



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE BIOCÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ZOOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOLOGIA ANIMAL

NAYRA NASCIMENTO DE MOURA

AVALIAÇÃO DA SEVERIDADE DO IMPACTO POR ÓLEO NOS RECIFES DO  
LITORAL DE PERNAMBUCO: MÚLTIPLAS ABORDAGENS NO USO DE  
COPEPODA HARPACTICOIDA (CRUSTACEA).

**Recife**

**2023**

**NAYRA NASCIMENTO DE MOURA**

**AVALIAÇÃO DA SEVERIDADE DO IMPACTO POR ÓLEO NOS RECIFES DO  
LITORAL DE PERNAMBUCO: MÚLTIPLAS ABORDAGENS NO USO DE  
COPEPODA HARPACTICOIDA (CRUSTACEA).**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Biologia Animal da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Biologia Animal.

**Orientador:** Prof. Dr. Paulo Jorge Parreira dos Santos

Recife

2023

Catálogo na Fonte:  
Bibliotecária Natália Nascimento, CRB4/1743

Moura, Nayra Nascimento de Moura.

Avaliação da severidade do impacto por óleo nos recifes do litoral pernambucano: múltiplas abordagens no uso de copepoda harpacticoida (crustacea). / Nayra Nascimento de Moura. – 2023.

80 f. : il., fig.; tab.

Orientador: Paulo Jorge Parreira dos Santos.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro de Biociências. Programa de Pós-graduação em Biologia animal, 2023.  
Inclui referências.

1. HPA. 2. Meiofauna. 3. Recifes. 4. Acidentes - nordeste I. Santos, Paulo Jorge Parreira dos. II. Título.

587

CDD (22.ed.)

UFPE/CB – 2023-197

NAYRA NASCIMENTO DE MOURA

AVALIAÇÃO DA SEVERIDADE DO IMPACTO POR ÓLEO NOS RECIFES DO  
LITORAL DE PERNAMBUCO: MÚLTIPLAS ABORDAGENS NO USO DE  
COPEPODA HARPACTICOIDA (CRUSTACEA).

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

Aprovada em: 31/07/2023

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. André Morgado Esteves (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Ulisses dos Santos Pinheiros (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Dra. Ana Carolina Sousa de Almeida (Examinador Externo)  
Universidade Federal da Bahia

---

Prof. Dr. Leandro Manzoni Vieira (Suplente)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Dra. Patrícia Fernandes Neres (Suplente)  
Universidade Federal de Pernambuco

Á Malie,

Pessoa especial em minha vida,  
que traz luz nos meus caminhos,

Dedico.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Pernambuco e à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Biologia Animal por todo o auxílio durante o período de desenvolvimento desta dissertação.

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pela bolsa de mestrado.

Ao meu orientador, Prof. Paulo Santos, obrigada pela paciência, pela confiança e pelos ensinamentos durante essa jornada. Obrigada pelos auxílios nas coletas, por ter me recebido na sua casa e pelas aulas que nela tínhamos.

À minha família, mãe (Djanira), irmã (Thais) e minha sobrinha (Malie) por todo apoio e compreensão nessa luta diária que é uma pós-graduação.

Ao meu primo Prof. Dr. Leandro Nascimento de Souza, por ter me encorajado e apoiado a ingressar na carreira acadêmica desde o início da minha graduação. Obrigada pelas palavras de incentivo e carinho no início dessa jornada.

Aos meus amigos do Labdin, tanto os antigos (Tita, Aliny, Ana Bolena, Cori, Fred, Edivaldo, Thais, Rodolfo, Heloína, Tati, Adson, Viviane, Ana Paula, Marina, Julia e Raquel) e aos novos (Nídia, Catarina, Carol, Larissa, Michelly, Vinicius, Luma, Valéria, Pablo, Manu) que sempre compartilharam comigo as alegrias e dores da vida, foram ouvidos e acolhimento; broncas e ensinamentos. Obrigada pelas parcerias em campo e dentro do laboratório. Em especial, um agradecimento a Nídia, Carol e a Edivaldo, que se disponibilizaram em me ajudar com as análises desse trabalho.

À Adri, que com toda sua doçura foi ouvido, amiga e professora. Nunca consigo mensurar o quanto serei grata por tudo que você foi e é para mim.

Á Davi, meu amor, meu parceiro, meu companheiro, gostaria de expressar minha gratidão por estar sempre ao meu lado e por me apoiar em todas as minhas decisões. Agradeço também pelas orientações e conselhos que você me proporciona, por sempre arrancar de mim sorrisos, e, acima de tudo, por ser meu ombro com todo amor e carinho nos momentos em que as lágrimas surgem. Meu amor por você é imenso!

Aos meus amigos da Família Coriander, gostaria de expressar minha profunda gratidão por nunca soltarem minha mão durante esse processo e em todos os momentos da minha vida. Vocês são verdadeiramente incríveis.

Á todos que de alguma forma torceram por mim durante essa caminhada. Sou grata!

“O homem, com suas nobres qualidades, ainda carrega no corpo a marca indelével de sua origem modesta.”

Charles Darwin

## RESUMO

Durante o último semestre de 2019, a costa do Nordeste do Brasil sofreu um impacto significativo de uma extensa quantidade de petróleo e os organismos marinhos nas áreas afetadas pelo derramamento desse contaminante ficaram sujeitos a impactos significativos. Situações como essas têm um impacto considerável na meiofauna, e os efeitos podem persistir por períodos variáveis, afetando a recuperação e a sensibilidade dos táxons de várias maneiras distintas. Há um crescimento significativo na realização de estudos sobre a meiofauna, pois eles se mostram excelentes indicadores de impactos causados por óleo, devido ao ciclo de vida curto, concluído em poucas semanas, e à associação com diversos micro-habitats. A influência dos contaminantes do óleo, como HPAs, na comunidade bentônica resulta em uma redução da abundância e diversidade dos táxons nas áreas com maior exposição aos componentes químicos. Os objetivos deste estudo foram os seguintes: 1) Realizar uma revisão bibliográfica para identificar os trabalhos relacionados à interação entre o óleo e a meiofauna. Para isso, utilizamos a plataforma Scopus para coletar os dados, resultando em 173 estudos encontrados e após a aplicação de critérios de exclusão, foram utilizados 66 trabalhos para análise; e 2) Avaliar a meiofauna de recifes de coral em duas praias distintas: a praia do Cupe, que sofreu impacto de óleo, e a Praia de Serrambi, considerada como área de controle por não ter sido afetada pelo óleo. Utilizamos tapetes de grama sintética como substrato artificial para a colonização da meiofauna. Geralmente, os nematoides exibem maior resistência, e neste estudo foi possível observar este mesmo padrão, o grupo dos copépodes mostrou-se mais sensíveis ao óleo. Após dois anos do acidente, a recuperação dos organismos da meiofauna pareceu ser satisfatória.

Palavras chaves: HPA; Meiofauna; Recifes; Acidente; Nordeste.

## **ABSTRACT**

During the last half of 2019, the coast of Northeast Brazil suffered a significant impact from an extensive amount of oil and marine organisms in the areas affected by the spill of this contaminant were subjected to significant impacts. Situations like these have a considerable impact on meiofauna, and the effects can persist for varying periods of time, affecting the recovery and sensitivity of taxa in several different ways. There is a significant increase in studies on meiofauna, as they are excellent indicators of impacts caused by oil, due to the short life cycle, completed in a few weeks, and the association with various microhabitats. The influence of oil contaminants, such as PAHs, on the benthic community results in a reduction in the abundance and diversity of taxa in areas with greater exposure to chemical components. Thus, the objectives of this study were as follows: 1) Carry out a literature review to identify works related to the interaction between oil and meiofauna. For this, we used the Scopus platform to collect data, resulting in 173 studies found and after applying exclusion criteria, 66 studies were used for analysis; and 2) Evaluate the meiofauna of coral reefs on two different beaches: Praia do Cupe, which was impacted by oil, and Praia de Serrambi, considered a control area as it was not affected by oil. We use synthetic grass mats as an artificial substrate for the colonization of meiofauna. Generally, nematodes exhibit greater resistance and in this particular study the same pattern was shown. Copepods were more sensitive to the oil impact. Two years after the accident, the recovery of the meiofauna organisms appeared to be satisfactory.

**Keywords:** HPA; Meiofauna; Reefs; Accident; Northeast.

## LISTA DE TABELAS

### ARTIGO 2: USO DA MEIOFAUNA PARA DETECTAR E AVALIAR A SEVERIDADE DO IMPACTO POR ÓLEO NOS RECIFES DO LITORAL DE PERNAMBUCO.

<b>Tabela 1</b>	<b>Lista das famílias de Copepode Harpacticoida presente nas praias de Serrambi e Cupe.....</b>	43
<b>Tabela 2</b>	<b>PERMANOVA utilizando dois fatores, Ar: área, Te: tempo, com raiz quadrada já transformada. df= Graus de liberdade; SS= Soma dos quadrados; MS= Quadrado médio; F= estatística do teste; p= probabilidade.....</b>	47
<b>Tabela 3</b>	<b>ANOVA utilizando dois fatores: ANO e ÁREA. P&lt;0.001. df= Graus de liberdade; SS= Soma dos quadrados; MS= Quadrado médio; F= estatística do teste; p= probabilidade. Ar: área, Te: tempo.....</b>	48
<b>Tabela 4</b>	<b>Resultados da análise multifatorial PERMANOVA para morfologia dos copepodes para os fatores área (Ar), ano (An) (df= Graus de liberdade; SS= Soma dos quadrados; MS= Quadrado médio; F= estatística do teste; p= probabilidade). Valores significativos (p&lt;0.05) em negrito.....</b>	48
<b>Tabela 5</b>	<b>Resultados da PERMANOVA para riqueza (S), equitatividade (J') e diversidade de Shannon-Wiener (H') para comunidade copepoda.....</b>	52
<b>Tabela 6</b>	<b>PERMANOVA para análise da densidade da meiofauna do experimento do óleo e sem óleo. Em negrito teste de Monte Carlo. (df= Graus de liberdade; SS= Soma dos quadrados; MS= Quadrado médio; F= estatística do teste; p= probabilidade) .....</b>	52
<b>Tabela 7</b>	<b>Resultados do teste Tukey indicando a diferença significativa das amostras.....</b>	53
<b>Tabela 8</b>	<b>PERMANOVA das análises para copepode em UAS com óleo e sem óleo. Em negrito, teste de Monte Carlo.....</b>	54

## LISTA DE FIGURAS

### ARTIGO 1 – EFEITOS DA POLUIÇÃO POR ÓLEO SOBRE A MEIOFAUNA MARINHA: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA.

<b>Figura 1 - Fluxograma metodológico aplicado à definição do conjunto de dados, extração e análise das informações.....</b>	<b>22</b>
<b>Figura 2 – Figura do programa VosViewer demonstrando quais palavras chaves que mais aparecem nos artigos. Em cor vermelha significa que as palavras estão relacionadas em um maior grupo. Seguida da cor verde e logo após a azul.....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 3 – Figura do programa VosViewer demonstrando palavras chaves contida em todos os artigos.....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 4 – Distribuição geográfica de países que mais produziram trabalhos relacionados ao efeito do óleo.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 5 – Figura do programa VosViewer demonstrando países que mais produziram trabalhos relacionados ao efeito do óleo.....</b>	<b>27</b>
<b>Figura 6 A Figura do programa VosViewer dos autores que mais foram citados nos artigos analisados.....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 6 I Figura do programa VosViewer dos autores que mais foram citados nos artigos analisados.....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 7 – Crescimento de citações desde 1980 até o período 2022.....</b>	<b>33</b>

### ARTIGO 2 – USO DA MEIOFAUNA PARA DETECTAR E AVALIAR A SEVERIDADE DO IMPACTO POR ÓLEO NOS RECIFES DO LITORAL DE PERNAMBUCO.

<b>Figura 1 Localização das áreas de amostragem na Praia de Serrambi e do Cupe em PE.....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 2– Figura de UAS que é montada em campo utilizada para colonização de meiofauna.....</b>	<b>41</b>

Figura 3	Esquema de como foi confeccionado o tapete para o experimento em campo. Em verde os tapetes de grama sintética, e as bolas na cor preta estão representando as manchas de óleo.....	42
Figura 4	Abundância dos táxons na área IMPACTO (Praia do Cupe) e NÃO IMPACTO (Praia de Serrambi) .....	46
Figura 5	Ordenação de MDS para as áreas IMPACTO e SEM IMPACTO representadas pelas cores azul (IMPACTO) para a praia de Cupe e vermelha (SEM IMPACTO) para a praia do Serrambi. Os números 21 e 22 significam o ano de coleta, 2021 e 2022.....	47
Figura 6	Ordenação de MDS demonstrando a separação das áreas para os copepodes harpacticoida. Azul representa área impacto = Cupe, e vermelho a área não impacto = Serrambi .....	49
Figura 7A	Gráfico pizza indicando as principais famílias em termos de abundância na área IMPACTO em 2021.....	51
Figura 7B	Gráfico pizza indicando as principais famílias em termos de abundância na área IMPACTO em 2022.....	51
Figura 7C	Gráfico pizza indicando as principais famílias em termos de abundância na área NÃO IMPACTO em 2021.....	52
Figura 7D	Gráfico pizza indicando as principais famílias em termos de abundância na área NÃO IMPACTO em 2022.....	52
Figura 8	MDS indicando os fatores COM ÓLEO e SEM ÓLEO das amostras. Em azul as amostras com ÓLEO e em vermelho as amostras SEM ÓLEO.....	53
Figura 9	MDS para copepode indicando os fatores COM ÓLEO e SEM ÓLEO das amostras. Em azul as amostras com SEM ÓLEO e em vermelho as amostras COM ÓLEO.....	59
Figura 10A	Gráfico pizza indicando as principais famílias em termos de abundância no tapete com óleo do experimento.....	55
Figura 10B	Gráfico pizza indicando as principais famílias em termos de abundância no tapete sem óleo experimento.....	55

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	15
2	<b>ARTIGO 1: - EFEITOS DA POLUIÇÃO POR ÓLEO SOBRE A MEIOFAUNA MARINHA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	16
3	<b>ARTIGO 2: - USO DA MEIOFAUNA PARA DETECTAR E AVALIAR A SEVERIDADE DO IMPACTO POR ÓLEO NOS RECIFES DO LITORAL DE PERNMABUCO</b> .....	36
4	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	58
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	59
	<b>APÊNDICE A –TABELA DOS ARTIGOS QUE FORAM ENCONTRADOS AO UTILIZAR AS PALAVRAS CHAVES “meiofauna or meiobenthic and hydrocarb * or oil”</b> .....	73

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

Durante o segundo semestre de 2019, a costa nordeste do Brasil foi impactada por um considerável volume de petróleo e análises químicas subsequentes revelaram que a composição desse composto era similar à do petróleo proveniente da Venezuela (MOBERG & FOLKE, 1999; WHITE et al., 2000). Na dinâmica desse ecossistema, a comunidade de meiofauna desempenha um papel crucial, estando associada a diversos micro habitats (COULL & WELLS, 1983; GIÈRE, 2009). Essa comunidade desempenha uma função essencial no processo de ciclagem de nutrientes da matéria orgânica, contribuindo significativamente para o funcionamento do ecossistema (COULL, 1999).

Os organismos da meiofauna possuem alta sensibilidade às alterações ambientais, exibem ampla distribuição e um metabolismo acelerado. Além disso, seu ciclo de vida pode ser concluído em poucas semanas. Por esse motivo, observa-se um crescente interesse na investigação desses organismos como bioindicadores (COULL & CHANDLER, 1992; KENNEDY & JACOBY, 1999; COSTA et al., 2016).

Em ecossistemas de recifes de coral, o grupo dominante na meiofauna de ambiente fital é o Copepoda Harpacticoida (HICKS, 1977; SANTIAGO, 2003). Esses organismos são reconhecidos como uma importante fonte alimentar para macroinvertebrados, bem como para juvenis e larvas de peixes (HICKS & COULL, 1983; SOGARD, 1984; DE TROCH et al., 1998; COULL, 1990; JENKINS et al., 2002). Além disso, destacam-se pela sua diversidade, tornando-se alvo de intensos estudos devido à sua sensibilidade a impactos antropogênicos (SARMENTO et al., 2011; BARROSO et al., 2018).

Diversas pesquisas apontaram que esse petróleo sofreu um intemperismo severo ou é proveniente de produtos derivados de petróleo pesado e apesar da remoção visível do óleo

em diversos ambientes afetados, como praias, recifes e estuários, é importante ressaltar que os efeitos crônicos dessas substâncias certamente serão observados nos organismos por períodos variáveis. Isso dependerá da intensidade da contaminação local, das condições do habitat e das características biológicas dos organismos (DANOVARO et al., 1995; FLEEGER et al., 2018).

Esse incidente estimulou uma série de estudos, incluindo o presente trabalho, que teve como objetivo identificar os padrões e a evolução das pesquisas relacionadas à meiofauna e derramamentos de óleo. Além disso, buscou-se compreender se este estudo permitiu estabelecer padrões consistentes em relação aos táxons mais sensíveis aos contaminantes e determinar o tempo necessário para considerar a recuperação completa de um ambiente afetado.

## **2. ARTIGO 1 - EFEITOS DA POLUIÇÃO POR ÓLEO SOBRE A MEIOFAUNA MARINHA: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.**

### 2.1 INTRODUÇÃO

No segundo semestre de 2019, o litoral do Nordeste do Brasil foi atingido por uma grande quantidade de petróleo com composição semelhante ao petróleo venezuelano (LOURENÇO et al., 2020; FIORAVANTI, 2020; OLIVEIRA et al., 2020). Alguns estudos, como por exemplo o de Oliveira et al. (2020), indicaram que esse petróleo passou por intemperismo severo ou é proveniente de produtos derivados de petróleo pesado. Este acidente levou ao desenvolvimento de diversos trabalhos, como o de Craveiro et al. (2021) que investigou a macrofauna bentônica associadas a duas algas (*Jania capillacea* e *Penicillus capitatus*) e o efeito potencial do óleo; trabalhos com bivalves da espécie *Anomalocardia brasiliiana* e peixes *Diapterus rhombeus* indicaram que os mesmos apresentaram vários tipos de hidrocarbonetos em seus organismos após análises neles e da água do mar (SOARES et al., 2021). O impacto do óleo em diversos ambientes motivou ainda o presente estudo bibliométrico abordando os efeitos do petróleo e seus derivados sobre a meiofauna marinha.

Sabe-se que óleo contém substâncias tóxicas e carcinogênicas como hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA) e estão entre os maiores responsáveis por efeitos negativos em organismos marinhos (LOTUFO e FLEEGER, 1997). Em Pernambuco, embora a limpeza com a retirada do óleo visível dos diversos ambientes afetados (praias, recifes, estuários, entre outros) tenha sido realizada, os efeitos crônicos dessas substâncias certamente deverão ser percebidos por períodos variáveis nos organismos a depender da intensidade da contaminação local, das condições do habitat e da biologia dos organismos

(DANOVARO et al., 1995; FLEEGER et al., 2018). Como os organismos da meiofauna são bastante sensíveis a mudanças no ambiente, situações como essas normalmente afetam fortemente as suas comunidades (LV et al., 2011; KANG et al., 2016; EENENNAAM et al., 2019). A meiofauna é caracterizada como um conjunto de organismos invertebrados marinhos bentônicos, abrangendo quase todos os principais filos. Estes organismos ocupam os espaços entre os tamanhos de malha de 0,044 ou 0,062mm até 0,5 ou 1mm, de acordo com Giere (2009).

