



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR  
CURSO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**RAFAELLA NOBRE GARCIA**

**ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS E RISCOS À SAÚDE HUMANA  
PROVENIENTES DOS DERRAMAMENTOS DE ÓLEO OCORRIDOS NO LITORAL  
DO NORDESTE ENTRE 2019 E 2022**

**FORTALEZA**

**2023**

RAFAELLA NOBRE GARCIA

ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS E RISCOS À SAÚDE HUMANA  
PROVENIENTES DOS DERRAMAMENTOS DE ÓLEO OCORRIDOS NO LITORAL DO  
NORDESTE ENTRE 2019 E 2022

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Curso de Graduação em Ciências Ambientais do  
Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da  
Universidade Federal do Ceará, como requisito à  
obtenção do título de Bacharel em Ciências  
Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Rivelino Martins Cavalcante

FORTALEZA  
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

G211a Garcia, Rafaella Nobre.

Análise dos impactos ambientais e riscos à saúde humana provenientes dos derramamentos de óleo ocorridos no litoral do Nordeste entre 2019 e 2022 / Rafaella Nobre Garcia. – 2023.  
51 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Curso de Ciências Ambientais, Fortaleza, 2023.  
Orientação: Prof. Dr. Rivelino Martins Cavalcante .

1. derramamento de petróleo. 2. contaminação. 3. impactos. 4. gestão ambiental. I. Título.  
CDD 333.7

---

RAFAELLA NOBRE GARCIA

ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS E RISCOS À SAÚDE HUMANA  
PROVENIENTES DOS DERRAMAMENTOS DE ÓLEO OCORRIDOS NO LITORAL DO  
NORDESTE ENTRE 2019 E 2022

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Graduação em  
Ciências Ambientais do Instituto de Ciências  
do Mar (LABOMAR) da Universidade  
Federal do Ceará, como requisito parcial à  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências  
Ambientais.

Aprovada em: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_ .

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Rivelino Martins Cavalcante (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Fábio de Oliveira Matos  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dra. Gabrielle Melo Fernandes  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

À minha família e amigos, por todo apoio.

## **AGRADECIMENTOS**

À minha mãe, Luciene, que sempre se fez presente como apoiadora e principal incentivadora para conclusão deste curso. Ao meu pai, Antonio, que mesmo em sua ausência por forças maiores, a todo momento, sem exceção, esteve comigo no coração e pensamento. À minha irmã, Tainá, que serve de inspiração para que todas as dificuldades que aparecem no meu caminho sejam superadas. Você me inspira imensamente a buscar sempre minha melhor, e mais forte versão. Ao meu irmão, Danusio, que me motiva a ser corajosa, seguir o que acredito, estar sempre pronta para desafiar-me e reencontrar-me. Sou eternamente grata pelo esforço e dedicação que em mim depositaram ao longo do meu crescimento e formação.

Aos meus amigos, por todos os momentos de apoio e conversas, vocês são imprescindíveis e tornam meus dias mais leves e divertidos. Obrigada também por todos os puxões de orelha necessários, contem comigo sempre.

Aos meus colegas de sala e do Curso de Ciências Ambientais por todos os ciclos enfrentados juntos. Foram 4 anos de intensas jornadas e sou muito grata por ter conhecido cada um de vocês, espero reencontrá-los em breve.

Aos docentes do Instituto de Ciências do Mar e do curso de Ciências Ambientais por todo o aprendizado proporcionado ao longo dessa graduação, por servirem de estímulo e fôlego em meio a tantas incertezas vivenciadas em nossa área de atuação, e pelas aulas incríveis. Em especial; Prof. Dra. Danielle Sequeira Garcez, Prof. Dr. Fábio de Oliveira Matos, Prof. Dra. Janaína Melo Oliveira, Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Soares, e ao meu orientador, Prof. Dr. Rivelino Martins Cavalcante.

Ao CNPq, pelo financiamento da pesquisa através da Bolsa de Iniciação Científica.

Aos meus colegas do Laboratório de Análise de Contaminantes Orgânicos (LACOr) por todos os ensinamentos dados e pela possibilidade de realização deste trabalho.

Aos participantes da banca examinadora pelo tempo disponibilizado.

De tudo, ao meu amor serei atento  
Antes, e com tal zelo, e sempre, e tanto  
Que mesmo em face do maior encanto  
Dèle se encante mais meu pensamento.

Quero vivê-lo em cada vão momento  
E em louvor hei de espalhar meu canto  
E rir meu riso e derramar meu pranto  
Ao seu pesar ou seu contentamento.

E assim, quando mais tarde me procure  
Quem sabe a morte, angústia de quem vive  
Quem sabe a solidão, fim de quem ama

Eu possa me dizer do amor (que tive):  
Que não seja imortal, posto que é chã  
Mas que seja infinito enquanto du  
(Vinícius de Moraes)

## **RESUMO**

Os derramamentos de petróleo que afetaram o litoral do brasileiro entre os anos de 2019 e 2022 persistem como um desafio ambiental de grande magnitude, levantando preocupações sobre seus impactos duradouros. O desastre ambiental teve sua primeira ocorrência no período de agosto de 2019 e contou com ressurgências nos anos seguintes. Com impactos que abrangem mais de 3.000 quilômetros da costa, se espalhando por aproximadamente 11 estados e 55 áreas protegidas, caracterizou-se como o maior acidente ambiental ocorrido no Brasil e em regiões costeiras. O principal objetivo desta pesquisa é observar a contaminação por Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) empregando uma metodologia de coleta e análise de amostras de água e sedimento em seis pontos distintos no litoral cearense, considerando a legislação vigente sobre contaminação e ponderando as ações de resposta aplicadas pelo Governo na mitigação dos efeitos. Os resultados revelaram concentrações significativas, evidenciando a gravidade da contaminação. Os ecossistemas marinhos e comunidades locais enfrentam consequências persistentes na saúde e economia. A demora do governo em agir destaca lacunas na prontidão para crises ambientais, enfatizando a necessidade de respostas rápidas e eficazes, demandando revisão na implementação de políticas ambientais. A pesquisa contribui para a compreensão dos desafios enfrentados e destaca a importância da gestão ambiental eficiente.

**Palavras-chave:** derramamento de petróleo; contaminação; impactos; gestão ambiental.

## ABSTRACT

The oil spills that affected Northeast and Southeast of Brazil from 2019 to 2022 persist as a significant environmental challenge, raising concerns about lasting impacts. The environmental disaster first occurred in August 2019 and has seen resurgences in the years since. With impacts covering more than 3,000 kilometers of coastline, spreading across approximately 11 states and 55 protected areas, it has been characterized as the largest environmental accident to have occurred in Brazil and in coastal regions. This research aims to assess Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) contamination through a methodology for collecting and analyzing water and sediment samples at six distinct locations along the coastline of Ceará, considering current legislation on contaminants and weighing up the response actions applied by the government to mitigate the effects. Results revealed significant concentrations, indicating the gravity of contamination. Persistent health and economic consequences are observed in marine ecosystems and local communities. Government delays in action highlight failures in addressing environmental crises, emphasizing the need for effective responses and urging a review of environmental policy implementation. The study adds to the understanding of the challenges faced and comprehension of the significance of effective environmental governance.

**Keywords:** oil spill; contamination; impacts; environmental resource management.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Movimento e padrões de circulação das correntes oceânicas no Brasil.....	15
Figura 2 – Fluxo de navios-tanque no Oceano Atlântico Sul e no litoral brasileiro em dezembro de 2023 .....	16
Figura 3 – Mapa das localidades com ocorrências do derramamento no Nordeste brasileiro. ....	17
Figura 4 – Aspecto do óleo encontrado na costa do Brasil .....	18
Figura 5 – Animais e ecossistemas oleados durante o desastre ambiental de 2019. ....	19
Figura 6 – Comunidade local se voluntaria para remover o óleo na costa de Itapuama (Pernambuco) .....	20
Figura 7 – Imagem registrada pelo satélite Aqua-Modis, no Litoral Norte do Rio Grande do Norte.	22
Figura 8 – Mapa das ocorrências de óleo nas praias do litoral cearense até fevereiro de 2022. ...	28
Figura 9 – Mapa dos locais de amostragem. ....	29
Figura 10 – Campanha 1: Concentrações para sedimento e água, respectivamente. ....	33
Figura 11 – Campanha 2: Concentrações para sedimento e água, respectivamente. ....	33
Figura 12 – Concentrações para a localidade da Sabiaguaba, em duas campanhas, separadas por sedimento e água, respectivamente. ....	34
Figura 13 – Concentrações para a localidade do Porto das Dunas, em duas campanhas, separadas por sedimento e água, respectivamente. ....	34
Figura 14 – Concentrações para a localidade da Prainha do Canto Verde, em duas campanhas, separadas por sedimento e água, respectivamente.....	35
Figura 15 – Concentrações para a localidade da Praia de Pontal do Maceió, em duas campanhas, separadas por sedimento e água, respectivamente.....	35
Figura 16 – Concentrações para a localidade da Praia do Cumbe, em duas campanhas, separadas por sedimento e água, respectivamente. ....	36
Figura 17 – Concentrações para a localidade de Canoa Quebrada, em duas campanhas, separadas por sedimento e água, respectivamente. ....	36

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Municípios atingidos pelo derramamento de óleo até fevereiro de 2022 .....	26
Tabela 2: Valores médios para cada ponto de amostragem e o valor máximo disposto pela COEMA N°8/2019 para Classe 1 - Águas Salinas. ....	38
Tabela 3: Valores médios para cada ponto de amostragem e o valor máximo disposto pelo Anexo II - COEMA N°8/2019 (Resolução CONAMA N° 460/2013) para solos. ....	39

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1 O derramamento e a possível origem. ....	13
1.2 Extensão do derramamento .....	16
1.3 Impactos ambientais e socioeconômicos .....	17
1.4 Investigação .....	21
1.5 Reaparecimento de manchas de óleo em 2022 .....	23
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>25</b>
2.1 Objetivo geral .....	25
2.1 Objetivos específicos .....	25
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>26</b>
3.1 Área de Estudo.....	26
3.2 Amostragem.....	29
3.3 Preparação das amostras .....	29
3.4 Clean-up.....	31
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>33</b>
4.1 Concentração de HPAs .....	33
4.2 Avaliação ambiental e estimativa de risco ao meio ambiente .....	37
4.2.1 COEMA N° 8, CONAMA N° 357/2005 e CONAMA N° 460/2013 .....	37
4.2.2 Plano Nacional de Contingência (PNC) Decreto n° 10.950/2022.....	39
4.3 Perigo à saúde .....	44
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>48</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 O derramamento e a possível origem

Durante o período de agosto de 2019 à junho de 2021 o litoral do Nordeste brasileiro foi invadido por aparições intermitentes e misteriosas de um óleo de aspecto viscoso e cor escura. Dividindo-se entre ocorrências numerosas no primeiro ano e episódios pontuais nos anos seguintes, 2020 e 2021, aos quais ocorriam principalmente após períodos de fortes ventos e maré alta o óleo foi contaminando diversos ecossistemas, entre eles; recifes de arenito, recifes de coral, bancos de rodolitos, bancos de algas marinhas, praias arenosas, manguezais e estuários; ambientes notoriamente associados ao turismo e a pesca de subsistência. Ao todo foram aproximadamente 3.200 quilômetros afetados pelo derramamento de petróleo, abrangendo 11 estados, dos quais 9 são na região Nordeste, que foi a mais afetada pelo ocorrido (Soares *et al.* 2020a; Reddy, 2022).

Diante disso, uma das etapas iniciais após um acidente de petróleo deste porte é a identificação da origem do derramamento, a fim de responsabilizar os culpados e traçar estratégias de mitigação e contenção do material. Como existem muitos tipos distintos de petróleo durante uma situação de vazamento e/ou derramamento para que haja a diferenciação é necessário que seja feito um processo de investigação conduzida através da composição química do petróleo encontrada no meio ambiente, chamado de *fingerprinting*. Isso porque apesar de praticamente todos os óleos conterem as mesmas estruturas de hidrocarbonetos, as quantidades relativas das estruturas irão depender diretamente da fonte. Para guiar essa etapa de reconhecimento do óleo derramado são utilizadas comumente as análises por cromatografia e por espectrometria de massa (isótopos de carbono estáveis). Então para determinações através de diagnósticos geoquímicos são escolhidos biomarcadores de petróleo capazes de definir a origem de cada óleo (*fingerprint*), que é única (Oliveira, 2020; Noaa, 2015).

Diante da urgência em compreender a origem e a extensão desse desastre, estudos foram conduzidos para identificar a fonte do óleo derramado e a busca pela origem do óleo tornou-se uma prioridade para cientistas, pesquisadores e autoridades ambientais, visando não apenas mitigar os impactos imediatos, mas também estabelecer medidas preventivas para futuros incidentes similares.

Lourenço (2020) liderou a investigação inicial de caracterização química na qual surgiu a primeira caracterização do óleo proveniente do derramamento, através de razões diagnósticas, cromatografia e análise do intemperismo provou-se que 10 das 11 amostras coletadas pelo estudo vinham da mesma origem, gerando dados para as comparações seguintes.

