



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
CEARÁ
IFCE – CAMPUS FORTALEZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA E GESTÃO
AMBIENTAL
MESTRADO ACADÊMICO EM TECNOLOGIA E GESTÃO AMBIENTAL**

SUELLEN GALVÃO MORAES

**DERRAMAMENTO DE ÓLEO EM MANGUEZAIS: UM ESTUDO DE
REVISÃO SISTEMÁTICA**

FORTALEZA

2020

SUELLEN GALVÃO MORAES

Projeto de dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) – *Campus* Fortaleza, como requisito parcial para obtenção de Título de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental.

Orientadora: Profa. Dra. Rafaela Camargo Maia.

Co-orientadora: Profa. Dra. Emília Maria Alves Santos

FORTALEZA

2020

SUELLEN GALVÃO MORAES

DERRAMAMENTO DE ÓLEO EM MANGUEZAIS: UM ESTUDO DE REVISÃO
SISTEMÁTICA

Projeto de dissertação apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Gestão Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE) – *Campus* Fortaleza, como requisito parcial para obtenção de Título de Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental.

Aprovado em: _/_/____.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Rafaela Camargo Maia (Orientadora)

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Profa. Dra. Nájila Rejanne Alencar Julião Cabral

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

Dr. Ricardo Coutinho

Instituto de Ciências do Mar Almirante Moreira (IEAPM)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Instituto Federal do Ceará - IFCE
Sistema de Bibliotecas - SIBI
Ficha catalográfica elaborada pelo SIBI/IFCE, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

MORAES, SUELLEN GALVÃO.

DERRAMAMENTO DE ÓLEO EM MANGUEZAIS : UM ESTUDO DE REVISÃO SISTEMÁTICA /
SUELLEN GALVÃO MORAES. - 2021.

105 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Instituto Federal do Ceará, Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental,
Campus Fortaleza, 2021.

Orientação: Profa. Dra. Rafaela Camargo Maia.

Coorientação: Profa. Dra. Emília Maria Alves Santos.

1. Ecossistema manguezal. 2. Derramamento de óleo. 3. Impactos ambientais. 4. Recomendação
PRISMA. I. Título.

CDD 628

Aos manguezais do mundo inteiro.

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom da vida, pela graça da saúde, por minha família e amigos especiais que me acompanham ao longo da vida.

A Rafaela Camargo Maia, pela generosidade e empenho com que orienta todos seus alunos.

A Najila Rejanne Alencar Julião Cabral por tanto conhecimento e disposição à ensinar.

Às professoras e mentoras que tive ao longo da minha jornada acadêmica e certamente contribuíram decisivamente para que esse momento chegasse: Iane Sampaio Moreira Lima (*in memoriam*), Márcia Thelma Rios Donato Marinho e Adriana de Oliveira Leite.

Ao Rodrigo, meu esposo, que sempre viu em mim mais do que eu mesma.

RESUMO

Em 2019, o litoral brasileiro sofreu o maior acidente com derramamento de óleo de sua história, quando mais de 3000 km e 980 praias na linha de costa brasileira, incluindo áreas de preservação, recifes de corais e manguezais, foram afetados, tornando-se o mais extenso e severo evento já registrado em regiões tropicais costeiras do mundo. Dessa forma, esta pesquisa versa sobre o impacto do derramamento de óleo no ecossistema manguezal. Tenciona sistematizar causas e impactos relatados nesses ambientes provocados por óleo, considerando os componentes ecossistêmicos, fauna, flora, solo e microorganismos. Apresenta métodos de remediação e biorremediação utilizados em manguezais impactados pelo óleo, além de comparar os procedimentos adotados no mundo na contenção dos impactos nesse ecossistema com os realizados no Brasil em 2019. Utilizou-se para tanto, revisão sistemática com recomendação PRISMA aplicando ao recorte temporal entre 2010 e 2020. Os resultados encontrados evidenciaram a extensão de áreas de manguezais já atingidos em todo mundo por eventos envolvendo derramamento de óleo, sendo representado por 11 países. Os efeitos sobre a biota dos manguezais podem ser de curto, médio ou longo prazo, e são observados na distribuição, abundância, anatomia, fisiologia e/ou reprodução dos organismos, com possível comprometimento na oferta dos bens e serviços ambientais. Ressalta-se que os dados evidenciam lacunas de conhecimento para diversos grupos taxonômicos presentes no ecossistema, bem como, ausência de pesquisas que abordem os efeitos desses impactos nas comunidades tradicionais. Adicionalmente, grupos diversos de microrganismos foram identificados apresentando prevalência ou redução na presença do contaminante, o que são importantes referências para o desenvolvimento de estratégias de biorremediação para derramamento de óleo. Relativo aos procedimentos adotados pelo Governo Brasileiro frente ao ineditismo do acidente quanto à coordenação das ações de contenção de impactos do óleo, observou-se evidente desarticulação e senso de urgência quanto à implementação coordenada do Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional instituído pelo Decreto 8.127/2013. Sugere-se assim, monitoramento de médio e longo prazo dos manguezais atingidos pelo óleo, bem como a sistematização de informações técnicas e científicas acerca de medidas de contenção de acidentes com óleo em manguezais, grupos permanentes de educação ambiental, análise e interlocutores entre as comunidades e esses grupos, além de estratégias de planos de ação bem definidos, com coordenação inequívoca e atuante e que sejam informações disponíveis à toda sociedade. Os dados encontrados nesta pesquisa podem fornecer subsídios para projetos e programas de monitoramento e manejo de áreas de manguezais afetadas por óleo.

Palavras-chave: Ecossistema manguezal. Derramamento de óleo. Impactos ambientais. Recomendação PRISMA.

ABSTRACT

In 2019, the Brazilian coastline suffered the biggest oil spill accident in its history, when more than 3000 km and 980 beaches on the Brazilian coastline, including conservation areas, coral reefs and mangroves, were affected, becoming the most extensive and severe event ever recorded in tropical coastal regions in the world. Thus, this research is about the impact of the oil spill on the mangrove ecosystem. It intends to systematize the causes and impacts reported in these environments caused by oil, considering the ecosystem components, fauna, flora, soil and microorganisms. It presents remediation and bioremediation methods used in mangroves impacted by the oil, in addition to comparing the procedures adopted in the world to contain the impacts on this ecosystem with those carried out in Brazil in 2019. For this, a systematic review with PRISMA recommendation was used, applying to the time frame between 2010 and 2020. The results found evidenced the extension of mangrove areas already affected around the world by events involving oil spills, being represented by 11 countries. The effects on the mangrove biota can be short, medium or long term, and are observed in the distribution, abundance, anatomy, physiology and/or reproduction of the organisms, with possible compromise in the supply of environmental goods and services. It is noteworthy that the data show knowledge gaps for various taxonomic groups present in the ecosystem, as well as a lack of research addressing the effects of these impacts on traditional communities. Additionally, diverse groups of microorganisms were identified showing prevalence or reduction in the presence of the contaminant, which are important references for the development of bioremediation strategies for oil spills. Regarding the procedures adopted by the Brazilian Government in view of the unprecedented nature of the accident regarding the coordination of actions to contain oil impacts, there was an evident disarticulation and sense of urgency regarding the coordinated implementation of the National Contingency Plan for Incidents of Oil Pollution in Water under National Jurisdiction established by Decree 8,127/2013. Thus, it is suggested, medium and long-term monitoring of the mangroves affected by the oil, as well as the systematization of technical and scientific information about measures to contain oil accidents in mangroves, permanent groups for environmental education, analysis and interlocutors between communities and these groups, in addition to well-defined action plan strategies, with unequivocal and active coordination and that are information available to society as a whole. The data found in this research can provide support for projects and programs for monitoring and managing mangrove areas affected by oil.

Keywords: Mangrove ecosystem. Oil spill. Environmental impacts. PRISMA Recommendation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 — Fluxograma do procedimento de seleção das referências.....	28
Figura 2 — Mapeamento dos artigos acerca do impacto do óleo em manguezais publicados entre 2010 e 2020 no mundo.....	35
Figura 3 — Refinarias ilegais localizadas com áreas de mangue impactadas. Círculos vermelhos indicam refinarias ilegais e Círculos amarelos o que parecem ser refinarias ilegais.....	38
Figura 4 — Imagens de manguezais em diferentes estágios: A- 11 dias após o oleamento com todas em áreas fortemente oleadas; B- 4,5 anos após oleamento mostrando clara perda de habitat; C- a muda recruta 25 anos após o oleamento; D- 26 anos após a oleamento apresentando recuperação parcial.....	41
Figura 5 — 5a) raiz exposta a água salgada, petróleo bruto (Tansel <i>et al.</i> , 2015); 5b) propágulos albinos de <i>A. marina</i> após derramamento de óleo em Sidney, Austrália. (Veldkornet <i>et al.</i> , 2020); 5c) mudas colhidas de <i>A. marina</i> (esquerda), <i>B. gymnorhiza</i> (meio) e <i>R. mucronata</i> (direita) sob os tratamentos oleado (O) e controle (C) (G. NAIDOO e K. NAIDOO, 2017a).....	46
Figura 6 — Linha do tempo referente ao derrame de óleo no Brasil em 2019.....	77

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Gráfico 1 — Número de artigos identificados nos diferentes bancos de dados de busca sobre derramamento de óleo em manguezais.....	29
Gráfico 2 — Tipos de investigação utilizadas nos artigos selecionados sobre derramamento de óleo em manguezais.....	30
Gráfico 3 — Componentes investigados nos artigos selecionados sobre derramamento de óleo em manguezais.....	31
Gráfico 4 — Número de publicações por cada ano investigado.....	32
Gráfico 5 — Tipos de derramamento mencionados nos artigos avaliados.....	32
Quadro 1 — Critérios de elegibilidade para a seleção das referências.....	26
Quadro 2 — Tipo de derramamento, localização e quantidade de óleo derramado, excluindo N/E e Desconhecido, em áreas de manguezal em todo mundo.....	33
Quadro 3 — Efeitos relatados em espécies de mangue em diferentes períodos após oleamento ou efeitos de derramamentos crônicos.....	43
Quadro 4 — Espécies de fauna avaliadas em estudos sobre derramamento de óleo em manguezais considerando a importância para o comércio ou consumo humano, endemismo, o fato de serem bioindicadoras e a categoria de conservação listada pela IUCN.....	50
Quadro 5 — Espécies de microrganismos avaliados nos estudos, considerando o aspecto avaliado e de onde foi isolado.....	58
Quadro 6 — Lista de microrganismos classificados quanto à ordem e família identificados nos estudos considerados.....	62
Quadro 7 — Potencial de biorremediação em relação à contaminação por óleo em manguezais pelos microrganismos avaliados.....	65
Quadro 8 — Recomendações para opções de resposta em manguezais contaminados por óleo pesado.....	73

LISTA DE SIGLAS

CEDRE	<i>Centre of Documentation, Research and Experimentation on Accidental Water Pollution</i>
CETESB	Companhia Ambiental do estado de São Paulo
DAP	Diâmetro a altura do peito
E&P	Exploração e Produção
IBAMA	Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
ITOPF	<i>International Tanker Owners Pollution Federation Limited</i>
LSMSP	Parque Estadual Marinho da Laje de Santos
MB	Marinha do Brasil
MNA	Atenuação natural monitorada
NOAA	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration</i>
OTUS	Unidades operacionais taxonômicas
PAHs	Hidrocarbonetos policíclicos aromáticos
PIB	Produto Interno Bruto
PH	Hidrocarbonetos de petróleo
PRISMA	<i>Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses</i>
RGP	Registro Geral de Pesca
SCAT	<i>Shoreline Cleanup Assessment Technique</i>
SES	Sistema Estuarino de Santos
SIG	Sistema de Informação Georreferenciada
PNC	Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional
GAA	Grupo de Acompanhamento e Apoio

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	OBJETIVOS.....	15
2.1	Geral.....	15
2.2	Específicos.....	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	16
3.1	Ecossistema manguezal.....	16
3.2	Acidentes com derramamento de óleo.....	18
3.3	Impactos do óleo nos manguezais.....	23
4.	MATERIAL E MÉTODOS.....	23
5	RESULTADOS.....	28
5.1	Caracterização da amostra.....	28
5.2	Impactos relatados para flora.....	39
5.3	Impactos relatados para fauna.....	48
5.4	Impactos relatados para o solo.....	55
5.5	Impactos relatados para microrganismos.....	56
5.6	Remediação e Biorremediação.....	63
5.7	Planejamento, operação e procedimentos de limpeza em manguezais atingidos por óleo.....	70
5.7.1	<i>O derramamento de óleo no Nordeste do Brasil em 2019.....</i>	75
	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	80
	REFERÊNCIAS.....	84
	APÊNDICE A — RELAÇÃO DE ARTIGOS UTILIZADOS NA PESQUISA.....	95

INTRODUÇÃO

O ecossistema manguezal está associado às margens de baías, enseadas, barras, desembocaduras de rios, lagunas e reentrâncias costeiras, onde haja encontro de águas de rios com a do mar, ou diretamente expostos à linha da costa. Estão sujeitos ao regime das marés, sendo dominados por espécies vegetais típicas, às quais se associam a outros componentes vegetais e animais (KNIGHT *et al.*, 2008; SCHAEFFER-NOVELLI, 2018).