Estudos sobre a meiofauna, enquanto organismos bioindicadores, vêm sendo publicados em ritmo crescente, como por exemplo o trabalho de Boucher (1980) sobre o acidente do *Amoco Cadiz*, um navio que teve seu leme danificado após uma onda gigantesca se chocar com o navio, fazendo com que a grande carga de petróleo iraniano que estava transportando caísse no mar, e como a poluição afetou a meiofauna intertidal e sublitoral, o de Fleeger (2015) que examinou os efeitos do derramamento de óleo do *Deepwater Horizon* em microalgas bentônicas e na meiofauna em um pântano na Louisiana, o de Campelo (2021) que estudou o acidente de 2019 na costa do nordeste, na praia de Tamandaré e reforça que grande parte do óleo está enterrado no sedimento e também o de Fleeger (2022) que explica a interação de um determinado táxon com o óleo. A manutenção de estudos sobre o tema é importante para que possam ser avaliados potenciais mecanismos para mitigar os efeitos e restaurar os ecossistemas. A adequação dos organismos da meiofauna ao monitoramento de impactos por óleo é clara por eles terem uma ampla distribuição, um metabolismo rápido e um ciclo de vida que pode ser concluído em poucas semanas (COULL & CHANDLER, 1992; KENNEDY & JACOBY, 1999).

Pesquisas sobre esses organismos e sua relação com o óleo vêm sendo feitas desde a década de 80 (BOUCHER, 1980; FLEEGER e CHANDLER, 1983; FRIETHSEN et al., 1985; BODIN, 1988; DANOVARO et al., 1995; DANOVARO, 2000; ANSARI e

INGOLE, 2002; COMMITO e TITA, 2002; SCHRATZBERGER et al., 2003), e no Brasil eles são bastante utilizados em testes de toxicidade (ARAÚJO 2008; OLIVEIRA et al., 2014; REGIS et al., 2018; CAMARGO et al., 2015; SOROLDONI et al., 2017; SANTOS et al., 2018; CAMPOS et al., 2019), principalmente os Copepoda, que são o segundo grupo mais abundante da meiofauna (HICKS 18 & COULL, 1983). Temos como exemplo do uso de Copepoda Harpacticoida o trabalho de Sarmento et al. (2017) no qual é observado um aumento na frequência de malformações nos animais submetidos a impactos antrópicos, sugerindo que a meiofauna bentônica pode apresentar forte potencial na avaliação de ambientes impactados por HPA.

Efeitos de contaminantes como HPAs sobre a comunidade bentônica indicam uma diminuição da abundância e diversidade dos táxons nas áreas que tiveram uma maior exposição a componentes químicos (JOHANSSON et al. 1980). Contudo, é observado que os Nematoda são geralmente resistentes a esse tipo de contaminação (HEIP et al., 1985), visto que a abundância deles pode se manter ou até mesmo aumentar, devido à diminuição de outros táxons (BAGULEY 2015). Bactérias oportunistas também foram observadas em locais de derramamento de óleo (DANOVARO et al., 1996), o que pode explicar uma maior abundância de Nematoda, que além da sua resistência ao contaminante, podem se alimentar dessas bactérias (HEIP et al., 1985). Por outro lado, Naidu et al. (1978) e Danovaro (1993) relataram em seus estudos que em derramamento experimental de óleo se detectou um aumento na abundância de Copepoda e uma diminuição tanto na abundância, quanto nas atividades das bactérias, sugerindo que os Copepoda também se alimentam desses organismos e que nesse caso, nos mostra um diferente padrão comparado ao que descreve que a comunidade de Copepoda tende sempre a diminuir sua abundância em situações como essas.

Viega et al. (2009) verificaram em seu estudo que a comunidade da meiofauna mostrou uma estrutura perturbada seis meses após o derramamento do óleo na costa da Galiza, na Espanha e os Copepoda demonstraram uma forte sensibilidade à toxicidade dos HPA nesse acidente (WORMALD, 1976; ANSARI e INGOLE, 2002; VEIGA et al., 2009) o que também ocorreu com este grupo em estudo de manipulação in situ (FRITHSEN et al., 1985). Efeitos também foram detectados em trabalhos feitos no Brasil, como o de Euzebio (2019) que analisou a Baía de Guanabara que em janeiro de 2000 recebeu 1.300 m<sup>3</sup> de óleo na região devido a um rompimento de um oleoduto ou o de Netto (2005) que analisou a relação de meiofauna no talude com atividades de perfuração petroleira, ou ainda o de Andrade (2022) que fez uma análise com *Tisbe biminiensis* (Copepoda Harpacticoida) sobre a toxicidade do sedimento que recebeu óleo em Pernambuco em 2019. Entretanto diferentes estudos produziram resultados diversos, com tempos diferentes e isso pode ser explicado pela variabilidade entre as comunidades e sua reação ao contaminante (OLSGARD et al, 1995).

Visto isso, há a importância de se fazer uma revisão bibliográfica para detectar padrões e lacunas nos estudos que estão sendo realizados. Portanto, reunimos neste trabalho referências relacionadas a estudos feitos com a comunidade de meiofauna e quais os tipos de impacto a comunidade sofre com os compostos químicos do óleo, com o objetivo de entender melhor a situação e principalmente pelo fato de que, quanto maior o conhecimento, mais simples é efetivar o gerenciamento visando mitigar os impactos e restaurar os ambientes.

## 2.2 MATERIAIS E MÉTODOS:

### 2.2.1 Coleta de dados:

A revisão da literatura foi realizada a partir de artigos publicados que estão disponíveis na base de dados Scopus. Esse banco de dados foi escolhido por possuir um mecanismo que restringe as buscas e certifica os resultados como sendo os de maior qualidade na busca. As primeiras pesquisas foram realizadas em julho de 2021 com as palavras “meiofauna or meiobenthic and hydrocarb \* or oil”, (título, resumo, palavras-chave), para todos os anos, estas palavras foram determinadas por selecionar melhor os artigos que informavam o que seria interessante para o desenvolvimento do projeto.

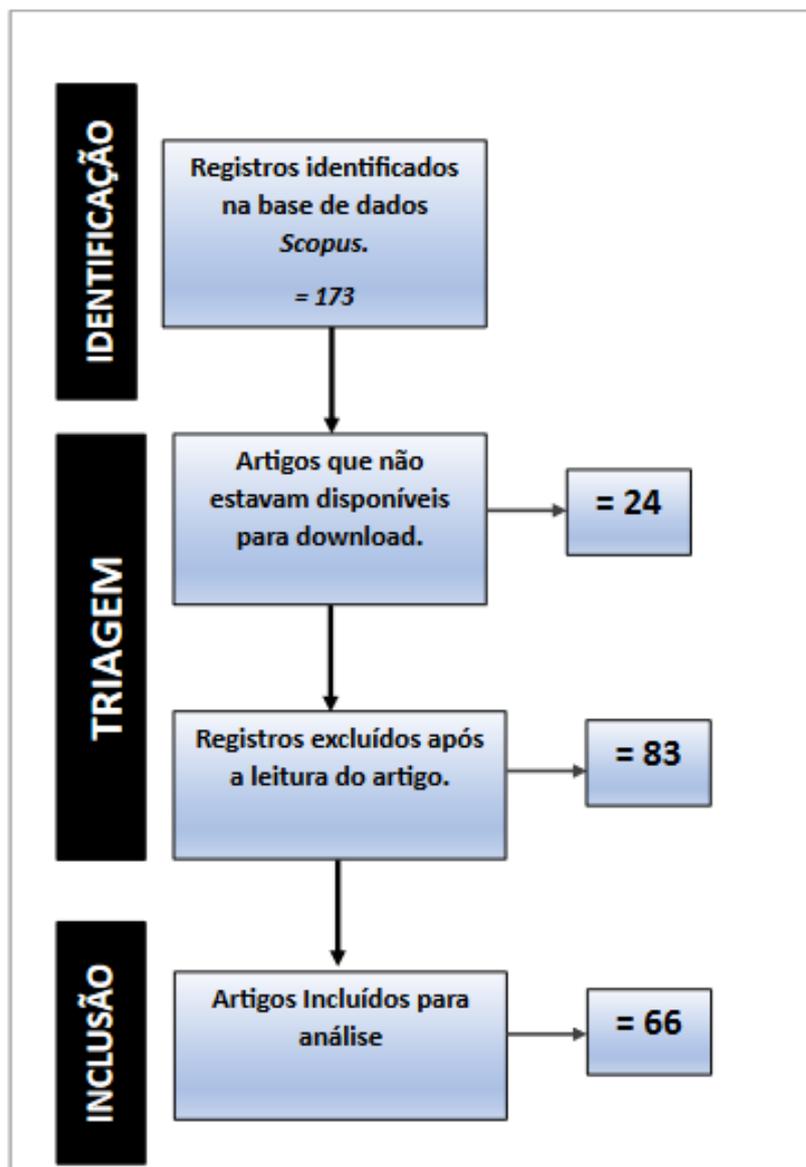
Os critérios tidos para a exclusão de artigos que não seriam úteis à esta revisão se deram restringindo aqueles que não trazem informações inéditas, como revisões, capítulo de livros ou trabalhos que usam dados já publicados para desenvolvimento metodológico ou trabalhos feitos em água doce, como mostra o fluxograma na Figura 1. O filtro “tempo” não foi utilizado.

Após a aplicação dos critérios de exclusão, 66 publicações permaneceram. A coleta e organização dos dados da revisão bibliográfica foi feita baseada nas características gerais dos artigos.

#### 2.2.2 Análise dos dados:

As análises dos 66 artigos incluídos para revisão bibliográfica, foram feitas no programa Vosviewer na versão 1.6.19.0, usando as variáveis “Palavras Chaves”, “Co-Citação”, “Co-autoria entre países”, “Acoplamento bibliográfico”. Os dados como “CiteScore”, “Trabalho experimental” “Tipo de Hpa”, foram feitas a partir de gráficos dos Excel com as informações filtradas dos artigos. Tal análise foi gerada com a visão de compreender melhor como estaria sendo o andamento de trabalhos feitos com base na temática.

Figura 1 – Fluxograma metodológico aplicado à definição do conjunto de dados, extração e análise das informações.



Fonte: Autora (2023).

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estudos sobre a relação da meiofauna com óleo, ou o impacto deste sobre aquela, têm sido ampliados por ser a meiofauna um componente de ciclo de vida rápido, podendo dessa

forma nos apresentar de maneira quase instantânea se houve alguma mudança considerável em sua genética, estrutura populacional ou organização da comunidade (MITWALLY e FLEEGER, 2016).

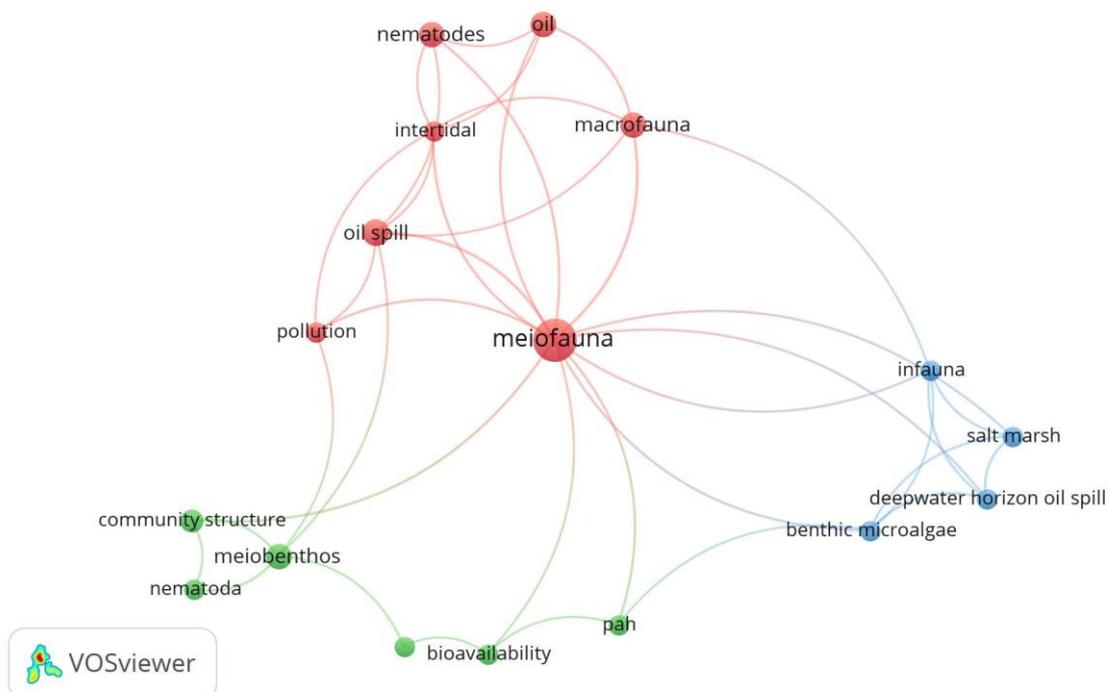
Observamos que de 2010 até o presente momento há um grande aumento de publicações, podendo ter relação com um acidente que aconteceu no Golfo do México, o DeepWater Horizon que aconteceu em 2010 e até aos tempos atuais gera dados de como os organismos se encontram mesmo após 10 anos. Muito embora, pode-se notar que na década de 80 houve um significativo volume de artigos publicados relacionados ao acidente do Amoco Cadiz. Este, inclusive, pode ser considerado o motivo pelo qual no início dos anos 80 foi amplamente discutida a temática de “*ambiente x petróleo*” (ARAÚJO, 2003), o que levou à criação do CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, instituído pela Lei nº 6.938 e regulamentado pelo Decreto 99.274, de 1990, que estabeleceu a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação, causando significativa alteração nas apurações das responsabilidades provenientes de danos ambientais na área cível, impondo ao poluidor a obrigação de recuperar e/ou indenizar os danos causados ao meio ambiente no Brasil. Também deve ser citada a Lei nº 6.938/81, 10º, que tornou obrigatório o licenciamento ambiental para os estabelecimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, considerados efetiva e potencialmente poluidores, bem como os capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental (DE MARTINI JR. e GUSMÃO, 2003).

Na motivação deste estudo considera-se essencial ter uma compreensão abrangente das consequências negativas que ocorrem após um acidente envolvendo derramamento de óleo. Isso nos permite tomar medidas imediatas para cuidar do meio ambiente, destacando o quão profundamente essas repercussões podem nos afetar.

Nos 66 artigos utilizados para análise, podemos observar que das 17 palavras chaves indicadas pelos autores, meiofauna (citada 22 vezes) e Oil Spill (16 vezes) foram as mais citadas (figura 2). Foi observado que a palavra “meiofauna” está mais relacionada com as palavras “Pollution”, “Oil Spill”, “intertidal”, “nematodes”, “oil” e “macrofauna”; com isso, podemos sugerir que tais trabalhos analisam não só a meiofauna em casos de acidente com óleo, mas dão um foco também para os Nematoda, citados tanto no grupo em vermelho quanto no verde, e para a macrofauna.

A grande maioria dos trabalhos com óleo sugerem que os Nematoda, comparados a outros grupos da meiofauna, são mais resistentes a esse tipo de poluição (BOUWMAN et al. 1984; VANDAMME et al. 1984; GEE et al. 1985; WARWICK et al. 1988), portanto dão um foco a mais nesse táxon para realização dos seus trabalhos.

Figura 2 – Figura do programa VosViewer demonstrando quais palavras-chave dos autores que mais aparecem nos artigos.



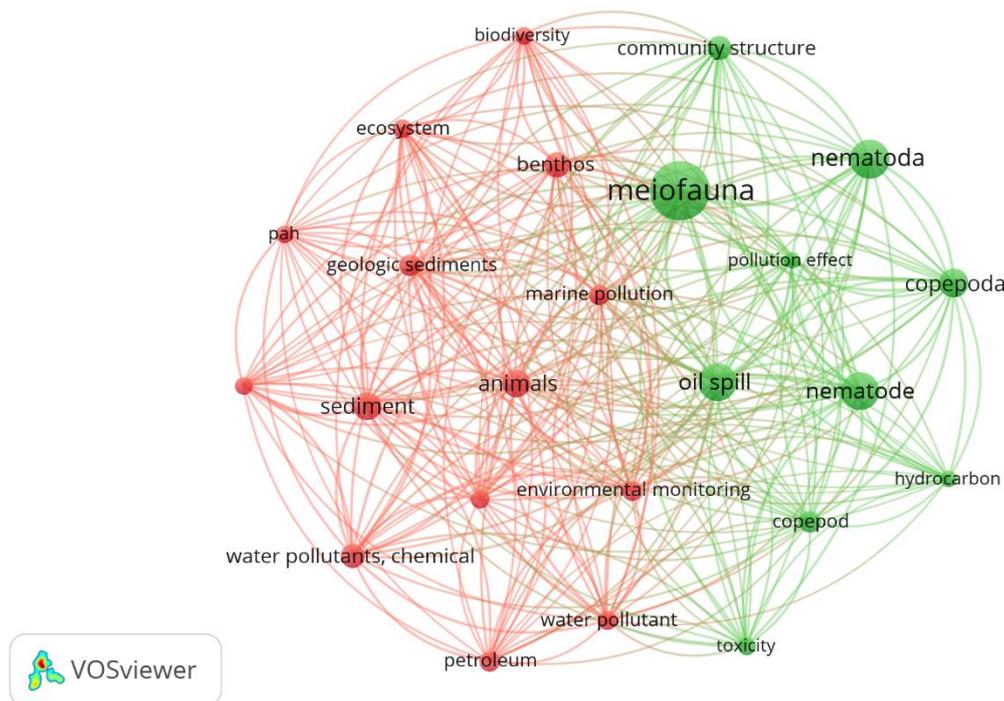
Apesar disso, há algumas contradições sobre a afirmativa de que a densidade de Copepoda diminui nesses casos (NAIDU et al., 1978). No estudo de Kang et al. (2016) foi evidenciado que a abundância de Copepoda não foi prejudicada e em um estudo de derramamento experimental, trabalho já citado de Naidu et al. (1978), foi relatado um aumento considerável de Copepoda após o experimento.

Outra palavra que acabou chamando nossa atenção por aparecer na figura 2, foi a “DeepWater Horizon oil spill”, essa palavra é referente ao acidente que aconteceu em 2010 no Golfo Do México quando houve uma explosão de uma plataforma petrolífera, e isso corrobora com outras informações de que há uma vasta quantidade de trabalhos sobre esse acidente.

No mais, as demais palavras acabam sendo termos com elevada relação por definição, como “infauna”, “meiofauna” e “meiobentos” e até mesmo “pah” e “oil”.

O programa indicou 807 palavras mais frequentes contidas nos artigos em título, resumo, palavras-chave. Destas, foram selecionadas aquelas que apareceram pelo menos 12 vezes, contabilizando 24 termos. Podemos observar na figura 3 a inclusão de vários termos pertinentes ao tema, como “hydrocarbon”, “toxicity”, “petroleum” etc.; que não estavam presentes nas palavras chaves indicadas pelos autores.

Figura 3 – Figura do programa VosViewer demonstrando palavras contidas em título, resumo ou palavras-chave de todos os artigos.