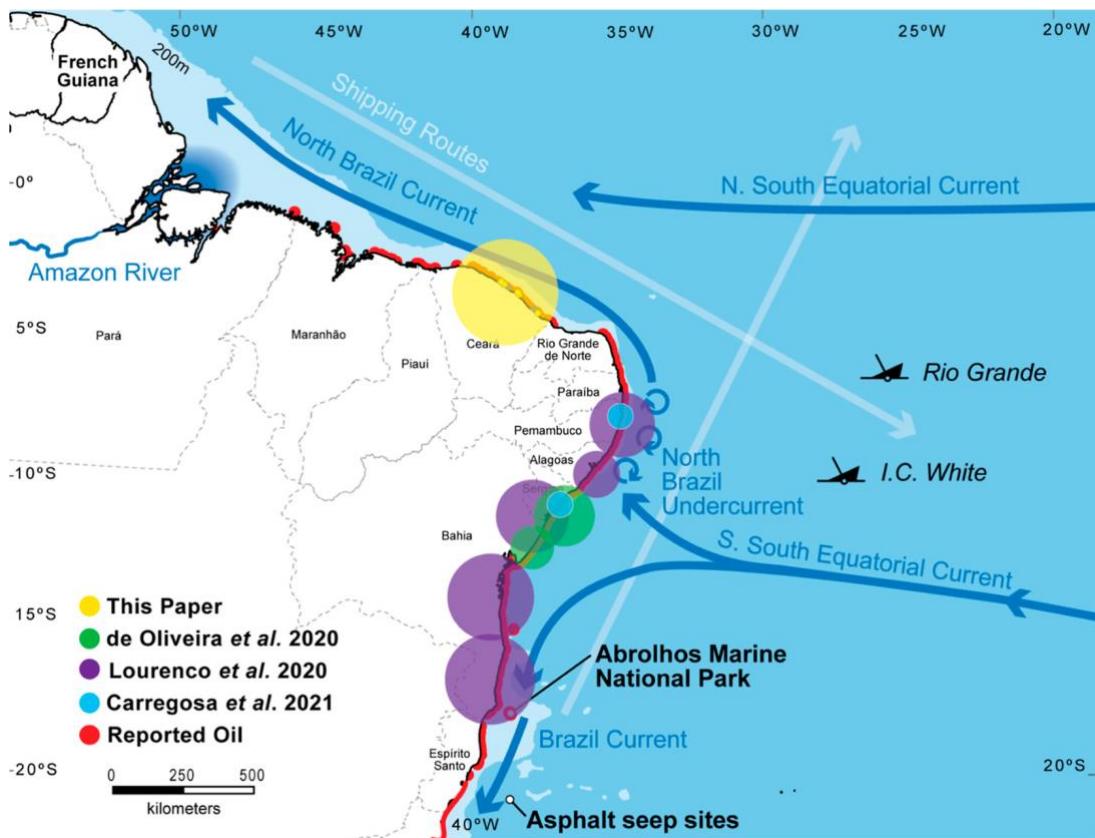
Conforme Oliveira (2020) amostras coletadas nos estados de Sergipe (7) e Bahia (2) foram comparadas com amostras de petróleo bruto produzido no Brasil (LEPETRO), Oriente Médio, Nigéria e Venezuela. Concluindo que, segundo características geoquímicas, o óleo encontrado no litoral nordestino apresentou compatibilidade com o petróleo venezuelano, além de indicar forte processo de intemperismo. Apesar de haver similaridades entre as amostras do óleo brasileiro e venezuelano, visto que ambos têm origem de matéria orgânica marinha, as bacias sedimentares apresentam fases de deposição completamente distintas entre si, provocando diferentes condições físico-químicas que resultam em produtos de matéria orgânica diferenciados para cada bacia. Para que fosse feita tal identificação foram utilizados dados do LEPETRO, que detém variados tipos de petróleo produzidos no Brasil. A escolha de amostras de óleo provenientes do Oriente Médio, Nigéria e Venezuela baseou-se no fato de que os navios petrolíferos que transportam o óleo desses países frequentemente percorrem rotas que atravessam o Oceano Atlântico, passando pela região nordeste do Brasil. Essa área é fortemente influenciada pela Corrente Sul Equatorial (CSEs), responsável por direcionar as águas em direção ao território brasileiro.

Conforme Reddy (2022) as similaridades apresentadas entre as razões diagnósticas nos três estudos em questão são o suficiente para afirmar que as amostras coletadas nas pesquisas tinham a mesma origem, contendo material refinado e proveniente de matéria orgânica marinha depositada sob condições anóxicas e rocha carbonática. Nesse contexto, o histórico de deposição encontrado condiz com bacias do Atlântico Sul presentes na Colômbia, Venezuela e Brasil. Entretanto, é significativo observar que as amostras analisadas durante a pesquisa revelaram características únicas vinculadas à Bacia de Maracaibo, na Venezuela.

Evidências indicam que o material tenha sido despejado próximo à Corrente Sul Equatorial (CSEs) ou próximo à sua bifurcação, sendo subsequentemente transportado para o Norte e para o Sul por meio das Correntes de Contorno Oeste (CCO) (Figura 1). Posteriormente, a Corrente Norte do Brasil conduziu o óleo primeiramente para o Norte e, futuramente, para a direção Oeste, até as águas do Maranhão. Simultaneamente, a Corrente do Brasil, dirigindo-se para

o Sudoeste, deslocou o óleo para o Sul, ao longo da plataforma continental, alcançando a região do Rio de Janeiro. Do talude continental, o óleo possivelmente seguiu em direção à costa por meio de correntes perpendiculares. Em seguida, foi movido em direção à costa, provavelmente pela interação de ventos e através das correntes de maré (Reddy, 2022; Lessa, 2021; Soares *et al.* 2020a).

Figura 1 – Movimento e padrões de circulação das correntes oceânicas no Brasil.



Fonte: Reddy, 2022.

Por representar a principal rota marítima entre América do Sul e Europa, e também por conectar o Canal do Panamá ao Cabo da Boa Esperança, o tráfego internacional de comércio e distribuição de petróleo resulta em milhares de navios petroleiros navegando pela costa brasileira todos os anos, em especial pela costa do Nordeste que apresenta posição privilegiada para rota dos navios-tanques (Figura 2) (Zacharias *et al.*, 2021).

Figura 2 – Fluxo de navios-tanque no Oceano Atlântico Sul e no litoral brasileiro em dezembro de 2023



Fonte: Marine Traffic (Internet), 2023.

## 1.2 Extensão do derramamento

No dia 30 de agosto de 2019 os primeiros resquícios de óleo cru chegaram à costa da Paraíba, mas apenas em 2 de setembro de 2019 foi registrada a primeira mancha de petróleo na costa brasileira, atingindo as localidades de Ipojuca (Praia de Gamboa) e Olinda (Praia Del Chifre) em Pernambuco (IBAMA, 2019). Posteriormente, surgiram pelotas de óleo em diferentes direções nos demais Estados. Ainda não havia clareza sobre a origem ou se as ocorrências continuariam (Marinha, 2021).

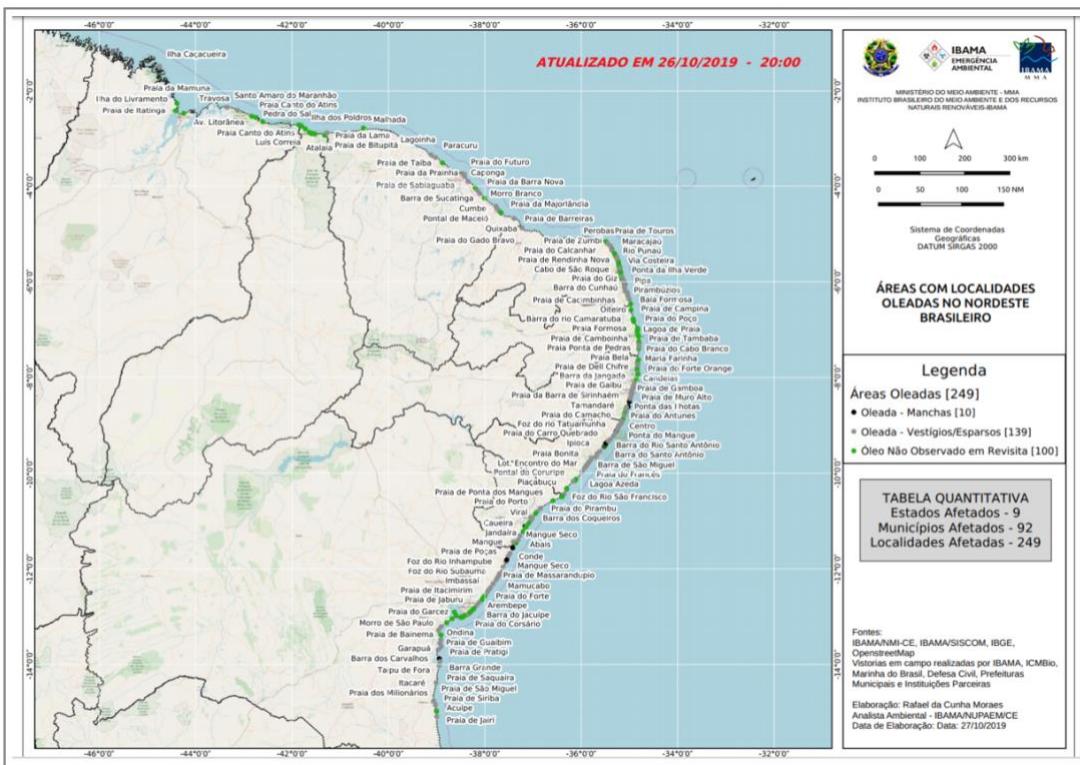
Com o passar dos dias a dimensão do derramamento foi se intensificando (Figura 3), culminando no acionamento do Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional (PNC), tendo em vista que um derramamento de óleo obrigatoriamente deve ser notificado aos órgãos responsáveis; Ibama, à Marinha do Brasil e à Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Segundo Zacharias *et al.* (2021) em 11 de outubro de 2019 foi formalizado o Plano de Contingência.

De acordo com Soares *et al.* (2020b) estima-se que aproximadamente 4 meses após o primeiro avistamento mais de 3.000 quilômetros do litoral brasileiro já apresentavam sinais de derramamento em pelo menos 980 de suas praias, e iniciou-se um processo de mobilização para

análise, identificação da origem e estimativa de riscos por parte de cientistas da área, órgãos do Governo e da Marinha do Brasil.

De agosto de 2019 à janeiro de 2020, mais de 5.000 toneladas de resíduos de óleo foram retiradas das praias na costa do Nordeste, enquanto alguns resquícios pequenos de petróleo ainda são encontrados em algumas localidades, situação que pode persistir tendo em vista que parte do óleo permanece preso em áreas costeiras rasas, nos sedimentos marinhos e em recifes. Algumas amostras coletadas ao longo do litoral nordestino foram analisadas e os animais contaminados também foram identificados (Lourenço *et al.*, 2020).

Figura 3 – Mapa das localidades com ocorrências do derramamento no Nordeste brasileiro.



Fonte: IBAMA, 2019.

### **1.3 Impactos ambientais e socioeconômicos**

Segundo Soares *et al.* (2020a) mais de 40 áreas de proteção foram prejudicadas, incluindo ecossistemas como: costões rochosos, manguezais, pradarias, sistemas estuarinos, praias, bancos de rodolitos e recifes de corais.

Embora os limites geográficos possivelmente afetados sejam conhecidos, há apreensão de que essas substâncias tóxicas provenientes do óleo cru possam ter impactos severos em ainda mais áreas importantes para a conservação da biodiversidade marinha nacional, incluindo o Parque Nacional de Abrolhos, responsável por abrigar o maior complexo de recifes de coral no sul do Oceano Atlântico, quase 9 mil quilômetros quadrados, refúgio de espécies como o coral-cérebro brasileiro (*Mussismilia braziliensis*) e o ameaçado papagaio-azul (*Scarus trispinosus*) (Magris, Giarrizzo, 2020; Escobar, 2019).

Lourenço (2020) se refere ao óleo encontrado na costa do Brasil como sólido e mais denso do que a água, o que sugere uma emulsão estável ou mesoestável a partir de processos de intemperismo, como por exemplo: evaporação, dissolução, emulsificação, biodegradação e fotooxidação. Apesar disso, estudos desenvolvidos mostraram que nenhuma mistura complexa não-resolvida (MCNR) foi encontrada, além da presença de hidrocarbonetos alifáticos leves, indicando que tais processos foram mínimos durante o transporte em direção à costa.

