

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO – UNIFESP  
CAMPUS BAIXADA SANTISTA  
ENGENHARIA AMBIENTAL

Avaliação ecotoxicológica do sedimento das áreas de mancha de petróleo de  
Pernambuco

Autora: Bianca Pazini

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Brasil Choueri

Co-orientadora: Profa. Dra. Mariana Aliceda Ferraz

Santos

2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO – UNIFESP  
CAMPUS BAIXADA SANTISTA  
ENGENHARIA AMBIENTAL

Avaliação ecotoxicológica do sedimento das áreas de mancha de petróleo de  
Pernambuco

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
apresentado à Universidade Federal de  
São Paulo - UNIFESP, referente ao  
módulo TCC II para formação em  
Bacharelado em Engenharia Ambiental.

Autora: Bianca Pazini

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Brasil Choueri

Co-orientadora: Profa. Dra. Mariana Aliceda Ferraz

Santos

2022

Ficha catalográfica elaborada por sistema automatizado  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B577a Pazini, Bianca.  
Avaliação ecotoxicológica do sedimento das áreas de  
mancha de petróleo de Pernambuco. / Bianca Pazini;  
Orientador Rodrigo Choueri; Coorientadora Mariana  
Ferraz. -- Santos, 2022.  
23 p. ; 30cm

TCC (Graduação - Engenharia Ambiental) --  
Instituto do Mar, Universidade Federal de São Paulo,  
2022.

1. Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos. 2.  
óleo bruto. 3. contaminação marinha. 4. toxicidade. I.  
Choueri, Rodrigo, Orient. II. Título.

CDD 628



## Resumo

Liberações de petróleo nos oceanos tem sido eventualmente registradas ao redor do mundo. Em 2019, no Brasil cerca de 2.5 milhões de toneladas de petróleo bruto chegaram a costa brasileira, atingindo 11 estados e 130 municípios, incluindo áreas de importância biológica, como áreas marinhas protegidas, foz de rios, pontos de captação de água, manguezais, unidades de conservação e áreas de rodolitos. O petróleo é formado principalmente por hidrocarbonetos (alifáticos e aromáticos), nitrogênio, enxofre, oxigênio e metais-traço. Os hidrocarbonetos aromáticos compõem a fração mais tóxica do petróleo e são formados por anéis benzênicos, podendo ser monoaromáticos (BTEX) ou hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPA). Os HPAs têm efeitos carcinogênicos, são resistentes à degradação e hidrofóbicos, podendo permanecer no ambiente por anos, sendo importante a realização de estudos sobre a qualidade ambiental nas áreas afetadas pelo derramamento de petróleo no litoral brasileiro em 2019, mesmo após um tempo do ocorrido. O petróleo no ambiente marinho está sujeito a influência de processos que alteram sua composição e impacto no ambiente. O óleo que chegou ao litoral brasileiro em 2019 possuía em sua composição hidrocarbonetos leves, indicando pouco intemperismo, o que aumenta a probabilidade de causar efeitos negativos em organismos e ecossistemas costeiros. Visto esta problemática, o objetivo deste trabalho foi avaliar a toxicidade do sedimento contaminado com o óleo que chegou em Pernambuco em 2019. Este estudo é uma avaliação da toxicidade dos sedimentos das áreas afetadas utilizando organismos do gênero *Nitokra* sp.. Foram selecionadas 7 áreas afetadas pelas manchas de óleo e uma que não foi afetada (área de referência) para coleta de sedimento. Algumas das áreas estudadas apresentaram diferença significativa entre si em relação ao índice de reprodução de *Nitokra* sp.. As áreas estudadas podem ter múltiplas fontes de poluição, fazendo-se necessário a realização de mais estudos de quantificação de contaminantes e ecotoxicidade.

**Palavras-chave:** Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos, contaminação marinha, toxicidade, óleo bruto.

## Sumário

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO E HIPÓTESE	5
3. MATERIAL E MÉTODOS	6
3.1 Desenho amostral	6
3.2 Desenho experimental	7
3.3 Coleta do sedimento	7
3.4 Organismo-tese	8
3.5 Cultivo dos organismos	9
3.6 Teste de reprodução	9
3.7 Teste de sensibilidade	10
3.8 Análise dos resultados	10
4. RESULTADOS	12
4.2 Teste de sensibilidade	12
4.2 Teste de toxicidade com <i>Nitokra</i> sp.	12
5. DISCUSSÃO	13
6. CONCLUSÕES	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17

## 1. INTRODUÇÃO

Atualmente a poluição é uma das ameaças mais importantes do meio ambiente marinho. As substâncias causadoras de efeitos negativos à biota marinha podem ter diversas origens, sendo uma delas antropogênica. As atividades antrópicas podem liberar para o meio substâncias orgânicas ou inorgânicas e conseqüentemente causar alterações biológicas ou ecológicas (poluentes) (Nass, 2002). Entre os grupos mais comuns de poluentes estão os metais, pesticidas, fármacos e substâncias de origem da cadeia produtiva de óleo e gás (Khanmohammadi et al., 2020; Kuppussamy et al., 2016; Madenjian et al., 2020). A liberação de óleo nos oceanos pode ocorrer naturalmente por meio de infiltrações ou devido a uma ação antrópica, no qual é proveniente de derramamentos acidentais, exploração, transporte, tráfego marítimo, operações de transferência de navio para navio e descarga de efluentes de refinaria (US National Academy of Science, 2004). Para além disso, o óleo e seus derivados podem persistir no meio ambiente mesmo após anos e causar impactos na biodiversidade (Peterson et al., 2003; Penela-Arenaz et al., 2009).

Há um histórico de acidentes envolvendo derramamento de petróleo registrados ao redor do mundo. Neste sentido existem 3 acidentes de grande magnitude que envolveram os navios Exxon Valdez, Prestige e a plataforma de petróleo Deepwater Horizon. O acidente com o navio Exxon Valdez, que ocorreu em 1989 no Alasca, derramou 10,8 milhões de galões de petróleo bruto americano no oceano (US National Academy of Science, 2004). Em 2002 o petroleiro Prestige afundou na Costa da Galiza resultando na liberação de 60.000 toneladas de petróleo bruto, chegando a 900 km de costa de Portugal até o sul de França (Vieites et al., 2004). Neste último, pode-se constatar bioacumulação por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos e toxicidade mesmo após quatro anos do ocorrido (Morales-Caselles et al., 2008). Já no ano de 2010 ocorreu o maior acidente com derramamento de petróleo no ambiente marinho, o Deepwater Horizon no Golfo do México. Cerca de 4 milhões de barris de petróleo bruto e gás foi liberado no período de 87 dias, atingindo o solo do pântano costeiro, causando danos aos organismos locais (Pietroski et al., 2015). Além disso, foi verificada uma redução severa da biodiversidade na área ao redor do poço (Montagna et al., 2013). O Quadro 1 apresenta estudos de impacto ambiental de organismos expostos aos sedimentos

contaminados com óleo provenientes dos locais dos acidentes com os navios Exxon Valdez, Prestige e a plataforma de petróleo Deepwater Horizon.