Esses sistemas são responsáveis por ampla gama de funções ecológicas, notadamente proteção da linha de costa contra tempestades e inundações, sequestro de carbono, berçário da vida marinha, formação de solos, devido sua capacidade de capturar e reter sedimentos (LEE *et al.*, 2014; MURDIYARSO *et al.*, 2015), produção de madeira e ecoturismo (MURDIYARSO *et al.*, 2015). Apresentam ainda alta taxa de produtividade biológica devido à concentração de água, matéria orgânica e nutrientes (ALVES, 2001; MURDIYARSO *et al.*, 2015), ocupando a segunda posição em termos de produtividade bruta, superado somente pelos recifes de corais (DONATO *et al.*, 2011). Dessa maneira, são considerados como ecossistemas-chave, pois seu funcionamento impacta outros ecossistemas maiores e mais diversos que por estarem conectados a estes dependem de sua conservação (DINERSTEIN *et al.*, 1995).

Dentre os impactos sofridos pelos manguezais estão os relacionados à exploração humana, devido à conversão dessas áreas para a aquicultura, agricultura e a expansão urbana (LEE *et al.*, 2014), usos do solo urbano, como áreas industriais, comerciais e residenciais (DAHDOUH-GUEBAS, 2011), o desmatamento (FRIESS, 2019), turismo (FANDÉ; PEREIRA, 2014) e a deposição de resíduos sólidos (SOUZA; MAIA, 2019). Estas perturbações agem de forma direta ou indireta, promovendo perdas significativas do ecossistema em todo o mundo. Com esse contexto de uso e ocupação desordenados, o ecossistema manguezal tem perecido e por vezes sendo negligenciado quanto à conservação prioritária (MAIA *et al.*, 2019).

Acidentes com derramamento de óleo quase são sempre motivo de atenção e alerta tendo em vista seu elevado potencial de impactos aos ambientes, notadamente relacionados às zonas costeiras que abrigam ecossistemas únicos e de grande vulnerabilidade, além de riscos à vida humana e os recursos financeiros empregados na remediação e controle.

Como consequência do processo produtivo do petróleo, seja em terra ou em mar,

o potencial derramamento de óleo nos oceanos consiste numa realidade. Para Cardoso (2005), acidentes com derrame de óleo podem ocorrer por diversos motivos, principalmente durante seu transporte. De acordo com *International Tanker Owners Pollution Federation Limited* (ITOPF), a maioria dos acidentes com derramamento de óleo ocorridos entre 1970 e 2019, deu-se por colisões entre navios petroleiros e/ou por naufrágios, tais derramamentos podem chegar à costa atingindo seus ecossistemas, como os manguezais (ITOPF, 2020).

Ao longo da história recente tem-se noticiado alguns casos de acidentes de grande porte que tiveram grande repercussão midiática e comoção social, porém nem todos os acidentes têm suas causas identificadas apesar das grandes proporções, que por vezes, podem assumir. No segundo semestre de 2019, o litoral brasileiro, notadamente no Nordeste, sofreu o maior desastre ambiental, oriundo do derramamento de petróleo, em escala geográfica já registrado (RAMALHO *et al.*, 2020). A nota técnica da Marinha do Brasil (MB) de 19 de agosto de 2020 considera como hipóteses da origem do óleo, naufrágios e derramamentos acidentais. Após quatro meses de constante surgimento de manchas, ao longo de mais de 3000 km e 980 praias na linha de costa brasileira, incluindo áreas de preservação, recifes de corais e manguezais, este se tornou o mais extenso e severo evento já registrado em regiões tropicais costeiras do mundo (SOARES *et al.*, 2020a; SOARES *et al.*, 2020b).

Uma vez que o óleo é liberado no litoral permanece sujeito à ação das marés podendo alcançar estuários e manguezais e ao depositar-se nesses ambientes, é rapidamente aderido às superfícies de fauna e flora locais, encobrindo tocas e cavidades no solo, sufocando as espécies que ali vivem (DUKE, 2016). Essa perturbação afeta os serviços ecossistêmicos dos manguezais, como a produção pesqueira e a proteção costeira, além de provocar falha na germinação, desfolhamento, aumento da taxa de mutação e da sensibilidade a outros estresses dos mangues, podendo persistir por décadas (NOAA, 2014). O derrame de óleo *offshore* está sujeito à ação dos ventos e das marés, podendo chegar a ambientes costeiros como os manguezais. Manguezais são altamente vulneráveis à presença de óleo, pois o mesmo se deposita sobre a superfície sensível das plantas causando morte e impactos sub letais nesses ambientes, afetando ainda o solo e a vida marinha (KERAMBRUN, 2017; DUKE, 2016).

Dessa forma, considerando-se os efeitos deletérios conhecidos e reconhecidos por inúmeros autores, instituições governamentais e não governamentais que o óleo causa nos ambientes que ele atinge e tendo em vista as controvérsias quanto às medidas

de contenção e ações governamentais empreendidas pelo Estado brasileiro por ocasião desse acidente, indaga-se se os procedimentos seguidos, quando acidentes como este acontecem, estão condizentes com os realizados pelo mundo afora.

Além disso, objetiva-se sistematizar através de uma revisão sistemática as causas e impactos relatados no ecossistema manguezal por petróleo relatadas por pesquisadores de diversas regiões do mundo e adicionalmente como objetivos específicos, busca-se analisar as causas e os impactos relatados nesses ecossistemas pelo óleo, bem como comparar os procedimentos adotados no mundo para a contenção dos impactos nesse ecossistema com os realizados no Brasil em 2019.

Tendo em vista ser um evento inédito no Brasil com essas características, sobretudo em abrangência, tanto mais pesquisas sejam empreendidas, mais embasamento para compreensão das consequências e alinhamento de tomadas de decisão poderão ser mais assertivas e os impactos negativos minimizados, sobretudo em ambientes mais sensíveis como os manguezais.

1 OBJETIVOS

Dentro da contextualização abordada, o estudo apresenta como objetivos geral e específicos:

2.1 Objetivo geral

Sistematizar causas e impactos relatados no ecossistema manguezal por petróleo.

2.2 Objetivos específicos

Revisar a literatura científica disponível sobre o tema derramamento de óleo em manguezais;

Analisar as causas e os impactos relatados no ecossistema manguezal pelo óleo, considerando a flora, fauna, solo e microrganismos;

Identificar métodos de remediação e biorremediação utilizados em manguezais impactados pelo óleo;

Comparar os procedimentos adotados no mundo na contenção dos impactos nesse ecossistema com os realizados no Brasil em 2019.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este tópico visa esclarecer assuntos e conceitos fundamentais para a melhor compreensão e desenvolvimento do tema abordado.

3.1 Ecossistema manguezal

O manguezal é definido na Legislação Brasileira, pela Lei nº 12.651 de 25 de maio de 2012, como:

ecossistema litorâneo que ocorre em terrenos baixos, sujeitos à ação das marés, formado por vasas lodosas recentes ou arenosas, às quais se associa, predominantemente, a vegetação natural conhecida como mangue, com influência fluviomarinha, típica de solos limosos de regiões estuarinas e com dispersão descontínua ao longo da costa brasileira (BRASIL, 2012, p.03).

É encontrado em 123 países localizados em regiões tropicais e na intersecção com as subtropicais, compreendendo uma área de aproximadamente 150.000 Km² (GIRI *et al.*, 2011; SPALDING e COLLINS, 2010). No Brasil é predominante na fisiografia litorânea, sendo seu limite norte, o estado do Amapá (30° N) e Sul, a cidade de Laguna em Santa Catarina (30°S).

O termo mangue “é o nome dado a diversas plantas, pertencentes a várias famílias, próprias das formações vegetais de águas salobras ou meio salobras” (KRAUSS; BALL, 2013, p. 01). É um grupo de plantas que apresenta morfologia e fisiologia altamente desenvolvida para adaptação às condições extremas, tais como hipersalinidade, baixa taxa de oxigênio (PRABHU e GURUVAYOORAPPAN, 2012; KRAUSS e BALL, 2013) e solos hidromórficos, constantemente inundados (ROSSI, 2002).

Por essas razões, esse ambiente apresenta reduzida riqueza de espécies vegetais. Na América, as espécies de mangue estão distribuídas em cinco gêneros (*Rhizophora*, *Avicennia*, *Laguncularia*, *Conocarpus* e *Pelliciera*) (SCHAEFFER-NOVELLI; CINTRÓN, 1986). No Brasil, ocorrem seis espécies vegetais verdadeiras de mangue: *Avicennia germinans*, *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*, *Rhizophora racemosa* e *Rhizophora harrisonii* (SCHAEFFER-NOVELLI; CINTRÓN, 1986).

Espécies do gênero *Rhizophora* são conhecidas popularmente por mangue vermelho ou mangue verdadeiro. As árvores podem alcançar em média 19 metros de

altura e 30 centímetros de DAP (diâmetro à altura do peito, medido a 1,30 m do solo), na idade adulta (MAIA *et al.*, 2006). O gênero *Avicennia* é conhecido popularmente por mangue preto ou mangue siriúba. A árvore pode alcançar 11 metros de altura e 20 centímetros de DAP (MAIA *et al.*, 2006). O gênero *Laguncularia* é conhecido popularmente por mangue branco, mangue manso ou tinteira. É um gênero monoespecífico. A árvore que pode alcançar cerca de 12 metros de altura e 30 centímetros de DAP (MAIA *et al.*, 2006).

Diferentemente do que ocorre com os vegetais, a “fauna encontrada no manguezal não é exclusiva desse ecossistema, possuindo representantes da fauna dos ambientes terrestre, marinho e estuarino” (SCHAEFFER-NOVELLI, 2018, p. 31). De acordo com Lacerda (2003, p. 206):

a fauna do ecossistema manguezal pode ser agrupada em quatro diferentes comunidades: I - espécies associadas à copa das árvores; II - espécies terrestres que visitam o manguezal em busca de alimento; III - organismos marinhos que necessitam do ecossistema para desenvolver parte do seu ciclo de vida; e IV - animais que habitam os sedimentos.

Conforme Sheela (2008), os solos dos manguezais se formam pelo acúmulo de sedimentos de origem orgânica e inorgânica, oriundos do litoral, das margens de rios, solos erodidos ou ainda pelos solos de áreas mais altas. Por serem transportados pelos rios, podem apresentar características diferentes devido à variação na intensidade de geração e do transporte deste material, bem como em função das variações climáticas e atividades de fauna e flora (ANDREOTE *et al.*, 2012). A ação diária das marés é o principal mecanismo de penetração das águas salinas nos manguezais.