Figura 4 – Aspecto do óleo encontrado na costa do Brasil



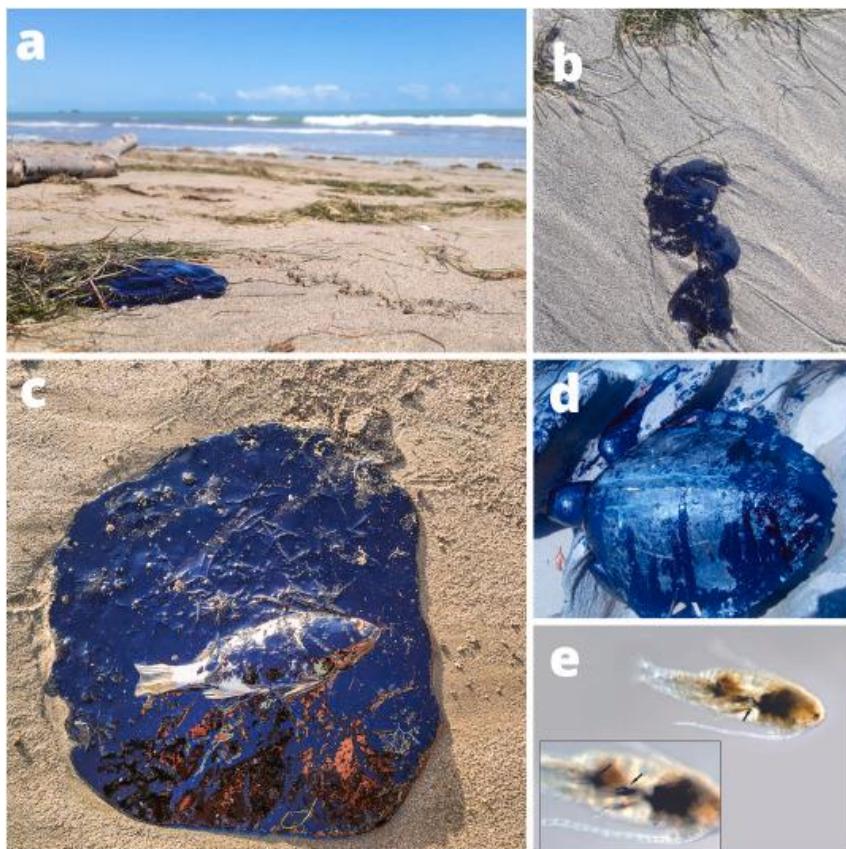
Fonte: Lourenço *et al.*, 2020

Devido à sua densidade, o óleo derramado afeta não apenas o ecossistema costeiro, mas também os ecossistemas subaquáticos. Nesse contexto, há a possibilidade de que resquícios que estejam no fundo do mar sejam ainda transportados para a costa e reinjetados na coluna d'água por meio de correntes, ventos e ondas transversais, que são comuns na região costeira, tempestades e até mesmo atividades humanas. O que pode resultar em contaminação recorrente ao longo do tempo. Tal fato indica que a magnitude total dos danos ambientais e dados ecotoxicológicos foram subestimados (Soares *et al.*, 2020b; Magris, Giarrizzo, 2020). O derramamento de óleo afetou

diretamente setores da biodiversidade marinha, meios de subsistência da população local e a saúde pública. (Brum *et al.*, 2020).

A principal causa para preocupação sanitária envolvendo o acontecido se dá por razão do envenenamento químico presente no ar, água e também no substrato do ecossistema, fato que pode levar ao acúmulo de compostos tóxicos. Tartarugas, pássaros e peixes foram encontrados cobertos de óleo, alguns deles mortos Araújo *et al.* (2020).

Figura 5 – Animais e ecossistemas oleados durante o desastre ambiental de 2019.



Fonte: Soares e Rabelo, 2023

Araújo *et al.* (2020) discorre sobre o impacto do derramamento de óleo sob as comunidades tradicionais pesqueiras, tendo em vista que os pescadores foram impedidos de consumir e comercializar peixes, crustáceos e moluscos que caracterizam seus meios de sobrevivência e compõe grande parte da economia local.

Figura 6 – Comunidade local se voluntaria para remover o óleo na costa de Itapuama (Pernambuco)



Fonte: Araújo *et al.*, 2020

Diante desse contexto, houve a queda nas vendas e na ingestão de pescado e frutos do mar nas regiões afetadas, fator decorrente principalmente da incerteza acerca do nível de acumulação biológica de toxinas nos animais afetados e da iminente insegurança para alimentação humana, uma vez que a ingestão de tais compostos representa um risco de longo prazo para saúde da população (Ladle *et al.*, 2019).

O desastre ambiental envolvendo derramamento de óleo cru na costa brasileira se destaca como uma grave emergência ecossistêmica e de saúde pública, uma vez que os compostos encontrados são classificados como carcinogênicos e podem provocar complicações neurológicas, renais, hepáticas, dermatológicas, pulmonares, sanguíneas, abortos e até levar à morte aqueles que inalem, ingiram ou tenham contato direto em grandes quantidades (Araújo *et al.*, 2020)

Segundo Informe da Secretaria Executiva de Vigilância em Saúde do estado de Pernambuco (2020) sobre intoxicações exógenas relacionadas à exposição ao petróleo no litoral do estado, houveram 402 casos suspeitos envolvendo intoxicação por óleo. A maioria caracteriza-se por sintomas cutâneos (362 casos) seguidos de sintomas respiratórios (266). Dentre os casos notificados, 208 relataram trabalho voluntário.

#### **1.4 Investigação**

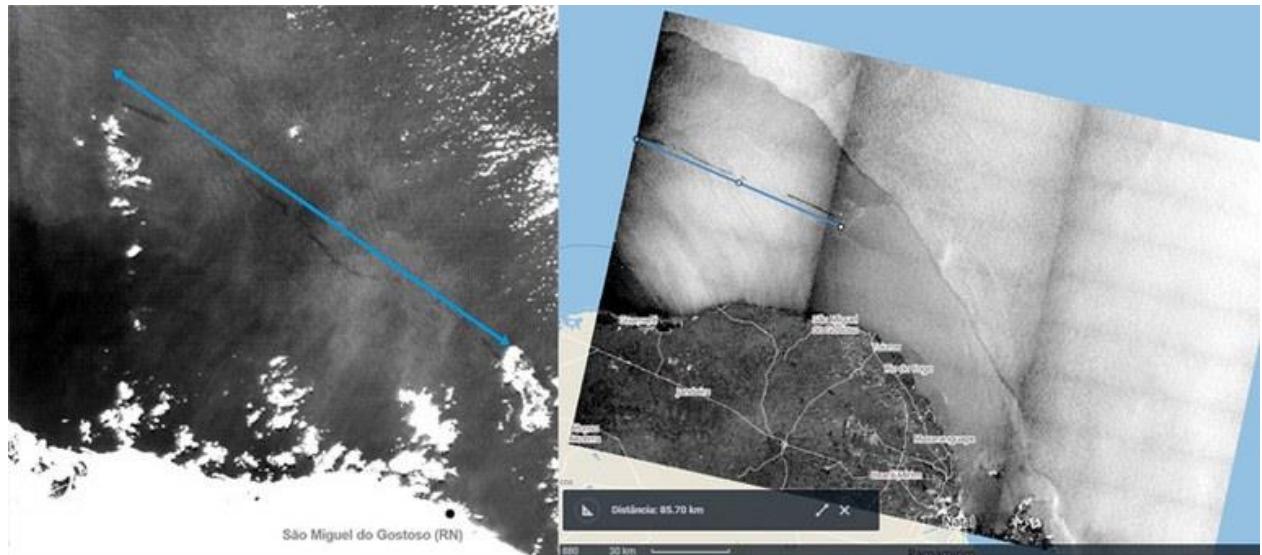
No que diz respeito às possíveis origens, foram discutidas algumas hipóteses; 1) o óleo poderia ter sido causado por um despejo ilegal, intencional ou não; causando um derramamento de petróleo bruto à aproximadamente 700 km da costa brasileira; 2) poderia ser proveniente de um naufrágio, antigo ou novo; 3) Oriundo de uma plataforma de extração (Soares *et al.*, 2020b).

A primeira hipótese para o autor do desastre ambiental aos quais os custos de limpeza chegaram a custar mais de R\$180 milhões para as três esferas do poder público (federal, estadual e municipal) foi levantada pela Polícia Federal e foi amplamente discutida após quase três anos do ocorrido (Brasil, 2021).

A teoria em questão responsabilizava o navio petroleiro grego Bouboulina pelos derramamentos de 2019, porém apesar de extensivamente difundida, durante as investigações por laboratórios de instituições federais deduziu-se que as evidências recolhidas pela PF e Marinha não eram suficientes para indicar a Delta Tankers, empresa responsável pela embarcação. Principalmente por que uma identificação feita pelo Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites (Lapis) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) elucida uma grande mancha de óleo quarenta quilômetros de São Miguel do Gostoso, na costa do Rio Grande do Norte, reforçando a hipótese de ter havido um grande vazamento de óleo ainda no dia 24 de julho, período em que a embarcação ainda não havia passado pela localidade.

Nesse contexto, pesquisadores do Lapis responsáveis pela descoberta, levantaram a hipótese de que o vazamento possa ter partido de um navio-fantasma que tenha navegado a costa do Nordeste sem identificação, ao qual ganhou força já que a imagem anterior encontrada pelo laboratório (UFAL, 2019) na mesma localização havia detectado a presença de navios ao lado da mancha de óleo.

Figura 7 – Imagem registrada pelo satélite Aqua-Modis, no Litoral Norte do Rio Grande do Norte.



Fonte: Laboratório de Análise e Processamento de Imagens de Satélites (Lapis), 2019.

Apesar das imagens de satélite e dos trabalhos de modelagem oceanográfica contribuírem para traçar prováveis rotas percorridas pelo óleo, a origem continuou desconhecida e o ressurgimento imprevisível.

Ainda em outubro de 2019 análises do Lepetro/Igeo (Centro de Excelência em Geoquímica do Petróleo, Energia e Meio Ambiente do Instituto Geociências da Universidade Federal da Bahia - UFBA) indicaram correlação entre o óleo encontrado no litoral nordestino e petróleo de origem venezuelana. As análises foram feitas por iniciativa própria com 27 amostras de petróleo, das quais 9 foram selecionadas para análises geoquímicas, sendo duas encontradas nas praias da Bahia e sete na costa de Sergipe (UFBA, 2019).

Embora o óleo apresentasse traços de origem venezuelana na sua composição não significa que o país tenha responsabilidade pelo crime ambiental ocorrido, ou que tenha sido uma embarcação venezuelana a responsável pelo derramamento, tendo em vista que embarcações de outros países poderiam transportar esse óleo. Além disso, havia também a possibilidade de que, durante uma manobra de transferência de petróleo “*ship-to-ship*” entre navios clandestinos este vazamento tenha ocorrido (G1, 2020; Jansen, 2019).

Após diversas hipóteses serem consideradas e investigadas durante a CPI, no final de 2020 a Marinha encerrou os trabalhos investigativos com o argumento de que buscas por responsáveis foram inconclusivas (Jornal Nacional, 2020).

Ainda nesse contexto, é levantada a questão de que houve articulação por meio do governo Bolsonaro para desencorajar o prosseguimento da CPI a fim de mascarar as omissões na resposta ao acidente. Junto a isso, no dia 25 de março de 2020 os integrantes da mesma chegaram a aprovar a renovação dos trabalhos em grupo por mais 60 dias, porém, ao chegar na etapa de votação em plenário os deputados ultrapassaram a data-limite para votação da matéria segundo o regimento da Câmara. Assim, a CPI destinada para investigação do derramamento encerrou-se sem que fossem cumpridas as audiências previstas e sem a conclusão de um relatório final (Jardim, 2021)

Soares *et al.* (2020b) destaca 4 fatores como os determinantes para explicar a dimensão do derramamento acontecido em 2019, sendo estes; 1) as características do derramamento, 2) as características dos locais afetados no Brasil, 3) o elevado número de áreas marinhas e costeiras protegidas afetadas pelo óleo cru e por fim, 4) a ausência de medidas/demora para agir e mitigar os danos por parte do Governo Federal.

Escobar (2019) se refere às ações do governo como demoradas e confusas, causando uma “campanha de desinformação” e consequentemente, ações insuficientes. Brum *et al.* (2020), por outro lado, descrevem que o Plano de Contingência foi implementado erroneamente, uma vez que não apresentava um conjunto abrangente de diretrizes para organização e mitigação de danos ambientais. Explanando ainda, as intervenções voluntárias da população, os quais mobilizaram-se para remoção do óleo cru, muitas vezes sem suporte ou equipamento de proteção individual.

## 1.5 Reaparecimento de manchas de óleo em 2022

Segundo informações do Governo do Estado do Ceará (2022), o ressurgimento de óleo no litoral cearense em 25 de janeiro de 2022 preocupou órgãos estaduais e municipais, os quais retomaram ações preventivas por meio das equipes de Vigilância Ambiental dos municípios para mitigar danos à saúde dos moradores com orientações da SESA (Secretaria da Saúde do Estado) e da COVAT (Coordenadoria de Vigilância Ambiental e Saúde do Trabalhador).

A partir do dia 27 de janeiro de 2022, a SEMA (Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Ceará) comunicou por meio de informe digital a aparição do óleo, assim começando novo monitoramento e identificação de pontos afetados, entrando em contato com os secretários dos municípios da linha de costa do Estado do Ceará, envolvendo os pontos focais do projeto Planejamento Costeiro e Marinho do Ceará (PCM) com o objetivo de um diagnóstico inicial

confiável e ágil. Junto a esses profissionais, docentes do Instituto de Ciências do Mar (Labomar) - Universidade Federal do Ceará (UFC) e Universidade Estadual do Ceará (UECE) foram chamados a realizar uma inspeção técnica para investigar se a origem do novo derramamento seria a mesma de 2019. Contudo, o estudo conduzido por Neto (2022) encontrou evidências de que o petróleo que atingiu a costa no ano de 2022 não possui ligação com o desastre ambiental de 2019, tendo em vista que os óleos apresentaram diferentes perfis de biomarcadores.

Nesse contexto, faz-se necessário o estudo e acompanhamento das localidades afetadas, não só de imediato, mas também nos anos seguintes, à fim de monitorar e mitigar danos ambientais

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Avaliar os impactos ambientais decorrentes do acidente com derramamento de óleo no litoral brasileiro, usando como marcadores moleculares orgânicos os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs).

### 2.1 Objetivos específicos

- Determinar os níveis de HPAs nas praias que receberam óleo no evento de 2022.
- Estimar riscos ecológicos, ambientais e socioeconômicos.
- Analisar a aplicação das medidas preconizadas no Plano de Contingência Federal e Portaria de Balneabilidade do Estado do Ceará.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Este estudo foi dividido em duas partes: amostragem e tratamento de dados em laboratório e análise dos resultados. As coletas feitas em 2022 dividiram-se em 6 pontos escolhidos no Litoral Leste do Ceará. Posteriormente, os dados encontrados foram equiparados com os VMPs (valores máximos permitidos) por HPAs (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos) dispostos na Resolução COEMA N° 8/2019 e na Nota Técnica N° 27/2019 - ANVISA que dispõe acerca de parâmetros que oferecem riscos para a saúde humana no que diz respeito ao consumo de pescados provenientes das praias contaminadas pelo derramamento de óleo no litoral nordestino, além de correlacionar medidas dispostas no Plano Nacional de Contingência com as ações de respostas tomadas em 2022.