Na teia, podemos ver a interação das 12 palavras mais utilizadas nos textos, dentre elas, como já esperávamos, a palavra “meiofauna”, “nematoda” e/ou “nematode”, “oil Spill” e/ou “hydrocarbon” são as que mais se destacam. Vemos também que a palavra “Sediment” tem relevância e isso pode ser discutido pela situação de que em alguns acidentes por óleo, a tendência desse composto químico seja decantar e se aderir ao sedimento (LESSA et al. 2021), com isso podemos constatar que há uma quantidade significativa de trabalhos usando também essa palavra.

Dos 66 trabalhos incluídos que foram publicados do ano de 1980 a 2021 possui uma distribuição geográfica de publicações e as análises mostraram países como Estados Unidos com 31 trabalhos, França com 7 trabalhos, Espanha, Alemanha, Itália e Suécia com 5 trabalhos. Os Estados Unidos foram o país que mais produziu trabalhos relacionados a

acidentes causados por óleo. Os Estados Unidos demonstrou um maior número de estudos, com 31 trabalhos relacionados a efeitos da poluição causado por HPA (figura 4 e 5).

Figura 4: Distribuição geográfica de países que mais produziram trabalhos relacionados ao efeito do óleo.



Fonte: A autora (2023)

Figura 5: Figura do programa VosViewer da distribuição geográfica de países que mais produziram trabalhos relacionados ao efeito do óleo.



A grande quantidade de trabalhos publicados nos Estados Unidos pode ser explicada por causa do acidente recente com a explosão da plataforma petrolífera DeepWater Horizon, em 2010, que rendeu grande número de publicações. É possível encontrar

diversas publicações referente a esse acidente com uma diversidade de animais, como por exemplo o trabalho de White (2012) que averiguou o impacto do óleo em comunidade de corais de água profunda no Golfo Do México; local onde ocorreu o acidente, assim como também o de Grattan (2011), que 1 ano após o acidente buscou entender como moradores de cidades localizadas no outro lado do país, nesse caso a Flórida, estariam sendo afetadas pelo acidente; e ainda Schwacke (2014) que avaliou o potencial efeito subletal à saúde dos golfinhos-nariz-de-garrafa. O deepWater Horizon acidente atingiu uma grande parte do Golfo do México e toda a vida que habitava ali (OZOFSKY et al 2011). Mesmo após 13 anos do acidente, atualmente ainda alguns autores publicam trabalhos referentes ao DeepWater Horizon.

Os demais países Europeus também tiveram publicações referentes a acidentes pretéritos que assim como o do Golfo do México, também ficaram “famosos” devido à enorme destruição da vida marinha. Por exemplo, o acidente com o navio petroleiro Amoco Cadiz em 1978 que se partiu em 2 na costa da França e gerou um dos maiores desastres ambientais da história. Este petroleiro que transportava petróleo iraniano, foi atingido por uma grande onda que danificou seu leme (BOUCHER, 1980). Este acidente rendeu trabalhos como o de Chasse (1978) que 4 meses após o derramamento avaliou quais seriam as consequências ambientais e econômicas ao leste de Portsall (Bretanha), pois o modo de vida de toda região afetada era inteiramente ligado com o mar.

Trabalhos como o de Jacobs (1980) que estudou a fauna bentônica e algumas macrófitas como a *Zostera*. Foi evidente que houve uma redução na quantidade de indivíduos e espécies da fauna, e as plantas do capim-enguia (*Zostera*) demonstraram efeitos diretos nas primeiras semanas após o acidente notando que muitas plantas tinham folhas manchadas. Mesmo após 20 anos do acidente, ainda podemos observar trabalhos sobre o efeito do Amoco Cadiz em alguns Polychaeta associados ao Canal da Mancha.

Dauvin (2000) investigou a comunidade de fauna associada a uma areia lamacenta na Baía de Morlaix que foi fortemente poluída pelos hidrocarbonetos que foram despejados no mar no acidente do navio petroleiro Amoco Cadiz. Ele percebeu que alguns Polychaeta são oportunistas e não tiveram uma resposta tão negativa ao acidente, assim como alguns anfípodes associados ao local, que mesmo após o derramamento não tiveram sua abundância diminuída. Apenas algumas espécies que ele notou serem mais sensíveis ao óleo.

Outro acidente de derramamento de óleo que aconteceu pela Europa que podemos citar foi do navio chamado Prestige, um petroleiro que carregava 70.000 toneladas de combustível viscoso, e no dia 13 de novembro de 2000, em meio a uma tempestade, seu casco se rompeu derramando óleo pela costa da Espanha, contudo esse óleo foi visto até na França (EL PAÍS, 2019). Vários trabalhos foram realizados em decorrência desse acidente, como o de Veiga et al. (2010) que fez uma análise de algumas praias arenosas na costa galega 6 meses após o acidente. Apesar dos esforços empreendidos por uma equipe dedicada para limpar e remover os materiais contaminados, constatou-se a presença de níveis consideráveis de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs) nos sedimentos das praias afetadas.

Outro artigo que podemos trazer aqui como destaque e que é oriundo do acidente com o Prestige, é o trabalho de Zock et al (2007) a fim de compreender os possíveis impactos do material tóxico sobre a saúde das mais de 100.000 pessoas envolvidas diretamente na operação de limpeza do contaminante, realizou-se uma análise detalhada. Nas primeiras semanas do acidente, as principais pessoas a se mobilizar para iniciar a retirada do material foram pescadores e famílias que moravam próximo a costa. Diante dessa situação, foi necessário improvisar utilizando materiais de limpeza disponíveis e alguns recipientes para remoção e coleta do óleo, no entanto, essa exposição trouxe consequências de saúde para

esses voluntários, dentre eles problemas respiratórios, dores de cabeça e irritação nos olhos e garganta.

Acidentes dessa natureza sempre vão trazer todos os tipos de produções, seja trabalhos com fauna, flora, ou até mesmo mostrando as consequências que esse material tem na saúde humana (JAISHANKAR, 2014). Entretanto, é possível observar que os maiores volumes de produções vêm de países que na sua grande maioria são economicamente mais ricos, o que pode explicar a alta quantidade de trabalhos publicados advindos de países como EUA, Alemanha, Holanda. A facilidade de conseguir investimentos é muito maior do que em países que mesmo que tenham tido eventos de derramamento de óleo, como aqui no Brasil, não vemos tantas produções, ainda que o acidente de 2019 não tenha sido o único. Em 18 de janeiro de 2000 um duto da Petrobrás se rompeu provocando um derramamento de óleo na Baía de Guanabara, a mancha se espalhou por 40km. No entanto, é nossa expectativa que o número de publicações no Brasil aumente gradualmente, à medida que mais estudos sejam realizados com base no acidente ocorrido em 2019 no Nordeste do país.

No presente estudo de revisão, também quisemos entender como estaria o agrupamento de co-citações nas publicações. Na análise do conjunto de dados, foram examinados 4.397 autores, dos quais 23 foram mencionados em pelo menos 30 ocasiões, sendo eles Fleeger J.W. em 1º lugar com 114 citações, Warwick R.M. em 2º com 106 citações e Danovaro R em 3º com 80 citações (figura 6 A). E dos 244 autores citados como referência no acoplamento bibliográfico, escolhemos aqueles referenciados pelo menos 3 vezes. Um total de 19 autores de referências, sendo Montagna P.A. com 10, e Baguley J.G. com 5 (figura 6 B)

Figura 6 A– Figura de autores que mais foram citados nos artigos analisados.

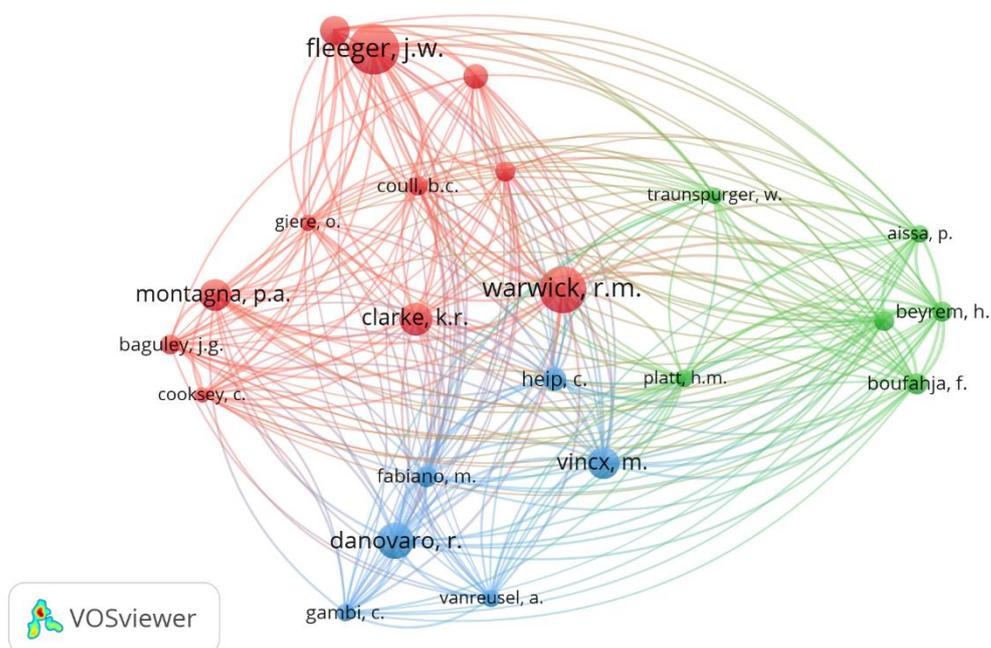
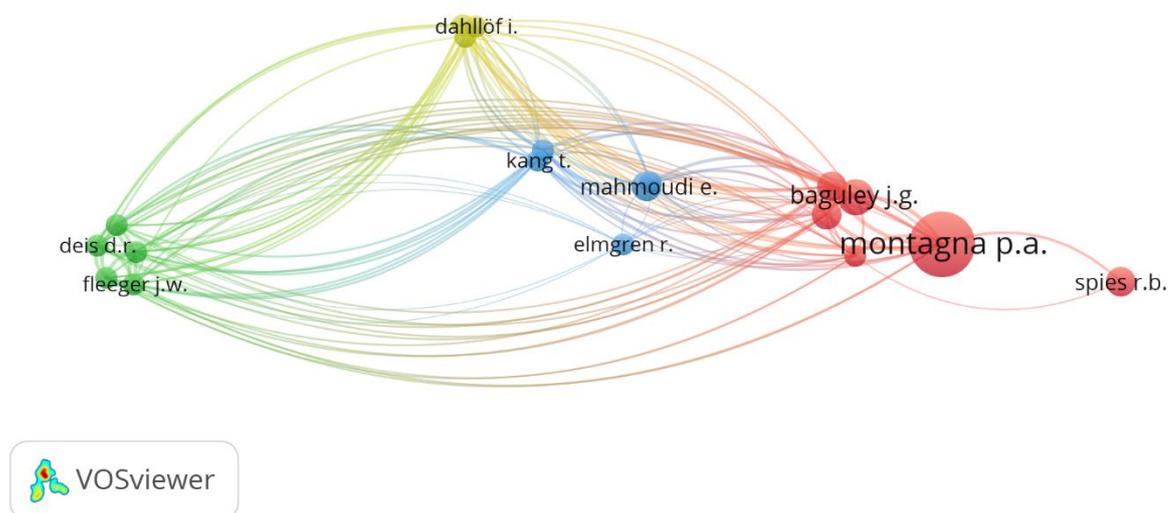


Figura 6 B– Figura de autores que mais foram citados nos artigos analisados.



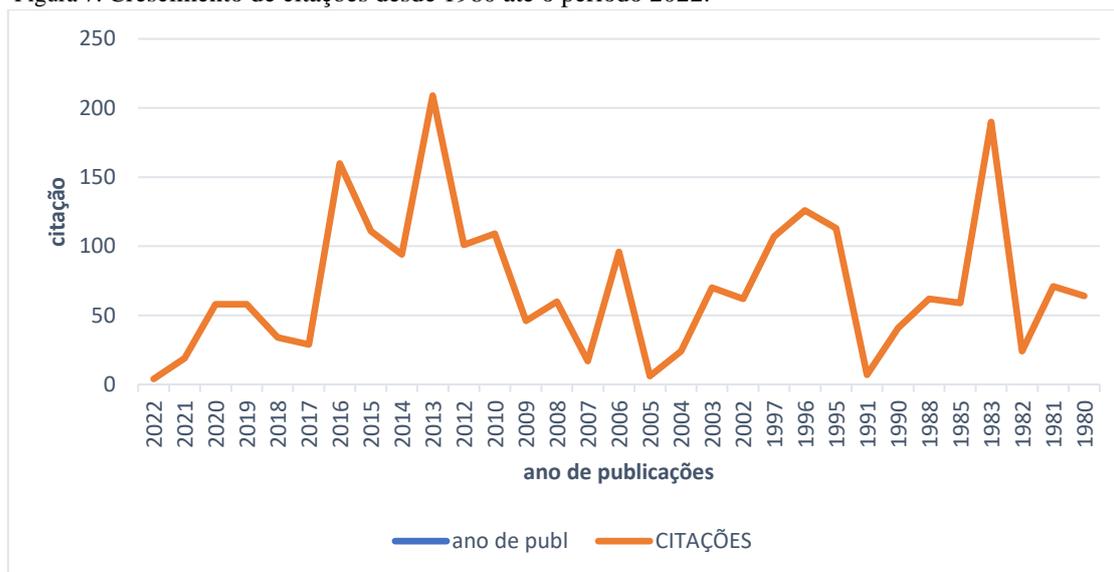
É possível entender que grandes nomes são os mais citados por serem grandes referências em trabalhos com algum tipo de contaminante e meiofauna. John W. Fleeger é um grande nome de referência em trabalhos com meiofauna e sobre quais os efeitos dos

contaminantes nesse grupo taxonômico, e algumas de suas publicações mantêm o foco em Copepoda, o que explica o motivo dele aparecer tanto nos artigos selecionados no presente estudo. Da mesma forma, o autor Richard M. Warwick se destaca por sua prolífica produção de trabalhos relacionados à ecologia marinha e à fauna bentônica (meio- e macrofauna) e ainda aos estudos sobre Nematoda. Além disso, ele também investigou os efeitos da poluição na comunidade bentônica marinha.

O autor Roberto Danovaro é amplamente reconhecido como uma figura proeminente no campo de estudos relacionados à meiofauna e suas interações com contaminantes. Sua contribuição nas pesquisas sobre a meiofauna é de enorme relevância e impacto. Pode-se citar também, o autor Paul A. Montagna, que mesmo não mantendo o foco em contaminantes e sua relação com meiobentos, é um autor que contribui para vários outros trabalhos voltados à temática, como podemos observar, ele é bastante citado conforme demonstra a figura 6B.

Esses autores têm um histórico de publicações de longa data. Em uma análise sucinta realizada neste estudo sobre o crescimento gradual de publicações relacionadas a acidentes com óleo e meiofauna, podemos observar na figura 7 a seguir um aumento exponencial.

Figura 7: Crescimento de citações desde 1980 até o período 2022.



Fonte- A autora (2023)

Nota-se que no início da década de 80 acontece um aumento considerável de citações, o que podemos entender que esse aumento seja devido aos acidentes já aqui citados como o Amoco Cadiz, em 1978, e que mesmo após 41 anos esse acidente ainda rende trabalhos; o “Tsesis” em 1978, um derramamento que ocorreu no Mar Báltico. Esse espaço de tempo de crescimento de publicações volta a crescer devido a outro acidente que ocorreu em 1991, o Agip Abruzzo, um petroleiro que colidiu com uma balsa, e essa colisão fez com que o petroleiro despejasse no mar 80 mil toneladas de petróleo. Nos anos 90 também teve o evento de acidente do MV Sea Transporter, um navio encalhado que ficou derramando óleo em uma praia arenosa na costa oeste da Índia (ANSARI, et al 2002). Na figura 6, é possível perceber um aumento significativo nas citações de trabalhos entre 1991 e 1996, o que pode ser atribuído aos referidos acidentes.

Na figura 7, fica evidente que o aumento das citações só recomeça a partir de 2010, ano do DeepWater Horizon que, como já descrito aqui, foi um dos maiores acidentes da história dos Estados Unidos, que custou vida de centenas de animais e dos humanos que

trabalhavam na plataforma e que continua gerando trabalho mesmo após 13 anos do acidente.

## 2.4 CONCLUSÕES

Neste estudo, oferecemos uma contribuição para uma avaliação ampla e abrangente das pesquisas que envolvem trabalhos com óleo e meiofauna. Destacamos uma tendência crescente observada principalmente nos anos subsequentes a eventos de acidentes com óleo, em relação às publicações relacionadas.

Chamamos a atenção para a pouca quantidade de estudos no Brasil, apesar de ter havido uma quantidade considerável de incidentes, embora existam fundos nacionais, como o Fundo Setorial de Petróleo e Gás, juntamente com a atuação da Agência Nacional do Petróleo (ANP), que asseguram que grandes empresas estatais destinem uma parcela mínima de sua receita bruta para universidades (públicas ou privadas) e institutos de pesquisa (GIELFIL; FURTADO; TIJSSEN, 2016), e essa iniciativa fortalece e impulsiona o campo de pesquisas em ambientes marinhos. De todo modo acreditamos que nos anos seguintes haverá uma tendência de crescimento de pesquisas voltadas tanto para o acidente ocorrido em 2019 no litoral pernambucano, quanto para o acidente que ocorreu recentemente no litoral do Ceará, em 2022.

É importante ressaltar que a maioria dos países que conduzem pesquisas sobre óleo e meiofauna são aqueles que geralmente possuem maior investimento em pesquisa para produzir esses estudos. Da mesma forma podemos observar que a nacionalidade dos autores mais citados, ou que publicam mais trabalhos sobre o tema em questão, são claramente de países economicamente mais prósperos e possuem acesso a financiamento para suas pesquisas. No entanto, é crucial que o conhecimento seja difundido em escala

mundial, uma vez que os países mais pobres também enfrentam as consequências desses acidentes. É de suma importância que as entidades federativas exerçam uma fiscalização rigorosa das embarcações e identifiquem os responsáveis por esses acidentes, a fim de minimizar os eventos e suas consequências negativas para o meio ambiente.

Durante esta pesquisa, também notamos uma lacuna de estudos específicos sobre os Copepoda e sua relação com o óleo. A maioria dos trabalhos concentra-se principalmente nos Nematoda, considerados mais resistentes aos contaminantes, mesmo havendo contradições sobre essa informação. Entretanto, é amplamente reconhecido que locais contaminados por hidrocarbonetos exercem um impacto significativo na reprodução dos Copepoda (SEURONT, 2011), e indicações de mal formações quando exposto a impactos antropogênicos (SARMENTO et al. 2017).

É relevante destacar a importância de aprofundar o conhecimento sobre essas informações contraditórias acerca da sensibilidade dos Copepoda em comparação aos Nematódas, levando em consideração estudos que comprovam o contrário ou que variam de acordo com o ambiente analisado. Um exemplo concreto disso é que, em ambientes fitais, o grupo Copepoda é predominantemente mais abundante do que o de Nematoda (HICKS, 1977; SANTIAGO, 2003).