**Quadro 1.** Estudos de toxicidade após acidentes com petróleo.

<b>Acidente</b>	<b>Ano</b>	<b>Local</b>	<b>Quantidade de petróleo derramado</b>	<b>Impactos ambientais</b>	<b>Referência bibliográfica</b>
Exxon Valdez	1989	Alasca	10,8 milhões de galões	Efeitos tóxicos através de biomarcadores em peixes, lontras marinhas e marrecos ao acessar o sedimento contaminado para forrageamento e postura de ovos	Peterson et al., 2003
Prestige	2002	Costa da Galiza	mais de 60.000 toneladas de petróleo	Mudança na composição relativa das concentrações de oligoelementos em peixes naturais e populações de parasitas antes e depois do acidente  inibição da fotossíntese em <i>Dunaliella tertiolecta</i> após 1h de exposição ao óleo e mutações espontâneas raras, resultando em células resistentes ao petróleo	Pérez-Del-Olmo et al. (2019)  Carrera-Martínez et al., 2009



**Quadro 1.** Estudos de toxicidade após acidentes com petróleo (continua).

---

				Redução no desempenho de natação e aumento da incidência de edema pericárdico em larvas de peixe	Mager et al., 2014
Deepwater Horizon	2010	Golfo do México	4 milhões de barris	Mudanças na expressão gênica relacionadas a funções críticas em larvas de peixe	Xu et al., 2016
				Desregulação de genes importantes no desenvolvimento e função ocular em larva de peixe	Xu et al., 2018

---

Em 2019 no Brasil observou-se uma grande quantidade de óleo bruto na costa pernambucana. Estima-se que cerca de 2,5 mil de toneladas de óleo bruto com características geoquímicas compatíveis com bacias sedimentares venezuelanas foram derramadas a 700km da costa brasileira. O Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) constatou que o óleo havia alcançado 11 estados (9 no Nordeste e 2 na região Sudeste) e 130 municípios (IBAMA, 2020). Algumas destas localidades possuem grande importância biológica, no qual mais de 55 áreas marinhas protegidas no Atlântico Tropical foram atingidas pelo óleo, bem como foz de rios, pontos de captação de água, manguezais, unidades de conservação e áreas de rodolitos, conhecidas por serem particularmente frágeis e sensíveis a impactos ambientais (Nasri Sissini et al., 2020; Soares et al., 2020). Além disso, alguns impactos imediatos foram observados, como a morte de tartarugas, golfinhos, aves e peixes (Craveiro *et al.*, 2021).

Quimicamente o petróleo é considerado uma mistura complexa. Este composto é formado por centenas de moléculas, mas principalmente de nitrogênio, enxofre,

oxigênio, metais-traço e hidrocarbonetos (US National Academy of Science, 2004). Os hidrocarbonetos podem ser classificados em alifáticos e aromáticos, sendo o último formado por anéis benzênicos, sendo esta a fração mais tóxica (Liu and Kujawinski, 2015). O BTEX (benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno), por exemplo, são substâncias monoaromáticas, conhecidas por serem altamente tóxicas, solúveis e voláteis (Wellington et al., 2020). Ademais, os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos, como os HPAs, são considerados substâncias poluentes prioritárias pelas instituições globais de controle ambiental (Mulabagal et al., 2013). Essa fração do petróleo tem efeitos carcinogênicos, são resistentes à degradação e hidrofóbicos, devido à baixa solubilidade em água, podendo permanecer no ambiente por anos (EPA, 2008; Qi et al., 2017; Beiras, 2018).

O Laboratório de Análise de Resíduos de Agrotóxicos e de Contaminantes - LabTox realizou quantificação de BTEX e HPAs presentes em amostras de água do mar após o derramamento de óleo. A quantidade de HPAs (Acenaftene, Acenaftileno, Antraceno, Benzo(a)antraceno, Benz(a)pireno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(g,h,i)perileno, Criseno, Dibenzo(a,h,i)antraceno, Fenantreno, Fluoranteno, Fluoreno, Idenol(1,2,3-cd)pireno, 2 Metilnaftaleno, Naftaleno e Pireno) foi medida nas praias do Janga, Cupe e Mamucabas em 08/11/2019 e todos os 16 HPAs ficaram abaixo do Limite de quantificação (LQ) de 0,01 µg/L. Para a quantificação de BTEX as amostras foram coletadas em 26/10/2019 nas praias do Janga, Suape, Carneiros e Muro Alto e os resultados são apresentados na Tabela 1. O Limite de quantificação (LQ) do BTEX é igual a 0,1µg/L. Os resultados encontrados pelo LabTox demonstram que se tiver resquício de HPAs ou BTEX, estes contaminantes não estão na água, indicando a importância de se avaliar a presença de HPAs e BTEX no sedimento e na biota, bem como ensaios de toxicidade. Visto que alguns desses contaminantes são persistentes e podem acumular em compartimentos ambientais, é relevante realizar estudos sobre a qualidade ambiental nas áreas afetadas, mesmo após um tempo do ocorrido.

**Tabela 1.** Quantificação de BTEX em água do mar realizada pelo LabTox.

Área	Benzeno	Tolueno	Etilbenzeno	Xileno
Janga	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Suape	0,15	<LQ	0,12	0,24
Carneiros	<LQ	<LQ	0,16	0,22
Muro Alto	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
Mamucabas	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ

(Fonte: CPRH, 2019)

O petróleo no ambiente marinho está sujeito a influência de processos meteorológicos, oceanográficos, físico-químicos e biológicos que alteram sua composição e impacto no ambiente, além de levar a dispersão das manchas, atingindo áreas mais amplas (Chiri et al., 2020). As manchas de óleo que chegaram no litoral brasileiro em 2019 eram de petróleo emulsificado, mas apresentaram composição química preservada, indicando pouca ou nenhuma ação de intemperismo, como evaporação ou volatilização, dissolução e oxidação (química, solar e microbiana) (US National Academy of Science, 2004). Este processo pode não ter ocorrido devido ao maior peso e densidade deste petróleo em relação a água superficial, ficando depositado no fundo e conseqüentemente protegido da luz solar - que ajudaria a degradar estas substâncias (Lourenço et. al, 2020). No entanto, uma vez que o óleo se deslocou para a costa, iniciou-se o processo de fluidificação e a liberação de compostos voláteis (Lourenço et. al, 2020). O óleo das praias foi caracterizado como hidrocarbonetos leves, o que aumenta a probabilidade de causar efeitos negativos em organismos e ecossistemas costeiros (Lourenço et. al, 2020).

