esteves et al. 2020). Na *Aegla patensis*, valores para o ID na espécie variando entre 107,3 a 165,0 entre áreas com menor e maior grau de degradação (Goldoni et al. 2023). No *C. guanhumi* observaram diferenças entre área preservada e áreas com pressão antrópica, com valores variando entre 7,5 a 121,8 entre áreas (Falcão et al. 2020). No estudo de Rocha et al. (2012), são observados valores superior a 150 no ID para camarões *Xiphopenaeus kroyeri* submetidos a diferentes concentrações de benzo[a]pireno. No estuário do rio Protengi- RN os valores de ID encontrados por Cabral (2017), para *Ucides cordatus*, variaram entre 100 a 346.

Apesar de não apresentar diferenças com relação aos animais dos recifes de Carneiros (área localizada em uma APA) com os outros recifes é reflexo de uma adaptação da espécies nessas áreas com maior interação humana. Áreas que apresentam contaminações podem induzir um aumento nos níveis de danos celulares (Davanso et al.2013; Falcão et al. 2020). No entanto, em uma situação continua de contaminação os animais possuem habilidade de adaptação no ambiente. A partir de estudos no camarão *Penaeus vannamei* expostos a cádmio, Ming Chang et al. (2009) observou danos após a exposição, foi observado um aumento nas primeiras seis horas e posterior uma queda com o passar do tempo. O mesmo foi observado por Hong et al. (2013) com o caranguejo *Eriocheir sinensis* para concentrações subletais de deltameltrina no primeiro dia houve aumento notável no número de danos.

A técnica de EC possui a característica de ser muito sensível a uma vasta quantidade contaminantes e ser capaz de responder a agentes causadores de danos com maior facilidade (Araldi et al. 2015). Assim é possível afirmar que, *E. gonagra* nas três praias estão sendo submetidas a contaminantes indutores de estresse mutagênico. As alterações mutagênicas encontrados pelo EC em *E. gonagra* possui uma perspectiva de reparo ao genoma, existindo a possibilidade de reparo no DNA. O EC é capaz de responder a danos que podem ser reversíveis, não excluindo os riscos com a exposição prolongada da indução de neoplasias nos animais (Gianfredi et al, 2020). A constatação de células MN, e de certa forma preocupante, uma vez

que os danos genômicos formados são irreversíveis algo que pode induzir a morte programada da célula (Araldi et al. 2015; Krupina et al.2021).

## CONCLUSÃO

É possível detectar danos na *Eriphia gonagra* demonstrando eficácia no biomonitoramento dos recifes de arenito. Observa-se que os animais encontrados nos recifes passam por efeitos de contaminação causadora de danos genéticos, em menor grau em comparação ao período do derramamento, de forma crônica no ambiente. São detectados a presença de macro e microlesões, demonstrando uma ferramenta como bioindicadora dos recifes de arenito, no entanto ainda são necessários mais estudos envolvendo a espécie e o potencial de resposta aos mais diversos agentes contaminadores.

## AGRADECIMENTOS

A FACEP pela concessão do subsídio para desenvolver o projeto. A CAPES pela concessão de bolsa. Ao laboratório LAGEA e laboratório de Genética pelo uso das dependências e auxílio nas análises. Ao Laboratório de Crustáceos/ MOUFPE pelo auxílio nas coletas do material biológico bem como o uso de suas dependências para as análises.

## REFERÊNCIAS

Adam ML., Torres RA, Boos H, Pinheiro MA. (2023). Espécies sentinelas: Monitoramento Ambiental com base em biomarcadores de efeito cito-e genotóxico. Revista CEPSUL-Biodiversidade e Conservação Marinha 12.

Adeleke B, Robertson-Andersson D, Moodley G. (2020). Comparative analysis of trace metal levels in the crab *Dotilla fenestrata*, sediments and water in Durban Bay harbour, Richards Bay harbour and Mlalazi estuary, Kwazulu-Natal, South Africa. *Heliyon* 6(8): e04725. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04725>

Andrade JDA, Augusto F, Jardim ICSF. (2010). Biorremediação de solos contaminados por petróleo e seus derivados. *Eclética química* 35:17-43.