#### **3.1 Área de Estudo**

Detentora de nove dos dezessete estados costeiros brasileiros, a orla do Nordeste é caracterizada por cenários naturais estonteantes que são rotineiramente foco de investimento dos setores público e privado com fins de movimentar e aquecer o turismo (Sousa, 2019).

De acordo com dados levantados em 2019 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) juntamente com o Ministério do Turismo (MTur), a região Nordeste destaca-se como destino de visitação turística, ficando atrás apenas do Sudeste do país.

Segundo boletim de demanda turística (2015-2019) divulgado pelo Governo Federal na Revista Dados e Fatos, os destinos cearenses mais procurados em 2019 para lazer foram Fortaleza (64%) e Jijoca de Jericoacoara (42,1%) principalmente por pelo clima e paisagens.

Diante disso, mesmo com ocorrências anteriores no litoral brasileiro, o derramamento de 2019 caracteriza-se como o maior desastre já registrado, principalmente, em razão do grande impacto em termos de extensão geográfica. (Silva, 2021).

Em relação ao surgimento de manchas de óleo notado em janeiro de 2022, informações da Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMA) trazem a lista de municípios atingidos até a data de 16/02/2022, totalizando 65 praias (as mais afetadas estando presentes no Litoral Leste), sendo estas;

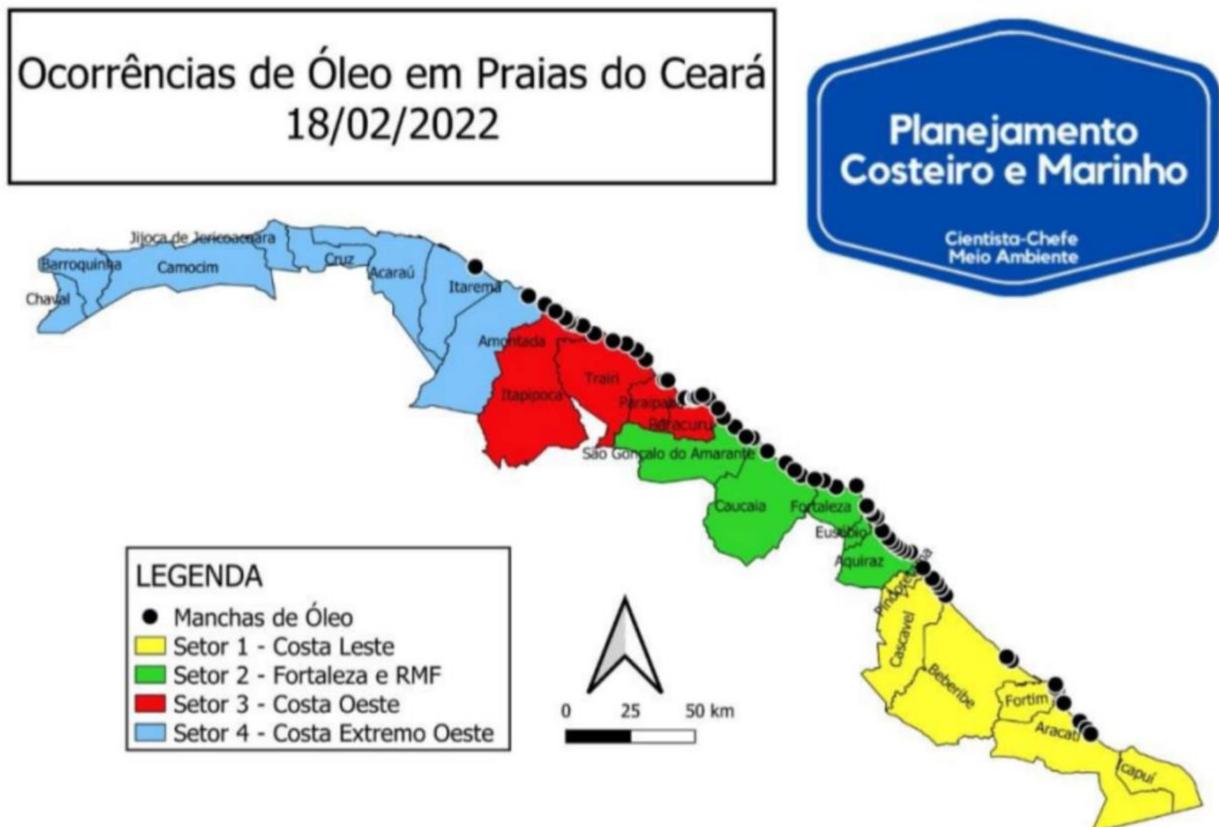
Tabela 1: Municípios atingidos pelo derramamento de óleo até fevereiro de 2022.

Setor 1 (Litoral Leste) - Aracati	Praia do Cumbe, Praia de Canoa Quebrada, Praia de Majorlândia, Praia de Quixaba, Praia de Fontainha e Praia da Lagoa do Mato;
Setor 1 (Litoral Leste) - Fortim	Praia Canoé e Praia do Forte;
Setor 1 (Litoral Leste) - Beberibe	Praia do Parajuru e Prainha do Canto Verde;
Setor 1 (Litoral Leste) - Cascavel	Praia de Barra Nova, Praia de Barra Velha, Praia de Águas Belas e Praia da Caponga;
Setor 2 (Fortaleza e Região Metropolitana) - Aquiraz	Praia do Porto das Dunas, Praia do Japão, Prainha, Praia da Marambaia, Praia Bela, Praia do Presídio, Praia do Iguape, Praia do Barro Preto e Praia do Batoque;
Setor 2 (Fortaleza e Região Metropolitana) - Fortaleza	Praia da Abreulândia, Praia da Sabiaguaba, Praia do Futuro, Praia do Cais do Porto/Serviluz, Praia da Leste Oeste/Formosa e Praia da Barra do Ceará;
Setor 2 (Fortaleza e Região Metropolitana) - Caucaia	Praia do Cumbuco, Praia do Cauípe, Praia do Icaraí, Praia da Tabuba e Iparana;
Setor 2 (Fortaleza e Região Metropolitana) - São Gonçalo do Amarante	Praia da Taiba, Praia do Pecém, Praia de Barramar e Praia da Colônia;
Setor 3 (Litoral Oeste) - Paracuru	Praia do Quebra Mar, Praia Pau Enfincado, Praia do Vapor, Praia de Piriquara, Praia da Pedra Rachada, Praia do Canto, Praia das Almas, Praia da Boca do Poço, Praia do Ronco do Mar, Praia da Munguba/Farol e Praia da Barra;
Setor 3 (Litoral Oeste) - Paraipaba	Praia de Lagoinha, Praia do Porto Velho, Praia do Capim Açu;
Setor 3 (Litoral Oeste) - Trairi	Praia de Cana Brava, Praia de Guajiru, Praia da Emboaca, Praia de Flexeiras e Praia de Mundaú;
Setor 3 (Litoral Oeste) - Itapipoca	Praia de Tremembé, Praia das Pedrinhas/Praia da Baleia, Praia do Bode, Praia do Apiques e Praia do Maceió;
. Setor 3 (Litoral Oeste) - Amontada	Praia de Caetanos de Cima e Praia de Icarai de Amontada;
Setor 3 (Litoral Oeste) - Itarema	Torrões.

Fonte: própria autora, 2023.

Além disso, abaixo dispõe-se o mapa básico das praias do Ceará com ocorrência registradas até o dia 18/02/22:

Figura 8 – Mapa das ocorrências de óleo nas praias do litoral cearense até fevereiro de 2022.



Fonte: SEMA (2022)

Durante o derramamento de 2022 as manchas chegaram primeiro e em maior quantidade pelo Litoral Leste, apenas depois dispersando-se e chegando em Fortaleza já em menores quantidades e com ocorrências menos expressivas.

De acordo com informações da Semace (2022), estima-se que durante ação para recolhimento do material encontrado nas praias do litoral cearense tenham sido recolhidos e enviados para a empresa de cimentos Apodi aproximadamente 8.200 mil litros.

### 3.2 Amostragem

Para o presente estudo foram escolhidos 6 pontos de amostragem, nas seguintes localidades: Sabiaguaba, Porto das Dunas, Prainha do Canto Verde, Praia de Pontal do Maceió, Praia do Cumbe e Canoa Quebrada, nos quais foram analisados parâmetros para contaminação em sedimento e água, em 2 campanhas, uma realizada durante o período chuvoso (fevereiro) e outra durante o período seco (julho).

Figura 9 – Mapa dos locais de amostragem.



Fonte: própria autora, 2023.

### 3.3 Preparação das amostras

Para a análise dos HPAs em sedimento as amostras foram subdivididas e passaram por processos específicos.

Em uma primeira fase, as amostras foram armazenadas em condições de congelamento, sucedidas por um procedimento de liofilização e maceração. A remoção de material grosso foi executada por meio de uma peneira com malha de 2mm. Subsequentemente, uma pesagem de 15g por amostra foi realizada, sendo os extratos posteriormente transferidos para frascos Erlenmeyer de 125ml, aguardando a adição dos padrões *surrogate*, para o controle de qualidade do procedimento analítico.

Os solventes foram incorporados em cinco etapas distintas: Acetona (20 mL), Acetato de Etila (20 mL), Diclorometano (20 mL), Hexano (20 mL) e, por fim, uma mistura equilibrada composta por 5 mL de cada solvente anteriormente adicionado (na proporção de 1:1:1:1), totalizando um volume de 20 mL de mistura extratora.

Cada uma dessas etapas foi minuciosamente submetida a um período de 20 minutos sob ultrassom, seguido pela transferência de um volume de 50 mL de cada amostra para um tubo de Falcon, onde a centrifugação a 2000rpm por 15 minutos foi usada para separar os componentes. O extrato resultante foi então transferido para um balão de fundo chato ao término de cada fase, consolidando um volume final de 100 mL da referida mistura extratora.

A amostra, agora consideravelmente concentrada, passou pelo processo de evaporação rotativa até atingir um volume de 1 mL. Em seguida, uma pequena porção suplementar de hexano foi adicionada ao conteúdo do balão, reiniciando o ciclo de evaporação rotativa. Essa sequência foi repetida em duas ocasiões adicionais, com o propósito de garantir a total substituição dos solventes previamente empregados nas etapas anteriores pelo hexano, conferindo, assim, um elevado grau de pureza ao produto final.

Em seguida, as amostras foram submetidas ao processo de purificação (*clean up*) e, posteriormente, foram injetadas no cromatógrafo.

Inicialmente, as amostras de água foram preservadas no freezer/geladeira, a fim de garantir sua integridade, sendo retiradas algumas horas antes da análise para atingirem a temperatura ambiente. Em seguida, aproximadamente 1 litro da amostra de água do mar foi introduzido em um funil de separação, ao qual foram adicionados os padrões *surrogate*.

A etapa subsequente marcou o início do processo de extração, utilizando o método líquido-líquido (LLE). Nesse procedimento, houve uma adição em três estágios de uma mistura de solventes orgânicos composta por 50 mL de Hexano e Acetato de Etila (na proporção de 1:1), para extrair os HPAs da amostra.

Cada etapa de agitação manual da amostra, que perdurou por 1 minuto, foi seguida por um período de repouso de 10 minutos, permitindo a separação eficiente das fases. A fase inferior, composta pela água do mar, foi habilmente recolhida na própria garrafa de coleta, enquanto a fase superior (solvente/extrato) foi recolhida em um balão de fundo chato. Este processo foi repetido em todas as fases.

Ao término das três etapas, o volume do extrato coletado (150 mL) foi submetido a uma purificação adicional, utilizando 6g de sulfato de sódio anidro, visando a remoção completa de quaisquer resíduos de água presentes. O volume resultante foi, então, pré-concentrado para 0,5 mL através do rotaevaporador e transferido para um vial. Posteriormente, foram adicionados os padrões *surrogate*, preparando-se assim a amostra para o processo de cromatografia gasosa.

### 3.4 Clean-up

Para a fase de *clean-up* alguns procedimentos foram seguidos, sendo estes:

1. Granulometria: Configura uma preparação para posterior fase, de *clean-up*, e caracteriza-se pela secagem da amostra a uma temperatura controlada (65°C) e homogeneizada. Uma alíquota de 100g é separada ao fim desse processo para passar pelo peneiramento úmido e seco.

2. Peneiramento úmido: Etapa que tem como objetivo a remoção de partículas ainda sólidas ou sedimentos que possam obstruir os passos seguintes da análise, dificultando a precisão dos resultados. Utilizando uma peneira de 0,062mm a amostra deve ser lavada até que a água escorrida não esteja turva. A fração de amostra retida na peneira é retirada e armazenada para posterior secagem em estufa. A água turva é coletada em um balde e reservada para que possa decantar o sedimento.

3. Pipetagem: Caracteriza o processo de transferência do líquido da amostra para outro recipiente, com intuito de purificar a amostra removendo possíveis impurezas. Ao fim dessa etapa frações da amostra são separadas em béqueres e colocadas novamente para secagem, restando apenas o sedimento. O sedimento fino é calculado através da diferença entre a pesagem do béquer com amostra e do béquer vazio.