Lacerda (1998) considera que os solos de manguezal são importantes recicladores de matéria orgânica, cuja distribuição e permanência são influenciadas pela textura do sedimento, composição mineralógica, estado de oxirredução, processos de adsorção e desorção e por transportes físicos. Funciona como um compartimento com grande capacidade de acumular compostos, tornando-os mais importantes na avaliação do nível de contaminação de ecossistemas aquáticos (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995).

Esses sistemas ainda são responsáveis por ampla gama de funções ecológicas, notadamente proteção da linha de costa contra tempestades e inundações, sequestro de carbono, berçário da vida marinha, formação de solos, devido sua capacidade de

capturar e reter sedimentos (LEE *et al.*, 2014; MURDIYARSO *et al.*, 2015), produção de madeira e ecoturismo (MURDIYARSO *et al.*, 2015).

O fornecimento e manutenção da qualidade da água, quando estes estão saudáveis, provêm matérias primas, como lenha de alta qualidade e madeiras diversas, comumente utilizadas por comunidades locais próximas a esses ecossistemas (UNEP, 2014). A vegetação de mangue também presta alguns serviços ecossistêmicos, pois serve como local para reprodução e berçário para inúmeras espécies marinhas e são também fonte de alimento, medicamento, combustível e materiais de construção para as comunidades locais (GIRI *et al.*, 2008).

Dessa maneira, instrumentos legais são importantes para incluir esses ambientes como áreas que necessitam ser preservadas e controlar atividades potencialmente danosas. Nesse sentido a Lei nº 12.651/2012, caracteriza o ecossistema manguezal como Área de Preservação Permanente-APP “em toda sua extensão”, embora conceitualmente, a referida Lei apresente os salgados e apicuns como feições separadas deste ecossistema (BRASIL, 2012). Ainda no âmbito nacional a própria Constituição Federal de 1988, no Art. 225, inclui a zona costeira como área do Patrimônio Nacional, abordando sobre os usos e limites de exploração e ocupação de modo a se preservar os recursos naturais e ecossistemas (NASCIMENTO, 2007).

Maia *et al.* (2019) relatam outros dispositivos nacionais e internacionais que corroboram com a necessidade da preservação das zonas costeiras, tais como a Convenção de Washington (1940), a Convenção de Zonas Úmidas - RAMSAR (1971), a Convenção da Biodiversidade (1992) e a Declaração do Rio (1992).

E de forma específica para atividades petrolíferas, aponta-se a Portaria MMA nº 422 de 2011, “que dispõe sobre procedimentos para o licenciamento ambiental federal de atividades e empreendimentos de exploração, produção de petróleo e gás natural no ambiente marinho e em zona de transição terra-mar” (BRASIL, 2011, p. 01).

Tais recursos normativos e legais dão suporte e promovem a atenção para esses ambientes, entretanto, segundo dados publicados por Kauffman *et al.* (2017), há o desaparecimento dessas florestas a uma taxa de aproximadamente 1% ao ano e Diniz *et al.* (2019) chegaram ao dado de perda de floresta de mangue no Brasil em até 2% ao ano no período de 1999 a 2018.

3.2 Acidentes com derramamento de óleo

De acordo com Simões (2015) a indústria petrolífera surgiu em meados do século XIX, quando foi descoberto o primeiro poço produtor de petróleo do mundo, com 21 metros de profundidade, na Pensilvânia, EUA. No Brasil, o primeiro poço perfurado foi em 1897 no município de Bofete (SP), atingindo 488m de profundidade, mas apenas dois barris foram retirados (AGÊNCIA BRASIL, 2006). Neste período, o petróleo e seus derivados percorreram um caminho que favoreceu o desenvolvimento de diversos setores da economia e se tornou uma das principais fontes de energia no Brasil e no mundo (IEA, 2018).

O consumo de energia está diretamente relacionado à riqueza da nação, visto que, países ricos, medidos pelo indicador Produto Interno Bruto (PIB), consomem mais energia do que os países pobres, entretanto, os países desenvolvidos são responsáveis por 58% do consumo de petróleo no mundo e possuem menos de 7% das reservas (SIMÕES, 2015, p. 03).

A matriz energética mundial, em 2016, somados Petróleo e seus derivados e Gás Natural, correspondiam a 54% (IEA, 2018) e no Brasil 49,4% (BEN, 2018). Evidencia-se então, a relevância que a matriz energética oriunda do petróleo ocupa na economia brasileira e mundo afora. Todavia, tal segmento enseja em toda sua cadeia de valor, inúmeros impactos ambientais reais e potenciais de diversas ordens e níveis de abrangência, tendo em vista que sua exploração pode ser *onshore* ou *offshore*.

Porter (1989) considera que uma cadeia de valor representa o conjunto de atividades que são desempenhadas por uma organização desde as relações com os fornecedores e ciclos de produção e de venda até a fase da distribuição final ao consumidor. Kimura (2005) descreve que em cada etapa da cadeia petrolífera a logística é um elemento essencial, tanto na exploração e produção, escoamento do produto até as refinarias.

De acordo com Barros, Tammela e Cruz (2010); Donato (2012) e Kimura (2005) a logística da indústria do petróleo e gás é classificada em *upstream*- conjunto de todas as atividades de exploração e produção (E&P); *midstream*- envolve as atividades de refino até a obtenção dos derivados, ou seja, o processamento de petróleo e gás e *downstream*- contempla a distribuição e revenda dos derivados para o mercado consumidor. Entretanto, essas atividades logísticas podem causar impactos ambientais significativos, por essa razão, o setor produtivo é pressionado tanto por legislações,

mercados consumidores e acionistas para reduzir os impactos ambientais decorrentes de suas atividades.

Acidentes envolvendo derramamento de óleo são sempre motivo de preocupação, pois são considerados uma das principais formas de poluição, sobretudo da vida marinha e independentemente da quantidade de óleo derramada, os efeitos podem ser devastadores, tendo os impactos relacionados de maneira direta ou mesmo pelo processo de resposta da limpeza do ambiente (KERAMBRUN, 2017).

No entanto, derramamentos de óleo podem ocorrer de diversas formas, causas e proporções. Seja por falhas durante as extrações nas plataformas, nos transportes de petroleiros, por falhas nos oleodutos, ocasionado por eventos naturais, de forma accidental ou proposital, envolvendo perdas de vidas humanas ou não (THOMPSON, 2010). Os riscos envolvendo plataformas de petróleo são proporcionais à profundidade de exploração. O perigo advém não apenas da extração e separação de óleo, água e gás, bem como seu armazenamento, mas também da própria flutuação da estrutura.

O maior derramamento de óleo da história, não accidental, ocorreu por uma ação deliberada durante a Guerra do Golfo, em 1991. Quando as forças iraquianas se retiraram do Kuwait, o exército de Saddam Houssein abriu oleodutos e válvulas de poços de petróleo e depois tocou fogo como uma medida para impedir que as forças dos Estados Unidos aterrissassem na área. Durante esse evento, 800,00t de óleo foram derramadas e estima-se que 20.000 aves tenham morrido oleadas e milhares de caranguejos mortos foram encontrados em marismas, manguezais e praias (NOAA, 1992).

De maneira accidental, o primeiro acidente grave registrado envolvendo o derrame de óleo no mar foi com o navio petroleiro *Torrey Canyon* (1967), onde 123.000t foram derramadas na costa do Reino Unido e queimadas durante vinte dias seguidos (NOAA, 1992). Tornou-se um dos primeiros superpetroleiros à época que colidiu com uma barreira de corais em *Scilly Isle*, e apesar de nenhuma vida humana ter sido perdida (ITOPF, 2020), estima-se que aproximadamente 25 mil aves foram mortas, devido ter coincido com o período de migração para o Norte (NOAA, 1992).

Quase uma década após o acidente *Torrey Canyon*, em 1979, na Costa de Tobago, dois navios petroleiros se chocaram provocando uma explosão e a morte de vinte e seis tripulantes, além do derramamento de 287,000t de petróleo, tornando-se o maior vazamento de óleo por acidente com navios petroleiros da história (ITOPF, 2020). Devido à falta de estudos subsequentes ao evento, não se tem informações acerca

dos impactos ambientais provocados, apenas informações de poucas afetações na área costeira foram registradas (ITOF, 2020).

Ainda no mesmo ano, no Golfo do México, o poço de petróleo IXTOC 1 operado pela companhia Pemex, colapsou e vazou óleo por dez meses consecutivos, jorrando aproximadamente 140 milhões de galões (KAUSHIK, 2020). Todavia, os impactos na biodiversidade permanecem inconclusivos, também em virtude da falta de estudos prévios ao acidente. De acordo com Miglierini (2010), uma série de estudos argumentou que vários fatores reduziram o impacto consideravelmente. Entre eles, as altas temperaturas do mar, que ajudaram o óleo a evaporar e as correntes marítimas na área.

Outro grave acidente de grandes proporções foi a colisão, em 1989, do navio-tanque Exxon Valdez com o recife rochoso de Bligh, no Estreito de Prince William, nas imediações do Porto de Valdez, no Alasca, EUA. Esse evento gerou o vazamento de 240.500 barris de petróleo, cerca de 40 toneladas (Bluemink, 2010), por toda a Baía de Valdez. Essa região abrigada, de alta sensibilidade ambiental, é refúgio de aves e mamíferos marinhos e de grande importância para a pesca do salmão e do arenque, entre outras espécies de pescado (GREIF, 2017). Esse acidente levou à morte centenas de milhares de animais, especialmente por haver ocorrido no início da temporada de migração das aves (NOAA, 1992) e foi a partir desse evento novas regulamentações internacionais surgiram, desta vez com maior enfoque na prevenção e nas ações de resposta (GREIF, 2017).

Ainda no âmbito internacional, considerado o maior desastre ambiental da história dos EUA, a plataforma *Deepwater Horizon*, explodiu em abril de 2010 levando a morte de 11 trabalhadores e o derrame de 185 milhões de galões no mar do Golfo do México. Além disso, aproximadamente 4.500 animais mortos dentre esses, aves, tartarugas marinhas, mamíferos e até répteis e outros milhares foram cobertos com óleo em cinco estados americanos (Flórida, Alabama, Mississippi, Louisiana e Texas) foram atingidos pela mancha de petróleo, ficando conhecido como “maré negra” (CORRÊA, 2019).

No Brasil, o primeiro acidente registrado foi em 1960 e se refere ao navio Sinclair Petrolore, com vazamento estimado em 66.530 m³ de petróleo para o mar, após ter explodido e afundado próximo da Ilha de Trindade (ES), tendo um tripulante desaparecido e os demais vinte e nove resgatados no dia seguinte. Não se tem registros do comportamento da mancha de óleo ou de áreas afetadas (CETESB, 2012).

Porém, há uma divergência de dados no que diz respeito ao marco de acidentes no Brasil. Poffo, Xavier e Serpa (2001, p. 01) afirmam que:

o evento de 1974, quando o petroleiro Takimya Maru colidiu com uma rocha submersa no interior do Canal de São Sebastião, vazando cerca de 6.000t de óleo, seria o primeiro a ser considerado. Todavia, reconhecem que o marco inicial dos registros, tanto para a Companhia Ambiental do estado de São Paulo-CETESB como para a PETROBRAS foi a também colisão do petroleiro Brazilian Marina, em 1978, praticamente no mesmo local, com a liberação do mesmo volume ao mar (POFFO, XAVIER e SERPA, 2001, p. 01).

Com o passar dos anos, a atividade petrolífera em todo o mundo cresceu e se desenvolveu, incrementando-se as medidas de controle de riscos de acidentes. De acordo com o ITOPF (2020), nos últimos cinquenta anos a quantidade de óleo derramado por acidentes com petroleiros foi reduzida em 95%, passando de 319,500t/a na década de 1970 para 16.000t/a na década de 2010, tendo a maior causa como colisões entre petroleiros e em segundo lugar naufrágios. A maior parte do petróleo consumido no mundo é transportado através de navios petroleiros e mesmo com o aumento considerável do comércio de petróleo nos últimos 50 anos, os acidentes diminuíram (ITOPF, 2020).