## 2. OBJETIVO E HIPÓTESE

Visto toda esta problemática com o derramamento de petróleo, sua persistência, capacidade de acumular no sedimento e efeitos no ambiente, o objetivo deste trabalho foi avaliar a toxicidade do sedimento contaminado com o óleo que chegou em Pernambuco em 2019. A hipótese é de que o petróleo que chegou ao litoral brasileiro em 2019, ou mesmo substâncias tóxicas mais persistentes como os HPAs

provenientes do evento, possam ter acumulado no sedimento e juntamente com processos de intemperismo e ressuspensão, ainda libere compostos químicos prejudiciais para o meio aquático, causando toxicidade.

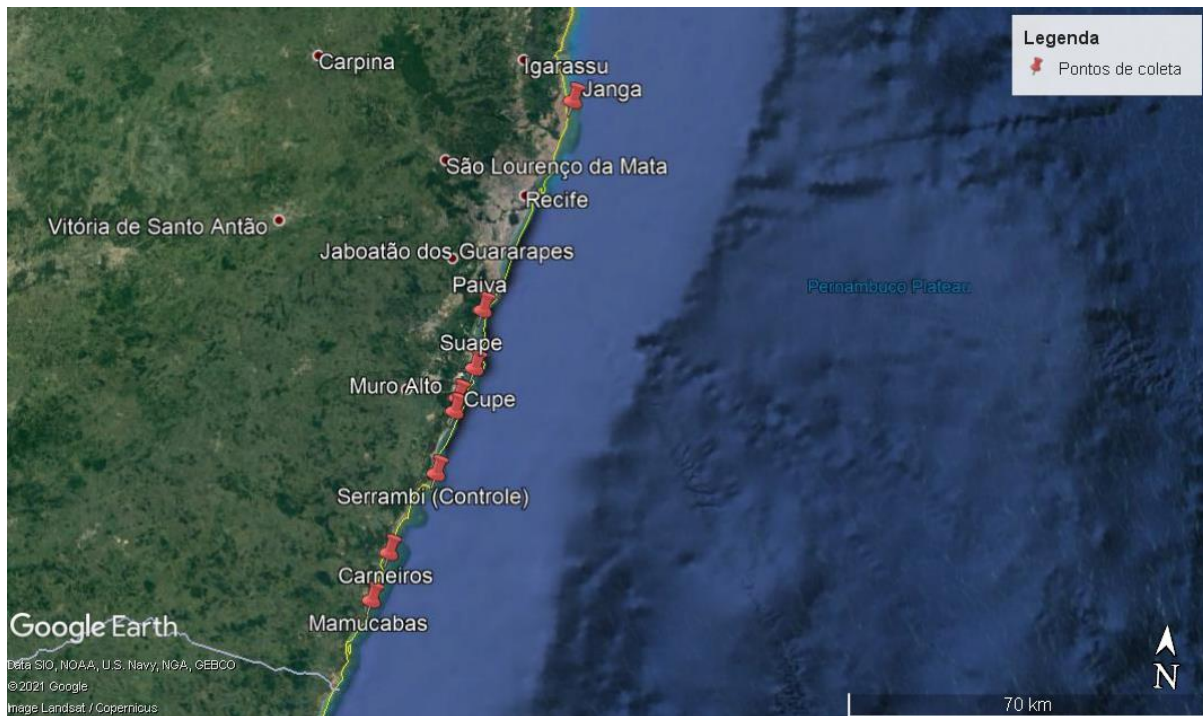
### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Desenho Amostral

Este estudo consiste na avaliação ecotoxicológica do derramamento de petróleo que ocorreu em 2019 no litoral pernambucano. Foi testada a toxicidade dos sedimentos das áreas afetadas utilizando organismos do gênero *Nitokra* sp..

Os sedimentos utilizados nos testes foram coletados seguindo um recorte geográfico e ecológico. As Cartas de Sensibilidade Ambiental para Derramamentos de Óleo (Cartas SAO) contém informações para o planejamento de contingência em casos de incidentes com óleo, permitindo identificar os ambientes com prioridade de proteção. Dentre as áreas prioritárias indicadas nas Cartas SAO estão as regiões recifais, importantes ecossistemas marinhos com alta diversidade biológica e diversos serviços ecossistêmicos (Reaka, 1997). Muitas áreas recifais no litoral pernambucano foram atingidas pelas manchas de petróleo.

As coletas de sedimento ocorreram em 8 áreas recifais (Figura 1): 7 que foram atingidas pelas manchas de óleo (Mamucabas, Carneiros, Cupe, Muro Alto, Suape, Paiva e Janga) e 1 onde não foram avistadas manchas (Serrambi), utilizada como área de referência.



**Figura 1.** Mapa esquemático do litoral pernambucano, identificando os ambientes recifais onde foram realizadas as coletas.

### 3.2 Desenho Experimental

Em cada uma das 8 áreas (praias) foram escolhidos 4 pontos de forma aleatória para a coleta de sedimentos. Em laboratório, os testes foram realizados em duplicatas (a amostra de cada ponto foi dividida em duas e a média foi tirada para obter o valor de cada réplica de campo).

### 3.3 Coleta do sedimento

As coletas de sedimento foram realizadas em quatro pontos distribuídos ( $n=4$ ) aleatoriamente em piscinas recifais de cada uma das 8 áreas, raspando a camada oxigenada superficial utilizando frascos de vidros através de mergulho livre. Ano, mês da coleta. Período seco ou chuvoso? As coletas ocorreram durante a maré baixa. O sedimento era arenoso (Figura 2), embora em algumas estações apresentasse material mais fino misturado à areia. O material foi armazenado em caixas térmicas e levado ao Laboratório de Cultivo e Ecotoxicologia do Departamento de Oceanografia-

LACE (UFPE), onde ficou armazenado a 4°C e ao abrigo da luz até o momento do envio, em caixas térmicas, por transporte aéreo até as dependências do Laboratório de Bioensaios da Unifesp, onde ficou armazenado nas mesmas condições até a realização dos ensaios.