Apontamos também a escassez de estudos sobre a relação entre ambientes fitais e acidentes envolvendo óleo. Observamos que a grande maioria das pesquisas é realizada na coluna d'água ou no sedimento, muito embora seja crucial compreender que as manchas de óleo tendem a se depositar e ficar submersas no sedimento, o que pode levar a uma maior ênfase nas publicações relacionadas à sensibilidade dos Nematoda em comparação aos Copepoda. Com isso, sugerimos que trabalhos em ambiente de fital possam ser feitos com uso de UAS, substratos artificiais que podem padronizar o substrato utilizado pela

meiofauna nos diferentes locais de amostragem. Trabalhos como o de Costa et. al (2016) observaram que a grama sintética, dentre outros substratos experimentados, foi o mais eficiente por demonstrar diferenças significativas na detecção de como diferentes tipos de impactos antropogênicos afetaram os indivíduos de meiofauna.

De modo geral este trabalho de revisão pôde demonstrar que grandes acidentes com óleo geram publicações subsequentes, utilizando vários métodos, mesmo anos após o ocorrido. Constatamos algumas lacunas, e este trabalho pode servir para direcionar um olhar mais atento para elas e assim poder compreender melhor os efeitos do óleo sob a comunidade de meiofauna.

### **3 ARTIGO 2: USO DA MEIOFAUNA PARA DETECTAR E AVALIAR A SEVERIDADE DO IMPACTO POR ÓLEO NOS RECIFES DO LITORAL DE PERNAMBUCO.**

#### **3.1 INTRODUÇÃO:**

No litoral pernambucano é bastante comum a presença de recifes costeiros que, além da sua importância ecológica, servem de abrigo, zona de reprodução e berçário para diversos organismos, fornecem uma série de bens e serviços para a população e geram lucros de forma direta e indireta (MOBERG & FOLKE, 1999; WHITE et al., 2000). Nesse ecossistema a comunidade de meiofauna está associada com diferentes micro-habitats (COULL & WELLS, 1983; GIERE 2009), sendo importante para o funcionamento do ecossistema no processo de ciclagem de nutrientes da matéria orgânica (COULL, 1999). Organismos da meiofauna são bastante sensíveis a mudanças no ambiente, têm uma ampla distribuição e um metabolismo rápido, apresentam um ciclo de vida que pode ser concluído em poucas semanas, sendo assim crescentes os estudos sobre esses organismos bioindicadores (COULL & CHANDLER, 1992; KENNEDY & JACOBY 1999; COSTA et al., 2016).

Na meiofauna de ambiente fital em recifes de coral Copepoda Harpacticoida é o grupo dominante (HICKS, 1977; SANTIAGO, 2003) sendo conhecido por ser importante fonte alimentar fornecendo ácidos graxos essenciais para macroinvertebrados e juvenis e larvas de peixes (HICKS & COULL, 1983; SOGARD, 1984; DE TROCH et al., 1998; COULL, 1990; JENKINS et al., 2002). Muito abundante (GIERE 2009), o grupo se destaca ainda por sua diversidade, sendo bastante estudado por serem organismos considerados sensíveis a impactos antrópicos (SARMENTO et al. 2011; BARROSO et al. 2018). SARMENTO et al. (2017) observou incrementos na frequência de malformações em indivíduos decorrentes

de impactos antrópicos. O que sugere que esses organismos apresentam forte potencial na avaliação de ambientes impactados.

No segundo semestre de 2019, o litoral do Nordeste do Brasil foi atingido por uma grande quantidade de petróleo que, após algumas análises químicas, foi visto que a composição desse composto era semelhante ao petróleo venezuelano (LOURENÇO et al. 2020; FIORAVANTI, 2020; OLIVEIRA et al., 2020). Alguns estudos, como por exemplo o de Oliveira et al., (2020) indicaram que esse petróleo passou por um intemperismo severo ou é proveniente de produtos derivados de petróleo pesado. Este acidente levou ao desenvolvimento de diversos trabalhos, como o de Craveiro et al. (2021) que investigou a macrofauna bentônica associadas a duas algas (*Jania Capillacea e Penicillus Capitatus*) e seu efeito iminente com óleo; trabalhos com bivalves da espécie *Anomalocardia brasiliiana* e peixes *Diapterus rhombeu* que apresentaram vários tipos de hidrocarbonetos em seus organismos após uma análise neles e da água do mar (SOARES et al. 2021). Em Pernambuco, embora a limpeza com retirada do óleo visível dos diversos ambientes afetados (praias, recifes, estuários, entre outros) tenha sido realizada, os efeitos crônicos dessas substâncias certamente deverão ser percebidos por períodos variáveis nos organismos a depender da intensidade da contaminação local, das condições do habitat e da biologia dos organismos (DANOVARO et al. 1995; FLEEGER et al. 2018). Como os organismos da meiofauna são bastante sensíveis a mudanças no ambiente, situações como essas normalmente afetam fortemente as suas comunidades (LV et al.2011; KANG et al. 2016; VAN EENENNAAM et al. 2019).

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da contaminação do óleo, que chegou no litoral pernambucano em 2019, sobre a comunidade de meiofauna e sobre a associação de Copepoda Harpacticoida associadas aos recifes de corais e efetuar seu monitoramento.

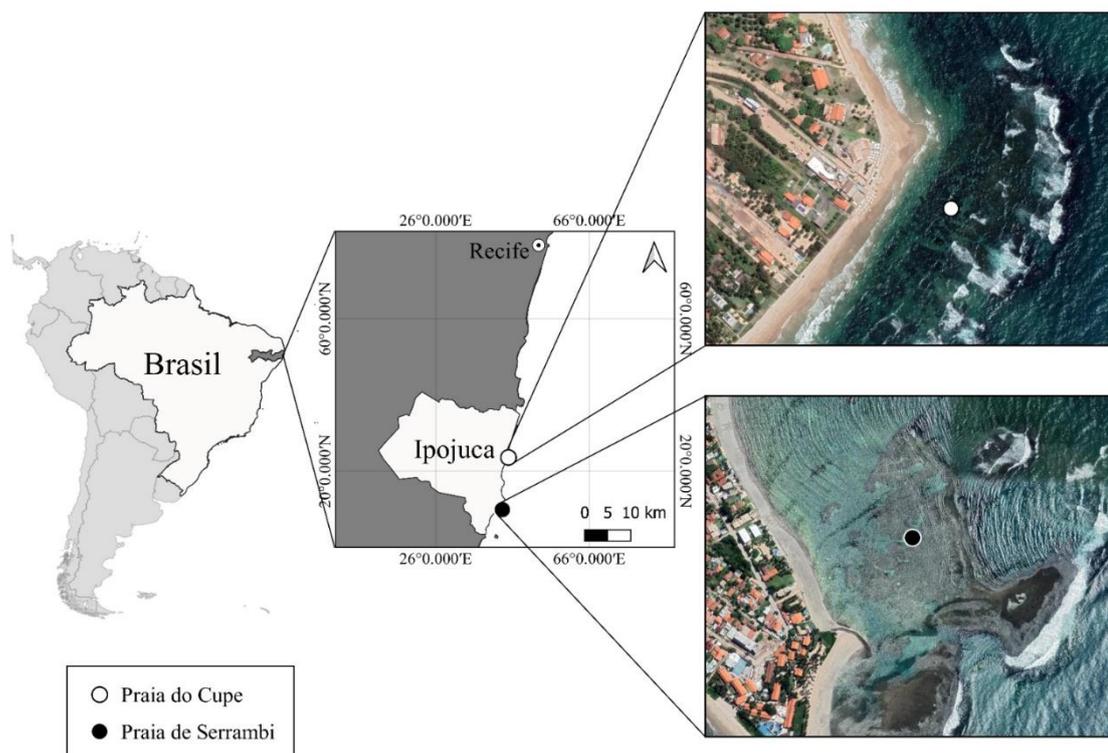
## 3.2 MATERIAIS E MÉTODOS:

### 3.2.1 Área de Estudo:

A praia de Serrambi localizada no município de Ipojuca, encontra-se no centro do litoral Sul de Pernambuco ( $8^{\circ}33'S$  e  $35^{\circ}01'W$ ), (Fig 1). Esta praia abrange uma extensa formação recifal, com cerca de 1,5 km de extensão (área total de aproximadamente  $4,5\text{km}^2$ ), formando pequenas piscinas naturais durante a maré baixa (ACCIOLY, 1989). Apresenta uma população fixa de 4.300 habitantes, e a ocupação se dá por de casas de veraneio, moradores e bares. O recife se constitui de formações de *beachrocks* (ou recifes de arenito), os quais servem de substratos para crescimento de algas e corais, além de proteger o litoral absorvendo energia das ondas (JALES et al. 2012). Esta praia é considerada balneável (CPRH, 2023), e apresenta-se em bom estado de preservação (JALES et al. 2012). Durante o período da chegada do óleo no litoral pernambucano, a praia de Serrambi não recebeu aporte do contaminante que requisitasse limpeza/remoção, deste modo a praia é considerada como área “NÃO IMPACTADA”.

A Praia do Cupe é localizada ( $9^{\circ}31'34''S$  e  $35^{\circ}0'18''W$ ) no município de Ipojuca (Figura 1), com uma orla com 4,5km de extensão, a praia destaca-se por possuir fortes ondas que chamam atenção dos surfistas. A área também conta com a presença de arrecifes formando piscinas naturais de águas claras e mornas. É uma praia de veraneio com existência de hotéis, pousadas e bares que atraem bastantes turistas. Em outubro de 2019 foram retiradas em torno de 4 toneladas de óleo das praias do município de Ipojuca, grande parte deste volume na praia do Cupe. Em junho de 2020 banhistas e moradores observaram novamente a presença do óleo, portanto a praia é considerada como “IMPACTO”. A distância entre as praias é de 19km.

Figura 1: Localização das áreas de amostragem na praia de Serrambi e do Cupe.



Fonte: autora (2023)

### 3.2.2 Unidade de amostragem

Ambientes como recifes de coral possuem grandes variações das características do substrato que influenciam a estrutura das comunidades (SNELGROVE & BUTMAN 1994, UNDERWOOD & CHAPMAN 2006). A caracterização mais adequada das comunidades naturais pode ser complicada determinando dificuldades em avaliar mudanças que são causadas por impactos antropogênicos e não variações naturais (BISHOP 2005). As Unidades Artificiais de Substrato (UAS), que são substratos artificiais que padronizam o substrato utilizado pela meiofauna, vêm sendo usadas em trabalhos com a comunidade para minimizar este problema. COSTA et al. (2016) em seu trabalho puderam observar que o substrato artificial (UAS), dentre outros substratos usados, foi o mais eficiente em

demonstrar diferenças significativas decorrentes de impactos antropogênicos que afetam a meiofauna.

### 3.2.3 Amostragem

Para verificar o impacto por óleo na comunidade de meiofauna as coletas foram realizadas no período do dia 24 de abril a 26 de maio de 2021 e do dia 19 de maio a 20 de julho em 2022 (em razão da pandemia de COVID-19 ocorrida em 2020), para ambos os recifes. Em três piscinas naturais de cada recife foram colocadas 3 cordas com tamanho de 70cm contendo cada corda 3 UAS, grama sintética (Figura 2), pois mimetiza melhor o ambiente de alga e tem sido recomendada como solução para colonização de meiofauna para estudos de qualidade ambiental (MIRTO & DANOVARO, 2004; De TROCH et al., 2005, BISHOP, 2005; RULE & SMITH, 2007, KELAHER, 2013). Após cada período de amostragem as UAS foram removidas da água com cuidado, para que o substrato colonizado não fosse remexido dispersando a fauna. Em seguida, as UAS foram colocadas em potes plásticos com formol e levadas ao laboratório para o processo de lavagem e triagem dos grandes grupos taxonômicos.

Figura 2: Esquema de UAS que é montada em campo.



Fonte: autora (2023)

### 3.2.4 Experimento de campo com óleo

Foi realizado, no mês de novembro de 2022, um pequeno experimento com o objetivo de avaliar o impacto de pequeno aporte de óleo na meiofauna in situ. O óleo foi obtido junto à Petrobrás em Sergipe que armazenou o mesmo ao ar livre após retirada do mesmo em 2019 de diversas praias do Nordeste. Foram utilizadas 6 UAS onde 3 foram expostas a uma mancha contendo 1g de óleo, enquanto outras 3 permaneceram livres desse contaminante. Os tapetes contendo o óleo foram dispostos de forma alternada. O experimento foi feito apenas na praia de Serrambi. (figura 3).

Figura 3: esquema de como foi confeccionado o tapete para o experimento em campo. Em verde os tapetes de grama sintética, e as bolas na cor preta estão representando as manchas de óleo.



Fonte: autora (2023)

### 3.2.5 Processamento das amostras

Em laboratório a lavagem das UAS foi feita com água corrente utilizando uma peneira em aço Inox - ASTM 1.3/4 Polegadas - abertura 45mm, que impede a passagem da meiofauna. Após a lavagem a meiofauna foi triada, contada e identificada em níveis de grandes grupos. De cada amostra foram retirados 30 copépodes e armazenados em potes de Eppendorf com álcool etanol 70% e uma gota de glicerina. Para identificação, os copépodes foram colocados em lâminas temporárias adesivadas com anel transparente colados no centro de cada lâmina, para não danificar os organismos, uma gota de glicerina coberta com lamínula, para identificação e observação de presença de má formação nos animais.

Para a identificação foram utilizadas as chaves dicotômicas Wells (2007), Boxschal & Hasley (2004) e Huys et al. (1996) e publicações específicas.

A triagem e identificação dos grandes grupos da meiofauna foi feita utilizando um Microscópio Leica EZ4 - EZ4 W, e na identificação dos copépodes foi usado um Microscópio Leica binocular aumento de 1000x. Para identificação dos grandes grupos foi utilizado uma prancha de identificação retirada do livro “Meiobenthology” do autor Olav Giere.

### 3.2.5.6 Família dos Copepodas Harpacticoida.

Das famílias de Copepode Harpacticoida, 14 foram registradas em ambas as praias.

Tabela 1: Lista das famílias de Copepode Harpacticoida presente nas praias de Serrambi e Cupe.  
Ordem: **Harpacticoida Sars, 1903**

---

<i>Ameiridae</i> Boeck, 1865
<i>Canthocamptidae</i> Brady, 1880
<i>Cletodidae</i> Scott T.; 1904
<i>Ectinossomatidae</i> Sars. G. O.; 1903
<i>Harpacticidae</i> Dana, 1846
<i>Laophontidae</i> Scott T.; 1904
<i>Longipediidae</i> Boeck, 1865
<i>Miraciidae</i> Dana, 1846
<i>Paramesochridae</i> Lang, 1944
<i>Peltidiidae</i> Claus, 1860
<i>Tegastidae</i> Sars. G. O.; 1904
<i>Tetragonicipitidae</i> Lang, 1944
<i>Thalestridae</i> Sars. G. O.; 1905
<i>Tisbidae</i> Stebbing, 1910

### 3.2.6 Análise de Dados

Os dados de densidade foram expressos em indivíduos por 10cm<sup>2</sup>. Foi elaborado um gráfico para verificar as diferenças entre as densidades dos indivíduos da meiofauna em relação ao tempo e área.

A estrutura da comunidade de meiofauna foi investigada mediante a utilização da análise PERMANOVA com dois fatores: ano e área. Para visualizar as diferenças nas comunidades entre os áreas e anos de coleta, utilizou-se a ordenação por escalonamento multidimensional (MDS) e uma matriz de similaridade de Bray-Curtis. Quando necessário os dados foram transformados para raiz quadrada.

Para comparar as densidades, foi utilizado o teste univariado ANOVA 2-fatores comparando as médias das densidades dos grandes grupos da meiofauna quanto ao efeito dos fatores ano e área.

Para identificar variações na estrutura da comunidade de Copepoda foi utilizada a análise PERMANOVA com dois fatores: ano e área; e a ordenação por escalonamento multidimensional (MDS) para visualizar o efeito de cada fator.

Um gráfico de pizza foi elaborado usando Excel para representar as famílias de Copepoda mais abundante no fator área.

A rotina DIVERSE foi utilizada para calcular os descritores univariados para os táxons de Copepoda, sendo eles riqueza, equitatividade e diversidade de Shannon-Wiener ( $\log_2$ ).

Para identificar diferenças na estrutura da comunidade de meiofauna no experimento com óleo utilizando os dados de densidade não transformados, aplicamos uma análise PERMANOVA com um fator apenas (com óleo e sem óleo), a ordenação por escalonamento multidimensional (MDS), teste de probabilidade de Monte Carlo para visualizar a diferença. O *Teste T* foi utilizado para avaliar a significância da diferença nas

densidades entre as amostras. Um gráfico de pizza foi elaborado usando Excel para representar as famílias de Copepoda mais abundante nos tapetes com óleo e sem óleo.

As análises multivariadas seguiram-se as recomendações de CLARK & WARWICK (1994) e foram executadas utilizando o software Primer 6.0 + PERMANOVA (Plymouth Routines In Multivariate Ecological Researches®). Foi abordado o nível de significância de 5% para todas as análises.

#### 4. RESULTADOS:

##### 4.1: Meiofauna:

A quantidade total da meiofauna amostrada foi de 83 mil indivíduos. Em ambos os recifes Copepoda foi o táxon mais abundante nos dois tempos (2021-2022), sendo a praia de Serrambi a maior responsável por esse grande número de indivíduos amostrados, em especial na primeira coleta. Vale lembrar que tal praia não recebeu aporte de óleo em 2019 quando uma grande quantidade apareceu no litoral de Pernambuco. Foram encontrados 29 táxons sendo os principais Copepoda e seus Náuplios, Nematoda, Ostracoda e Polychaeta.

Com base na figura 4 A e B, é perceptível que os Copepoda foram o grupo mais abundante nos períodos "TEMPO 1" e "TEMPO 2" para ambos os recifes com diferenças maiores de densidade entre área Impacto (Cupe), com menor densidade, e área Sem Impacto (Serrambi) em 2021. Em 2022 a diferença na densidade de Copepoda entre áreas diminuiu, mas isso se deve a uma redução da densidade na área Sem Impacto e não a uma recuperação mais expressiva da área Impacto. O táxon Polychaeta segue o mesmo padrão de Copepoda. Já o táxon Nematoda possui diferenças sutis entre áreas em 2021 e em 2022 a densidade na área Impacto é maior do que na área Sem Impacto.

Figura 4 A: abundância dos táxons na área IMPACTO (Praia do Cupe) e SEM IMPACTO (Praia de Serrambi) em 2021.