Entretanto, em julho de 2019, no litoral nordeste brasileiro, deu-se início ao maior acidente por derramamento de óleo já ocorrido no Brasil. As manchas de óleo atingiram mais de mil pontos, incluindo praias, manguezais, rios e áreas protegidas, em todos os estados do Nordeste assim como nos estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo (RAMALHO *et al.*, 2020). Apesar do esforço em conjunto de diversas entidades governamentais, órgãos nacionais e internacionais, e da comunidade acadêmica, a MB, em nota à imprensa de 19 de agosto de 2020, informa que a causa ainda não foi identificada.

O vazamento de óleo atingiu não somente fauna e flora marinha, mas também comunidades tradicionais (pescadores, marisqueiras, quilombolas, extrativistas) que sobrevivem da renda advinda da comercialização dos produtos que coletam e seu consumo próprio, tendo sua soberania alimentar ameaçada (ROMAN e FUTADA, 2019). Araújo, Ramalho e Melo (2020), consideram que com o avanço das manchas de óleo, a atividade turística foi temporariamente afetada, levando a desistência dos turistas para locais aonde o óleo chegou, com isso hotéis, restaurantes, bares e similares, interromperam as encomendas dessas comunidades tradicionais.

Câmara *et al.* (2021) ressaltam que no Nordeste, região do Brasil mais afetada pelo óleo, uma série de determinantes demográficos, sociais, geomorfológicos e econômicos podem piorar os impactos socioeconômicos. Em estudo realizado acerca da vulnerabilidade socioeconômica das comunidades costeiras no Brasil, Câmara *et al.* (2021) identificaram que oito capitais dos nove estados da região são cidades costeiras e devido à forte concentração econômica dessas capitais, há grande influência sobre todo o território de seus estados o que leva a uma dependência econômica por outras cidades, gerando efeitos negativos socioeconômicos em cadeia.

Visando minimizar os danos econômicos, a Justiça do Ceará acatou a ação civil pública ajuizada em fevereiro de 2020 pela Defensoria Pública da União no Ceará a indenização de todos os pescadores profissionais artesanais e marisqueiras que foram afetados pelo derreamento de óleo e não apenas àqueles que possuíam Registro Geral de Pesca (RGP) ativo, como definido no Decreto Federal 908/2019 (BRASIL, 2020).

3.3 Impactos do óleo nos manguezais

A presença de hidrocarbonetos nos ambientes marinhos, causam distúrbios ecológicos, incluindo alteração da estrutura da comunidade aquática e das cadeias alimentares (REDDY *et al.*, 2002) podendo persistir por pelo menos 20 anos após o derramamento em manguezais (CORREDOR *et al.*, 1990).

Uma vez que o óleo é liberado no litoral permanece sujeito à ação das marés podendo alcançar estuários e manguezais e ao depositar-se nesses ambientes, é rapidamente aderido às superfícies de fauna e flora locais, encobrindo tocas e cavidades no solo, sufocando as espécies que ali vivem (DUKE, 2016). Assim, o ecossistema manguezal é considerado um ambiente altamente vulnerável a grandes derramamentos de óleo, sendo classificado como o habitat mais sensível dos trópicos, pois ao se depositar sobre a superfície das plantas, afeta solos e a vida marinha dependente dele, causando mortes e impactos subletais (NOAA, 2014; DUKE, 2016; KERAMBRUN, 2017).

O derrame de óleo pode afetar a fauna e flora de várias maneiras: intoxicação direta, perturbação do ambiente, sufocação de espécies, destruição do habitat ou de funcionalidades ecológicas (Kerambrun, 2017), tais como ciclagem de nutrientes, manutenção da qualidade da água, além de sequestro e armazenamento de carbono. (UNEP, 2014). Fauna e flora de menor porte morrem logo nos primeiros dias, a

depende da quantidade de óleo aderida, já as árvores de maior porte, podem levar até seis meses para morrerem, pois apenas suas raízes são atingidas e tanto mais leve for o óleo, mais danoso e prejudicial (MICHEL; RUTHEFORD, 2014; DUKE, 2016). Enquanto praias arenosas tendem a dispersar o óleo pela ação das ondas e marés, ambientes de manguezais tendem a retê-lo (NOAA, 2014) devido suas feições de florestas e bosques de mangues, baixa energia de ondas e consequente deposição de sedimentos, aumentando seu tempo de permanência nesse ambiente (MEIRELES *et al.*, 2020).

Duke (2016) alerta que os efeitos subletais são raramente quantificados, porém com frequência, são muito importantes tendo em vista que colaboram na definição de impactos gerais, bem como possíveis trajetórias de recuperação desses ambientes. Ainda, existem variáveis pertinentes às especificidades das espécies contidas nos manguezais, que irão influenciar na resposta desses habitats (DUKE *et al.*, 1998; DUKE; BURNS, 2003; LEWIS *et al.*, 2011). Além disso, impactos cumulativos ou crônicos podem diminuir a resiliência do ecossistema de manguezais e aumentar o tempo necessário para a recuperação do sistema ou dificultar sua recuperação (KERAMBRUN, 2017).

Estudo conduzido por M. Connolly, N. Connolly e Hayes (2020), pós-evento de derramamento de óleo no Sul da Austrália em 1992, aponta que não houve recuperação das áreas de manguezais fortemente oleadas 10 anos depois e que entre 10 e 25 anos, apenas 35% da área havia sido recuperada completamente, em relação ao período pré-evento. Ainda, as estimativas de modelagem preditiva indicaram que a recuperação completa dos manguezais para o evento ocorrido em 1992, levará 55 anos, ou seja, até o ano de 2047 (M. CONNOLLY; N. CONNOLLY; HAYES, 2020). Assim, pesquisas de médio e longo prazo são necessárias para conhecer melhor os impactos do derrame de óleo no ecossistema manguezal.

4. MATERIAL E MÉTODOS

A presente pesquisa consiste no levantamento bibliográfico feito por revisão sistemática com recomendação PRISMA - *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*, em português, Principais Itens a Relatar para Revisões Sistemáticas e Metanálises (MOHER *et al.*, 2009).

Compreende-se por revisão sistemática como um sumário de evidências provenientes de estudos primários que são conduzidos para dar resposta a uma questão específica de pesquisa. Utiliza-se para isso um processo de revisão de literatura abrangente, imparcial e reprodutível, que localiza, avalia e sintetiza o conjunto de evidências dos estudos científicos para obter uma visão geral e confiável da estimativa do efeito da intervenção (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012).

Ainda, a revisão sistemática caracteriza-se por uma pergunta formulada de forma clara, que utiliza métodos sistemáticos e explícitos para identificar, selecionar e avaliar criticamente pesquisas relevantes, e coletar e analisar dados desses estudos que são incluídos na revisão (MOHER *et al.*, 2009). Segundo os autores, a recomendação PRISMA é uma diretriz que tem como objetivo ajudar autores a melhorarem a qualidade do relato dos dados da Revisão Sistemática.

A recomendação PRISMA consiste em um *checklist* com 27 itens e um fluxograma de quatro etapas: identificação, seleção, elegibilidade e inclusão (MOHER *et al.*, 2009). Dessa forma, a base de dados considerada nesta pesquisa foi de trabalhos publicados desde o ano de 2010, quando ocorreu o maior acidente com derramamento de petróleo *offshore* da história, o *Deepwater Horizon* no Golfo do México, tendo em vista, que é considerado um marco por pesquisadores e cientistas no estabelecimento de novos procedimentos para responder a eventos futuros (NOAA, 2020).

Assim, identificou-se causas dos acidentes, consequências para os manguezais e procedimentos de contenção do impacto nesses ambientes. Para isso foram consultados os trabalhos publicados em periódicos nacionais e internacionais utilizando a base de dados SciELO, periódicos do Portal CAPES e *Science Direct*. Os termos de busca em português “manguezais + óleo”, “derrame de óleo + manguezais”, “petróleo + manguezais” e em inglês “oil + mangroves”, “oil spill + mangrove”, “oil spill + mangroves” foram considerados tanto para o título do trabalho como para as palavras-chaves do resumo e apenas revisado por pares. Quando o artigo não apresentou

palavras-chave, considerou-se as informações contidas no resumo. O termo manguezal foi buscado tanto no singular quanto no plural.

Também foram consideradas publicações contidas em sítios de instituições e órgãos relacionados com temática, tais como, *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), *Centre of Documentation, Research and Experimentation on Accidental Water Pollution* (CEDRE), Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA). Adicionalmente, visando coletar informações de órgãos oficiais envolvidos diretamente nas ações relativas ao derramamento do óleo no Brasil em 2019, utilizou-se as Notas à Imprensa da Marinha do Brasil e comunicações oficiais do IBAMA a esse respeito.

Foram excluídas as publicações duplicadas, literatura cinza (livros, teses, dissertações, monografias e resumos), publicações que não tiveram relato de impacto por derramamento de óleo em manguezais, artigos disponíveis na *web* em plataformas restritas e artigos publicados antes de 2010 e depois de 2020.

Portanto, os critérios de pertinência e validação da presente pesquisa estão apresentados no Quadro 1.

Quadro 1: Critérios de elegibilidade para a seleção das referências.

CRITÉRIOS DE ELEGIBILIDADE	
✓	Artigos disponíveis nas plataformas CAPES, <i>Science Direct</i> e Scielo
✓	Artigos publicados entre 2010 e 2020
✓	Artigos contendo os termos de busca no título e/ou resumo e/ou palavras-chave em português: “manguezais + óleo”, “derrame de óleo + manguezais”, “petróleo + manguezais”
✓	Artigo contendo os termos de busca título e/ou resumo e/ou palavras-chave em inglês: “oil + mangroves”, “oil spill + mangrove”, “oil spill + mangroves”
✓	Artigos revisados por pares.
CRITÉRIOS DE EXCLUSÃO	
✓	Publicações duplicadas
✓	Literatura cinza (livros, tese, dissertações, monografias e resumos)
✓	Publicações sem relato de impacto por derramamento de óleo em manguezais
✓	Artigos disponíveis na <i>web</i> em plataformas restritas e artigos publicados antes de 2010 e após 2020.

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

A pesquisa apresenta natureza básica, com objetivo descritivo e de procedimento bibliográfico numa abordagem qualiquantitativa. A coleta dos dados foi realizada por meio da leitura dos artigos e do registro das informações em uma matriz eletrônica (planilha de Excel) previamente construída. As variáveis amostradas em cada artigo foram divididas em 21 categorias distintas em relação à temática. Além disso, foram registrados os dados da publicação: ano, autor, título, do que se trata, tipo de investigação, tipo de derrame relatado, data do acidente, origem do óleo, região afetada, quantidade de óleo derramado, impactos para flora, fauna, sedimentos e microrganismos, procedimentos de remediação e/ou biorremediação, característica do bosque do mangue, os resultados da pesquisa e base de dados (SciELO, Portal CAPES e *Science Direct*). Os dados obtidos foram agrupados em gráficos, analisados conforme informações apresentadas e correlacionados.