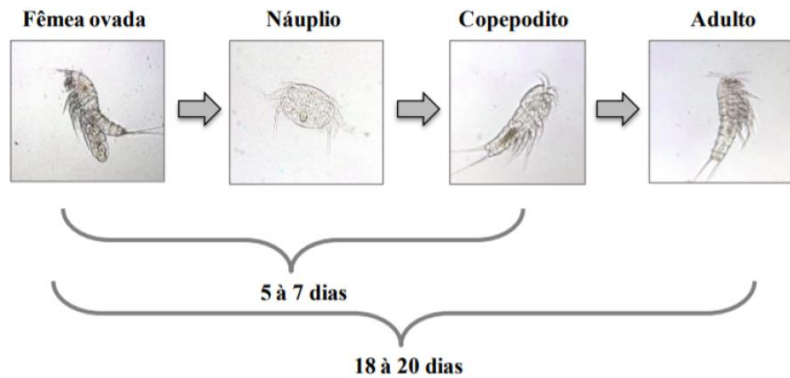


**Figura 2.** Perfil de sedimento arenoso da Praia do Paiva.

### 3.4 Organismo teste

Os organismos-teste utilizados no presente trabalho são copépodes bentônicos da subclasse Copepoda, ordem Harpacticoida, família Ameiridae, e gênero *Nitokra* (Artal et al., 2013). Tais organismos (*Nitokra sp.*) são utilizados como modelos em ensaios de toxicidade de sedimento e de água intersticial (Lotufo & Abessa, 2002). Apresentam sensibilidade aos contaminantes, são tolerantes a alterações de salinidade, têm ampla distribuição geográfica, alta abundância, ciclo de vida rápido e hábito bentônico (Fenili et al., 2013).

Estes organismos possuem ciclo de vida dividido em 3 estágios: náuplio, copepodito e adulto (Figura 3). O ciclo de vida é de aproximadamente 20 dias e se inicia na liberação do ovo que dá origem ao náuplio. Em seguida, deriva-se o copepodito e depois o adulto (Lotufo e Abessa, 2002).



**Figura 3.** Fases do ciclo de vida do copépodo *Nitokra* sp. (Fonte: Bergmam, 2004)

### 3.5 Cultivo dos organismos

Os organismos foram obtidos de cultivos pré-existentes na Unifesp/BS, mantidos no Laboratório de Bioensaios. Os métodos de cultivo e ensaio foram adaptados de Lotufo & Abessa, (2002). Os organismos foram aclimatados em Erlenmeyers de 1000mL, contendo 800mL de água reconstituída preparada em laboratório utilizando-se sal marinho Pro Coral RedSea® com salinidade 17. Os cultivos são mantidos em câmara de germinação com temperatura de 25 °C e fotoperíodo de 12h/12h (claro/escuro). Os cultivos foram alimentados duas vezes por semana com 1mL de ração. A manutenção dos cultivos (troca total de meio de cultivo) é efetuada mensalmente.

### 3.6 Teste de reprodução

O teste de reprodução consiste na exposição de 7 fêmeas ovígeras aos sistema-teste por 10 dias. Os sistemas-teste foram montados em béqueres de vidro de 30mL, com proporção de 1:4 de sedimento:água. Os testes foram realizados seguindo as condições ideais para *Nitokra* sp. ensaio salinidade 17, temperatura de 25°C e fotoperíodo 12h/12h (claro/escuro). Após o tempo de exposição, as amostras foram fixadas com formol tamponado com bórax a 10% e coradas com rosa bengala. Após 24 horas, cada amostra foi peneirada em malha de 0,045mm para a quantificação da prole (contagem do número de náuplios, copepoditos e de possíveis

adultos sobreviventes) utilizando um estereomicroscópio. O índice de reprodução foi então calculado de acordo com a equação:

$$(n^{\circ} \text{ de náuplios} + n^{\circ} \text{ de copepoditos}) \div n^{\circ} \text{ de adultos}$$

### 3.7 Teste de sensibilidade

Simultaneamente ao teste de reprodução, foi realizado um teste utilizando substância de referência a fim de avaliar a qualidade da sensibilidade dos lotes de organismos. A substância utilizada foi o Sulfato de Zinco em 4 concentrações: 0,31, 0,62, 1,25 2,5 e 5mg/L, acompanhados de um controle com água reconstituída. Foi realizado um teste de mortalidade, expondo 10 adultos a cada concentração por 96 horas. Foi calculada a média de CL50 e comparada com os limites de uma carta controle pré-estabelecida.

### 3.8 Análise dos resultados

Os dados referentes ao índice de fecundidade (número da prole por fêmea) foram testados quanto a sua normalidade (teste de Shapiro-Wilk) e homogeneidade das variâncias (Permdisp no Primer). Para testar as diferenças significativas entre os tratamentos foi realizada Análise de Variância Univariada com valor de p obtido por permutação (PERMANOVA) na matriz de semelhança entre amostras e utilizando a distância euclidiana como medida de distância (Anderson, 2014). Foi utilizado um fator fixo “Área” com 8 níveis: Serrambi, Janga, Paiva, Suape, Cupe, Muro Alto, Carneiros e Mamucabas. PERMANOVA é um teste semi-paramétrico que realiza um particionamento clássico do tipo ANOVA (por exemplo, estimativa de tamanhos de efeitos principais), preservando características de métodos não paramétricos (como inferências sem distribuição) (Anderson, 2014). Pairwise a posteriori multiple comparisons tests foram feitos quando o teste principal detectou diferenças significativas usando valores de p de Monte Carlo (Anderson et al., 2008). A homogeneidade das dispersões foi testada por PERMDISP na mesma matriz de semelhança, com base nos desvios do valor da mediana, e com o valor p obtido por permutação. As análises foram realizadas com o software PRIMER 6 (versão 6.1.16)