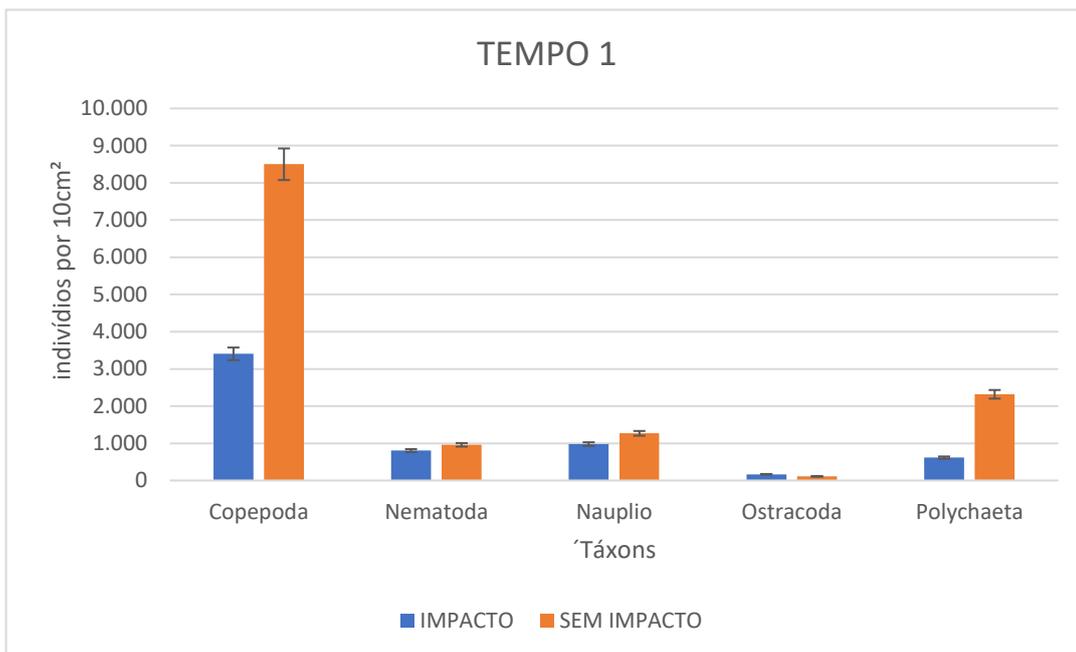
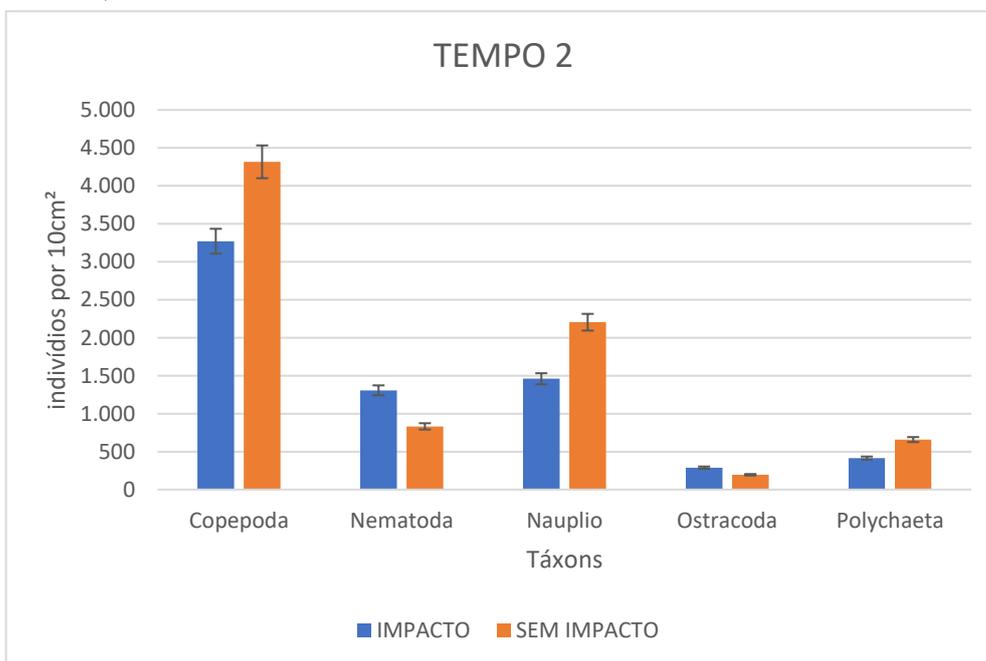


Figura 4 B: abundância dos táxons na área IMPACTO (Praia do Cupe) e SEM IMPACTO (Praia de Serrambi) em 2022.



A PERMANOVA indicou diferenças na estrutura da comunidade de meiofauna para ambos os fatores.

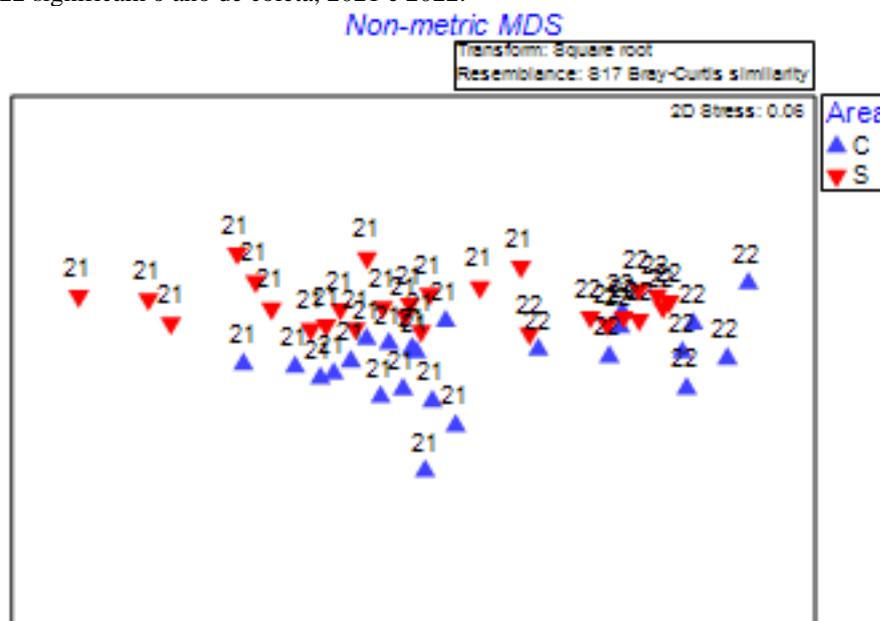
Tabela 2: PERMANOVA utilizando dois fatores, Ar: área, Te: tempo, com dados em raiz quadrada. df= Graus de liberdade; SS= Soma dos quadrados; MS= Quadrado médio; F= estatística do teste; p= probabilidade.

### PERMANOVA TABELA DE RESULTADOS:

SOURCE	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	UNIQUE	
						perms	P(MC)
AR	1	1076	1076	34.669	0.0374	9944	<b>0.0355</b>
TE	1	21650	21650	69.759	0.0001	9940	<b>0.0001</b>
ARXTE	1	785.8	785.8	25.321	0.0728	9928	0.0812
RES	47	14587	310.35				
TOTAL	50	38622					

A análise de MDS (Figura 5) representou bem a separação de ambas as praias em relação ao tratamento “IMPACTO” e “SEM IMPACTO”. As diferenças mais importantes foram para fator “TEMPO” ( $p < 0,001$ ) e menos importantes para “ÁREA” ( $p = 0,035$ ) sem interação ( $p = 0,081$ ). O MDS em abaixo mostra as diferenças em cada fator.

Figura 5: Ordenação de MDS para as áreas IMPACTO e SEM IMPACTO representadas pelas cores azul (IMPACTO) para a praia de Cupe (C) e vermelha (SEM IMPACTO) para a praia do Serrambi (S). Os números 21 e 22 significam o ano de coleta, 2021 e 2022.



A comparação da densidade da meiofauna total no substrato, feita a partir da ANOVA permutacional com dois fatores (tabela 2), indicou diferenças apenas para o fator ano.

Tabela 3: ANOVA utilizando dois fatores: ANO e ÁREA.  $P < 0.001$ . df= Graus de liberdade; SS= Soma dos quadrados; MS= Quadrado médio; F= estatística do teste; p= probabilidade. Ar: área, Te: tempo.

<b>PERMANOVA tabela de resultados:</b>							
						UNIQUE	
Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms	P(MC)
<b>Ar</b>	1	7.6E+07	7.6E+07	2.04	0.1677	9826	0.1611
<b>Te</b>	1	5.2E+08	5.2E+08	13.9	0.0002	9867	<b>0.001</b>
<b>ArxTe</b>	1	6.5E+07	6.5E+07	1.75	0.1956	9846	0.197
<b>Res</b>	47	1.7E+09	3.7E+07				
<b>Total</b>	50	2.5E+09					

#### 4.1.2 Copepoda

Foram analisadas nas identificações dos Copepodas em relação a taxonomia, as observações de malformações e estas não indicam diferenças significativas entre áreas. Portanto, essas más formações não podem ser consideradas oriundas do óleo.

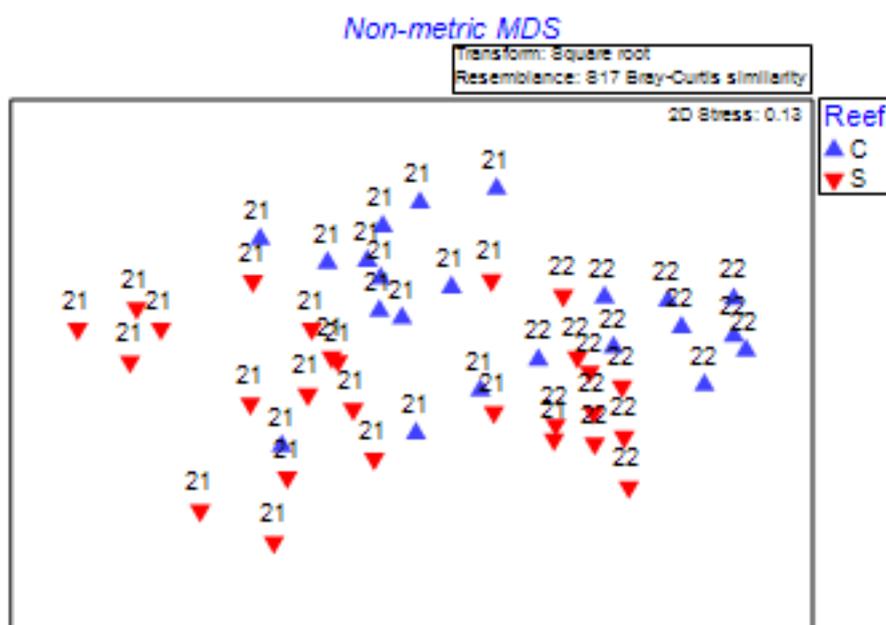
As análises simplificadas para os copépodes entre os fatores “ANO” e “ÁREA”, o resultado foi muito parecido com o de meiofauna, com maior sensibilidade, no entanto para o fator Área ( $p(\text{MC})=0,0027$ ). Foram empregados dados de densidade transformados em raiz quadrada. A PERMANOVA com dois fatores apenas (ano com níveis 2021 e 2022, e área com níveis Cupe e Serrambi) indicou diferenças para ambos os fatores.

Tabela 4: Resultados da análise multifatorial PERMANOVA para morfologia dos copepodes para os fatores área (Ar), ano (An) (df= Graus de liberdade; SS= Soma dos quadrados; MS= Quadrado médio; F= estatística do teste; p= probabilidade). Valores significativos ( $p < 0.05$ ) em negrito

<b>PERMANOVA TABLE OF RESULTS:</b>							
						UNIQUE	
SOURCE	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms	P(MC)
<b>AR</b>	1	3748.5	3748.5	54.282	0.0031	9947	<b>0.0027</b>
<b>AN</b>	1	22189	22189	32.13	0.0001	9947	<b>0.0001</b>
<b>ARXAN</b>	1	1349.2	1349.2	19.537	0.0997	9940	0.1041
<b>RES</b>	45	31076	690.57				
<b>TOTAL</b>	48	59758					

As diferenças mais importantes foram para o fator “ANO” ( $p < 0,001$ ) e menos importantes para o fator “ÁREA” ( $p = 0,003$ ) sem interação ( $p = 0,104$ ). O MDS na figura 6 mostra as diferenças em cada fator.

Figura 6: Ordenação de MDS demonstrando a separação das áreas para os copepodes harpacticoida. Azul representa área impacto = Cupe (C), e vermelho a área não impacto = Serrambi (S).



Com o objetivo de apresentar as famílias de Copepoda Harpacticoida mais abundantes na área impacto e não impacto para os dois anos, realizou-se a elaboração de gráficos (figura 5 A, B, C e D). A família Thalestridae foi a que mais se destacou para os dois anos, seguida de Miraciidae também para os dois anos na área IMPACTO. Já na área NÃO IMPACTO, Miraciidae foi mais abundante em ambos os anos, 2021 e 2022.

Figura 7 A: Gráfico pizza indicando as principais famílias em termos de abundância na área IMPACTO em 2021.

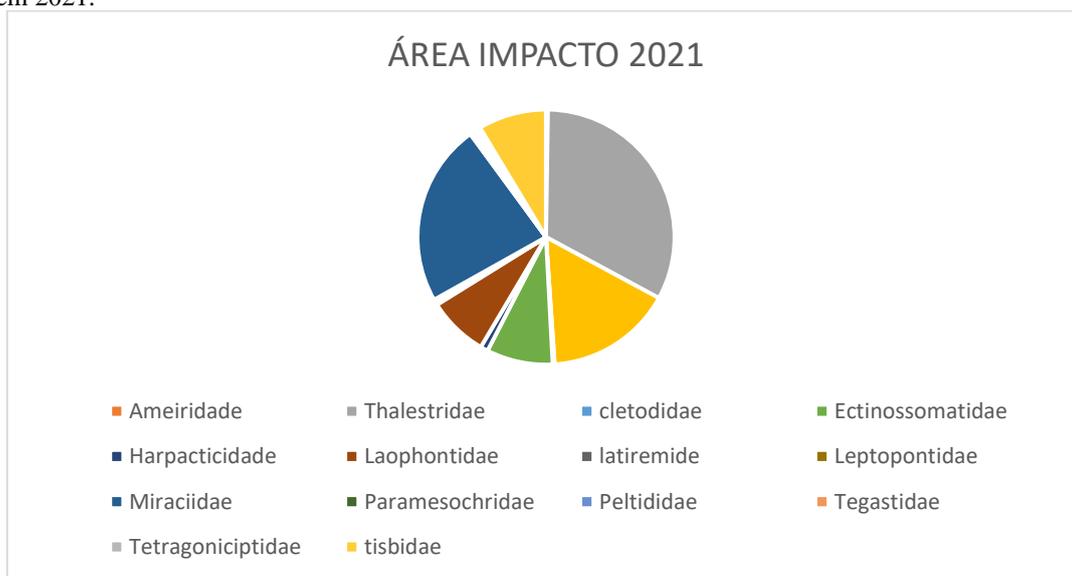


Figura 7 B: Gráfico pizza indicando as principais famílias em termos de abundância na área IMPACTO em 2022.

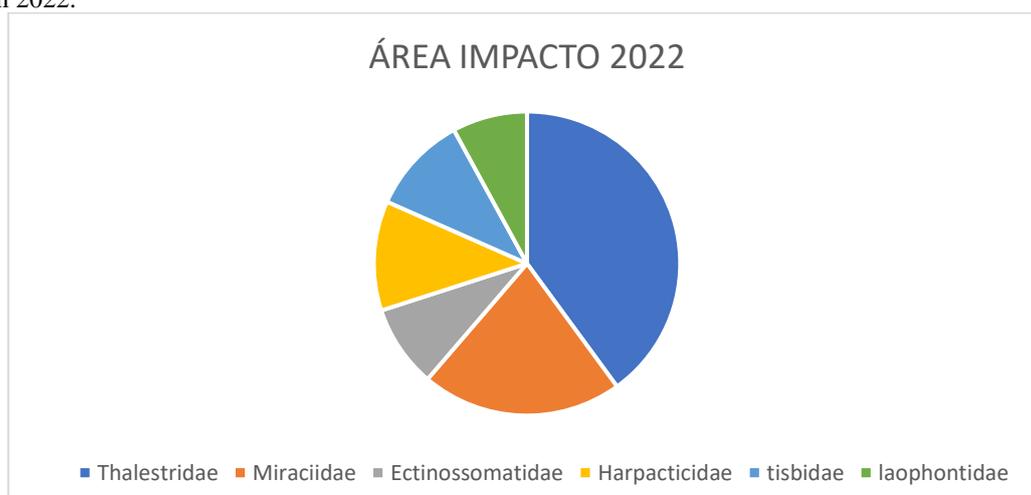


Figura 7 D: Gráfico pizza indicando as principais famílias em termos de abundância na área NÃO IMPACTO em 2021

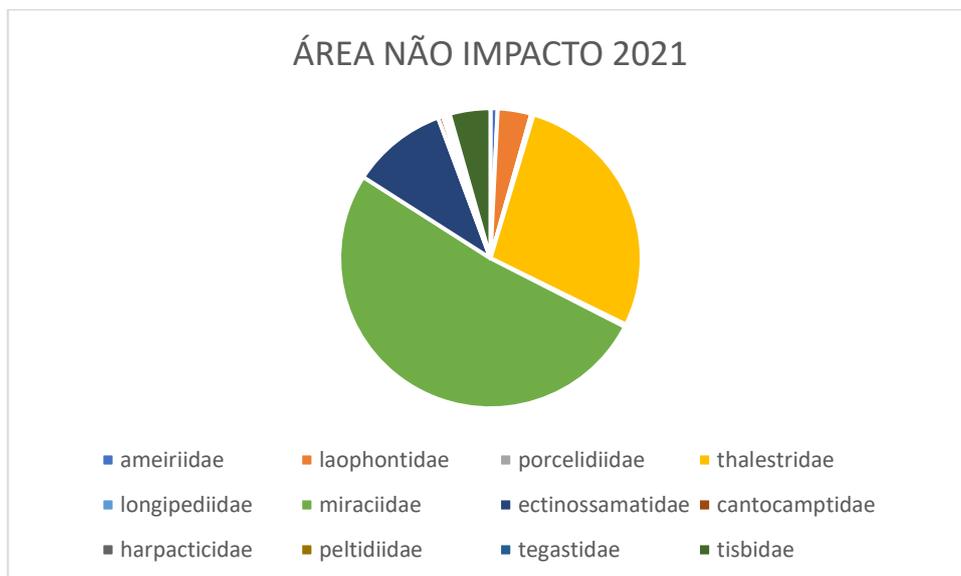
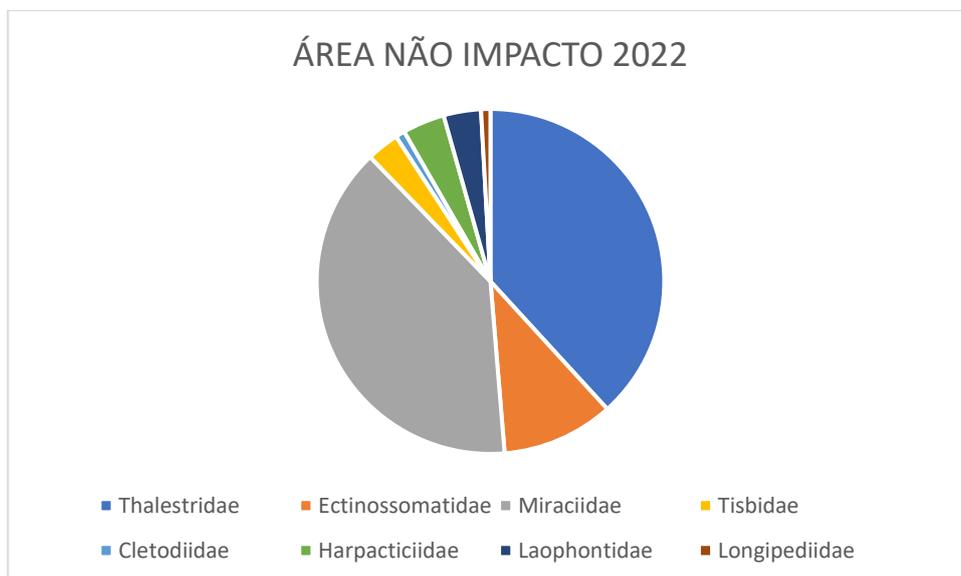


Figura 7 D: Gráfico pizza indicando as principais famílias em termos de abundância na área NÃO IMPACTO em 2022



Usando toda a informação 2021 e 2022 a riqueza (S) foi igual entre Cupe e Serrambi (14 táxons de Copepoda). Assim, as pequenas diferenças de diversidade ( $H'$ ) são resultado da distribuição dos indivíduos nos táxons (dominância ou seu inverso a equitabilidade  $J'$ ).