Araldi RP, Melo TC, Mendes TB, Sá Júnior PL, Nozima BHN, Ito ET, Carvalho RF, Souza EB, Stocco RC. (2015). Using the comet and micronucleus assays for genotoxicity studies: A review. *Biomedicine & Pharmacotherapy* 72: 74-82. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2015.04.004>

Azevedo-Farias AK, Castro R.B, Silva V.E.L., Calado T.C.S. (2021). Urbanization effect son morphological traits of *Eriphia gonagra* (Decapoda, Eriphiidae) in tropical intertidal reef of the Northeastern Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 16(2):141-149

Bayen S. (2012). Occurrence, bioavailability and toxic effects of trace metals and organic contaminants in mangrove ecosystems: A review. *Environment International* 48: 84-101. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2012.07.008>

Bolla Júnior, E.A. (2014). Aquecimento global e acidificação oceânica: efeitos da temperatura, salinidade e dióxido de carbono no desenvolvimento larval do carangejo intertidal *Eriphia gonagra* (Crustacea, Decapoda, Eriphiidae), Tese, Botucatu, 160p

Bolognesi C, Fenech M. (2012). Mussel micronucleus cytome assay. *Nature Protocols* 7(6):1125-37. doi: 10.1038/nprot.2012.043. PMID: 22596225.

Bolognesi C, Perrone E, Roggieri P, Sciutto A. (2006). Bioindicators in monitoring long term genotoxic impact of oil spill: Haven case study. *Marine Environmental Research* 62:287–291. doi:10.1016/j.marenvres.2006.04.047

Cantagallo C, Milanelli JCC, Dias-Brito DIMAS. (2007). Limpeza de ambientes costeiros brasileiros contaminados por petróleo: uma revisão. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences* 2(1), 1-12.

Collins AR, Ai-guo M, Duthie SJ (1995) The kinetics of repair of oxidative DNA damage (strand breaks and oxidised pyrimidines) in human cells. *Mutation Research/DNA Repair* 336(1): 69-77. [https://doi.org/10.1016/0921-8777\(94\)00043-6](https://doi.org/10.1016/0921-8777(94)00043-6)

Correia MD, Sovierzoski HH (2005) *Ecosistemas Marinhos: recifes, praias e manguezais; Maceió, EDUFAL*, p. 55.

Craveiro N, Alves RVA, Silva JM, Vasconcelos E, Alves-Junior FA, Rosa Filho, JS (2021) Immediate effects of the 2019 oil spill on the macrobenthic fauna associated with macroalgae on the tropical coast of Brazil. *Marine Pollution Bulletin* 165: 112107. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112107>

Davanso MB, Moreira LB, Pimentel MF, Costa-Lotufo LV, Abessa DMDS (2013) Biomarkers in mangrove root crab *Goniopsis cruentata* for evaluating quality of tropical estuaries. *Marine Environmental Research* 91: 80-88. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2013.02.006>

Dila DK, Koster ER, McClary-Guterriez J, Khazaei B, Bravo HR, Bootsma MJ, McLellan SL (2022) Assessment of Regional and Local Sources of Contamination at Urban Beaches Using Hydrodynamic Models and Field-Based Monitoring. *ACS EST Water* 2(10): 1715-1724.

Doerffer JW (2013) *Oil spill response in the marine environment*. Elsevier.

Duarte LFDA, Souza CAD, Nobre CR, Pereira CDS, Pinheiro MAA (2016) Multi-level biological responses in *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Brachyura, Ucididae) as indicators of conservation status in mangrove areas from the western atlantic. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 133: 176-187. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.07.018>

Edinger EN, Jompa J, Limmon GV, Widjatomoko W, Risk MJ (1998) Reef degradation and coral biodiversity in indonesia: Effects of land-based pollution, destructive fishing practices and changes over time. *Marine Pollution Bulletin* 36(8): 617-630. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)00047-2](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(98)00047-2)

Esteves F, Amaro R, Silva S, Sánchez-Flores M, Teixeira JP, Costa C (2020) The impact of comet assay data normalization in human biomonitoring studies outcomes. *Toxicology Letters* 332: 56-64. <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2020.06.024> .