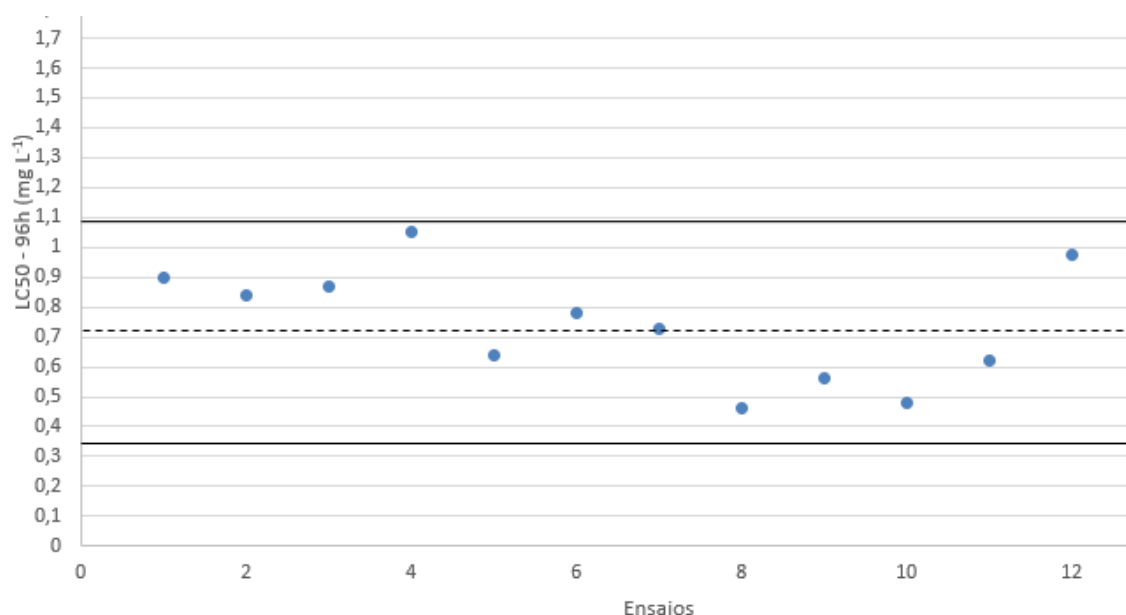


e PERMANOVA + (versão 1.0.6) (PRIMER-E Ltd, 2013). O nível de significância foi estabelecido em  $\alpha = 5\%$  para todos os testes estatísticos.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Teste de sensibilidade

O resultado do teste com substância de referência, apresentou valor de  $CL_{50}96h$  (0,97mg/L) dentro dos limites superiores e inferiores da carta-controlê (ponto 12 na Figura 4).

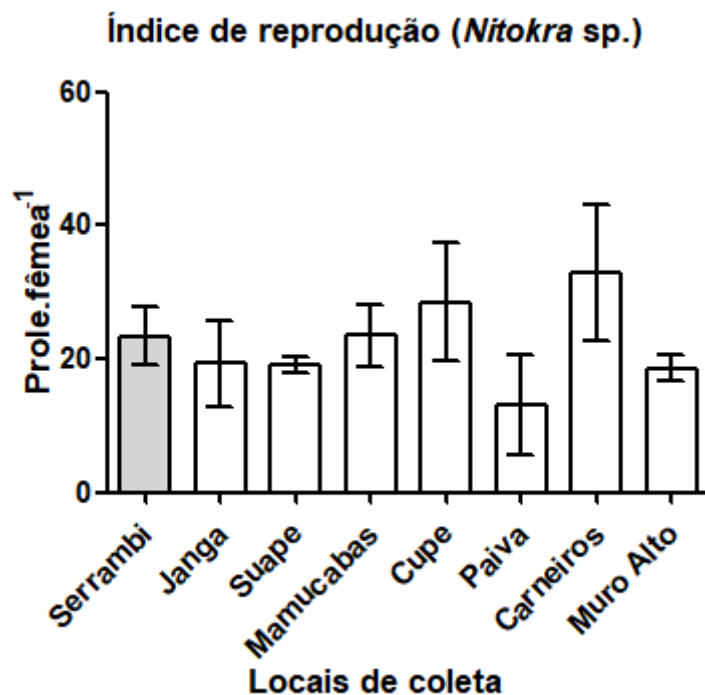


**Figura 4.** Carta controlê de sensibilidade de *Nitokra sp.*

### 4.2 Teste de toxicidade com *Nitokra sp.*

Para todos os pontos verificou-se que há distribuição normal e homogeneidade das variâncias ( $p=0,073$ ).

A Figura 5 apresenta os resultados de índice de reprodução de *Nitokra sp.* com os sedimentos integrais das 8 diferentes áreas de coleta. Dentre as áreas, em Serrambi não foi avistada mancha de óleo e as outras 7 foram afetadas pelo derramamento (Janga, Suape, Mamucabas, Cupe, Paiva, Carneiros e Muro Alto). A Tabela 2 traz os resultados da PERMANOVA (teste de Monte Carlo).



**Figura 5.** Média  $\pm$  desvio-padrão (DP) do índice de reprodução de *Nitokra* sp. em testes de sedimento integral de cada área de coleta. A barra cinza representa a área de referência.

**Tabela 2.** Valores de P resultados da Permanova (teste de Monte Carlo).

	Serrambi	Janga	Paiva	Suape	Cupe	Muro Alto	Carneiros	Mamucabas
Serrambi	-	0,312	0,073	0,102	0,369	0,093	0,152	0,99
Janga	-	-	0,26	0,969	0,141	0,854	0,065	0,125
Paiva	-	-	-	0,171	0,036	0,082	0,015	0,048
Suape	-	-	-	-	0,095	0,66	0,036	0,125
Cupe	-	-	-	-	-	0,082	0,53	0,298
Muro Alto	-	-	-	-	-	-	0,028	0,128
Carneiros	-	-	-	-	-	-	-	0,128
Mamucabas	-	-	-	-	-	-	-	-

## 5. DISCUSSÃO

Serrambi, área escolhida como referência por não ter sido afetada pelo petróleo, está localizada na APA Estuarina dos Rios Sirinhaém e Maracaípe, unidade de conservação de uso sustentável, próxima ao estuário do rio Maracaípe. Esta APA é rica em atributos naturais, com forte potencialidade para a atividade turística. Apesar de não terem sido avistadas manchas de óleo em Serrambi, o índice de reprodução médio foi de 23,4, valor mais baixo se comparado a outros pontos de coleta (Mamucabas, Cupe e Carneiros). A APA Estuarina dos Rios Sirinhaém e Maracaípe foi classificada como extremamente impactada (Vila Nova e Torres, 2012). As pressões antrópicas sobre os manguezais da APA estão representadas pela expansão urbana, emissão de efluentes domésticos e resíduos sólidos no estuário, aterros, presença de estradas e rodovias, cortes de madeira, uso de embarcações a motor no estuário, processos erosivos e tráfego de veículos em áreas impróprias (Vila Nova e Torres, 2012). Serrambi vem apresentando casos de esquistossomose desde 2015 (Barbosa et al., 2015; Barbosa et al., 2018). Criadouros ou focos de caramujos que transmitem essa doença estão associados a presença de coliformes fecais na água e o estudo feito por Barbosa et al. (2017), apontou localidades em Serrambi que estão contaminadas por coliformes totais e *Escherichia coli*, indicativo de esgoto não tratado (Souza, 2011).