Intencionou-se com isso verificar o arcabouço científico de publicações no Brasil e no mundo dos últimos dez anos acerca dos impactos causados por derramamentos de óleo em áreas de manguezais, áreas com maior número de publicações e o perfil de abordagem das pesquisas, além disso foram fornecidas informações acerca de procedimentos de limpeza e recuperação desses ambientes, comparativamente às ações que foram aplicadas no derramamento de óleo no Brasil em 2019.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

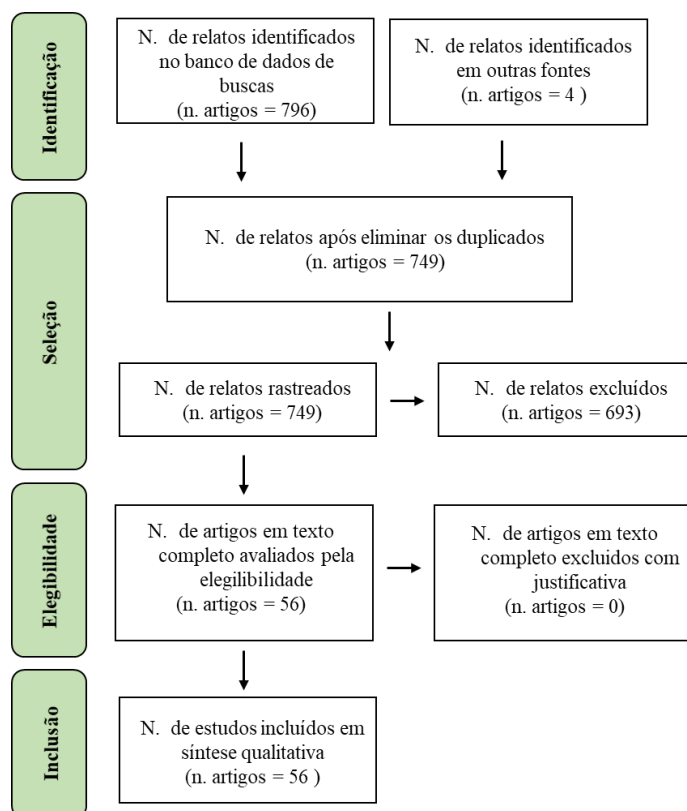
Nesta seção são apresentados os dados do levantamento bibliográfico feito por revisão sistemática seguidos de discussão pautada na interpretação e correlação das informações com outros estudos relacionados à temática.

Para uma melhor organização da análise das informações, esta seção foi dividida em sete tópicos:

5.1 Caracterização da amostra

Os resultados obtidos na pesquisa indicaram uma quantidade robusta de artigos dedicados a investigar os efeitos de óleos em suas diversas formas sobre o ecossistema manguezal nos últimos dez anos. Seguindo os critérios de busca e exclusão definidos previamente na recomendação PRISMA, restou um universo de 56 publicações para avaliação, destes, quatro são documentos de instituições/organismos oficiais que apresentam guias, protocolos, manuais de procedimentos para operacionalizar plano de contingência em áreas de manguezais afetadas por óleo (Figura 1).

Figura 1: Fluxograma do procedimento de seleção das referências bibliográficas.

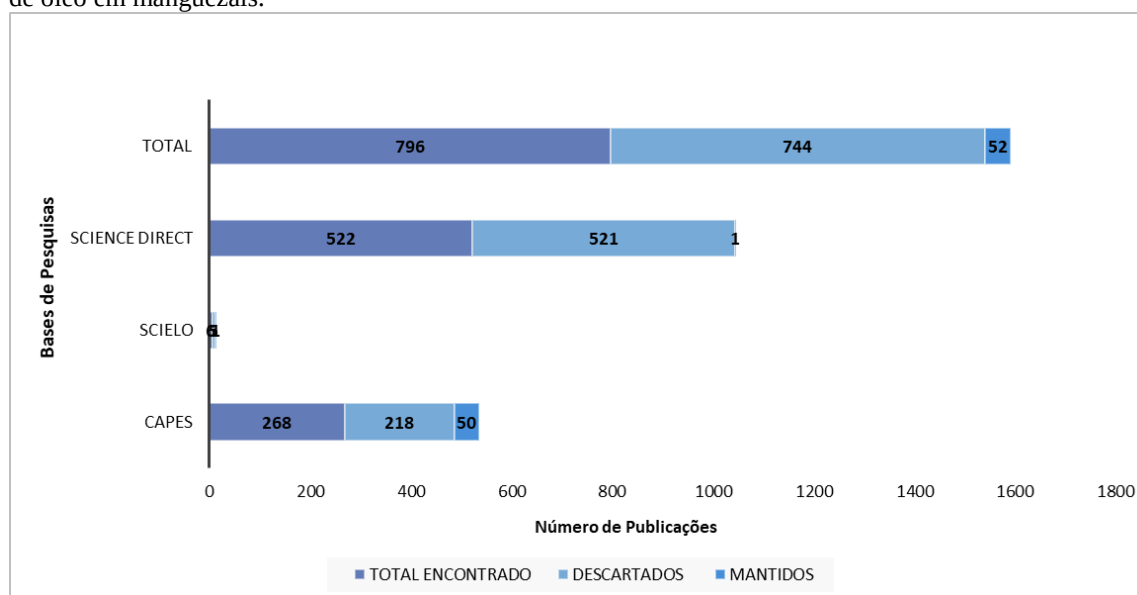


Fonte: Elaborado pela autora (2021). Adaptado de MOHER *et al.* (2009).

Dentre as três bases de dados utilizadas, a CAPES foi a que apresentou maior quantidade de artigos elegíveis, sendo um total de 50 artigos incluídos, dos 268 identificados. A base de dados Scielo apresentou o menor quantitativo, tanto em resultados de busca, como nos elegíveis para o estudo, uma vez que apenas seis artigos foram identificados e desses, apenas um foi incluído (Gráfico 1).

Para a base de dados *Science Direct* obteve-se o maior quantitativo de resultados de busca — 522, porém apenas um foi elegível. Pode-se atribuir esse cenário ao algoritmo de busca que considera outros termos similares, como “soil” o que aumenta o quantitativo final, porém, quando aplicados os critérios da recomendação, esse número cai consideravelmente. Soma-se a isso o fato de que essa foi a última base de dados a ser acessada, assim, muitos dos artigos foram eliminados por serem duplicados.

Gráfico 1: Número de artigos identificados nos diferentes bancos de dados de busca sobre derramamento de óleo em manguezais.



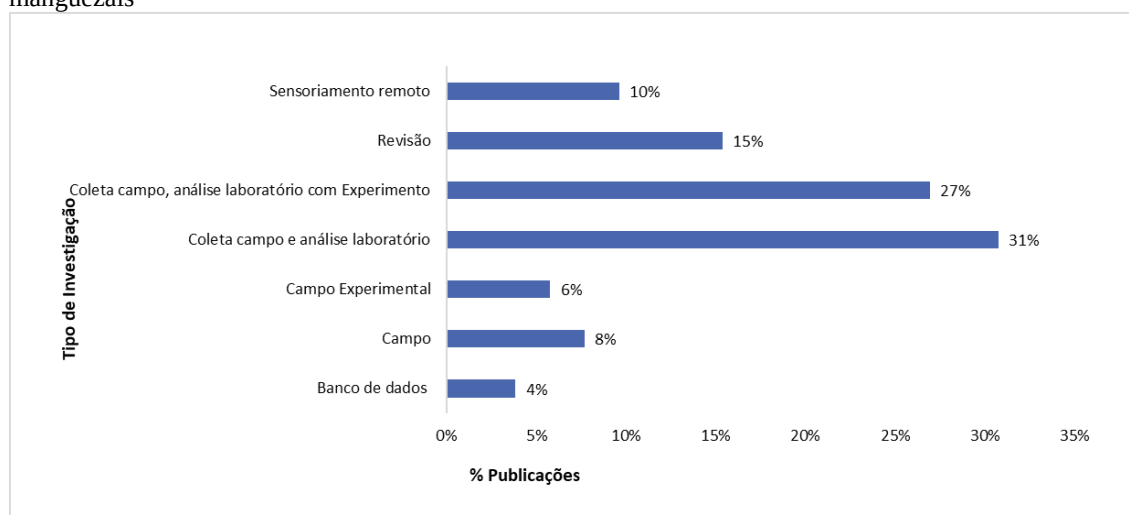
Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Relativo ao tipo de investigação, foram identificadas oito diferentes abordagens, a saber: Sensoriamento remoto que utiliza-se de imagens e mapeamento; Revisão bibliográfica de cunho teórico; Coleta em campo, Análise em Laboratório e Experimental, que coletam componentes a serem investigados em campo e aplica óleo em ambiente controlado (experimento) a fim de investigar as alterações; Coleta em campo e Análise em Laboratório, nos quais há coleta do componente a ser investigado, sem promover nenhuma alteração intencional; Campo experimental que utiliza o ambiente natural (*outdoor*) para testes e análises; Campo que analisa *in situ* o ambiente

previamente contaminado ou não; e Banco de dados que utiliza material previamente catalogado por outras pesquisas para comparar seus resultados, normalmente relaciona-se com estudos genéticos.

Pôde-se observar que a maior parte dos tipos de pesquisa refere-se à “Coleta em campo e análise em laboratório” com 31% das ocorrências, seguido por “Coleta campo, análise laboratório com Experimento” com 27% e apenas 8% dedicaram-se à investigação em campo (*outdoor*) propriamente dito. Os demais dividiram-se entre “Revisão” 15%, “Sensoriamento remoto” 10%, “Campo experimental” 6% e “Banco de dados” com 4% cada, como observado no gráfico 2.

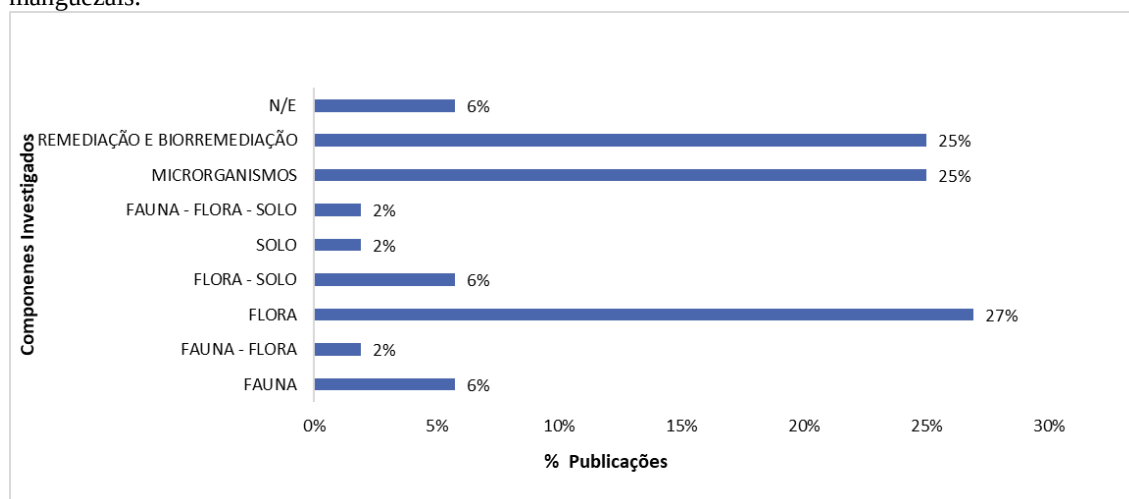
Gráfico 2: Tipos de investigação utilizadas nos artigos selecionados sobre derramamento de óleo em manguezais



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Relativos ao componente investigado nos artigos encontrados, observou-se que a maior parte dos artigos investigaram exclusivamente os efeitos do óleo na flora do manguezal (27%); os microrganismos como bactérias e fungos, e remediação e biorremediação, correspondendo a 25% cada; para fauna 6%, solo 2% e 6% não especificaram nenhum desses componentes por tratarem de investigação do tipo revisão bibliográfica. Porém, alguns artigos identificados avaliaram dois ou mais desses componentes (Gráfico 3).

Gráfico 3: Componentes investigados nos artigos selecionados sobre derramamento de óleo em manguezais.