Falcão CBR, Pinheiro MAA, Torres RA, Adam ML (2020) Spatial temporal genome damaging in the blue crab *Cardisoma guanhumi* as ecological indicators for monitoring tropical estuaries. *Marine Pollution Bulletin* 156: 111232.

Goldoni A, Pacheco MR, Silva LB (2023) Comet assay in *Aegla platensis* (Decapoda: Anomura) using a non-lethal hemolymph field sampling for in situ monitoring of freshwater genotoxicity. *Ecotoxicology* 32: 160-165. <https://doi.org/10.1007/s10646-023-02627-w>

Hermansson AL, Hassellöv I, Jalkanen J, Ytreberg E (2023) Cumulative environmental risk assessment of metals and polycyclic aromatic hydrocarbons from ship activities in ports. *Marine Pollution Bulletin* 189: 114805. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.114805>

Hong Y, Yang X, Huang Y, Yan G, Cheng Y (2018) Oxidative stress and genotoxic effect of Deltamethrin exposure on the Chinese mitten crab, *Eriocheir sinensis*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology* 212: 25-33. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2018.06.004>

Huettel M (2022) Oil pollution of beaches. *Current Opinion in Chemical Engineering* 36: 100803. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2022.100803>

Koh SK, Ng PKL (2008) A revision of the shore crabs of the genus *Eriphia* (Crustacea: Brachyura: Eriphiidae). *Raffles Bulletin of Zoology* 56(2): 327-355.

Krupina K, Goginashvili A, Cleveland DW (2021) Causes and consequences of micronuclei. *Current Opinion in Cell Biology* 70: 91-99. <https://doi.org/10.1016/j.ceb.2021.01.004>

Lee RF, Steinert S (2003) Use of the single cell gel electrophoresis/comet assay for detecting DNA damage in aquatic (marine and freshwater) animals. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research* 544(1): 43-64. [https://doi.org/10.1016/S1383-5742\(03\)00017-6](https://doi.org/10.1016/S1383-5742(03)00017-6)

Lomartire S, Marques JC, Gonçalves AM (2021) Biomarkers based tools to assess environmental and chemical stressors in aquatic systems. *Ecological Indicators* 122: 107207. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107207>

Lourenço RA, Combi T, Alexandre MDR, Sasaki ST, Zanardi-Lamardo E, Yogui GT (2020) Mysterious oil spill along Brazil's northeast and southeast seaboard (2019–2020): Trying to find answers and filling data gaps. *Marine Pollution Bulletin* 156: 111219. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111219>

Magalhães KM, Barros KVDS, Lima MCSD, Rocha-Barreira CDA, Rosa Filho JS, Soares MDO (2021) Oil spill + COVID-19: A disastrous year for Brazilian seagrass conservation. *Science of The Total Environment* 764: 142872. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142872>

Martins M, Costa PM (2015) The comet assay in Environmental Risk Assessment of marine pollutants: Applications, assets and handicaps of surveying genotoxicity in non-model organisms. *Mutagenesis* 30(1): 89-106. <https://doi.org/10.1093/mutage/geu037>

Melo GAS(1996). Manual de identificação dos Brachyura (caranguejo e siris) do litoral brasileiro. São Paulo, Plêiade FAPESP, 604p.

Chang M, Wang W, Wang A, Tian T, Wang P, Zheng Y, Liu Y (2009) Effects of cadmium on respiratory burst, intracellular Ca<sup>2+</sup> and DNA damage in the white shrimp *Litopenaeus vannamei*. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology* 149(4): 581-586. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2008.12.011>

Pinheiro MAA, Bertini G, Fernandes-Góes LC, Fransozo A (1997) Decapod crustaceans associated to sand reef *Phragmatopoma lapidosa* Kimberg, 1867 (Polychaeta, Sabellariidae) at Praia Grande, Ubatuba, SP, Brazil. *Nauplius* 5(2):77-83.

Pinheiro MAA, Duarte LFA, Toledo TR, Adam ML, Torres RA (2013) Habitat monitoring and genotoxicity in *Ucides cordatus* (Crustacea: Ucididae), as tools to manage a mangrove reserve in southeastern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment* 185: 8273–8285. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3172-9>

Pinheiro MAA, Kriegler N, Souza CA, Duarte LFA (2021) Feeding Habit and Lifestyle Influence the Baseline Micronuclei Frequency of Crab Species in Pristine Mangroves. *Wetlands* 41: 1-14.