A praia dos Carneiros está localizada no município de Tamandaré. Organismos expostos aos sedimentos da praia dos Carneiros apresentaram o índice de reprodução médio mais alto dentre as praias (32,9), sendo significativamente mais alto em relação a Muro Alto ( $P=0,028$ ), Suape ( $P=0,036$ ) e Janga (0,065). A praia dos Carneiros fica próxima ao Sistema Estuarino do Rio Formoso, caracterizado como um estuário com baixa densidade populacional ao longo do litoral de Pernambuco (Gerhardinger et al., 2011).

Os índices de reprodução dos organismos expostos aos sedimentos coletados na praia do Paiva foram significativamente menores do que os resultados de Mamucabas ( $p=0,048$ ), Cupe ( $p=0,036$ ), Carneiros ( $p=0,015$ ), e menor do que de Serrambi, ainda que o valor de “p” tenha sido apenas pouco acima ( $p=0,073$ ) do valor crítico estabelecido para este estudo ( $p=0,05$ ). Os sedimentos da praia do Paiva se demonstraram tóxicos para *Nitokra* sp., que apresentou o menor índice de reprodução médio de 13,1, enquanto em Carneiros foi de 32,9 (o mais alto verificado neste

estudo). Estes resultados da praia do Paiva foram semelhantes ao encontrado pelo Prof. Dr. Denis Moledo de Souza Abessa, do Laboratório do Núcleo de Estudos em Poluição e Ecotoxicologia Aquática, NEPEA, UNESP, que testou as mesmas amostras de sedimento utilizando teste de mortalidade de anfípodos *Tiburonella viscana* (resultados ainda não publicados). Foram detectados impactos imediatos após o derramamento de óleo de redução de riqueza e abundância de espécies em estrutura de comunidades epifaunais associadas a algas na praia do Paiva (Craveiro et al., 2021). Além disso, a praia do Paiva está localizada próxima ao Sistema Estuarino Barra de Jangada, que recebe águas dos rios Jaboatão e Pirapama, rios caracterizados por conter indústrias ao longo de sua extensão (Araujo et al., 1999), o que pode contribuir para a toxicidade dos sedimentos do local.

O Complexo Industrial Portuário de Suape está localizado entre os municípios de Ipojuca e Cabo de Santo Agostinho e possui mais de 100 indústrias implantadas, incluindo petroquímica, refinaria de petróleo, construção naval, logística, entre outras (Complexo Industrial Portuário de Suape, 2019). Desde a instalação do complexo industrial portuário de Suape, no final da década de 1970, o sistema estuarino de Suape passou por uma série de alterações, como suspensão de sedimentos após dragagem, supressão de manguezais, intenso tráfego marítimo, atividades industriais que contribuem para o aumento da contaminação e degradação e alterações na hidrodinâmica e nas comunidades fito e zooplancônicas (Braga et al. 1989; Neumann et al. 1998; Leitao & Matsumura-Tundisi, 1998; Koenig et al., 2003; Silva et al., 2004; Muniz et al., 2005; Lemos et al. 2014; Zanardi-Lamardo et al. 2018). A contaminação da água e sedimento na área de Suape vem sendo relatada (Souza-Santos & Araújo 2013, Lemos et al. 2014, Zanardi-Lamardo et al. 2018). Em relação à contaminação por metais, um estudo atual sugere que a área estuarina de Suape está moderadamente poluída (Oliveira et al., 2020). A exposição de *Nitokra* sp. aos sedimentos de Suape resultou em um Índice de reprodução médio de 19,155, sendo significativamente menor apenas em relação a praia de Carneiros ( $p=0,036$ ), que apresentou o maior índice de reprodução médio igual a 32,905. A toxicidade de sedimentos de Suape vem sendo estudada (Castro, 2008). Um trabalho expôs o copepóde *Tisbe biminiensis* a sedimentos de Suape e verificou efeitos subletais, sugerindo que a contaminação ocorre de forma crônica e é proveniente principalmente da descarga de efluentes domésticos e industriais, como também das atividades portuárias (Maciel et al., 2016). Outro estudo de toxicidade de sedimento

do Complexo Estuarino de Suape não constatou diferença significativa de sobrevivência em *Tiburonella viscana* em relação ao controle (de Oliveira & Santos, 2011). Neste mesmo estudo, organismos de *Tisbe biminiensis* e *Nitokra* sp. mostraram resultados de sensibilidade ao sedimento de Suape semelhantes, com efeito na fecundidade destes copepódes quando comparada ao controle (de Oliveira & Santos, 2011).

A praia de Muro Alto está localizada no município de Ipojuca, ao lado do Complexo Industrial Portuário de Suape e da foz do rio Ipojuca. Os resultados de índice de reprodução de *Nitokra* sp. em exposição ao sedimento de Muro Alto foram significativamente menores que os da praia dos Carneiros ( $P=0,028$ ). Foi detectada contaminação da areia por parasitas na praia de Muro Alto, associada a problemas existentes nessas praias, como infraestrutura sanitária precária, livre trânsito de animais e falta de educação sanitária (Silva et al., 2009). Além disso, o município de Ipojuca tem histórico de despejo de esgoto não tratado no mar (Lins, 2021).

O Índice de reprodução dos organismos expostos ao sedimento da foz do rio Mamucabas se mostrou significativamente maior que o da praia do Paiva ( $p=0,048$ ). O sedimento da área estuarina do rio Mamucabas foi testado anteriormente para ser utilizado como sedimento controle para testes ecotoxicológicos com *Tisbe biminiensis*, pois é afastada de centros urbanos, de rio pequeno e fácil acesso (Cavalcanti e Souza-Pereira, 2018). Foram encontradas concentrações de metais e dois ametais baixas em comparação aos valores de TEL, com exceção do arsênio, que se encontrou em nível superior para as amostras de Mamucabas.

## 6. CONCLUSÕES

- Algumas das áreas estudadas apresentaram diferença significativa entre si em relação ao índice de reprodução de *Nitokra* sp..
- Por se tratar de sistemas estuarinos, as áreas estudadas podem ter múltiplas fontes de poluição, fazendo-se necessário a realização de mais estudos de quantificação de contaminantes e ecotoxicidade.