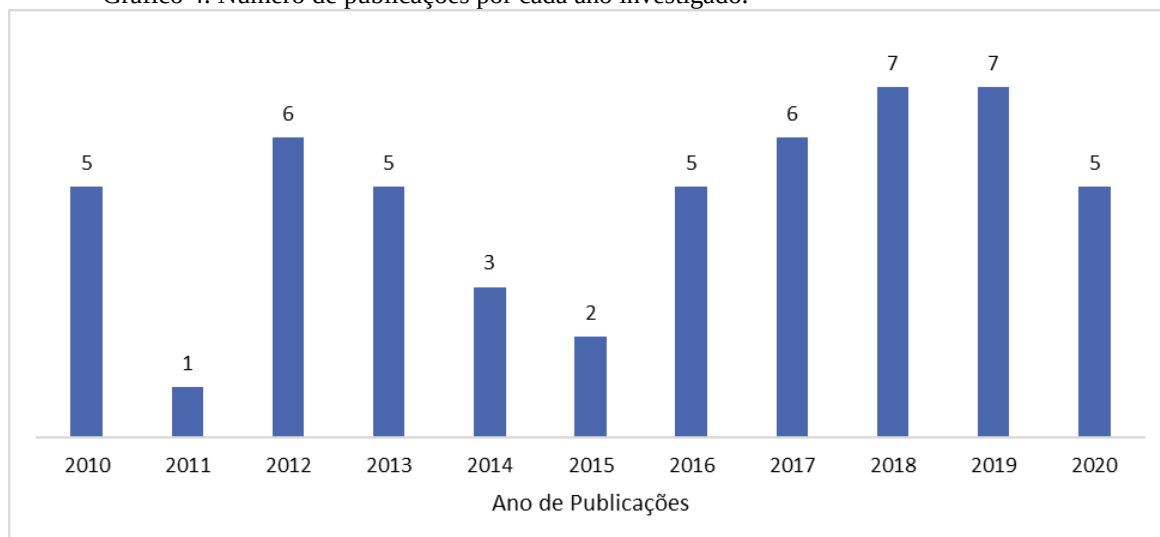


Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Intencionou-se ainda identificar impactos relativos à vida humana, mas nenhum dos trabalhos relatou esse impacto de forma direta, apenas dois artigos registraram impacto na economia por meio do comprometimento da pesca, água para consumo humano e do turismo. Estes foram Pegg e Zabbey (2013) que relataram acerca do rompimento de oleoduto em Bodo Creek, Nigéria, em que um vazamento de 658.322,700 litros de óleo, acabou com a atividade de pesca e comprometeu a água disponível para consumo de comunidades próximas ao acidente; e Magris e Giarrizzo (2020) que abordaram o derrame no Brasil de 2019, indicando que parte da pesca e do turismo foi comprometida.

Não foi possível estabelecer uma relação direta entre os anos de publicações com pós acidentes de grande visibilidade. Os anos de 2018 e 2019 apresentaram o maior número de publicações, sete cada seguindo-se de 2012 e 2017 com seis cada; 2010, 2013 e 2016 com cinco cada; 2014 com três; 2015 com dois; e 2011 com uma publicação apenas (Gráfico 4).

Gráfico 4: Número de publicações por cada ano investigado.

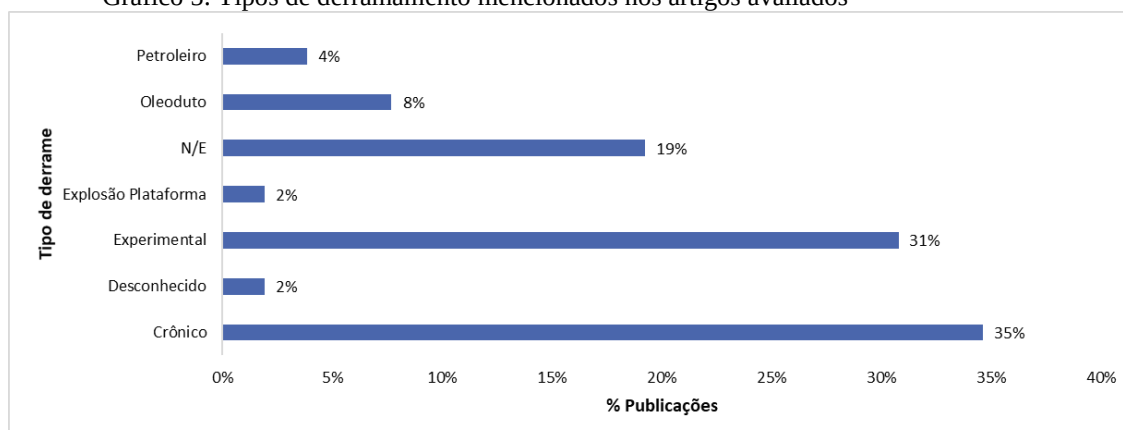


Fonte: Elaborado pela autora (2021).

A maioria dos artigos incluídos na análise, 35%, caracterizam como “Crônico”, tendo em vista tratar-se de regiões historicamente poluídas por óleo, quer seja por proximidade de algum equipamento petrolífero, como refinarias, oleodutos ou plataformas de extração de petróleo, quer seja por acidentes de grande proporção em que o impacto persiste por anos (Gráfico 5).

Os artigos que conduziram experimentos em campo ou em laboratórios com derramamento de petróleo, correspondem a 31% e os que não especificaram (N/E) se houve derramamento e/ou sua origem correspondem a 19%. Os que mencionam “rompimento de oleoduto” correspondem a 8%; acidentes envolvendo navio petroleiro 4%, explosão de plataforma e de origem desconhecida, 2% cada. Este último trata do acidente que houve no Brasil em 2019.

Gráfico 5: Tipos de derramamento mencionados nos artigos avaliados



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

O Quadro 2 ilustra acidentes com derramamento de óleo em áreas de manguezal em todo mundo, a partir dos dados obtidos na amostra, considerando os tipos: poluição crônica, rompimento de oleoduto; explosão de plataforma; e acidentes envolvendo navios petroleiros, sendo observados acidentes em todos os continentes com ocorrência de manguezais e 11 países distintos (Figura 2).

Quadro 2: Tipo de derramamento, localização e quantidade de óleo derramado, excluindo N/E e Desconhecido, em áreas de manguezal em todo mundo (continua).

TIPO DE DERRAME	LOCALIZAÇÃO	QUANTIDADE DE ÓLEO	REFERÊNCIA
Crônico	Baía da Guanabara-RJ, Brasil	N/E	GOMES <i>et al.</i> , 2010
Crônico	Baía de todos os Santos-BA, Brasil	N/E	PEIXOTO <i>et al.</i> , 2010
Crônico	Bertioga-SP, Brasil	3,5 milhões de Litros	DOURADO <i>et al.</i> , 2012
Crônico	Qua, Iboe-Delta do Níger	N/E	ESSIEN <i>et al.</i> , 2012
Crônico	Bertioga-SP, Brasil	N/E	FASANELLA <i>et al.</i> , 2012
Crônico	Ogoniland-Delta do Níger, Nigéria	N/E	LINDÉN e PALSSON, 2013
Crônico	Campeche-Golfo do México, México	N/E	MARÍN <i>et al.</i> , 2013
Crônico	Degema, Nigéria	N/E	BALOGUN, 2015
Crônico	Vila Velha-ES e Saquarema-RJ, Brasil	N/E	KURTZ; KHANNA; USTIN, 2017
Crônico	Panaji- Goa, Índia	N/E	BARNES <i>et al.</i> , 2017
Crônico	Bertioga-SP, Brasil	3,5 milhões de Litros	OTTONI <i>et al.</i> , 2017
Crônico	Baía da Guanabara e São Francisco do Itapaboana-RJ, Brasil	N/E	GRATIVOL <i>et al.</i> , 2017
Crônico	Costa do Golfo, Arábia Saudita	N/E	ORIF e MARADNY, 2018
Crônico	Sistema Estuarino de Santos-SP, Brasil	N/E	ROMERO, OLIVEIRA e ABESSA, 2018
Crônico	Baía da Guanabara e Restinga da Marambaia-RJ, Brasil	N/E	GHIZELINIA <i>et al.</i> , 2019

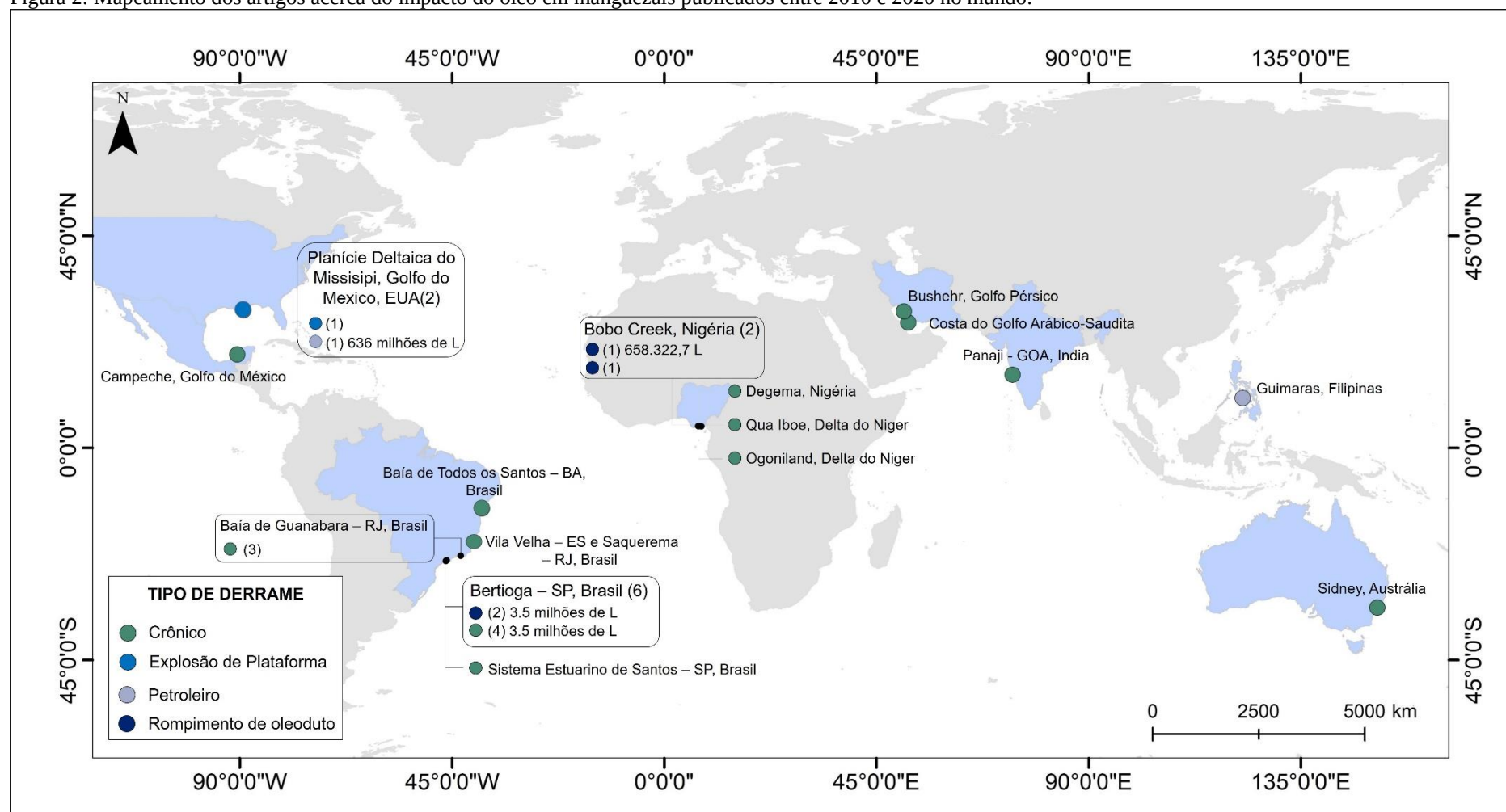
Quadro 2: Tipo de derramamento, localização e quantidade de óleo derramado, excluindo N/E e Desconhecido, em áreas de manguezal em todo mundo (conclusão).