4. Peneiramento seco: O material previamente separado passou pela secagem a 65°C e em seguida foi colocado em um agitador magnético por 10 minutos dentro de um conjunto de peneiras de ordem decrescente. A fração retida nas peneiras foi separada, pesada e armazenada.

Os HPAs são frequentemente extraídos junto com outros compostos que podem interferir no resultado das análises, como lipídios, pigmentos e impurezas. Portanto, é necessário purificar o máximo da amostra para eliminar essas interferências, principalmente através de processos de purificação, com o uso de sorventes específicos para a remoção seletiva.

Na fase seguinte foram utilizadas colunas de 25 cm por 1 cm de diâmetro interno ao qual foram montadas utilizando sílica, alumina, sulfato de sódio e lã de vidro. A eluição ocorreu até que todo o volume morto saísse por completo do sistema (volume morto de 5 mL).

Posteriormente ao processo de purificação os HPAs são concentrados para que a sua sensibilidade à análise seja aumentada. Essa etapa pode ser feita por meio da evaporação do solvente e restituição da amostra em um volume menor.

De modo que, após passarem por todos esses processos específicos, os HPAs são quantificados por meio de um aparelho de cromatografia gasosa acoplado ao espectrômetro de massa (CG-EM)

Em resumo, o processo de *clean-up* em amostras que contenham HPAs é crucial para garantir que as análises químicas sejam precisas e confiáveis, removendo interferências e impurezas que podem afetar os resultados.

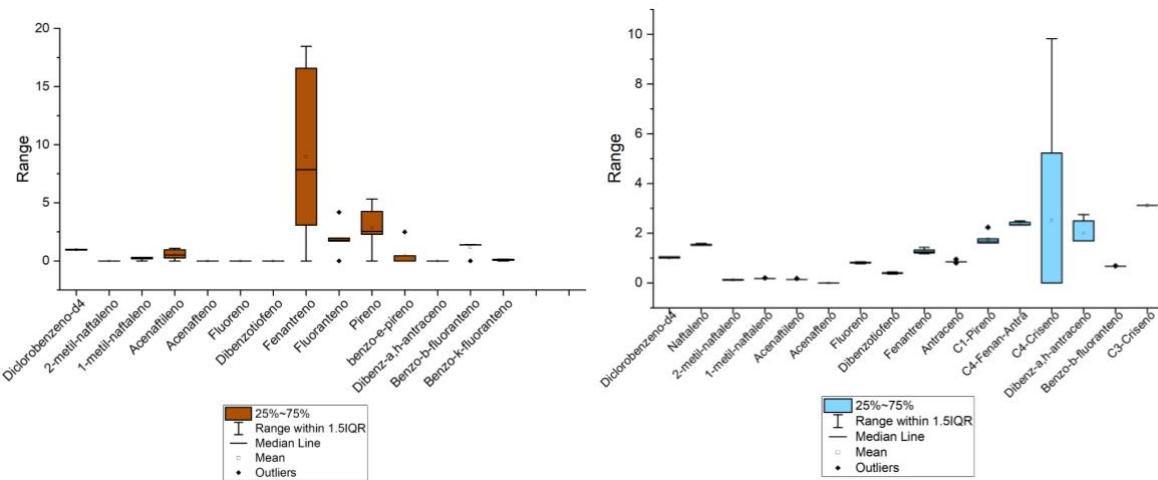
Durante todo o processo, foi realizado um controle de qualidade rigoroso para garantir que a amostra não fosse contaminada e que os resultados da análise fossem confiáveis. Isso envolveu o uso de padrões *surrogate*, padrões internos, brancos das amostras e procedimentos de validação.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Concentração de HPAs

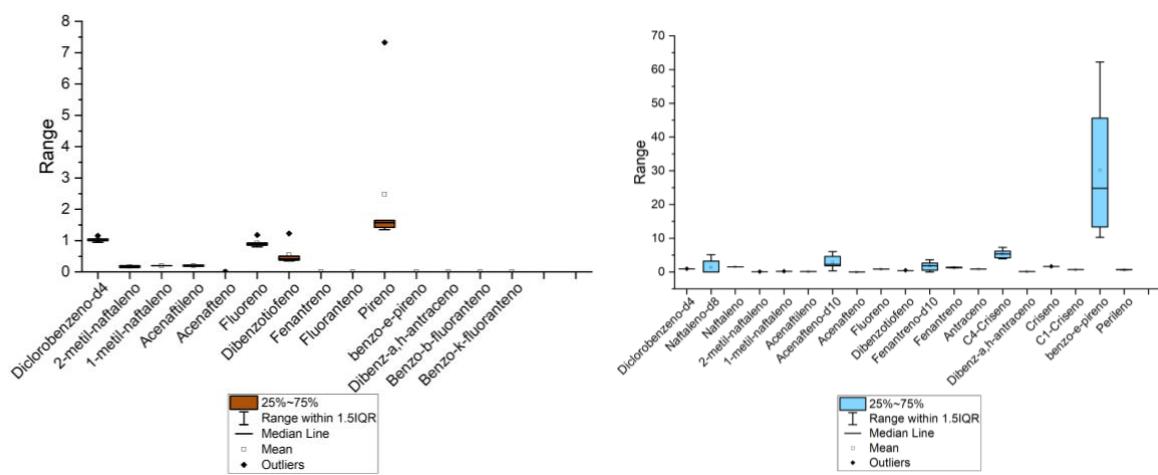
Os HPAs encontrados em todos os pontos estão representados nos gráficos abaixo, divididos nas categorias sedimento e água por campanha.

Figura 10 – Campanha 1: Concentrações para sedimento e água, respectivamente.



Fonte: própria autora, 2023

Figura 11 – Campanha 2: Concentrações para sedimento e água, respectivamente.

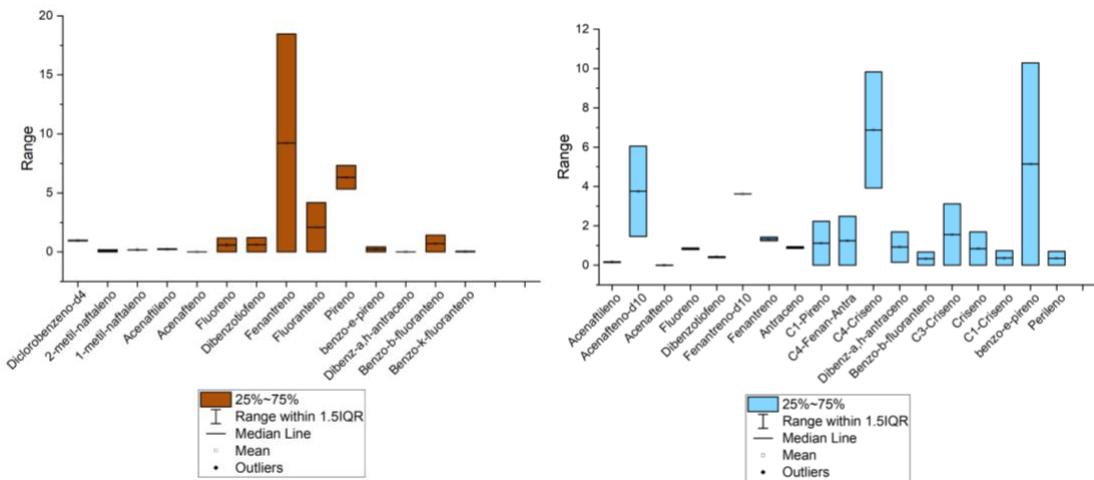


Fonte: própria autora, 2023

Para uma análise mais detalhada os resultados encontrados para concentração de contaminantes também foi dividido por localidade e subdividido nas categorias anteriormente citadas, e estão dispostos abaixo:

- Sabiaguaba:

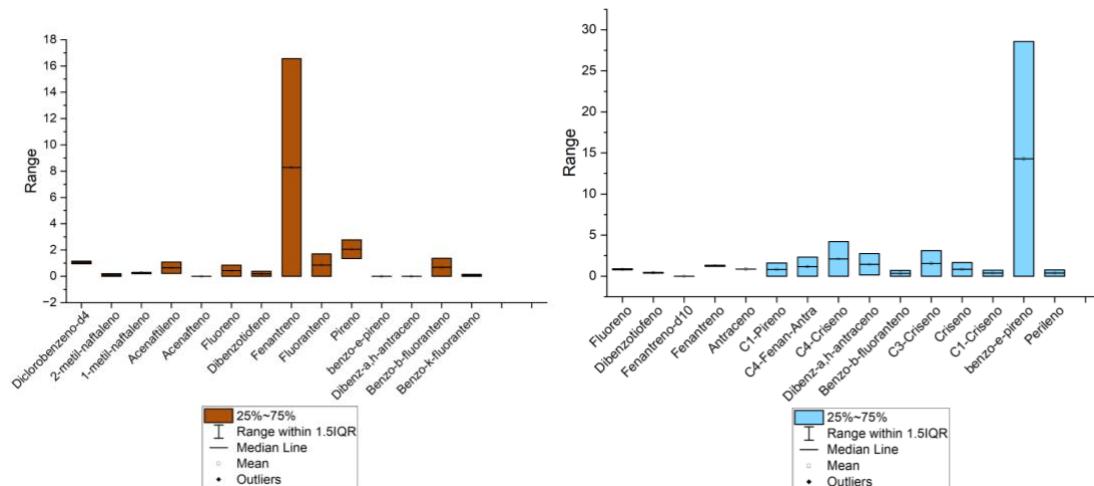
Figura 12 – Concentrações para a localidade da Sabiaguaba, em duas campanhas, separadas por sedimento e água, respectivamente.



Fonte: própria autora, 2023

- Porto das Dunas:

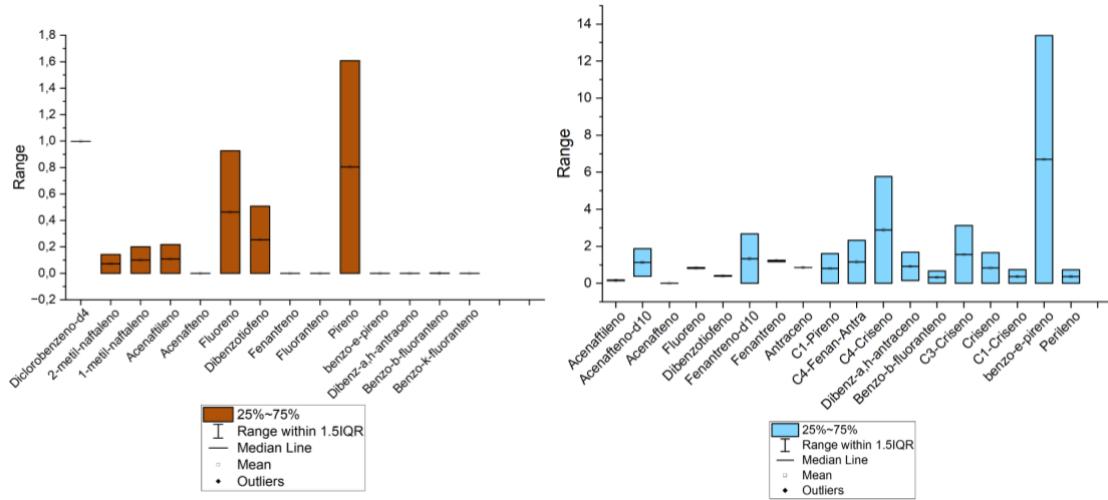
Figura 13 – Concentrações para a localidade do Porto das Dunas, em duas campanhas, separadas por sedimento e água, respectivamente.



Fonte: própria autora, 2023

- Prainha do Canto Verde:

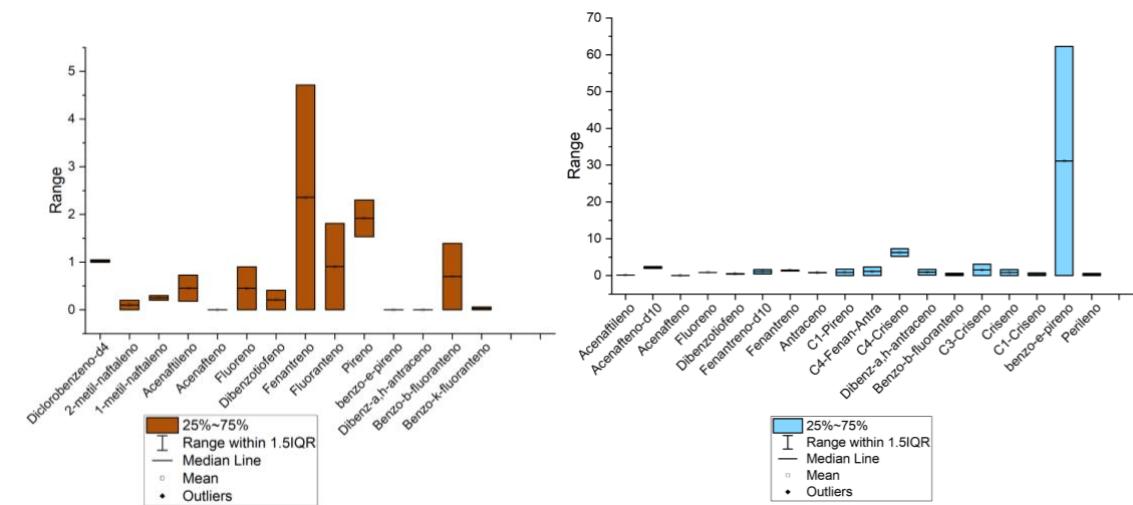
Figura 14 – Concentrações para a localidade da Prainha do Canto Verde, em duas campanhas, separadas por sedimento e água, respectivamente.