Tabela 5: Resultados da PERMANOVA para riqueza (S), equitatividade (J') e diversidade de Shannon-Wiener (H') para comunidade copepoda.

SAMPLE	S	J'	H'(LOG2)
<b>CUPE</b>	14	0.6295	2.397
<b>SERRAMBI</b>	14	0.548	2.087

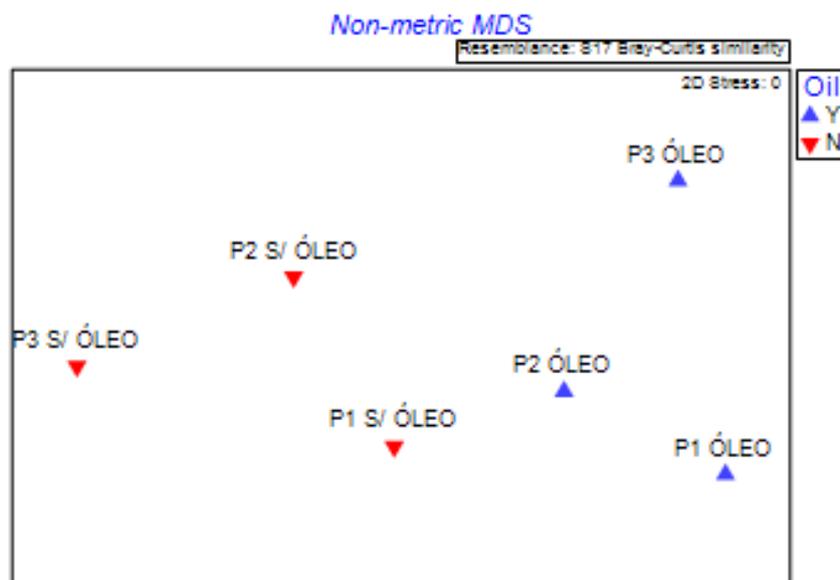
#### 4.1.3 Experimento com óleo:

A PERMANOVA com um fator (com e sem óleo) mostrou diferenças visíveis no MDS (Figura 8) mas que devido ao baixo número de permutações únicas (10) só pode ser visto na probabilidade do teste de Monte Carlo ( $p=0,038$ ).

Tabela 6: PERMANOVA para análise da densidade da meiofauna do experimento do óleo e sem óleo. Em negrito teste de Monte Carlo. (df= Graus de liberdade; SS= Soma dos quadrados; MS= Quadrado médio; F= estatística do teste; p= probabilidade).

<b>PERMANOVA tabela de resultados:</b>							
						UNIQUE	
Source	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	perms	P(MC)
<b>Oil</b>	1	2000.6	2000.6	44.101	0.1026	10	<b>0.0383</b>
<b>Res</b>	4	1814.6	453.65				
<b>Total</b>	5	3815.2					

Figura 8: MDS indicando os fatores COM ÓLEO e SEM ÓLEO das amostras. Em azul as amostras com ÓLEO e em vermelho as amostras SEM ÓLEO.



Para corroborar os resultados, também utilizamos um teste T que indica diferença significativa de densidade, com valor 50% maior na amostra sem óleo (tabela 6).

Tabela 7: Resultados do teste Tukey indicando a diferença significativa das amostras com óleo e sem óleo.

	<b>TESTE T</b>		<b>P = 0,042</b>
	com óleo	sem óleo	
<b>TAMANHO =</b>	3	3	
<b>MÉDIA =</b>	981.3	1491.7	

Essa abordagem também é aplicável às análises de Copepoda para este experimento. Através da análise PERMANOVA (Tabela 7) com um fator de comparação (com e sem óleo), foram observadas diferenças evidentes no gráfico MDS (Figura 9). No entanto, devido ao número limitado de permutações únicas (10), essas diferenças só puderam ser visualizadas através da probabilidade do teste de Monte Carlo. (p=0,040).

Tabela 8: PERMANOVA das análises para Copepoda em UAS com óleo e sem óleo. Em negrito, teste de Monte Carlo.

PERMANOVA TABELA DE RESULTADOS:							
SOURCE	df	SS	MS	Pseudo-F	P(perm)	UNIQUE	
						perms	P(MC)
<b>OI</b>	1	2000.6	2000.6	44.101	0.0917	10	<b>0.0404</b>
<b>RES</b>	4	1814.6	453.65				
<b>TOTAL</b>	5	3815.2					

Figura 9: MDS para Copepoda indicando os fatores COM ÓLEO e SEM ÓLEO das amostras. Em azul as amostras com SEM ÓLEO e em vermelho as amostras ÓLEO

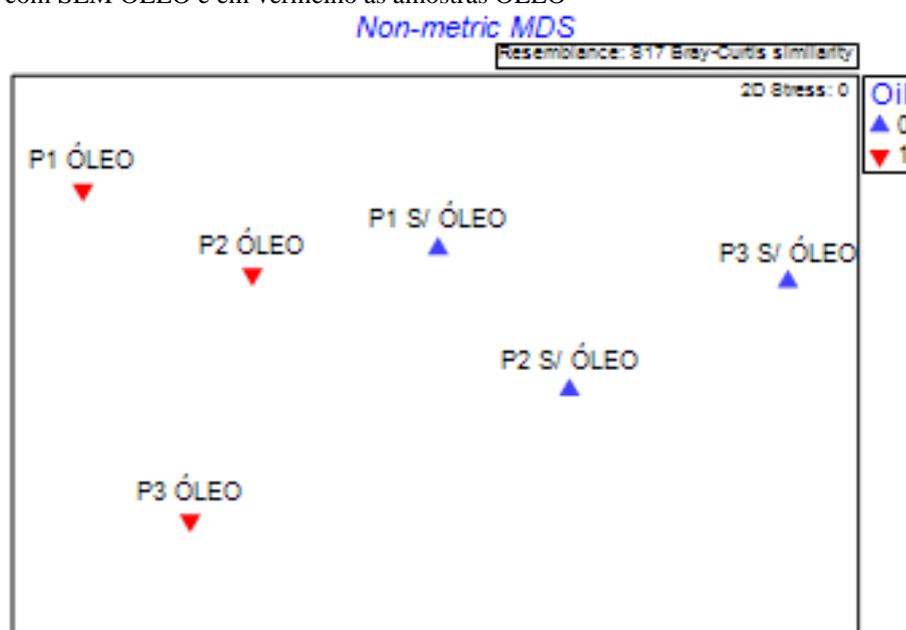


Figura 10: Gráfico pizza indicando as principais famílias em termos de abundância no tapete com óleo do experimento.

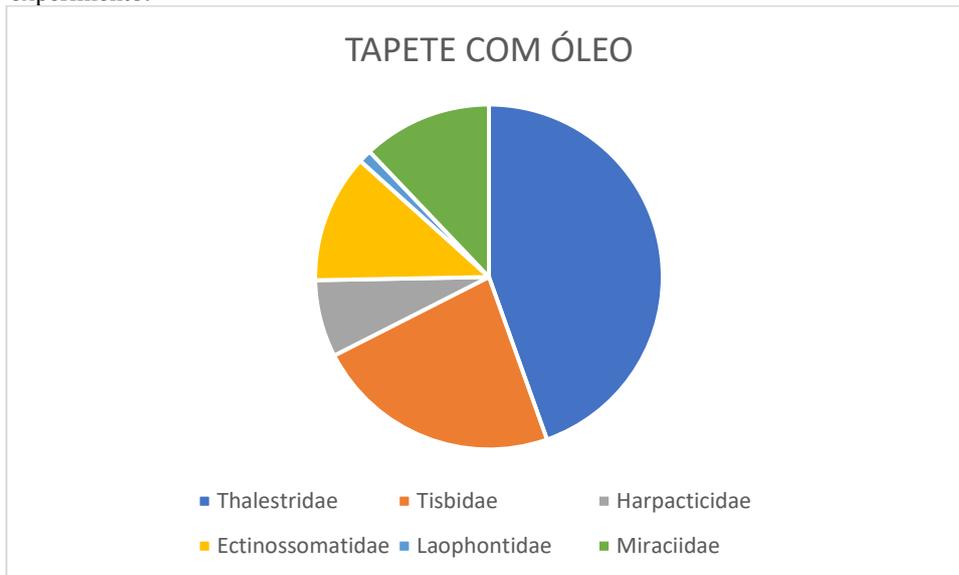
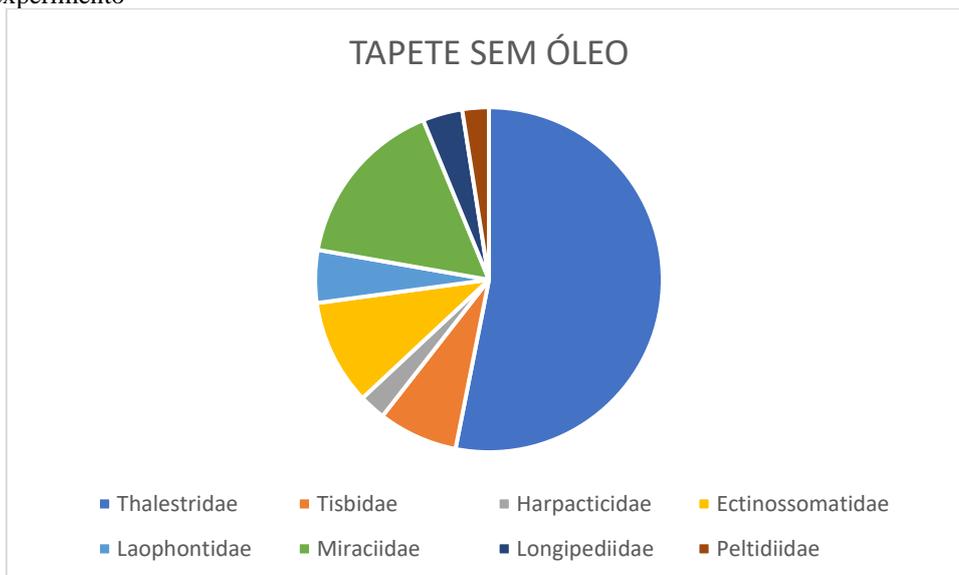


Figura 10: Gráfico pizza indicando as principais famílias em termos de abundância no tapete sem óleo do experimento



## 5. DISCUSSÃO:

### 5.1. Meiofauna:

Apesar de certos estudos apontarem que os Nematoda são mais resistentes ao óleo (HEIP et al., 1985), observa-se que, neste caso específico, mesmo na praia afetada pelo derramamento de óleo (identificada como IMPACTO), os Copepoda apresentaram uma abundância mais significativa com 19.493 indivíduos, enquanto os Nematoda registraram uma abundância de 3.902. Certamente por se tratar de ambiente fital onde os Copepoda predominam.

Muitos estudos mostram que normalmente em casos de acidentes de óleo a maior abundância pós impacto é do táxon Nematoda (DANOVARO et al., 1996), devido ao aumento de bactérias no sedimento que servem de alimentação para o táxon (HEIP et al., 1985), e pela grande diminuição de Copepoda que são altamente sensíveis a substâncias presentes no óleo. Porém, no presente estudo, podemos observar que após o acidente com óleo ocorrido em 2019), a abundância de Copepoda se manteve maior que a de Nematoda, embora nos estudos de WORMALD (1976), de GIÉRE (1979) e de BOUCHER (1980) tenha sido relatado que não houve diminuição na abundância dos Copepoda após um derramamento de óleo, visto que a população aumentou 60 dias após o derramamento.

O que pode explicar essa maior abundância de Copepoda pode ser o fato de que praias de fácil acesso que receberam óleo, e que obtiveram uma rápida limpeza (como foi o caso das praias de Pernambuco), facilitam a recuperação maior da fauna do que em locais abrigados (VEIGA et al., 2010), assim como, observou-se que em outras praias que também sofreram grandes derramamentos de óleo ao redor do mundo, sendo igualmente praias arenosas, conseguiram se recuperar de forma mais rápida quando receberam ações de limpeza pós-derramamento (BEJARANO & MICHEL, 2016). Mas isso também depende de vários fatores da praia, como suas condições, a dinâmica específica de cada

local em relação ao acidente, e principalmente quais as técnicas usadas durante a limpeza (JEWETTET al., 1999; EDGAR e BARRETT, 2000). Deve-se observar que a primeira coleta deste estudo ocorreu mais de um ano pós-impacto devido à pandemia da COVID. Podemos ainda citar que em ambiente de fital a dominância de Copepoda é frequentemente maior (HICKS 1977; COULL et al. 1983; HALL and BELL 1993). Outros estudos também sugerem que os Copepoda, devido à sua habilidade de nadar, são colonizadores precoces de substratos artificiais (SUN e FLEEGER, 1994), dado que as UAS simulam fielmente o ambiente de fital, é compreensível a dominância desse táxon no contexto deste estudo.

Uma sugestão adicional é que durante as estações chuvosas, as plumas carregadas pelos rios transportam materiais contaminados e particulados que acabam impactando e poluindo os ecossistemas costeiros (NYCOLLE 2022), considerando esses aspectos, podemos compreender os motivos pelos quais nas coletas denominadas como "TEMPO 2" há uma quantidade menor de Copepoda, enquanto, ao analisar o "TEMPO 1", observa-se uma grande abundância deles, ainda que a rigor as duas coletas tenham ocorrido em período chuvoso.

As informações sobre a abundância dos táxons Copepoda e Nematoda variam muito na literatura, e muitas vezes são contraditórias (BOUCHER, 1980). Por exemplo, após o acidente com óleo diesel em Hong Kong, em que houve uma grande diminuição de Nematoda, observou-se uma recuperação já 1 mês após (WORMALD, 1976), e GIERE (1979) observou que 6 semanas após a explosão em La Coruna, na costa Norte da Espanha em 1976, se identificou uma baixa densidade de Nematoda. Heip et al. (1985) citam em seu estudo que a abundância dos Nematoda se manteve ou aumentou devido à diminuição de outros táxons. Bouwman et al. (1984), vanDamme et al. (1984), Gee et al. (1985) e Warwick et al. (1988), relatam que os Copepoda são mais sensíveis que os Nematoda à poluição, além de ter uma recuperação mais lenta que os Nematoda (Wormald, 1976).

Ainda assim, na maioria dos estudos sobre acidentes com óleo, os Nematoda são descritos como mais resistentes a acidentes com este contaminante.

De acordo com Wormald (1976), Giere (1979) e Bodin (1988), conforme os valores de HPA vão diminuindo no ambiente, a comunidade bentônica consegue recuperar sua densidade e diversidade. Este mesmo padrão foi observado em nosso estudo uma vez que a densidade da meiofauna não apresentou uma diferença muito importante entre o recife impactado (Praia do Cupe) e o recife não impactado (praia de Serrambi) em 2022. Isso pode ser atribuído à redução dos efeitos do derramamento de óleo, uma vez que a coleta foi realizada mais de dois anos após o incidente. Diante disso citamos como exemplo o trabalho de Campelo et al. (2021) que realizou coleta de material imediatamente após a chegada do óleo nas áreas afetadas, e seus resultados foram similares com estudos prévios realizados na região.

Porém, as análises demonstram que houve diferenças significativas para os fatores ano e área, sendo o fator ano que contribuiu mais para essa diferença. O efeito parece ainda ser sentido mesmo após dois anos ainda que a recuperação seja também evidente.

## 5.2: Copepoda:

Sabe-se que os Copepoda encontram seus parceiros sexuais utilizando-se de vestígios químicos deixados pelas fêmeas, sendo o oceano um ambiente tridimensional, para animais de tão pequeno tamanho essa seja uma tarefa difícil. Com manchas de óleo pelas águas, esse acesso às fêmeas fica ainda mais complexo pois dificulta o trabalho do macho que encontrar a fêmea, tendo uma redução de reprodução e taxas de acasalamento (SEURONT, 2011). Embora se saiba que distúrbios antropogênicos podem causar malformações nos Copepoda (SARMENTO et al. 2017), as análises dos animais durante as identificações dos

Copepoda em relação a sua morfologia, quanto às observações de más formações que foram vistas, não indicam diferenças entre áreas. Portanto, essas más formações dificilmente podem ser consideradas oriundas do óleo.

Em ambos os anos, 2021 e 2022, a família Thalestridae foi a que mais se destacou, seguida da família Miraciidae, também é igualmente evidente a presença de uma menor diversidade de famílias de Harpacticoida no ano 2022 e de acordo com Hicks (1980), foi constatado que os Thalestridae podem representar até 72% da fauna de Harpacticoida encontrada em amostras de algas. Isso pode ser atribuído à capacidade dos Thalestridae de se fixarem facilmente em amostras de fital devido às suas garras presentes na P1 (primeira pata) e ao seu maxilípede quelado, que também contém uma garra. De acordo com Stark (2017), a família Thalestridae apresentou variação populacional com aumento ao longo de dois anos, seguido de declínio após cinco anos em um estudo utilizando lubrificante limpo. Neste estudo, sugerimos que os Thalestridae possam estar seguindo um padrão de reprodução específico ou podem estar passando por uma fase de diminuição em relação a outras famílias. Já na comparação entre áreas observa-se que Thalestridae dominou na área Impacto (Cupe) nos dois anos enquanto na área Sem Impacto (Serrambi) a família Miraciidae dominou em 2021 e co-dominou em 2022, corroborando com o estudos anteriores, como por exemplo o trabalho conduzido por Barroso (2018), que focou em Copepode Harpacticoida encontrado em recifes de coral de diversas praias em Pernambuco, incluindo a Praia de Serrambi, e foi constatado que certas espécies pertencentes à família Miraciidae foram identificadas exclusivamente nessa praia em particular, tendo a autora classificado essa praia como "área controle" em seu estudo.

Estudos como o realizado por Fleeger e Chandler (1983) e Jewett et al. (1999) demonstraram um aumento na abundância de Copepoda após um derramamento de óleo. Além disso, Ansari (2002) observou que os efeitos do óleo após um derramamento foram

de curta duração, com a comunidade apresentando características normais após a estação das fortes chuvas e grandes secas. No entanto, de acordo com Bodin (1991), foi observado um atraso de aproximadamente um mês na ocorrência de fêmeas ovígeras em um estudo sobre o acidente Amoco Cadiz. Portanto, pode-se afirmar que a sensibilidade da comunidade de Copepoda também depende da natureza do derramamento, da biodisponibilidade e da toxicidade envolvida (ANSARI, 2022).

### 5.3: Experimento com óleo.

Este experimento foi conduzido com o intuito de realizar uma avaliação *in situ* preliminar da meiofauna e sua relação com o óleo, uma vez que as coletas neste estudo específico só puderam ser realizadas dois anos após o acidente.