TIPO DE DERRAME	LOCALIZAÇÃO	QUANTIDADE DE ÓLEO	REFERÊNCIA
Crônico	Bushehr-Golfo Pérsico, Irã	N/E	FAKHRZADEGAN <i>et al.</i> , 2019
Crônico	Sidney, Austrália	N/E	VELDKORNETA <i>et al.</i> , 2020
Crônico	Bertioga-SP, Brasil	3,5 milhões de Litros	DIAS <i>et al.</i> , 2020
Rompimento de oleoduto	Bertioga-SP, Brasil	3,5 milhões de Litros	SANTOS <i>et al.</i> , 2012
Rompimento de oleoduto	Bobo Creek, Nigéria	658.322,700 Litros	PEGG e ZABBEY, 2013
Rompimento de oleoduto	Bertioga e Cananéia-SP, Brasil	N/E	RIGONATO, <i>et al.</i> , 2018
Rompimento de oleoduto	Bobo Creek, Nigéria	N/E	BONTE <i>et al.</i> , 2019
Explosão plataforma	Louisiana, EUA	N/E	GIRI; LONG; TIESZEN, 2011
Explosão Plataforma	Planície deltaica do Mississipi-Golfo do México, EUA	N/E	SHAPIRO, KHANNA; USTIN, 2016
Petroleiro	Golfo Spencer, Austrália	296.000 Litros	M. CONNOLLY; N. CONNOLLY; HAYES, 2020.
Petroleiro	Guimaras, Filipinas	N/E	BALEÑA, 2014

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Nota: As unidades de medidas referentes as quantidades de óleo derramado foram padronizadas em Litros para comparação.

Figura 2: Mapeamento dos artigos acerca do impacto do óleo em manguezais publicados entre 2010 e 2020 no mundo.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

O número de pesquisas que não especificaram (N/E) a localização do evento de derramamento por tratarem de Revisão ou pesquisas de Banco de Dados foram seis e uma única publicação abordou o sobre o derramamento de óleo no litoral brasileiro em 2019, realizando uma avaliação preliminar acerca dos potenciais impactos causados (MAGRIS; GIARRIZZO, 2020).

Dentre os quatro trabalhos que mencionaram rompimento de oleoduto, dois, Pegg e Zabbey *et al.* (2013) e Bonte *et al.* (2019), referem-se a dois grandes derrames de óleo ocorridos em Bodo Creek, Nigéria, no ano de 2008, por ocasião de rompimento de oleoduto da Trans Niger da companhia de petróleo Royal Dutch Shell. Esses acidentes, liberaram no total 4.143 barris de petróleo, de acordo com a companhia. Entretanto, os autores ressaltam que há controvérsias relativas ao volume de óleo derramado, tendo em vista que a Accufacts, uma empresa americana independente, estima que essa quantidade de óleo derramado pode chegar a mais de 311.000 barris (VIDAL, 2012).

Os outros dois, Santos *et al.* (2012) e Rigonato *et al.* (2018), referem-se ao acidente ocorrido em Bertioga, Brasil, por ocasião do rompimento de um oleoduto da Petrobras, vazando 3,5 milhões de litros de óleo, em 1983, em que até os dias atuais apresentam impactos no ecossistema manguezal. Todavia, em informação pessoal cedida pela CETESB, a quantidade de óleo derramada foi de 2,5 milhões de litros atingindo uma área de 10km².

Fasanella *et al.* (2012) e Ottoni *et al.* (2017) relatam que esta área tem “histórico de contaminação” e mencionam o derramamento de óleo em 1983. Todavia, publicações mais recentes não especificam o tipo de acidente, porém consideram a região como cronicamente poluída. A incidência de eventos e estudos na região de Bertioga pode dever-se ao fato de na região passar o oleoduto da Petrobras que liga o Terminal Marítimo Almirante Barroso, em São Sebastião, à Refinaria Presidente Bernardes, em Cubatão.

Nos demais estudos em que o tipo de poluição foi considerado “crônico”, Peixoto *et al.* (2010), relacionou à Baía de Todos os Santos-BA, que se trata de uma região com múltiplas atividades petrolíferas (extração, refino e transporte); e outros três Gomes *et al.* (2010); Grativol *et al.* (2017) e; Ghizelini *et al.* (2019) referiram-se à Baía da Guanabara-RJ, considerada a segunda maior baía brasileira com 384 km², além de altamente urbanizada e industrializada.

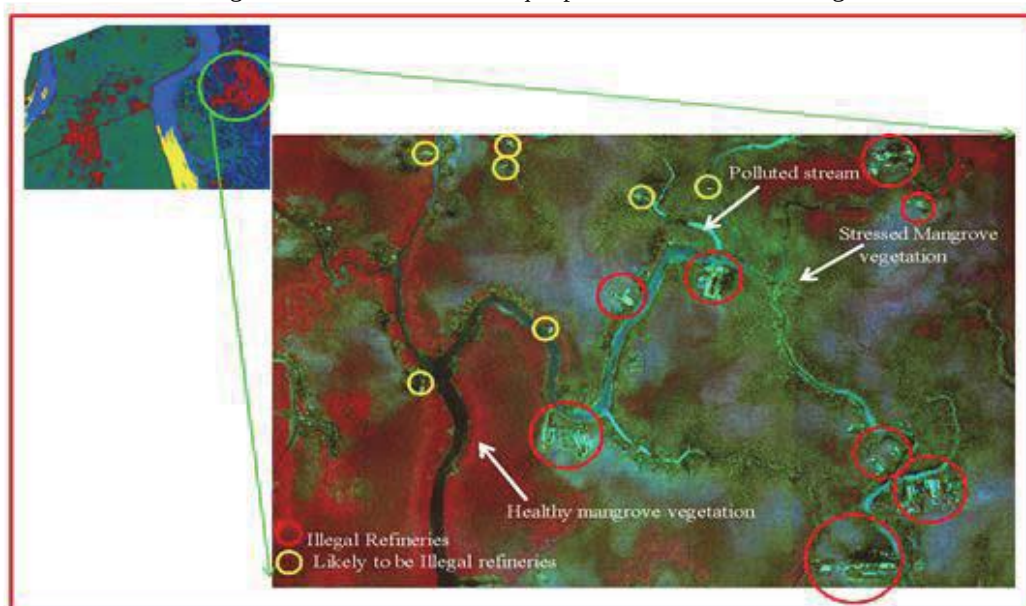
No Brasil, destaca-se ainda o trabalho de Kurtz; Khanna e Ustin (2017) que desenvolveram pesquisa de revisão com área de estudo compreendida entre os estados do ES e RJ, denominado pelos autores como “Bacia de Santos e arredores” com intuito de caracterizar as florestas de mangue que ocorrem entre esses dois locais, bem como identificar o grau de sensibilidade e de alterações que esses ambientes estão sujeitos. Os autores consideraram os manguezais da região vulneráveis aos impactos por derramamento de óleo agravado pela intensa retificação do curso dos rios associados assim como pela substituição dos bosques de mangue devido acentuado processo de urbanização da cidade de Macaé-RJ (Sofiatti, 2013) (KURTZ; KHANNA; USTIN, 2017).

Romero, Oliveira e Abessa (2018) utilizaram o Sistema Estuarino de Santos-SP (SES) e o Parque Estadual Marinho Laje de Santos como área de estudo e desenvolveram um índice para classificar a sensibilidade ambiental das aves ao óleo. O SES sofre intensa influência antrópica, incluindo a presença de um grande complexo industrial (uma grande refinaria de petróleo, uma grande siderúrgica e diversas fábricas de fertilizantes e petroquímicas), urbanas áreas e o Porto de Santos, o maior porto da América Latina. De acordo com Abessa *et al.*, 2008 e Lamparelli *et al.*, 2001 devido a esses fatores essa área é considerada altamente poluída.

Outros estudos que classificaram o tipo de derramamento como “Crônico”, três referiram-se a Nigéria (Essien *et al.*, 2012; Balogun, 2015 e Lindén e Pálsson, 2013) que é considerada o maior produtor de petróleo da África fazendo parte da Organização dos Países Exportadores de Petróleo (OPEP). Não obstante, apresenta regiões severamente impactadas por derramamentos de magnitude variada, considerados como crônicos, como Ogoniland, onde muitos derramamentos são oriundos do envelhecimento de instalações e dutos, infraestrutura dilapidada, abandonada e de derramamentos durante o transporte e refino artesanal de petróleo roubado (LINDÉN e PALSSON, 2013).

Balogun (2015) realizou o mapeamento através de sensoriamento remoto dos impactos causados por derrame de óleo nos manguezais do Delta do Níger, Nigéria, ocasionado por refinarias ilegais e identificou uma área de 9,2 km² de óleo sobre hidrovias e 37,6 km² de vegetação de mangue sob estresse. O autor ressalta que essas refinarias se agruparam (Figura 3) em torno de oleoduto que durante os anos de 2012 e 2013 foi usado para armazenamento ilegal constituindo assim forte indicativo de relação com a área de mangue estressada.

Figura 3: Refinarias ilegais localizadas com áreas de mangue impactadas. Círculos vermelhos indicam refinarias ilegais e Círculos amarelos o que parecem ser refinarias ilegais.



Fonte: Balogun, 2015.

Adamu, Tansey e Ogutu (2018) embora não tenham informado o tipo derrame que investigaram através de sensoriamento remoto na região do Delta do Níger, Nigéria, pode-se inferir que se trata de ambiente cronicamente poluído devido ao histórico relatado em pesquisas mencionadas anteriormente.

Ainda considerando manguezais cronicamente poluídos foram citadas áreas no Golfo do México (Marín *et al.*, 2013); na Índia (Barnes *et al.*, 2017); na Costa do Golfo Arábia Saudita (Orif e Maradny, 2018); no Golfo Pérsico (Fakhrzadegan *et al.* 2019); e na Austrália (Veldkorneta *et al.*, 2020). São regiões que passaram por intenso processo de industrialização (Austrália), incluindo a instalação de estruturas petrolíferas ou, localizam-se próximo a grandes reservas de petróleo (Golfo do México, Arábia Saudita, Golfo Pérsico).

Todavia, o Golfo do México aparece também na categoria de “explosão de plataforma” em que o caso *Deepwater Horizon*, em 2010, é abordado por Shapiro, Khanna e Ustin (2016). Ao observarmos a quantidade de óleo derramando no Golfo do México, o acidente com o *Deepwater Horizon* é maior que qualquer outro acidente mencionado (Figura 3).

Relativo a acidentes envolvendo petroleiros, apenas dois estudos foram encontrados: um de revisão tendo as Filipinas como áreas de estudo (Balenã, 2014) quando em agosto de 2006 um navio tanque naufragou permitindo o vazamento de mais de 2 milhões de litros de óleo ficando conhecido como o “derramamento de óleo em

Guimaras” afetando mais que 4700 famílias se tornando o pior acidente do país; e outro estudo que utilizou sensoriamento remoto para avaliar e monitorar áreas atingidas na Austrália pelo acidente com o petroleiro Era em agosto de 1992 o qual vazou cerca de 296 t de óleo no Golfo de Spencer (M. CONNOLLY, N. CONNOLLY e HAYES, 2020).

Outros estudos não especificaram a localização por se tratar de estudo de revisão (Duke, 2016; Alencar *et al.*, 2016) ou análise em laboratório com coleta em campo não especificada (Santos *et al.*, 2010; B. Tansel; Lee e D. Tansel, 2013) ou ainda, utilizaram-se de banco de dados previamente estruturado (Cabral *et al.*, 2019 e Sousa *et al.*, 2020).

5.2 Impactos para flora

As investigações que trataram exclusivamente acerca da componente flora representaram 27% dos artigos considerados na pesquisa. Tais estudos intencionaram verificar a resposta da vegetação mediante a contaminação por óleo por meio de: i) técnicas de imagens aéreas ou sensoriamento remoto, úteis para obter um panorama do cenário atual, realizar levantamento histórico e contribuir em modelagens preditivas relativas aos impactos promovidos pelo óleo no bosque de mangue como um todo e; ii) experimentos ou estudos de investigação em ambientes cronicamente ou acidentalmente poluídos, considerando a estrutura vegetal e a mortalidade do bosque de mangue como um todo ou os efeitos na anatomia, fisiologia e/ou reprodução das espécies vegetais.