Fonte: própria autora, 2023

- Praia de Pontal de Maceió:

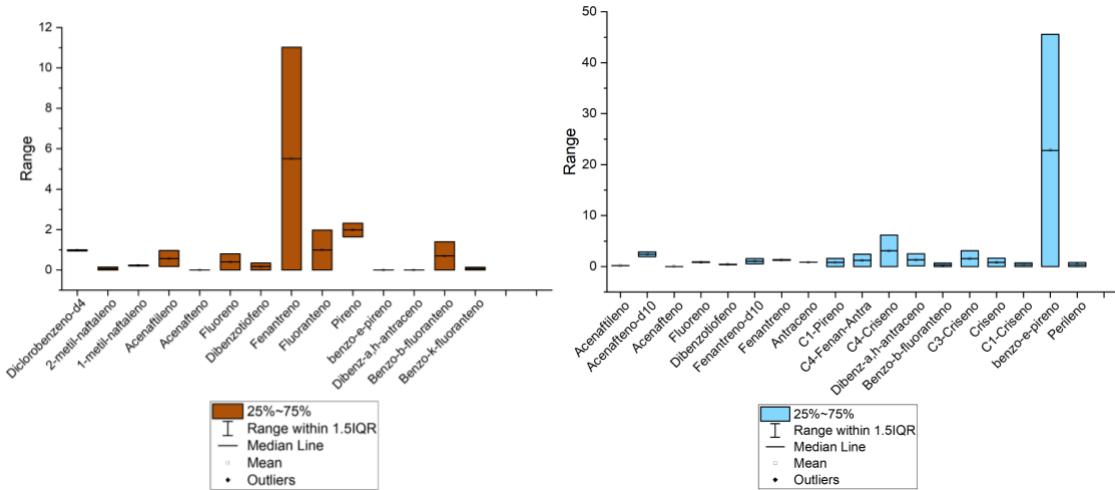
Figura 15 – Concentrações para a localidade da Praia de Pontal do Maceió, em duas campanhas, separadas por sedimento e água, respectivamente.



Fonte: própria autora, 2023

- Praia do Cumbe:

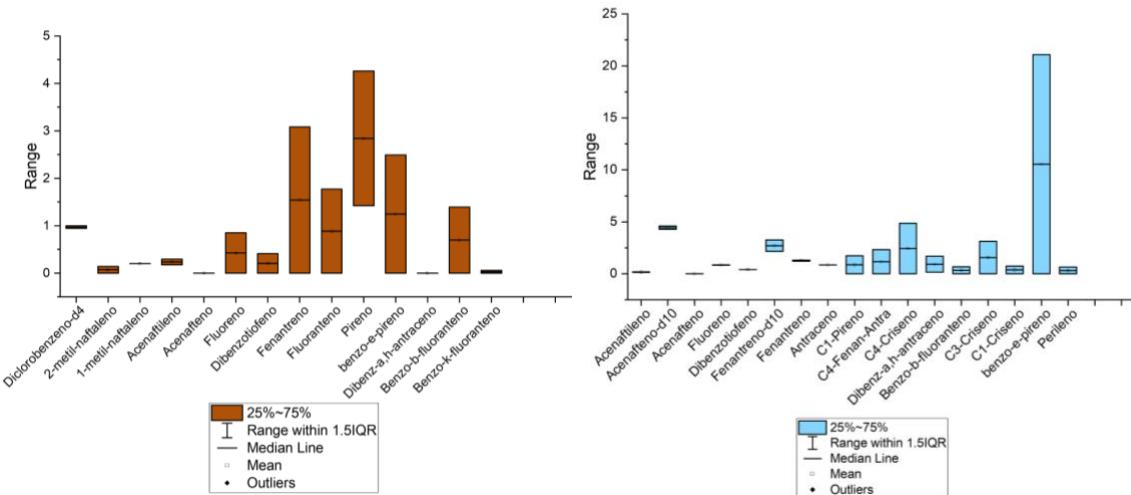
Figura 16 – Concentrações para a localidade da Praia do Cumbe, em duas campanhas, separadas por sedimento e água, respectivamente.



Fonte: própria autora, 2023

- Canoa Quebrada

Figura 17 – Concentrações para a localidade de Canoa Quebrada, em duas campanhas, separadas por sedimento e água, respectivamente.



Fonte: própria autora, 2023

## 4.2 Avaliação ambiental e estimativa de risco ao meio ambiente

A estimativa de risco ecológico de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos (HPAs) no meio ambiente após um derramamento de óleo em uma área costeira é uma preocupação importante em termos de proteção ambiental uma vez que HPAs são substâncias químicas orgânicas que frequentemente podem ser tóxicas para a vida marinha e os ecossistemas costeiros. Com base na avaliação de riscos, medidas de mitigação podem ser propostas e implementadas para minimizar o impacto do derramamento de óleo, como a contenção do óleo, a limpeza de praias e a reabilitação de áreas afetadas.

Além disso, o monitoramento contínuo do meio ambiente costeiro é essencial para acompanhar os efeitos a longo prazo do derramamento de óleo e garantir que as medidas de mitigação sejam eficazes.

Diante disso, o presente trabalho teve com objetivo relacionar resultados encontrados em estudos realizados em 2022 com os VMPs (valores máximos permitidos) por HPAs (hidrocarbonetos policíclicos aromáticos) dispostos na resolução COEMA N° 8/2019 com ênfase para águas salinas e na resolução CONAMA N° 357/2005, utilizada pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE) por meio do Programa de Monitoramento da Balneabilidade das Praias para instituir o acompanhamento da qualidade da água no litoral.

### 4.2.1 COEMA N° 8, CONAMA N° 357/2005 e CONAMA N° 460/2013

Nesse contexto, a avaliação das concentrações de HPAs em amostras de água revelou resultados preocupantes (Tabela 2), uma vez que os valores encontrados demonstraram-se significativamente acima dos limites estabelecidos pelas resoluções COEMA N° 8/2019 e CONAMA N° 357/2015.

Essa elevação dos níveis de HPAs representa uma ameaça iminente à qualidade da água e, consequentemente, à saúde das comunidades locais. Além disso, a presença desses poluentes em quantidades superiores ao permitido coloca em risco os ecossistemas aquáticos, podendo resultar em danos irreversíveis. Urge a necessidade de medidas imediatas e eficazes para controlar e mitigar essa contaminação, a fim de preservar não apenas a biodiversidade local, mas também a saúde e o bem-estar das populações que dependem diretamente desses recursos hídricos.

Embora os valores de HPAs nas amostras de sedimento estejam dentro dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA N°460/2013 (Tabela 3), é preciso reconhecer a necessidade de mitigar os impactos resultantes da disposição das pelotas de petróleo que atingiram o litoral, tendo em vista que chegada desse material representa uma ameaça significativa à saúde das comunidades locais e à fauna marinha, mesmo quando os níveis de HPAs nos sedimentos estão em conformidade.

A contaminação por petróleo pode causar danos extensos aos ecossistemas costeiros, afetando a pesca, a biodiversidade marinha e, em última instância, a qualidade de vida das populações dependentes dessas regiões. Portanto, é crucial implementar medidas eficazes de mitigação para minimizar os efeitos adversos causados pela presença dessas pelotas de petróleo no litoral, protegendo assim tanto a saúde humana quanto a integridade dos ecossistemas marinhos.

Tabela 2: Valores médios para cada ponto de amostragem e o valor máximo disposto pela COEMA N°8/2019 para Classe 1 - Águas Salinas.

PONTOS DE AMOSTRAGEM - VALORES MÉDIOS PARA AS 2 CAMPANHAS DE ÁGUA								
HPAS	SABIAGUABA	PORTO DAS DUNAS	PRAINHA CANTO VERDE	PRAIA DE PONTAL DE MACEIÓ	PRAIA DO CUMBE	CANOA QUEBRADA	VALOR MÁXIMO (µg/L) - COEMA N°8/2019	VALOR MÁXIMO (µg/L) - CONAMA N° 357/2005
ACENAFTILENO	0,1614	-	0,208	0,131	0,239	0,151	-	-
ACENAFTENO	0,01	-	0,02	0,159	0,033	0,09	-	-
FLUORENO	0,82	0,81	0,79	0,744	0,902	0,86	-	-
ANTRACENO	0,908	0,81	0,85	0,744	0,902	0,78	-	-
FENANTRENO	1,35	1,337	1,26	1,325	1,131	1,299	-	-
PIRENO	1,12	0,81	0,79	1,03	0,902	0,95	-	-
BENZO(A)PIRENO	5,186	14,37	6,702	31,08	22,82	10,52	0,018 µg/L	0,018 µg/L
BENZO(B)FLUORANTENO	0,333	0,281	0,321	-	0,467	0,352	0,018 µg/L	0,018 µg/L
CRISENO	0,862	0,816	0,853	0,744	0,9	1,555	0,018 µg/L	0,018 µg/L
DIBENZO(A,H)ANTRAC.	0,954	1,446	0,909	1,034	1,36	0,954	0,018 µg/L	0,018 µg/L

Fonte: própria autora, 2023.

Tabela 3: Valores médios para cada ponto de amostragem e o valor máximo disposto pelo Anexo II - COEMA N°8/2019 (Resolução CONAMA N° 460/2013) para solos.

HPAS	PONTOS DE AMOSTRAGEM - VALORES MÉDIOS PARA AS 2 CAMPANHAS DE SEDIMENTO						
	SABIAGUABA	PORTO DAS DUNAS	PRAINH CANTO VERDE	PRAIA DE ONTAL DE MACEIÓ	PRAIA O CUMBE	CANOA QUEBRADA	VALOR MÁXIMO (µg/kg) - CONAMA N°460/2013
ACENAFTILENO	0,251	0,679	0,108	0,477	0,586	0,229	-
ACENAFTENO	0,01	0,02	0,001	0,002	0,01	0,002	-
FLUORENO	0,647	0,429	0,469	0,459	0,41	0,418	-
FENANTRENO	9,251	8,3	0,001	2,36	5,56	1,53	40 µg/kg
FLUORANTENO	2,06	0,871	0,001	0,905	1,008	0,911	-
PIRENO	6,33	2,02	0,811	1,914	1,99	2,837	-
BENZO(A)PIRENO	0,251	0,021	0,001	0,002	0,01	1,26	1,5 µg/kg
BENZO(B)FLUORANTENO	0,73	0,746	0,007	0,7	0,71	0,7	-
BENZO(K)FLUORANTENO	0,095	0,045	0,001	0,033	0,032	0,04	-
DIBENZO(A,H)ANTRACENO	0,095	0,02	0,001	0,002	0,01	0,002	0,6 µg/kg

Fonte: própria autora, 2023

#### 4.2.2 Plano Nacional de Contingência (PNC) Decreto n° 10.950/2022

A ANP (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis) refere-se ao Plano Nacional de Contingência (PNC) regulamentado pelo Decreto n° 10.950/2022 como ferramenta que possui o objetivo primordial de possibilitar uma resposta efetiva e organizada, coordenando ações entre as instituições públicas e privadas, para gestão de incidentes que envolvam poluição por óleo e que afetem as águas sob jurisdição nacional.

Além disso, ainda de acordo com a ANP, o PNC prevê ainda a integração na Rede de Atuação Integrada e no Grupo de Acompanhamento e Avaliação (GAA) formado pela ANP, Marinha do Brasil e o Ibama (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis), o qual atribui-se perícia para monitorar os incidentes. Apresenta também demais competências como; Acompanhamento e avaliação; convocar e coordenar a Rede de Atuação Integrada, em caso de necessidade; supervisionar o desenvolvimento do Sisnóleo, promover, em conjunto com a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil do Ministério de Desenvolvimento Regional (SEDEC), a capacitação de grupos locais para realização da limpeza das regiões

costeiras; produzir relatórios periódicos; disponibilizar o Manual do PNC atualizado nos respectivos sítios eletrônicos de seus órgãos e entidades.

Por sua vez, a Rede de Atuação Integrada tem como intuito assegurar condições materiais e humanas para aplicação das ações de resposta determinadas pelo GAA, e é formada pela ANP e outros 14 órgãos públicos e entidades, sendo estes; Casa Civil da Presidência da República; Ministério da Justiça e Segurança Pública; Ministério da Defesa; Ministério das Relações Exteriores; Ministério da Economia; Ministério da Infraestrutura; Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Ministério da Saúde; Ministério de Minas e Energia; Ministério das Comunicações; Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações; Ministério do Meio Ambiente; Ministério do Turismo; Ministério do Desenvolvimento Regional; e Gabinete de Segurança Institucional da Presidência da República.

Segundo o PNC, algumas das competências pertinentes à Rede de Atuação Integrada; I - Acatar as requisições da Autoridade Nacional, do Coordenador Operacional e do Grupo de Acompanhamento e Avaliação; II - Oferecer recursos tanto materiais quanto humanos solicitados pelo Coordenador Operacional e pelo GAA para utilização nas ações de resposta; III - Propor ao GAA os procedimentos para atualizar e avaliar o PNC; IV - Orientar inventário e manutenção dos mecanismos de controle e combate às ocorrências de contaminação por óleo que sejam de relevância nacional; V - Incentivar a capacitação de ações de resposta a partir de programas de treinamento e aperfeiçoamento; VI - Atuar no desenvolvimento de material para os programas de treinamento e aperfeiçoamento dos segmentos desenvolvidos: órgãos privados e entidades públicas e privadas das instâncias de gestão do PNC; VII - Difundir juntamente à Rede de Atuação Integrada: inovações tecnológicas, novos materiais, equipamentos e metodologias à respeito de prevenção, combate e controle a ocorrências de poluição por óleo; e VIII - Implementar métodos que sejam satisfatórios na resposta aos incidentes.