Ao analisarmos a Tabela 7, podemos observar que as diferenças significativas entre as amostras foram pronunciadas mesmo com tamanho amostral reduzido, isso reforça os resultados do nosso estudo com as coletas feitas, os quais demonstraram que a praia que não foi afetada pelo derramamento de óleo apresentou uma densidade maior em comparação à praia do Cupe, que sofreu com o aporte de uma grande quantidade de óleo.

Assim como as análises para Copepoda que no presente experimento que demonstram uma enorme separação de réplicas na figura 9 numa análise de MDS. A separação evidencia uma marcante discrepância entre as réplicas, e isso nos revela que, além da meiofauna, os Copepoda também estão mais presentes nas amostras isentas de óleo, assim como a família Thalestridae segue sendo a mais abundante nos tapetes com óleo e sem óleo, embora haja ocorrência de maior número de famílias nos tapetes sem óleo.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.

No capítulo 1, contribuímos com uma avaliação geral e abrangente das pesquisas envolvendo acidentes de derramamento de óleo e meiofauna. Enfatizamos uma tendência crescente de publicações principalmente nos anos do derrame ou após o evento. Assim como o número elevado de autores que publicaram ou foram citados em trabalhos com esse tema, refletem a relevância acadêmica e interesse crescente por parte da comunidade científica, ao longo dos anos. Ressaltamos uma carência de estudos em áreas de fital que podem gerar uma tendência de resultados para um táxon como resistente. Assim como uma carência em trabalhos que tenham foco nos Copepoda de fital a longo e curto prazo em casos de derramamento.

No capítulo 2, evidenciamos uma alta abundância de meiofauna onde as análises revelam que ocorreram diferenças significativas em relação aos fatores ano e área, com o fator ano desempenhando um papel mais proeminente nessa disparidade. Mesmo após um período de dois anos, ainda é possível observar a persistência desse efeito, embora também seja evidente um processo de recuperação dos organismos. No caso dos Copepoda, as análises taxonômicas não revelaram evidências de má formação que possam ter sido causadas pelo derramamento de óleo, o que fortalece a indicação de uma recuperação dos organismos afetados.

O experimento *in situ* conduzido na praia de Serrambi complementou os resultados obtidos por meio das coletas realizadas, embora com uma amostragem de tamanho menor. De forma consistente, verificou-se que a praia não afetada pelo derramamento de óleo apresentou uma densidade maior de Copepoda em comparação à praia do Cupe (ainda que a variação na densidade da meiofauna total tenha sido não significativa devido à elevada variação entre réplicas). Da mesma forma, os tapetes que foram expostos à mancha de óleo exibiram uma densidade de organismos menor.

## 7. REFERÊNCIAS:

**ALVES, M.K.M.** Biomonitoramento da poluição em recifes de coral utilizando o peixe donzelinha *Stegastes fuscus* como organismo sentinela. **Dissertação (Mestrado em Biologia Animal)** - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, p. 88, 2020

**ANSARI, Z. A.; INGOLE, Baban.** Effect of an oil spill from MV Sea Transporter on intertidal meiofauna at Goa, India. **Marine Pollution Bulletin**, v. 44, n. 5, p. 396-402, 2002.

**ANDRADE, Nycolle Virgínia Maux de.** Ecotoxicidade de áreas recifais impactadas por petróleo em Pernambuco (NE Brasil) utilizando o *Tisbe biminiensis* (Copepoda: harpacticoida). **Trabalho de Conclusão de Curso**. 2022

**ARAÚJO, LSA; NICOLAIEWSKY, E. A.; FREIRE, DDC.** Gerenciamento de Resíduos Sólidos em Refinarias de Petróleo”. In: **Anais do IX Congresso Brasileiro de Energia**. p. 39-45.

**ARAÚJO, C.M.V.** Padronização e aplicação do copépodo marinho bentônico *Tisbe biminiensis* como organismos-teste em avaliações toxicológicas de sedimentos estuarinos. **Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, p. 104. 2008

**AUSTEN, Melanie C.; MCEVOY, Andrea J.** The use of offshore meiobenthic communities in laboratory microcosm experiments: response to heavy metal contamination. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 211, n. 2, p. 247-261, 1997.

**BAGULEY, J, G. et al.** Community response of deep-sea soft-sediment metazoan meiofauna to the Deepwater Horizon blowout and oil spill. **Marine Ecology Progress Series**, v. 528, p. 127-140, 2015.

**BARROSO**, Marina Siqueira et al. Anthropogenic impacts on coral reef harpacticoid copepods. **Diversity**, v. 10, n. 2, p. 32, 2018.

**BISHOP** M, J. Artificial sampling units: a tool for increasing the sensitivity of tests for impact in soft sediments. **Environmental Monitoring and Assessment**, 107: 203–220. 2005

**BODIN**, P.H. Results of ecological monitoring of three beaches polluted by the Amoco Cadiz oil spill: Development of meiofauna from 1978 to 1984. **Marine ecology progress series. Oldendorf**, v. 42, n. 2, p. 105-123, 1988.

**BOESCH**, D. F.; **ROSENBERG**, R. Response to stress in marine benthic communities. **Stress effects on natural ecosystems/edited by GW Barrett and R. Rosenberg**, 1981.

**BOUCHER**, G. Impact of Amoco Cadiz oil spill on intertidal and sublittoral meiofauna. **Marine Pollution Bulletin**, v. 11, n. 4, p. 95-101, 1980.

**BOUWMAN**, L, A.; **ROMEIJN**, K.; **ADMIRAAL**, W. On the ecology of meiofauna in an organically polluted estuarine mudflat. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 19, n. 6, p. 633-653, 1984.

**CAMPOS**, B.G.; **MOREIRA**, L.B.; **PAULY**, G.F.E.; **CRUZ**, A.C.F.; **MONTE**, C.N.; **SILVA**, L.I.D.; **RODRIGUES**, A.P.C.; **MACHADO**, W.; **ABESSA**, D.M.S. Integrating multiple lines of evidence of sediment quality in a tropical bay (Guanabara Bay, Brazil). **Marine Pollution Bulletin**, v. 146, p. 925-934, 2019.

**CAMARGO**, J. B.D.A.; **CRUZ**, A.C.F.; **CAMPOS**, B.G.; **ARAÚJO**, G.S.; **FONSECA**, T.G.; **ABESSA**, Denis, M.S. Use, development and improvements in the protocol of whole-sediment toxicity identification evaluation using benthic copepods. **Marine Pollution Bulletin**, v. 91, n. 2, p. 511-517, 2015

**CAMPELO, R.P.S.; LIMA, C.D.M.; SANTANA, C.S.; SILVA, A.J.; NEUMANN-LEITÃO, S. FERREIRA, B.P.; SOARES, M.O.; MELO JÚNIOR, M.; MELO, P.A.M.C.**

Oil spills: the invisible impact on the base of tropical marine food webs. *Marine Pollution Bulletin*, v. 167, p. 112281, 2021

**CHASSE, C.** Ecological impact on and near shores by the Amoco Cadiz oil spill. *Mar. Pollut. Bull. ; United Kingdom*, v. 9, n. 11, 1978.

**COSTA, A.B.H.P.; VALENÇA, A.P.M.C.; SANTOS, P.J.P.** Is meiofauna community structure in Artificial Substrate Units a good tool to assess anthropogenic impact in estuaries? *Marine Pollution Bulletin*, 110:354-361. 2016.

**COMMITO, J, A.; TITA, G.** Differential dispersal rates in an intertidal meiofauna assemblage. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 268, n. 2, p. 237-256, 2002.

**COULL, B. C. & CHANDLER, G. T.,** Pollution and meiofauna: field, laboratory, and mesocosm studies. *Oceanography and Marine Biology: an Annual Review*, 30, 191- 271. 1992

**CRAVEIRO, N.; et al.** Immediate effects of the 2019 oil spill on the macrobenthic fauna associated with macroalgae on the tropical coast of Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, v. 165, p. 112107, 2021.

**DANOVARO R.** Analysis of the dynamics and trophic structure of meiobenthic communities in relation to the organic matter content and composition (Mar Ligure) (in Italian). Ph.D. **dissertation, University of Pisa**, 246 pp. 1993.

**DANOVARO R.; et al.** Meiofauna Response to the Agip Abruzzo Oil Spill in Subtidal Sediments of the Ligurian Sea. *Marine Pollution Bulletin* 30: 133-145. 1995

**DANOVARO, R.; CROCE, N, D.; FABIANO, M.** Microbial response to oil disturbance in the coastal sediments of the Ligurian Sea (NW Mediterranean). **Chemistry and Ecology**, v. 12, n. 3, p. 187-198, 1996.

**DANOVARO, R.;** Benthic microbial loop and meiofaunal response to oil-induced disturbance in coastal sediments: a review. **International Journal of Environment and Pollution**, v. 13, n. 1-6, p. 380-391, 2000.

**DAUVIN, J.-C.** The muddy fine sand abra alba–*Melinna palmata* community of the Bay of Morlaix twenty years after the Amoco Cadiz oil spill. **Marine Pollution Bulletin**, v. 40, n. 6, p. 528-536, 2000.

**DE MARTINI, J. L. C.; GUSMÃO, A, C, Freitas.** Gestão ambiental na indústria. **Editora Destaque. Rio de Janeiro**, 2003.

**DE TROCH M., MEES J & WAKWABI E.O.** Diets of abundant fishes from beach seine catches in seagrass beds of a tropical bay (Gazi Bay, Kenya). **Belgian Journal of Zoology**, 128:135–154. 1998.

**EUZEBIO, C, S.; DA SILVEIRA R.; G, MARQUES.; CORRÊA, R.** Derramamento de petróleo e seus impactos no meio ambiente e na saúde humana. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, n. 52, pág. 79-98, 2019.

**FIORAVANTI, C.** Os caminhos da mancha. Pesquisa **FAPESP**. Disponível em: <https://revistapesquisa.fapesp.br/os-caminhos-da-mancha/>. 2019

**FLEEGER, J. W.** et al. Recovery of salt marsh benthic microalgae and meiofauna following the Deepwater Horizon oil spill linked to recovery of *Spartina alterniflora*. **Marine Ecology Progress Series**, v. 536, p. 39-54, 2015.

**FLEEGER J.W.** et al. Recovery of saltmarsh meiofauna six years after the Deepwater Horizon oil spill. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology** 502: 182–190. 2018

**FLEEGER, J. W.;** CHANDLER, G. T. Meiofauna responses to an experimental oil spill in a Louisiana salt marsh. **Mar. Ecol. Prog. Ser.**, v. 11, p. 257-264, 1983.

**FRITHSEN, J. B.;** ELMGREN, R.; RUDNICK, D, T.; Responses of benthic meiofauna to long-term, low-level additions of no. 2 fuel oil. **Marine ecology progress series. Oldendorf**, v. 23, n. 1, p. 1-14, 1985.

**GIERE, O.** (1979). The impact of oil pollution on intertidal meiofauna. Field studies after the La Coruna-spill. May 1976. *Cah. Biol. mar.*, 20, 231-251.

**GIERE, O.** The microscopic motile fauna of aquatic sediments. **Meiobenthology**. 2009.

**GRATTAN, L, M.** et al. The early psychological impacts of the Deepwater Horizon oil spill on Florida and Alabama communities. **Environmental health perspectives**, v. 119, n. 6, p. 838-843, 2011.

**HEIP, C. H. R.;** VINCX, Magda; VRANKEN, Guido. The ecology of marine nematodes. **Oceanography and Marine Biology: an annual review**, 1985.

**HICKS G. R. F.** Breeding activity of marine phytoplankton harpacticoid copepods from Cook Strait. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, 11 (4): 645-666. 1977

**HICKS, G. R. F;** COULL, B. C. The ecology of marine meiobenthic harpacticoid copepods. **Oceanography and Marine Biology**, v. 21, p. 67-175, 1983.

**JACOBS, R. P. W. M.** Effects of the 'Amoco Cadiz' oil spill on the seagrass community at Roscoff with special reference to the benthic infauna. **Marine Ecology Progress Series**, p. 207-212, 1980.

**JAISHANKAR, M.;** et al. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. **Interdisciplinary toxicology**, v. 7, n. 2, p. 60, 2014.

**JOHANSSON**, Sif; **LARSSON**, Ulf; **BOEHM**, Paul. The Tsesis oil spill impact on the pelagic ecosystem. **Marine Pollution Bulletin**, v. 11, n. 10, p. 284-293, 1980.

**KANG T.** et al. 2016. Effect of the Hebei Spirit oil spill on intertidal meiofaunal communities in Taean, Korea. **Marine Pollution Bulletin** 113: 444–453

**KANG, T.;** et al. Effect of the Hebei Spirit oil spill on intertidal meiofaunal communities in Taean, Korea. **Marine Pollution Bulletin**, v. 113, n. 1-2, p. 444-453, 2016.

**KELAHER B, P.** Changes in habitat complexity negatively affect diverse gastropod assemblages in coralline algal turf. *Oecologia*, 135: 431–441. 2003

**KENNEDY**, Andrew D.; **JACOBY**, Charles A. Biological indicators of marine environmental health: meiofauna—a neglected benthic component? *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 54, n. 1, p. 47-68, 1999

**LESSA, G, C.;** **TEIXEIRA, C, E, P.;** **PEREIRA, J.;** **SANTOS, F, M.** The 2019 Brazilian oil spill: insights on the physics behind the drift. **Journal of Marine Systems**, v. 222, p. 103586, out. 2021.

**LOTUFO, G, R.;** **FLEEGER, J, W.** Effects of sediment-associated phenanthrene on survival, development and reproduction of two species of meiobenthic copepods. **Marine Ecology Progress Series**, v. 151, p. 91-102, 1997.

**LOURENÇO, R, A.;** 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, p. 111219, 2020.

**LUBCHENCO, J.;** et al. BP Deepwater Horizon oil budget what happened to the oil. 2010.

**LV Y.** et al. Preliminary study on responses of marine nematode community to crude oil contamination in intertidal zone of Bathing Beach, Dalian. **Marine Pollution Bulletin** 62: 2700–2706 2011

**MONTAGNA, P, A.;** et al. Deep-sea benthic footprint of the Deepwater Horizon blowout. **PloS one**, v. 8, n. 8, p. e70540, 2013.

**MITWALLY, H, M.;** FLEEGER, J, W. A test of biological trait analysis with nematodes and an anthropogenic stressor. **Environmental monitoring and assessment**, v. 188, p. 1-12, 2016

**MIRTO S & DANOVARO R.** Meiofaunal colonisation on artificial substrates: a tool for biomonitoring the environmental quality on coastal marine systems. **Marine Pollution Bulletin**, 48: 919–926. 2004

**NAIDU, A. E,** FEDER, H. M. & NORRELL, S. A. The effect of Prudhoe bay crude oil on a tidal-flat ecosystem in port Valdez, Alaska. **Offshore Technology Conference**, pp. 97-103. 1978

**NETTO, S, A.;** GALLUCI, F.;

e FONSECA G, F, C. "Meiofauna communities of continental slope and deep-sea sites off SE Brazil." **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers** 52, no. 5: 845-859. 2005

**OLIVEIRA, D.D.;** SOUZA-SANTOS, L.P.;

SILVA, H.K.P.;

MACEDO, S.J. Toxicity of sediments from a mangrove forest patch in an urban area in Pernambuco (Brazil). **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 104, p. 373-378, 2014.

**OLIVEIRA, O, M, C.;** 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, p. 111597, 2020.

**OLSGARD, F.;** GREY, J, S. Uma análise abrangente dos efeitos da exploração e produção offshore de petróleo e gás nas comunidades bentônicas da plataforma continental norueguesa. **Marine Ecology Progress Series**, v. 122, p. 277-306, 1995.

**OSOFSKY, H. J.; OSOFSKY, J. D.; HANSEL, T. C.** Deepwater horizon oil spill: mental health effects on residents in heavily affected areas. **Disaster medicine and public health preparedness**, v. 5, n. 4, p. 280-286, 2011.

**RÉGIS, C.G.; SOUZA-SANTOS, L.P., YOGUI, G.T.; MORAES, A.S.; SCHETTINI, C.A.F.** Use of *Tisbe biminiensis* nauplii in ecotoxicological tests and geochemical analyses to assess the sediment quality of a tropical urban estuary in northeastern Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 137, p 45-55, 2018.

**RULE M, J.; E SMITH S, D, A.** Depth-associated patterns in the development of benthic assemblages on artificial substrata deployed on shallow, subtropical reefs. *Journal of Experimental. Marine Biology and Ecology*, 345: 38–51. 2007.

**RYERSON, T. B. et al.** Chemical data quantify Deepwater Horizon hydrocarbon flow rate and environmental distribution. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 50, p. 20246-20253, 2012.

**SANTIAGO, A. C. M.** Efeito da exposição ao ar e do sedimento retido sobre a composição e a densidade da meiofauna em *Halimeda opuntia* (L.) J. V. Lamouroux 1812 na praia de Maracaípe-PE. **Graduação em Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco**. Recife, 37p. 2003

**SANTOS, A.C.C.; CHOUERI, R.B.; PAULY, G.F.E.; ABESSA, D.; GALLUCCI, F.** Is the microcosm approach using meiofauna community descriptors a suitable tool for ecotoxicological studies? **Ecotoxicology And Environmental Safety**, v. 147, p. 945-953, 2018

**SARMENTO V.C. et al.** Impact of predicted climate change scenarios on a coral reef meiofauna community. **ICES Journal of Marine Science** 74: 1170-1179. 2017.

**SCHRATZBERGER, M.;** et al. Response of estuarine meio-and macrofauna to in situ bioremediation of oil-contaminated sediment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 46, n. 4, p. 430-443, 2003.

**SCHWACKE, L, H.** et al. Health of common bottlenose dolphins (*Tursiops truncatus*) in Barataria Bay, Louisiana, following the Deepwater Horizon oil spill. **Environmental science & technology**, v. 48, n. 1, p. 93-103, 2014.

**SEURONT, L.;** LETERME S. Increased zooplankton behavioural stress in response to short-term exposure to hydrocarbon contamination. **The Open Oceanography Journal** 1: 1–7. 2007

**SEURONT, L.** Hydrocarbon contamination decreases mating success in a marine planktonic copepod. **PLoS One**, v. 6, n. 10, p. e26283, 2011.

**SNELGROVE P.V.R. and Butman C.A.** Animal-sediment relationships revisited: cause versus effect. **Oceanography and Marine Biology: An Annual Review** 32: 111-177. **1994.**

**SOARES, M.;** et al. Oil spill in South Atlantic (Brazil): Environmental and governmental disaster. **Marine Policy**, v. 115, p. 103879, 2020.

**SOROLDONI, S.;** ABREU, F.; CASTRO, I.B.; DUARTE, F.A.; PINHO, G.L.L. Are antifouling paint particles a continuous source of toxic chemicals to the marine environment? **Journal Of Hazardous Materials**, v. 330, p. 76-82, 2017.

**STARK, J, S.** et al. The effects of hydrocarbons on meiofauna in marine sediments in Antarctica. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 496, p. 56-73, 2017.