- É necessário obter os resultados de análises químicas das amostras coletadas para este estudo, como quantificação de metais e HPAs, para melhor compreensão dos contaminantes que causaram toxicidade em *Nitokra* sp..
- É importante realizar um monitoramento ecotoxicológico dessas áreas com relevância ecológica para avaliar se o efeito verificado é devido a uma contaminação histórica (com várias fontes de introdução crônica de poluentes), ou se é de um evento isolado, como foi o derramamento de petróleo que atingiu o litoral brasileiro em 2019.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Anderson, M.J., 2014. Permutational multivariate analysis of variance (PERMANOVA). Wiley Statsref: Stat. Ref. Online 1–15. <https://doi.org/10.1002/9781118445112.stat07841>.

Anderson, M.J., Gorley, R.N., Clarke, K.R., 2008. PERMANOVA p for PRIMER: Guide to Software and Statistical Methods.

Barbosa, C. S. et al. Insalubrious touristic environments and schistosomiasis transmission in Pernambuco, Brazil. *Revista Ambiente & Água*, v. 13, 2018.

Barbosa, V. S. et al. First report of schistosomiasis on Serrambi beach, Ipojuca, State of Pernambuco. *Revista da Sociedade Brasileira de Medicina Tropical* 48(6):780-782. 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/0037-8682-0079-2015>

Beiras, R., 2018. Hydrocarbons and oil spills. In: *Marine Pollution*, p. 89–106. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813736-9.00007-6>.

Braga, R. A. P., Uchoa, T. T., Duarte, M. T. Impactos ambientais sobre o manguezal de Suape - PE. *Acta Bot Bras* 3: 09-27. 1989.

Brum, Heloisa; Campos-Silva, Joao; Oliveira, Eliziane. (2020). Brazil oil spill response: Government inaction. *Science*. 10.1126/science.aba0369.

Carrera-Martínez D, Mateos-Sanz A, López-Rodas V, Costas E. Microalgae response to petroleum spill: an experimental model analysing physiological and genetic response of *Dunaliella tertiolecta* (Chlorophyceae) to oil samples from the tanker Prestige. *Aquat Toxicol*. 2010 Apr 15;97(2):151-9. doi: 10.1016/j.aquatox.2009.12.016. Epub 2009 Dec 22. PMID: 20089319.

Castro, M. V.; Souza-Santos, L. P. Padronização e aplicação do copépodo marinho bentônico *Tisbe biminiensis* como organismo-teste em avaliações toxicológicas de sedimentos estuarinos. Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

Cavalcanti, C. e Souza-Santos, L. P. Avaliação toxicológica de sedimentos estuarinos na costa de Pernambuco utilizando *Tisbe biminiensis* (copepoda: Harpaticoida): em busca de um sedimento controle. Painel XV Congresso brasileiro de ecotoxicologia. 2018.

Chiri, H.; Abascal, A. J.; Castanedo, S. Deep oil spill hazard assessment based on spatio-temporal met-ocean patterns. *Marine Pollution Bulletin*, 2020. v. 154, p. 111123. <<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111123>>.

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*, 2021. v. 165. 2020.

Decreto nº 8.127, de 22 de outubro de 2013. Institui o Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional.

de Oliveira, D. D.; Santos, L. P. S. Lilia. Avaliação da sensibilidade do copépodo *Tisbe biminiensis* para testes toxicológicos em água e sedimentos estuarinos. 2011. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

EPA, 2008. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) [WWW Document]. URL. <https://archive.epa.gov/epawaste/hazard/wastemin/web/pdf/pahs.pdf>.

Gerhardinger, L.C., Godoy, E.A.S., Jones, P.J.S., Sales, G., Ferreira, B.P. Marine protected dramas: the flaws of the Brazilian National System of marine protected areas. *Environ. Manag.* 47, 630–643. 2011.

IBAMA. Cartilha informativa sobre a trajetória do acidente 2019. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/manchasdeoleo-desmobilizacao>>. Acessado em 31/08/2021.

IBAMA. Manchas de óleo - litoral brasileiro. 2020. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/manchasdeoleo>>. Acessado em 31/08/2021



Khanmohammadi, A. *et al.* An overview to electrochemical biosensors and sensors for the detection of environmental contaminants. *Journal of the Iranian Chemical Society*, 2020. <<https://doi.org/10.1007/s13738-020-01940-z>>.

Koenig, M. L.; Leca, E. E.; Neumann-Leitao, S & Macedo, S. J. Impacts of the construction of the Port of Suape on phytoplankton in the Ipojuca River estuary (Pernambuco-Brazil). *Braz Arch Biol Technol* 46: 73-81. 2003.

Kuppusamy, S. *et al.* *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. [S.l.]: [s.n.], 2016. V. 236.

Leitao, S.; Matsumura-Tundisi, T. Dynamics of a perturbed estuarine zooplanktonic community: Port of Suape, PE, Brazil. *Verh. Internat. Verein. Limnol.* 26. 1981-1988. 10.1080/03680770.1995.11901089. 1998.

Lemos, R. T.; Carvalho, O. S. & Zanardi-Lamardo, E. Petroleum hydrocarbons in water from a Brazilian tropical estuary facing industrial and port development. *Mar Pollut Bull* 82: 183-188. 2014.

Lins, Letícia. Paraíso dos turistas, Porto de Galinhas enfrenta despejo de esgoto doméstico. *Oxe Recife*, 2021. <<http://oxerecife.com.br/2021/03/03/paraiso-dos-turistas-porto-de-galinhas-enfrenta-despejo-de-esgoto-domestico/>>. Acesso em 11 de janeiro de 2022.

Maciel, D.; Costa, B.; Souza-Santos, L. P.; Souza, J.; Zanardi-Lamardo, E. Avaliação da toxicidade dos sedimentos do sistema estuarino do rio Capibaribe (Pernambuco, Brasil) utilizando o copépodo bentônico *Tisbe biminiensis* Volkmann Rocco (1973). *Tropical Oceanography*. 43. 10.5914/tropocean.v43i1.5882. 2016.

Madenjian, C. P.; Unrein, J. R.; Pedro, S. Trends and biological effects of environmental contaminants in lamprey. *Journal of Great Lakes Research*. 2020. <<https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.08.014>>.