Por sua vez, determina o Decreto nº 10.950/2022 que concerne, respectivamente, aos órgãos e entidades que compõem a Rede de Atuação Integrada; I - Acompanhamento das medidas tomadas: Casa Civil da Presidência da República; II - Perícia Criminal (Polícia Federal) e Priorização do transporte de materiais e equipamentos por via terrestre (Polícia Rodoviária Federal); Ministério da Justiça e Segurança Pública; III - Ministério da Defesa por meio da Marinha do Brasil: Responsável por auxiliar equipes, dispor materiais e meios para realização de ações durante desastres ambientais de grandes proporções, disponibilizar dados

hidroceanográficos e meteorológicos à respeitos dos locais de interesse, controlar o tráfego marítimo nas áreas afetadas e difundir comunicados para promover a segurança de navegação, integrar o Sisnóleo, conferindo atualizações ao sistema e viabilizar informações sobre possíveis embarcações ou navios causadores da ocorrência por meio do Sistram (Sistema de Informações sobre Tráfego Marítimo), do Exército Brasileiro: Responsabilizado por fornecer equipes, material e recursos, e da Força Aérea Brasileira: Assim como o Exército Brasileiro também fornece material, equipes e recursos para situações como essa, além de; determinar procedimentos para entrada de aeronaves estrangeiras, controlar o tráfego na área da ocorrência e divulgar informações pertinentes para a segurança aérea; IV - Ministério das Relações Exteriores responsabiliza-se por solicitar assistência, articular, coordenar as ações e a defesa de interesses nacionais; V - O Ministério da Economia atua em duas Secretarias, sendo estas: Secretaria Especial da Fazenda e a Secretaria Especial da Receita Federal do Brasil, as quais apresentam funções ligadas à liberação de verbas e cálculos orçamentários necessários para atender as necessidades do PNC, em adição a permitir contratações de mão de obra temporária e especializada nas ações de resposta; VI - Ministério da Infraestrutura atua por meio da Secretaria Nacional de Portos e Transportes Aquaviários e da Agência Nacional de Transportes Aquaviários (Antaq) que operam acompanhando procedimentos adotados e oferecendo o suporte quanto à regulação, fiscalização e supervisão de serviços que relacionem-se com a infraestrutura portuária e aquaviária.; VII - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento opera a partir da Secretaria de Aquicultura e Pesca, por meio do fornecimento de informações, rede de comunicação e observações, e do Instituto Nacional de Meteorologia através de previsões meteorológicas gerais e específicas; VIII - Ministério da Saúde encarrega-se pela mobilização do SUS (Sistema Único de Saúde), apoio ao GAA no que concerne aspectos de prevenção de danos e organização de ações de preparação para resposta; IX - Ministério de Minas e Energia, através da ANP oferece suporte para aperfeiçoamento e atualização do Sisnóleo; X - Ministério das Comunicações acompanha os procedimentos adotados; XI - Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, por meio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais atribuído ao fornecimento de dados como previsão do tempo, clima, oceanografia e recursos hídricos, visando a proteção dos recursos ambientais que possam ser afetados; XII - Ministério do Meio Ambiente divulga as tecnologias, equipamentos e os métodos utilizados, fomenta padronização e a divulgação das cartas de sensibilidade ambiental ao óleo e por fim, contribui para atualização do Sisnóleo; XIII - Ministério do Turismo é incumbido

de acompanhar os processos de resposta; XIV - Ministério do Desenvolvimento Regional exerce a mobilização do Sistema Nacional de Defesa Civil para apoiar as ações de resposta, articulação junto às entidades para garantir equipes e recursos, contribuição ao GAA durante as ações de proteção do local afetado e interligação com o Sisnóleo para atualizações, por meio da Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil, e concessão de dados para proteção de recursos hídricos através da ANA (Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico); XV - Ministério do Trabalho e Previdência disponibiliza-se para edição de atos normativos que envolvam segurança e saúde das equipes responsáveis nas ações de resposta, XVI - Gabinete de Segurança Institucional da Presidência da República articula assuntos relacionados à prevenção de novas ocorrências por derramamento de óleo. Ademais, o Ibama atribui-se da prevenção e do desenvolvimento, implantação, operação e atualização do Sisnóleo, e juntamente com o ICMBio atribuem-se da orientação e apoio da estruturação de resposta

Por fim, o ICMBio (Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade) fornece ainda informações necessárias para a proteção das UCs (Unidades de Conservação) e da biodiversidade que possivelmente poderiam ser afetadas pela poluição do óleo.

Nesse contexto, de maneira descritiva, o PNC fixa responsabilidades, estabelece a estrutura organizacional, as diretrizes, ações e os procedimentos que devem ser seguidos, de maneira a; esquematizar uma atuação coordenada entre entidades públicas e privadas para possibilitar uma resposta ampla e hábil aos incidentes de poluição por óleo; atenuar danos ambientais e evitar prejuízos à saúde pública e à população. Para tal, considera-se processos como; I - Ação de resposta que vise avaliar, mitigar ou controlar o crescimento do incidente; II - Elaboração de cartas de sensibilidade ambiental ao óleo as quais caracterizam, por meio de documentos cartográficos, as áreas adjacentes às águas sob jurisdição nacional para gerir as ações de resposta previamente definidas; III - “Comando unificado”, que prevê a execução integrando representantes de órgãos de administração pública e entidades públicas e privadas; IV - episódio que cause derramamento de óleo em águas de jurisdição nacional e que represente riscos para o meio ambiente e para a saúde humana, ou a interesses de um ou mais Estados, de forma que uma resposta emergencial seja necessária; V - “Sistema de Comando de Incidentes”, presume o uso de uma ferramenta padronizada para gerenciamento de incidentes, que permita a gestão integrada e que supra complexidades e demandas de ocorrências, sejam essas únicas ou múltiplas, independendo do local do incidente; por fim, VI - O documento técnico, Manual do PNC, que

abrange detalhadamente os procedimentos operacionais, recursos materiais e humanos necessários para a atuação integrada, com objetivo de organizar e promover maior capacidade de resposta às ocorrências de poluição por óleo que venham a afetar áreas sob jurisdição nacional.

O Plano Nacional de Contingência discorre também sobre o uso do Sistema de Informações Sobre Incidentes de Poluição por Óleo em Águas Sob Jurisdição Nacional (Sisnóleo), que tem como propósito a disseminação e consolidação de informações geográficas, em tempo real, sobre a prevenção, preparação e a resposta à ocorrências, de forma que; Seja permitida a gestão e análise, ocorrendo a tomada de decisões pelas instâncias do PNC que estejam relacionadas à prevenção, preparação, apoio e respostas aos incidentes de poluição; Possibilitado o acesso aos dados relevantes às atividades sendo desenvolvidas pelo PNC e; Subsidiada a avaliação da abrangência do incidente no que diz respeito às concentrações de contaminação em relação à população humana, incluindo na utilização das águas para consumo humano.

Contudo, embora aborde vários aspectos cruciais para lidar com acidentes relacionados ao óleo, na prática, o PNC foi alvo de amplas críticas por parte de diversos setores, como a sociedade civil, especialistas ambientais e autoridades locais. Isso se deu principalmente à sua incapacidade de proporcionar uma detecção inicial e resposta eficazes às manchas de óleo, sendo a lentidão atribuída à ausência de mecanismos hábeis de monitoramento e identificação precoce, o que resultou em atrasos na mobilização de recursos.

Além disso, A falta de coordenação entre os diferentes âmbitos governamentais (federal, estadual e municipal) foi considerada insatisfatória, resultando em desafios para implementar ações conjuntas e alocar recursos de maneira eficiente, e ainda a transparência no compartilhamento de informações sobre a extensão do desastre e as ações tomadas foi questionada. A sociedade e as autoridades locais expressaram frustração com a falta de informações claras sobre os riscos à saúde e medidas de segurança.

Dessa maneira, O Plano Nacional de Contingência (PNC) para Incidentes de Poluição por Óleo não foi considerado suficientemente eficaz para lidar com um evento dessa magnitude. Algumas críticas foram direcionadas à falta de investimento em infraestrutura e treinamento de equipes para situações de derramamento de óleo em grande escala.

### 4.3 Perigo à saúde

Os hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) são caracterizados como uma classe de compostos orgânicos que contém dois ou mais anéis benzênicos fundidos, podendo também apresentar anéis com menos de seis carbonos. Além disso, definem-se pelo alto coeficiente de partição octanol/água e, também, pela baixa solubilidade em água (elevada hidrofobicidade natural) (Azevedo, Araújo e Silva, 2013).

Considerados os contaminantes orgânicos mais comuns no meio ambiente, os HPAs foram os primeiros a serem observados em termos de potencial carcinogênico, mutagênico, teratogênico e outros diversos efeitos tóxicos e biológicos que podem afetar a saúde em geral e a biota (Azevedo, Araújo e Silva, 2013). Além disso, devido às suas propriedades físico-químicas categorizam-se também como poluentes orgânicos persistentes (POPs), os quais estão amplamente distribuídos, persistem no ambiente e bioacumulam através da cadeia trófica e exibem efeitos tóxicos, causando grande preocupação à comunidade científica (Hammer *et al.*, 2011).

Netto *et al.* (2000) discorre sobre a elevada taxa de mortalidade relacionada à carcinomas atualmente, juntamente com os tratamentos que trazem muito sofrimento aos doentes e familiares, e que podem ser demorados, dispendiosos e insuficientes às sequelas, trazem luz aos benefícios da avaliação, controle e o entendimento acerca da exposição humana à tais substâncias mutagênicas e carcinogênicas. Além disso, sabe-se que o monitoramento para HPAs e seus derivados é realizado através dos níveis dessas substâncias no ambiente, do metabolismo, da avaliação precoce dos efeitos biológicos e compreensão das vias de penetração no organismo, tendo em vista que diversos componentes deste grupo apresentam capacidade para interagir diretamente com o DNA ou sofrer transformações para tal.

De acordo com Yender (2002) no que concerne a contaminação por HPAs em pescados considera-se que existe a possibilidade de que se dê por fatores como: embebição de componentes aglutinados à pele, ou dissolvidos pelas brânquias, adsorção ou ingestão de gotículas inteiras de óleo presentes nas superfícies lipídicas das brânquias, ou consumo de alimentos intoxicados seguido de sorção pelo trato gastrointestinal. Além disso, é salientado que alguns fatores têm influência direta na captação, sendo esses a duração da exposição, taxas metabólicas e de alimentação, meios de exposição e conteúdo lipídico.

Ainda neste contexto, é avaliado que peixes apesar de conseguirem metabolizar os HPAs de maneira satisfatória e eficiente, o mesmo não acontece com moluscos bivalves, estes

tendem a acumular tais substâncias uma vez que são seres filtradores e acoplados em substratos, demorando um período de até um ano para depurar completamente os compostos. Crustáceos, por sua vez, retratam depuração que varia de semanas até meses após o episódio de exposição ao óleo (Yender, 2002; Yang, 2019).

Com isto, temos que quanto maior teor lipídico dos organismos mais estes tendem a acumular HPAs em seus tecidos, principalmente devido à sua natureza lipofílica, e também por variações na composição de gordura corporal, carboidratos e proteínas, que de acordo com seus teores podem ser responsáveis pela expulsão de tais substâncias de seus organismos (Yender, 2002; Yang, 2019).

Nesse sentido, é elucidado pela Nota Técnica N° 27/2019 - ANVISA a imprescindibilidade no monitoramento da contaminação por derramamento de substâncias tóxicas haja a inclusão de diferentes espécies de pescados. E apesar da análise laboratorial e minuciosa ser indispensável para resultados precisos, em casos de acidentes envolvendo óleo cru e a exposição a seres humanos, a observação sensorial faz-se importante e desempenha um papel de triagem para amostras contaminadas.

## 5. CONCLUSÃO

Depois de mais de três anos do primeiro derramamento fica apenas o registro de mais de 1.000 ocorrências, 200 toneladas de óleo removido e uma extensão de mais de 3.200 quilômetros afetada, das quais abrigam mais de 55 áreas protegidas.

Segundo informações da Comissão Temporária Externa para acompanhar as ações de enfrentamento às manchas de óleo no litoral brasileiro (CTEOLEO), o PNC foi acionado quarenta e três vezes após o avistamento das primeiras manchas de óleo em 30 de agosto de 2019, na Paraíba, enquanto a primeira fiscalização ocorreu no período de setembro de 2019 à março de 2020, quando foram encerradas as atividades de vistoria.

Nesse contexto, entende-se que a lentidão de ações remediativas por parte do Governo Federal, sobretudo, nas primeiras semanas da crise ambiental pautaram a gravidade dos impactos e a extensão do evento. Ademais, a coordenação insuficiente entre os diferentes níveis de governo, a falta de transparência e a preparação inadequada do Plano Nacional de Contingência foram fatores críticos que prejudicaram a eficácia das ações tomadas. E essas falhas resultaram em impactos ambientais significativos, gerando preocupações sobre a capacidade do país de lidar com desastres similares. Embora os eventos de 2022 não tenham tido a mesma magnitude é essencial que as autoridades e a sociedade estejam atentas às situações enfrentadas anteriormente, em 2019, e 2022 e busquem melhorias contínuas na preparação e resposta caso ocorram futuros incidentes ambientais.

O derramamento de petróleo ocorrido na costa brasileira ficou caracterizado como o mais extenso desastre ambiental em região tropical e o maior do Brasil, contaminando ecossistemas imprescindíveis, prejudicando a subsistência das comunidades locais e pondo em risco a vida de moradores e turistas, elucidando que mesmo que o óleo não voltasse a ressurgir no litoral brasileiro ainda seria necessário manter o monitoramento dos ecossistemas e da saúde pública nas áreas afetadas pelos próximos anos.