- THIELEMANS, L. K. H.; HEIP, C.** The response of a harpacticoid copepod community to sediment disturbance in a semi-enclosed lagoon. **Hydrobiologia**, v. 118, p. 127-133, 1984.
- UNDERWOOD A.J. and CHAPMAN M.G.** Early development of subtidal macrofaunal assemblages: relationships to period and timing of colonization. **Journal of Experimental Marine Biology Ecology** 330: 221–233 2006.
- VAN EENENNAAM J.S. et al.** Ecotoxicological benthic impacts of experimental oil-contaminated marine snow deposition. **Marine Pollution Bulletin** 141: 164-175 2019
- VARELA M, BODE A, et al. (2006)** The effect of the “Prestige” oil spill on the plankton of the N-NW Spanish coast. *Mar Poll Bull* 53: 272–286.
- VEIGA, P.; RUBAL, M.; BESTEIRO, C.** Shallow sublittoral meiofauna communities and sediment polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) content on the Galician coast (NW Spain), six months after the Prestige oil spill. **Marine pollution bulletin**, v. 58, n. 4, p. 581-588, 2009.
- VEIGA, P.; BESTEIRO, Celia; RUBAL, Marcos.** Meiofauna communities in exposed sandy beaches on the Galician coast (NW Spain), six months after the Prestige oil spill: the role of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). **Scientia Marina**, v. 74, n. 2, p. 385-394, 2010.
- VIZOSO, S.** Um dos maiores vazamentos de óleo da Europa mostra como é difícil punir culpados. **El País**. A Coruña. 24 de outubro de 2019.
- WARWICK, R. M.** The level of taxonomic discrimination required to detect pollution effects on marine benthic communities. **Marine Pollution Bulletin**, v. 19, n. 6, p. 259-268, 1988.

**WORMALD, A, P.** Effects of a spill of marine diesel oil on the meiofauna of a sandy beach at Picnic Bay, Hong Kong. **Environmental Pollution (1970)**, v. 11, n. 2, p. 117-130, 1976.

**WHITE, H, K.** et al. Impacto do derramamento de óleo Deepwater Horizon em uma comunidade de corais de águas profundas no Golfo do México. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 109, n. 50, pág. 20303-20308, 2012.

**ZOCK, J, P.;** et al. Prolonged respiratory symptoms in clean-up workers of the prestige oil spill. **American journal of respiratory and critical care medicine**, v. 176, n. 6, p. 610-616, 2007.

**APÊNDICE A – Tabela dos artigos que foram encontrados ao utilizar as palavras chaves “meiofauna or meiobenthic and hydrocarb \* or oil”**

<b><i>Impact of Amoco Cadiz Oil Spill on Intertidal and Sublittoral Meiofauna</i></b>
<i>Community response of deep-sea soft-sediment metazoan meiofauna to the Deepwater Horizon blowout and oil spil</i>
<i>Meiofauna Response to the Ag/p Abruzzo Oil Spill in Subtidal Sediments of the Ligurian Sea</i>
<i>Hydrocarbon Contamination Decreases Mating Success in a Marine Planktonic Copepod</i>
<i>Ecotoxicological effect of grounded MV River Princess on the intertidal benthic organisms off Goa</i>
<i>Results of ecological monitoring of three beaches polluted by the 'Amoco Cadiz' oil spill: development of meiofauna from 1978 to 1984</i>
<i>Perturbations in the reproduction cycle of some harpacticoid copepod species further to the Amoco Cadiz oil spill</i>
<i>Meiofauna communities in exposed sandy beaches on the Galician coast (NW Spain), six months after the Prestige oil spill: the role of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)</i>
<i>Shallow sublittoral meiofauna communities and sediment polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) content on the Galician coast (NW Spain), six months after the Prestige oil spill</i>
<i>Temporal patterns of Deepwater Horizon impacts on the benthic infauna of the northern Gulf of Mexico continental slope</i>
<b><i>Responses of Meiofauna and Nematode Communities to Crude Oil Contamination in a Laboratory Microcosm Experiment</i></b>
<b><i>The use of meiofauna diversity as an indicator of pollution in harbours</i></b>
<b><i>Differential responses of a benthic meiofaunal community to an artificial oil spill in the intertidal zone</i></b>
<b><i>Recovery of saltmarsh meiofauna six years after the Deepwater Horizon oil spill</i></b>
<b><i>PAH effects on meio- and microbial benthic communities strongly depend on bioavailability</i></b>
<b><i>Meiofauna and Trace Metals From Sediment Collections in Florida After the Deepwater Horizon Oil Spill</i></b>
<b><i>The effects of hydrocarbons on meiofauna in marine sediments in Antarctica</i></b>
<i>Effect of the Hebei Spirit oil spill on intertidal meiofaunal communities in Taean, Korea</i>
<b><i>Palynomorphs in surface sediments of the North-Western Black Sea as indicators of environmental conditions</i></b>
<i>Nematode traits after separate and simultaneous exposure to Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (anthracene, pyrene and benzo[a]pyrene) in closed and open microcosms</i>
<b><i>PRELIMINARY ASSESSMENT OF THE EFFECT OF AN OIL SPILL ON A LOUISIANA MARSH</i></b>

---

**Assessment of contaminated groundwater sites using meiofaunal assemblage patterns - First results**

---

*Surficial Hydrocarbon Seep Infauna from the Blake Ridge (Atlantic Ocean, 2150 m) and the Gulf of Mexico (690–2240 m)*

---

*Toxicity assessment of sediments associated with various land-uses in coastal South Carolina, USA, using a meiobenthic copepod bioassay*

---

*Effects of benzo(a)pyrene on meiobenthic assemblage and biochemical biomarkers in an *Oncholaimus campyloceroides* (Nematoda) microcosm*

---

*A Macroinfaunal Ecosystem Engineer May Facilitate Recovery of Benthic Invertebrates and Accompanying Ecosystem Services After an Oil Spill*

---

*Ecological quality assessment of marinas: An integrative approach combining biological and environmental data*

---

*Deciphering the synergistic impact of elevated temperature and oil pollution on meiobenthic community structure: A benthocosm study*

---

*How quickly will the offshore ecosystem recover from the 2010 Deepwater Horizon oil spill? Lessons learned from the 1979 Ixtoc-1 oil well blowout*

---

**Relationships between invertebrate benthos, environmental drivers and pollutants at a subcontinental scale**

---

*The expanded footprint of the Deepwater Horizon oil spill in the Gulf of Mexico deep-sea benthos*

---

*Impact of historical contamination on meiofaunal assemblages: The case study of the Bagnoli-Coroglio Bay (southern Tyrrhenian Sea)*

---

*The effects of experimental oil-contaminated marine snow on meiofauna in a microcosm*

---

**Meiofaunal communities in four Adriatic ports: Baseline data for risk assessment in ballast water management**

---

*Effects of the water-soluble fraction of a crude oil on freshwater meiofauna and nematode assemblages*

---

*Ecotoxicological benthic impacts of experimental oil-contaminated marine snow deposition*

---

*Multiple human pressures in coastal habitats: variation of meiofaunal assemblages associated with sewage discharge in a post-industrial area*

---

*What Promotes the Recovery of Salt Marsh Infauna After Oil Spills?*

---

*Assessment of ecological quality status along the Apulian coasts (eastern Mediterranean Sea) based on meiobenthic and nematode assemblages*

---

**A new species of *Ligiartcus* (Tardigrada, Arthrotardigrada) from the Brazilian continental shelf, Southwestern Atlantic Ocean**

---

*Limited congruence exhibited across microbial, meiofaunal and macrofaunal benthic assemblages in a heterogeneous coastal environment*

---

*Morphological deformities of benthic foraminifera in response to nearshore pollution of the Red Sea, Egypt*

---

*Effects of the water-soluble fraction of a crude oil on estuarine meiofauna: A microcosm approach*

---

**Variability of biological indices, biomarkers, and organochlorine contaminants in flounder (*Platichthys flesus*) in the Gulf of Gdansk, southern Baltic Sea**

---

*Defaunation of meiofauna in Mumbai bay (India) - A severely polluted area*

---

<i>Saltmarsh plants, but not fertilizer, facilitate invertebrate recolonization after an oil spill</i>	
<i>Meiobenthos and nematode assemblages from different deep-sea habitats of the Strait of Sicily (Central Mediterranean Sea)</i>	
<i>Recovery of salt marsh benthic microalgae and meiofauna following the Deepwater Horizon oil spill linked to recovery of <i>Spartina alterniflora</i></i>	—
<b><i>Impacts of the Deepwater Horizon oil spill on deep-sea coral-associated sediment communities</i></b>	
<i>Impact of Oil Spills on Marine Life in the Gulf of Mexico EFFECTS ON PLANKTON, NEKTON, AND DEEP-SEA BENTHOS</i>	
<i>Diversity and composition of the copepod communities associated with megafauna around a cold seep in the Gulf of Mexico with remarks on species biogeography</i>	
<i>Biostimulation as an attractive technique to reduce phenanthrene toxicity for meiofauna and bacteria in lagoon sediment</i>	
<i>The use of meiofauna in freshwater sediment assessments: Structural and functional responses of meiobenthic communities to metal and organics contamination</i>	
<i>An integrated approach to the assessment of the eastern Gulf of Finland health: A case study of coastal habitats</i>	
<i>Persistent Impacts to the Deep Soft-Bottom Benthos One Year After the Deepwater Horizon Event</i>	
<i>Spatial and temporal variation of intertidal nematodes in the northern Gulf of Mexico after the Deepwater Horizon oil spill</i>	
<i>Induced tolerance in situ to chronically PAH exposed ammonium oxidizers</i>	
<i>Ostracoda as bioindicators of anthropogenic impact in salt lakes, salt pans, and a lagoon: A case study from the Gulf of Saros coast (NE Aegean Sea), Turkey</i>	
<i>Effect of crude oil exposure and dispersant application on meiofauna : an intertidal mesocosm experiment</i>	
<i>Marine Pollution-Environmental Indicators in Marine Meiofauna from Brazil</i>	
<i>High-Throughput Sequencing Characterizes Intertidal Meiofaunal Communities in Northern Gulf of Mexico (Dauphin Island and Mobile Bay, Alabama)</i>	
<i>Faunal communities at sites of gas- and oil-bearing fluids in Lake Baikal</i>	
<i>The Species Composition and Distribution of Free-Living Nematodes (Nematoda) in an Area of Natural Oil and Gas Seeps in Lake Baikal</i>	—
<b><i>An observational study on changes in biometry and generation time of <i>Odontophora villoti</i> (Nematoda, Axonolaimidae) related to petroleum pollution in Bizerte bay, Tunisia</i></b>	
<i>Meiofauna reduces bacterial mineralization of naphthalene in marine sediment</i>	—
<b><i>Community study of tubeworm-associated epizoic meiobenthos from deep-sea cold seeps and hot vents</i></b>	
<i>Deep-Sea Benthic Footprint of the Deepwater Horizon Blowout</i>	—

<b><i>Benthic ecosystem functioning in hydrocarbon and heavy-metal contaminated sediments of an Adriatic lagoon</i></b>	
<b><i>The roles of biological interactions and pollutant contamination in shaping microbial benthic community structure</i></b>	
<i>Pockmarks enhance deep-sea benthic biodiversity: a case study in the western Mediterranean Sea</i>	—
<b><i>Effect of radioactive pollution on the biodiversity of marine benthic ecosystems of the Russian Arctic shelf</i></b>	
<i>Meiofaunal and bacterial community response to diesel additions in a microcosm study</i>	—
<b><i>Effects of barium and cadmium on the population development of the marine nematode Rhabditis (Pellioiditis) marina</i></b>	—
<b><i>Oil Spills</i></b>	
<i>Epizootic metazoan meiobenthos associated with tubeworm and mussel aggregations from cold seeps of the northern Gulf of Mexico</i>	
<i>Comparison of benthic foraminifera and macrofaunal indicators of the impact of oil-based drill mud disposal</i>	
<i>Deep, diverse and definitely different: unique attributes of the world's largest ecosystem</i>	
<i>Effects of drill cuttings discharge on meiofauna communities of a shelf break site in the southwest Atlantic</i>	
<i>Development of the concept of spatial-temporal mask for testing effects of discharge from well-drilling activities on biological communities</i>	
<i>Acclimation and Introduction of Hydrobionts Ships' Ballast Water Organisms in the Port of Vladivostok</i>	
<i>Effects of multiple stressors on marine shallow-water sediments: Response of microalgae and meiofauna to nutrient-toxicant exposure</i>	
<i>Does bioturbation by a benthic fish modify the effects of sediment contamination on saltmarsh benthic microalgae and meiofauna</i>	
<i>Individual to population level effects of South Louisiana crude oil water accommodated hydrocarbon fraction (WAF) on a marine meiobenthic copepod</i>	
<i>Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), organic matter quality and meiofauna in Galician sandy beaches, 6 months after the Prestige oil-spill</i>	
<i>A study of possible "reef effects" caused by a long-term time-lapse camera in the deep North Pacific</i>	
<i>Introduction to the Deep Gulf of Mexico Benthos Program</i>	
<i>Deep-sea meiofauna response to synthetic-based drilling mud discharge off SE Brazil</i>	
<i>Bioassay responses and effects on benthos after pilot remediations in the delta of the rivers Rhine and Meuse</i>	
<i>Meiofaunal colonisation on artificial substrates: A tool for biomonitoring the environmental quality on coastal marine systems</i>	
<b><i>Chapter 15 Nematodes</i></b>	
<i>Recent advances in the use of meiofaunal polychaetes for ecotoxicological assessments</i>	
<i>Response of estuarine meio- and macrofauna to in situ bioremediation of oil-contaminated sediment</i>	

<i>Spills of fuel oil #6 and Orimulsion can have indistinguishable effects on the benthic meiofauna</i>	
<b>POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBON BIOACCUMULATION BY MEIOBENTHIC COPEPODS INHABITING A SUPERFUND SITE: TECHNIQUES FOR MICROMASS BODY BURDEN AND TOTAL LIPID ANALYSIS</b>	—
<b><i>Effect of an oil spill from M V Sea Transporter on intertidal meiofauna at Goa, India</i></b>	—
<b><i>Lipids as indicators of eutrophication in marine coastal sediments</i></b>	
<i>Distinguishing between contaminant and reef effects on meiofauna near offshore hydrocarbon platforms in the Gulf of Mexico</i>	—
<b><i>Monterey Bay cold-seep biota: Assemblages, abundance, and ultrastructure of living foraminifera</i></b>	
<b>LINKING ECOLOGICAL IMPACT TO METAL CONCENTRATIONS AND SPECIATION: A MICROCOSM EXPERIMENT USING A SALT MARSH MEIOFAUNAL COMMUNITY</b>	
<i>Effects of sediment-associated phenanthrene on survival, development and reproduction of two species of meiobenthic copepods</i>	
<i>Meiobenthos communities of some subarctic lakes</i>	
<i>Amphipods are Good Bioindicators of the Impact of Oil Spills on Soft-Bottom Macrobenthic Communities</i>	
<i>Does historical exposure to hydrocarbon contamination alter the response of benthic communities to diesel contamination?</i>	
<b>TOLERANCE AND GENETIC RELATEDNESS OF THREE MEIOBENTHIC COPEPOD POPULATIONS EXPOSED TO SEDIMENT-ASSOCIATED CONTAMINANT MIXTURES: ROLE OF ENVIRONMENTAL HISTORY</b>	
<i>The effects of polycyclic aromatic hydrocarbon contamination and grazing on the abundance and composition of microphytobenthos in salt marsh sediments (Pass Fourchon, LA)</i>	
<i>I. A microcosm experiment</i>	
<i>Effects of sediment-bound polycyclic aromatic hydrocarbons on feeding behavior in juvenile spot (Leiosomus xanthurus Lacepede: Pisces)</i>	
<i>Organic carbon cycling in abyssal benthic food chains: numerical simulations of bioenhancement by sewage sludge</i>	
<i>Modelling contaminant effects on deposit feeding nematodes near Gulf of Mexico production platforms</i>	
<i>Petroleum Hydrocarbons and Their Effects in Subtidal Regions after Major Oil Spills</i>	
<i>Response of a benthic food web to hydrocarbon contamination</i>	
<i>Influence of polycyclic aromatic hydrocarbons on the meiobenthic-copepod community of a Louisiana salt marsh</i>	
<i>Gulf of Mexico Offshore Operations Monitoring Experiment (GOOMEX), Phase I: Sublethal responses to contaminant exposure — introduction and overview</i>	
<i>Benthic infaunal long-term response to offshore production platforms in the Gulf of Mexico</i>	
<i>Ecological consequences of environmental perturbations associated with offshore</i>	—

<i>hydrocarbon production: a perspective on long-term exposures in the Gulf of Mexico</i>
<b><i>In situ experiments on recolonization of intertidal mudflat fauna to sediment contaminated with different concentrations of oil</i></b>
<i>Effects of intensive seaweed farming on the ~ciobent~os in a tropical lagoon</i>
<i>The effect of crude oil on the colonization of meiofauna into salt marsh sediments</i>
<b><i>Sensitivity grid and Thematische Kartierung und Sensitivitiitsraster im Deutschen Wattenmeer</i></b>
<i>influence of pollution on the harpacticoid copepods of two North Sea estuaries</i>
<i>inncreased variability as a symptom of stress in marine communities</i>
<i>Aspects of the Ecology of the Deep-water Fauna of the Gulf of Mexico</i>
<i>Radiocarbon evidence of fossil-carbon cycling in sediments of a nearshore hydrocarbon seep</i>
<b><i>Monitoring Long-Term Effects of Offshore Oil and Gas Development Along the Southern California Outer Continental Shelf and Slope: Background Environmental Conditions in the Santa Maria Bas</i></b>
<i>Organic enrichment or toxicity? A comparison of the effects of kelp and crude oil in sediments on the colonization and growth of benthic ~faun</i>
<i>Stimulation of Microbial Activities and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Degradation in Marine Sediments Inhabited by Capite/la capitata</i>
<i>Meiofauna Dispersal Near Natural Petroleum Seeps in the Santa Barbara Channel: A Recolonization Experiment</i>
<i>Meiofauna and Chlorophyll Associated with Beggiatoa Mats of a Natural Submarine Petroleum Seep</i>
<i>Long Term Monitoring of Meiofauna Densities After the Amoco Cadiz Oil Spill</i>
<i>Organic geochemical studies of a recent Inner Great Barrier Reef sedimentnl. Assessment of input sources</i>
<i>The "Tsesis" Oil Spill: Acute and Long-Term Impact on the Benthos</i>
<b><i>Ratio-and-population-density-of-psammolittoral-meiofauna-as-a-perturbation-indicator-of-sandy-beaches-in-South-Africa</i></b>
<i>Colonization of Meiobenthos in Oil-Contaminated Subtidal Sands in the Lower Chesapeake Bay</i>
<i>A new, flow-through corer for the quantitative sampling of surface sediments</i>
<b><i>IMPACT OF DISPERSED AND UNDISPERSED OIL ENTERING A GULF COAST SALT MARSH</i></b>
<i>Effect of Oil on Salt Marsh Biota: Methods for Restoration</i>
<i>Effects of crude oil on the supralittoral meiofauna of a sandy beach</i>
<b><i>RELATIONSHIP BETWEEN OIL POLLUTION A N D PSAMMOLITTORAL M E I O F A U N A DENSITY OF TWO SOUTH AFRICAN BEACHES</i></b>

---

*Response of benthic communities in merl experimental ecosystems to low level,  
chronic additions of No. 2 fuel oil*

---

*Effect of barite on meiofauna in a flow-through experimental system*

---

***Effects of a spill of marine diesel oil on the meiofauna of a sandy beach at picnic  
bay, Hong Kong***

---