Mager, E. M.; Esbaugh, A. J.; Stieglitz, J. D.; Hoenig, R.; Bodinier, C.; Incardona, J. P.; Scholz, N. L.; Benetti, D. D.; Grosell, M. Acute embryonic or juvenile exposure to deepwater horizon crude oil impairs the swimming performance of mahi-mahi (*Coryphaena hippurus*). *Environmental Science & Technology*, v. 48, no. 12, p. 7053-7061, 2014. <https://doi.org/10.1021/es501628k>

Martínez-Gómez C, Campillo JA, Benedicto J, Fernández B, Valdés J, García I, Sánchez F. Monitoring biomarkers in fish (*Lepidorhombus boscii* and *Callionymus lyra*) from the northern Iberian shelf after the Prestige oil spill. *Mar Pollut Bull.* 2006;53(5-7):305-14. doi: 10.1016/j.marpolbul.2006.03.010. Epub 2006 Mar 28. PMID: 16698047.

Montagna, P. A. *et al.* Deep-Sea Benthic Footprint of the Deepwater Horizon Blowout. *PLoS ONE*. v. 8, n. 8. 2013.

Morales-Caselles C, Kalman J, Micaelo C, Ferreira AM, Vale C, Riba I, Delvalls TA. Sediment contamination, bioavailability and toxicity of sediments affected by an acute oil spill: Four years after the sinking of the tanker Prestige (2002). *Chemosphere*. 2008 Apr;71(7):1207-13. doi: 10.1016/j.chemosphere.2007.12.013. Epub 2008 Feb 11. PMID: 18262592.

Muniz, K. Neto, B. D. B.; Macedo, S. J. D.; Filho, W. C. Hydrological impact of the port complex of Suape on the Ipojuca river (Pernambuco-Brazil). *J Coast Res* 215:909-914. 2005.

Nasri Sissini, M. *et al.* Brazil oil spill response: Protect rhodolith beds. *Science*, v. 367, p. 156-156, 2020. <https://doi.org/10.1126/science.aba2582>

Nass, D. P. O conceito de Poluição. *Revista eletrônica de ciências*, v. 1, n. 13, 2002.

Neumann, V. H.; Medeiros, C.; Parente, L., Leitao, S. N.; Koenig, M. L. Hydrodynamism, sedimentology, geomorphology and plankton changes at Suape area (Pernambuco - Brazil) after a port complex implantation. *An Acad BrasCienc* 70: 313-323. 1998.

Oliveira, T. et al. Geochemical background indicators within a tropical estuarine system influenced by a port-industrial complex. *Marine Pollution Bulletin*. 161. 111794. 10.1016/j.marpolbul.2020.111794. 2020.

Penela-Arenaz M, Bellas J, Vázquez E. Chapter 5. Effects of the Prestige oil spill on the biota of NW Spain: 5 years of learning. *Adv Mar Biol*. 2009;56:365-96. doi: 10.1016/S0065-2881(09)56005-1. PMID: 19895978.

Pérez-Del-Olmo A, Nachev M, Zimmermann S, Fernández M, Sures B. Medium-term dynamics of element concentrations in a sparid fish and its isopod parasite after the Prestige oil-spill: Shifting baselines? *Sci Total Environ*. 2019 Oct 10;686:648-656. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.455. Epub. 2019. PMID: 31189125.

Peterson, C. H.; Rice, S. D.; Short, J. W.; Esler, D.; Bodkin, J. L.; Ballachey, B. E.; Irons, D. B.; Long-term ecosystem response to the Exxon Valdez Oil Spill. *Science*, v. 302, p. 2082-2086, 2003. <https://doi.org/10.1126/science.1084282>

Pietroski, J. P. et al. Fresh and weathered crude oil effects on potential denitrification rates of coastal marsh soil. *Chemosphere*, v. 134, p. 120-126, 2015.

Qi, Y. B., Wang, C. Y., Lv, C. Y., Lun, Z. M., Zheng, C. G. Removal capacities of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) by a newly isolated strain from oilfield produced water. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 14, 215. <https://doi.org/10.3390/ijerph14020215>. 2017.

Silva, A. P., Neumann-Leitao, S. Schwamborn, R., Gusamos, L. M., Silva, T. A. Mesozooplankton of an impacted bay in North Eastern Brazil. *Braz Arch Biol Technol* 47: 485-493. 2004.

Silva, P.; Cavalcanti, I.; Irmão, J.; Rocha, F. Common beach sand contamination due to enteroparasites on the southern coast of Pernambuco State, Brazil. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*. 51. 217-8. 10.1590/S0036-46652009000400007. 2009.

Soares, M. O. et al. Oil spill in South Atlantic (Brazil): Environmental and governmental disaster. *Marine Policy*, v. 115, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103879>

Souza, J.; Batista, R.; Ramos, M.; Soares, A. Contaminação microbiológica do perfil do solo com esgoto sanitário. *Acta Scientiarum. Technology*. 33. 2011. 10.4025/actascitechnol.v33i1.5350.

Souza-Santos, L.P.; Araújo, R.J. Water toxicity assessment in the Suape estuarine complex (PE-Brazil). *Ecotoxicology and Environmental Contamination*, v. 8, p. 59-65, 2012.

US National Academy of Science. Behavior and fate of oil - oil in the Sea III: Inputs, fates, and effects. The National Academies Press, Washington, DC, 2004.

Vieites, David R. et al. European Atlantic: the hottest oil spill hotspot worldwide. *Naturwissenschaften*, v. 91, n. 11, p. 535-538, 2004.

Vila Nova, F. V. P. e Torres, M. F. A. Avaliação ambiental em unidades de conservação: estuário do rio maracaípe, Ipojuca-pe, Brasil. *Revista de Geografia (UFPE)* V. 29, No. 3, 2012

Xu, E. G. et al. Time- and oil-dependent transcriptomic and physiological responses to deepwater horizon oil in mahi-mahi (*Coryphaena hippurus*) embryos and larvae. *Environmental Science & Technology*, v. 50, no. 14, p. 7842-7851, 2016. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b02205>

Xu, E. G.; Magnuson, J. T.; Diamante, G.; Mager, E.; Pasparakis, C.; Grosell, M.; Roberts, A. P.; Schlenk, D. Changes in microRNA-mRNA signatures agree with morphological, physiological, and behavioral changes in larval mahi-mahi treated with deepwater horizon oil. *Environmental Science & Technology*, v. 52, no. 22, p. 13501-13510, 2018. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b04169>

Zanardi-Lamardo E.; SCHETTINI, C. A. F.; Vieira-Campos, A. A.; Cabral, C. B.; Silva, M. S. Intratidal variability and transport of petroleum aromatic hydrocarbons in an anthropized tropical estuarine system: the Suape estuary (8.4S 35W). *Braz J Oceanogr* 66: 47-57. 2018.