A comunicação eficaz com o público, partes interessadas e autoridades reguladoras é crucial. Relatórios regulares sobre a situação, a resposta e os resultados da avaliação de riscos ecológicos devem ser fornecidos.

A avaliação de riscos ecológicos após um derramamento de óleo é um processo complexo que envolve uma equipe multidisciplinar de cientistas, engenheiros e especialistas em gestão ambiental. A necessidade de avaliar minuciosamente cada caso se dá pelo motivo de que

as medidas específicas a serem tomadas dependerão da gravidade do derramamento, da natureza dos HPAs envolvidos e das características do ambiente costeiro afetado. Dessa maneira, a resposta deve ser adaptada às circunstâncias específicas de cada incidente.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Maria; RAMALHO, Cristiano; DE MELO, Paulo. Artisanal fishers, consumers and the environment: immediate consequences of the oil spill in Pernambuco, Northeast Brazil. **Cadernos de Saúde Pública**. v. 36, 2020. DOI: 10.1590/0102-311x00230319. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/66t7BVfM6X4pBBCJwLcqmjf/?format=pdf&lang=en>. Acesso em: 6 jun. 2022.
- AZEVEDO, J. A. H.; ARAÚJO, R. dos S.; SILVA, G. M. M. HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS ATMOSFÉRICOS DE FONTES AUTOMOTIVAS: UMA BREVE REVISÃO. **Holos**, v. 1, p. 102–114, 2013. DOI: 10.15628/holos.2013.1234. Disponível em: <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1234>. Acesso em: 6 jun. 2022.
- BRUM, H.D. et al. 2020. Brazil oil spill response: government inaction. **Science**, v. 367, n. 6474, p. 155–156, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.aba0369>. Acesso em: 06 jun. 2022.
- ESCOBAR, H. Mystery oil spill threatens marine sanctuary in Brazil, **Science**, v. 366, n. 6466, p. 672, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.aba1003> Acesso em: 06 jun. 2022.
- GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ. Com surgimento de manchas de óleo no litoral cearense, SESA orienta equipes municipais de vigilância ambiental sobre ações preventivas. 2022. Disponível em: <https://www.ceara.gov.br/2022/02/02/com-surgimento-de-manchas-de-oleo-no-litoral-cearense-sesa-orienta-equipes-municipais-de-vigilancia-ambiental-sobre-acoes-preventivas/> Acesso em: 06 jun. 2022.
- IBAMA – INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS RENOVÁVEIS. Manchas de óleo: desmobilização - cartilha. 2020. Disponível em: [http://www.ibama.gov.br/phocadownload/emergenciasambientais/2020/manchasdeoleo/ibama-manchasdeoleo-desmobilizacao-cartilha\\_v2.pdf](http://www.ibama.gov.br/phocadownload/emergenciasambientais/2020/manchasdeoleo/ibama-manchasdeoleo-desmobilizacao-cartilha_v2.pdf) Acesso em: 06 jun. 2022.
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Demanda turística nacional. 2019. Disponível em: <http://dadosefatos.turismo.gov.br/revista.html> e <http://dadosefatos.turismo.gov.br/2016-02-04-11-54-03/demanda-tur%C3%ADstica-nacional.html> Acesso em: 06 jun. 2022.
- JANSEN, R. Transferência de óleo entre navios pode ter causado desastre no Nordeste. **Estadão**, 2019. Disponível em: <https://www.estadao.com.br/sustentabilidade/operacao-de-transferencia-e-hipotese-para-acidente-com-oleo-no-nordeste/>. Acesso em: 30 out. 2023.
- JARDIM, L. CPI sobre derramamento de óleo no Nordeste é encerrada por perda de prazo de renovação. **O Globo**, 2021. Disponível em: <https://blogs.oglobo.globo.com/lauro-jardim/post/cpi-sobre-derramamento-de-oleo-no-nordeste-e-encerrada-por-perda-de-prazo-de-renovacao.html>. Acesso em: 05 dez. 2023.

JORNAL NACIONAL. Marinha conclui investigação sobre derramamento de óleo, mas não encontra culpado. Disponível em: <https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2020/08/27/marinha-conclui-investigacao-sobre-derramamento-de-oleo-mas-nao-encontra-culpado.ghtml>. Acesso em: 30 out. 2023.

LAENDER, F. D. et al. Combining monitoring data and modeling identifies PAHs as emerging contaminants in the Arctic. **Environmental Science & Technology**, v. 45, n. 20, p. 9024–9029, 2011. DOI:10.1021/es202423f. Acesso em: 06 jun. 2022.

LESSA, G. C et al.. The 2019 Brazilian oil spill: Insights on the physics behind the drift. **Journal of Marine Systems**, Volume 222, p. 103586. ISSN 0924-7963. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924796321000841>. DOI: 10.1016/j.jmarsys.2021.103586. Acesso em: 10 dez. 2023.

LEPETRO. PF Calcula dano mínimo de R\$188 milhões por vazamento de óleo e indica gregos. Disponível em: <https://lepetro.ufba.br/index.php/node/145>. Acesso em: 1 nov. 2023.

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. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111219>. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.111219. Acesso em: 5 dez. 2023.

MAGRIS, R.A., GIARRIZZO, T. Mysterious oil spill in the Atlantic Ocean threatens marine biodiversity and local people in Brazil. **Marine Pollution Bulletin**. v, 153, ed. 11096, 2020. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X20300795>. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2020.11096. Acesso em: 06 jun. 2022.

MARINHA DO BRASIL. Nota à imprensa. Disponível em: [https://www.marinha.mil.br/sites/default/files/nota\\_a\\_imprensa\\_-\\_inquerito\\_do\\_oleo\\_07mai.pdf](https://www.marinha.mil.br/sites/default/files/nota_a_imprensa_-_inquerito_do_oleo_07mai.pdf). Acesso em: 05 dez. 2023.

MARINHA DO BRASIL. Um derramamento de óleo e os desafios para a proteção da Amazônia Azul. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/economia-azul/noticias/um-derramamento-de-oleo-e-os-desafios-para-protecao-da-amazonia-azul>. Acesso em: 30 out. 2023.

NETO, Rufino et al. Is there a similarity between the 2019 and 2022 oil spills that occurred on the coast of Ceará (Northeast Brazil)? An analysis based on forensic environmental geochemistry. **Environmental Pollution**, v. 314, p. 120283, 2022. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S026974912201497X> DOI: 10.1016/j.envpol.2022.120283. Acesso em: 1 nov. 2023.

NETTO, A. D. P. et al. Avaliação da contaminação humana por hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) e seus derivados nitrados (NHPAs): uma revisão metodológica. **Química Nova**, v. 23, n. 6, p. 765-773, 2000. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/5nRS3W39cCpVXcc8vYM5gtJ/> Acesso em: 06 jun. 2022

NOAA OFFICE OF RESPONSE AND RESTORATION. Fingerprinting Oil - NOAA's National Ocean Service. Disponível em: <https://response.restoration.noaa.gov/oil-and-chemical-spills/oil-spills/resources/fingerprinting-oil.html>. Acesso em: 06 de dez. de 2023.

OLIVEIRA, O. M. C. de 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, 2020, p. 111597. ISSN 0025-326X. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111597>. Acesso em: 05 dez. 2023.

POLÍCIA FEDERAL. PF conclui investigações sobre a origem das manchas de óleo que atingiram o litoral brasileiro entre 2019 e 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/pf/pt-br/assuntos/noticias/2021/12/pf-conclui-investigacoes-sobre-a-origem-das-manchas-de-oleo-que-atingiram-o-litoral-brasileiro-entre-2019-e-2020>. Acesso em: 30 out. 2023.

REDDY, Christopher M. et al. Synergy of analytical approaches enables a robust assessment of the Brazil mystery oil spill. **Energy & Fuels**, United States, v. 36, p. 1, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.2c00656>. Acesso em: 05 dez. 2023.

SECRETARIA EXECUTIVA DE VIGILÂNCIA EM SAÚDE DO ESTADO DE PERNAMBUCO, 2020. Disponível em: [https://12ad4c92-89c7-4218-9e11-0ee136fa4b92.filesusr.com/ugd/3293a8\\_c5ecdbfc41a4a0fb92ac3fa780e718d.pdf](https://12ad4c92-89c7-4218-9e11-0ee136fa4b92.filesusr.com/ugd/3293a8_c5ecdbfc41a4a0fb92ac3fa780e718d.pdf) Acesso em: 06 jun. 2022.

SEMA - Secretaria do Meio Ambiente, 2022. Disponível em: <https://www.sema.ce.gov.br/2022/01/27/comunicado-manchas-de-oleo-encontradas-no-litoral-cearense/> Acesso em: 06 jun. 2022.

SEMACE - SUPERINTENDÊNCIA ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Manchas de óleo: 8.200 mil litros de material recolhido segundo a Semace. 2022. Disponível em: <https://www.semace.ce.gov.br/2022/02/17/manchas-de-oleo-8-200-mil-litros-de-material-recolhido-segundo-semace/> Acesso em: 06 jun. 2022.

SENADO FEDERAL. Comissão Temporária Externa para acompanhar as ações de enfrentamento às manchas de óleo no litoral brasileiro (CTEOLEO). Disponível em: <https://legis.senado.leg.br/sdleg-getter/documento/download/ab57478e-b1e0-409c-a6e9-df7ec349b0bd>. Acesso em: 1 nov. 2023

SILVA, L. R. C. da et al. Derramamento de petróleo no litoral brasileiro: (in)visibilidade de saberes e descaso com a vida de marisqueiras. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 26, n. 12, p. 6027-6036. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-812320212612.15172021>. Epub 13 Dez 2021. ISSN 1678-4561. <https://doi.org/10.1590/1413-812320212612.15172021>. Acesso em: 06 jun. 2022.

SOARES, M. et.al. Brazil oil spill response: Time for coordination. **Science**, v. 367, n. 6474, p. 155, 2020a. Disponível em: <https://doi.org/10.1126/science.aaz9993>. Acesso em: 06 jun. 2022.

SOARES, M. et al. Oil spill in South Atlantic (Brazil): Environmental and governmental disaster. **Marine Policy**, [s. l.], v. 115, ed. 103879, 2020. DOI 10.1016/j.marpol.2020.103879. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/63207>. Acesso em: 07 jun. 2022.

SOARES, M. O.; RABELO, E. F. Severe ecological impacts caused by one of the worst orphan oil spills worldwide. **Marine Environmental Research**, v. 187, p. 105936, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2023.105936>. Acesso em: 10 dez. 2023.

SOUZA, Érica Nadia; PAULA, Davis. Ordenamento Territorial da Orla Marítima: Adesão ao Projeto ORLA na Região Nordeste do Brasil. 2019. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/341764184\\_ORDENAMENTO\\_TERRITORIAL\\_DA\\_ORLA\\_MARITIMA\\_ADESAO\\_AO\\_PROJETO\\_ORLA\\_NA\\_REGIAO\\_NORDESTE\\_DO\\_BRASIL](https://www.researchgate.net/publication/341764184_ORDENAMENTO_TERRITORIAL_DA_ORLA_MARITIMA_ADESAO_AO_PROJETO_ORLA_NA_REGIAO_NORDESTE_DO_BRASIL). DOI: 10.13140/RG.2.2.24802.96960. Acesso em: Acesso em: 30 out. 2023.

UFAL. Laboratório da Ufal detecta imagem que pode explicar origem do óleo no Nordeste. Disponível em: <https://ufal.br/ufal/noticias/2019/10/laboratorio-da-ufal-detecta-imagem-que-pode-explicar-origem-do-oleo-no-nordeste>. Acesso em: 30 out. 2023.

UFAL. Lapis alerta que mais um satélite detectou grande vazamento de óleo. Disponível em: <https://ufal.br/ufal/noticias/2019/11/lapis-alerta-que-mais-um-satelite-detectou-grande-vazamento-de-oleo>. Acesso em: 30 out. 2023.

UFBA. Análises do Lepetro/Igeo indicam correlação entre óleo encontrado nas praias do Nordeste e petróleo venezuelano. Disponível em: [https://ufba.br/ufba\\_em\\_pauta/analises-do-lepetroigeo-indicam-correlacao-entre-oleo-encontrado-nas-praias-do](https://ufba.br/ufba_em_pauta/analises-do-lepetroigeo-indicam-correlacao-entre-oleo-encontrado-nas-praias-do). Acesso em: 30 out. 2023.

YANG, C. et al. Chemical Fingerprints of Crude Oils and Petroleum Products. In: FINGAS, Mervin (Ed.). **Oil Spill Science and Technology**. Gulf Professional Publishing, 2017. p. 209-304. ISBN 9780128094136. DOI: 10.1016/B978-0-12-809413-6.00004-7. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128094136000047>. Acesso em: 06 jun. 2022

YENDER, R.; MICHEL, J.; LORD, C. Managing Seafood Safety after an Oil Spill. Seale: Hazardous Materials Response Division, Office of Response and Restoration, National Oceanic and Atmospheric Administration, 2002. 72 pp. Disponível em: <https://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/managing-seafood-safety-oil-spill.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2022.

ZACHARIAS, D. C.; GAMA, C. M.; FORNARO, A. Mysterious oil spill on Brazilian coast: Analysis and estimates. **Marine Pollution Bulletin**, Departamento de Ciências Atmosféricas, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, v. 165, 2021. DOI 10.1016/j.marpolbul.2021.112125. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X21001594>. Acesso em: 06 jun. 2022.