Pinheiro MAA, Souza FVBD, Boos H, Duarte LFDA (2022) Cytotoxicity, genotoxicity, and impact on populations of the mangrove sentinel species, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763)(Brachyura, Ocypodidae) after an environmental disaster at Cubatão, São Paulo, Brazil. *Nauplius*, 30.

- Pinheiro MAA, Toledo TR (2010) Malformation in the crab *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Crustacea, Brachyura, Ocypodidae), in São Vicente (SP), Brazil. *Revista CEPSUL – Biodiversidade e Conservação Marinha* 1:61–65
- Pinheiro MAA, Duarte LFA, Toledo TR, Adam ML, Torres RA (2013) Habitat monitoring and genotoxicity in *Ucides cordatus* (Crustacea: Ucididae), as tools to manage a mangrove reserve in southeastern Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment* 185: 8273–8285. <https://doi.org/10.1007/s10661-013-3172-9>
- Righi BDP, Abujamara LD, Barcarolli IF, Jorge MB, Zebral YD, Costa PG, Martinez CBR, Bianchini A (2022) Response of biomarkers to metals, hydrocarbons and organochlorine pesticides contamination in crabs (*Callinectes ornatus* and *C. bocourti*) from two tropical estuaries (São José and São Marcos bays) of the Maranhão State (northeastern Brazil). *Chemosphere* 288: 132649. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132649>
- Rocha AJS, Gomes V, Passos MJDACR, Hasue FM, Santos T. C. A., Bicego, M. C., Taniguchi, S., Van Ngan, P. (2012). EROD activity and genotoxicity in the seabob shrimp *Xiphopenaeus kroyeri* exposed to benzo[a]pyrene (BaP) concentrations. *Environmental Toxicology and Pharmacology* 34(3): 995-1003. <https://doi.org/10.1016/j.etap.2012.07.006>
- Rodrigues LR, Góes JMD, Silva TED, Teixeira GM, Andrade LS, Fransozo A (2020) Evaluation of the stomach contents of *Eriphia gonagra* from a rocky shore in the southeastern Brazilian coast. *Iheringia. Série Zoologia* 110:e2020013
- Santana JL (2022) Avaliação das Alterações Morfológicas e Efeitos Genotóxicos em crustáceos da infraordem Brachyura expostos a sedimentos contaminados por Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos, Organoclorados e Metais Traço em ambientes recifais. Tese, UFPE, Recife.
- Santana JL, Calado TCS, Souza- Filho JF (2022) Feeding of *Eriphia gonagra* (Crustacea: Eriphiidae) in two polluted reef areas in tropical Brazil with records of ingestion of microplastics. *Thalassas: An International Journal of Marine Sciences* 38: 431–443. <https://doi.org/10.1007/s41208-021-00380-7>.
- Shahidul Islam M, Tanaka M (2004) Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: A review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin*, 48(7-8), 624-649. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2003.12.004>

#### **4-Conclusões**

Durante o período do derramamento na praia de Carneiros houve uma mudança na alimentação de *E. gonagra* com o aumento significativo do consumo de macroalgas. Esta mudança não foi observada na praia de Gaibu, que antes do evento já apresentavam um consumo alto de macroalgas. Dois pontos explicam essa mudança na alimentação o primeiro é a falta de alimento causado pelo impacto do derramamento e a segunda são as alterações comportamentais, ocasionada pela presença de compostos tóxicos oriundos do petróleo.

Foi constatado um aumento na presença de HPAs principalmente na praia de Gaibu, sendo capaz de causar alterações na alimentação dos caranguejos das praias de Carneiros e Gaibu.

Os valores encontrados para danos genéticos é possível identificar a ocorrência de impactos crônicos na área, não estando diretamente relacionada ao derramamento de petróleo de 2019 e sim a impactos antrópicos, como poluição, preexistentes nas áreas.

Desta forma é possível constatar o potencial da *E. gonagra* em responder a impactos ambientais servindo como ferramenta no monitoramento a eventos de desastres antrópicos, bem como impactos decorrentes da poluição, principalmente dos recifes de arenito.