Em análise multitemporal (1962, 1994, 2000 e 2003) realizada por Santos *et al.* (2012) utilizando fotografias aéreas em SIG para avaliar os efeitos do óleo nos manguezais em Bertioga, Brasil, identificou-se que antes do vazamento ocorrido em 1983, a vegetação exibia dossel homogêneo e elevado desenvolvimento estrutural. Entretanto, mais de dez anos após o derrame a vegetação não havia recuperado completamente apresentando três zonas distintas, com diferentes níveis de impacto decorrentes do derrame de petróleo, sendo que a zona mais impactada apresentou árvores mortas, substrato exposto e bosques em recomposição com reduzido desenvolvimento estrutural.

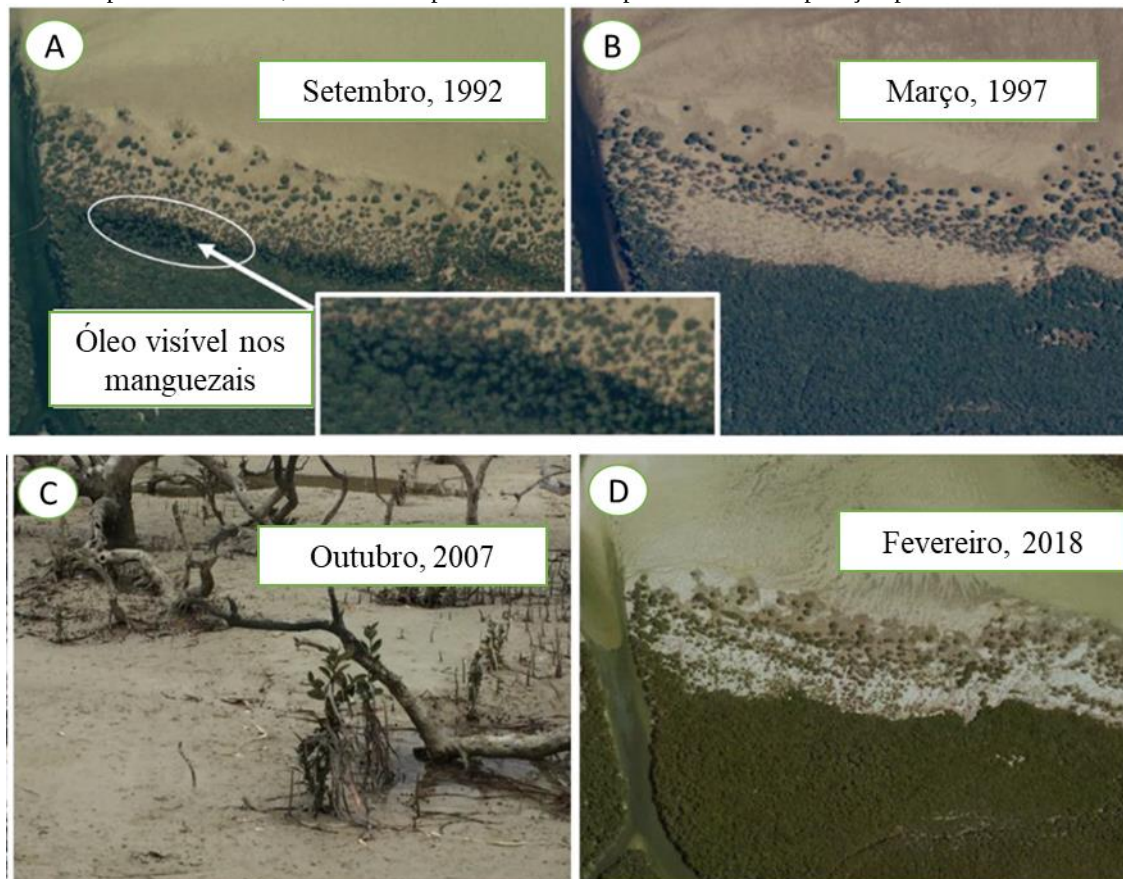
Esses resultados indicam que os diferentes níveis de impacto e a recomposição refletem a variabilidade espacial da taxa de remoção do petróleo em cada zona do manguezal (SANTOS *et al.*, 2012). Isso ocorre devido às características topográficas e

hidrológicas decorrentes dos quatro tipos de florestas de mangue: florestas de franjas, que margeiam o mar e são inundados diariamente pelas marés; floresta ribeirinha, que flanqueia os trechos estuarinos de um canal de rio e são periodicamente inundados por água doce ou salobra; florestas de bacias, que estão localizadas dentro do mangue e são ocasionalmente inundadas e caracterizadas por água estagnada ou de fluxo lento e; floresta anã, que cresce em áreas onde a hidrologia é restrita (KERAMBRUN, 2016).

Shapiro, Khanna e Ustin (2016) conduziram estudo que analisou, através de dados espectrais, os impactos causados pelo *Deepwater Horizon*, um ano após o derramamento em três ecossistemas distintos, entre eles o manguezal das Ilhas Chandeleur, na região do Golfo do México. Observou-se que essa área, apesar de ter sido atingida com a menor quantidade de óleo, mostrou-se o ambiente mais vulnerável uma vez que é uma região remota e de difícil acesso, no caso de remediação de impactos. Os autores afirmam que a resposta ao impacto em cada ambiente pesquisado dependeu da interação entre sua topografia, hidrologia e resposta individual da planta (SHAPIRO, KHANNA e USTIN, 2016). Essa avaliação da resposta corrobora com Santos *et al.* (2012) e com as características de florestas de mangue apresentadas por Kerambrun (2016).

Utilizando dados de imagens aéreas, M. Connolly; N. Connolly e Hayes (2020) combinaram resultados de campo da amostragem nos dois anos após um derramamento de óleo ocorrido no Golfo de Spencer na Austrália em 1992. Analisou-se a cobertura do dossel em imagens aéreas de antes do evento até 26 anos após (Figura 4). Os resultados indicam que enquanto as árvores levemente oleadas se recuperaram totalmente, as árvores em áreas muito oleadas experimentaram desfolhamento em massa e, finalmente, mortalidade dentro de vários meses após o evento de oleamento (M. CONNOLLY; N. CONNOLLY; HAYES, 2020).

Figura 4: Imagens de manguezais em diferentes estágios: A- 11 dias após o oleamento com todas as áreas fortemente oleadas; B- 4,5 anos após oleamento mostrando clara perda de habitat; C- a muda recruta 25 anos após o oleamento; D- 26 anos após o oleamento apresentando recuperação parcial.



Fonte: Adaptado de M. Connolly; N. Connolly; Hayes (2020).

A análise das imagens indicou que no período entre 10 e 25 anos foi que o estabelecimento e o crescimento das mudas dentro de áreas fortemente oleadas alcançaram o patamar de 35% de cobertura do dossel em que estavam antes do acidente. A modelagem preditiva realizada pelos autores estima que a recuperação completa de manguezais até o pré-oleamento levará 55 anos, indicando que embora os manguezais possam se recuperar após um intenso derrame de óleo, a taxa de recuperação pode ser lenta, com recuperação total da ordem de meio século (M. CONNOLLY; N. CONNOLLY; HAYES, 2020).

Adamu, Tansey e Ogutu (2018) também utilizaram de sensoriamento remoto para investigar o impacto do óleo na vegetação do manguezal no Delta do Níger, Nigéria, por meio de índices que detectam mudanças na quantidade de clorofila na folha, bem como seu conteúdo de água. Os autores consideram que os baixos níveis de clorofila registrados podem ser resultado do estresse da vegetação afetada por

derramamentos de óleo nos locais investigados. Estes resultados mostram que alguns parâmetros de vegetação— índice de vegetação de diferença normalizada (NDVI), índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI), índice de vegetação resistente ajustada 2 (ARVI2) foram capazes de distinguir espacialmente onde os derramamentos de óleo foram registrados e onde não houve derramamentos

Os dados aqui apresentados indicam que as técnicas de geoprocessamento e o sensoriamento remoto podem ajudar na detecção em tempo real, na avaliação da vulnerabilidade ambiental, no monitoramento e na coordenação de ações em casos de derramamentos de óleo em florestas de mangue. Entretanto, apesar da utilidade e por vezes necessidade, o emprego de técnicas de sensoriamento remoto ou de imagens não é suficiente para avaliar outros tipos de alterações promovidas pelo óleo no ecossistema manguezal. Assim, pesquisas que consideram aspectos anatômicos e estruturais acerca das alterações mais profundas ocorridas nesse ecossistema são também necessárias, pois trazem à luz o entendimento e possibilitam o emprego de ferramentas para ações de remediação e recuperação desse ecossistema.

Nesse sentido, os resultados obtidos pelo presente estudo indicam que a flora do ecossistema manguezal é composta por espécies que possuem características peculiares e sensíveis ao óleo. A presença de metais pesados e hidrocarbonetos de petróleo em manguezais provoca danos ultra estruturais nas raízes e tecidos, redução da produção ou tamanho de folhas com consequentes alterações fotossintéticas e no crescimento individual assim como uma diminuição nas taxas reprodutivas e mortalidade, com efeitos agudos e crônicos ao longo do tempo (Quadro 3; FIGURA 5). Fatores como presença de tricomas, glândulas salinas e espessura das barreiras protetoras podem influenciar a tolerância ao óleo das diferentes espécies de mangue. Pezeshki *et al.* (2000), Lin e Mendelssohn (2012), Mendelssohn *et al.* (2012) sugerem que comunidades mistas podem exibir uma maior diversidade de respostas a este tipo de perturbação, induzidas pela maior variabilidade genética.

Quadro 3: Efeitos relatados em espécies de mangue em diferentes períodos após oleamento ou efeitos de derramamentos crônicos (continua).

PERÍODO	ESPÉCIE	EFEITOS OBSERVADOS	REFERÊNCIA
7 dias	<i>Rhizophora mangle</i> L.	Redução expressiva no fluxo de água entre a epiderme e a endoderme. Perda de integridade estrutural e mortalidade.	TANSEL <i>et al.</i> , 2015
	<i>Avicennia marina</i> (Forssk.) Vierh. <i>Rhizophora mucronata</i> Lamk.	Danos ultra estruturais em raízes, alterações celulares, tecido meristemático deformado, floemas celulares do parênquima distorcidos e invaginados e cloroplastos sem grãos de amido.	G. NAIDOO e K. NAIDOO, 2017b
3 semanas	<i>Avicennia marina</i> (Forssk.) Vierh. <i>Rhizophora mucronata</i> Lamk.	Maior concentração de Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos- PAHs nas raízes que nas folhas.	G. NAIDOO e K. NAIDOO, 2018
4 semanas	<i>Rhizophora apiculata</i> Bl.	Crescimento do caule e tamanho das folhas reduzido; danos no córtex e epiderme das raízes finas.	HARISSAM <i>et al.</i> , 2018
	<i>Bruguiera gymnorrhiza</i> (L.) Lamk.		
4 meses	<i>Avicennia marina</i> (Forssk.) Vierh.	Diminuição do peso das mudas e da biomassa foliar, aumento da biomassa radicular, ausência da iniciação de propágulos e alteração de genes.	MORADI <i>et al.</i> , 2020

Quadro 3: Efeitos relatados em espécies de mangue em diferentes períodos após oleamento ou efeitos de derramamentos crônicos (continua).

PERÍODO	ESPÉCIE	EFEITOS OBSERVADOS	REFERÊNCIA
1 ano	<i>Avicennia germinans</i> (L.) Stearn	Redução da densidade e do peso do caule, do crescimento das folhas, na biomassa das raízes e na sobrevivência das espécies.	HUGHES <i>et al.</i> , 2018
		Apresentou uma boa recuperação vegetal, contudo, não se pode afirmar qual é o tipo de espécie, pois a avaliação foi feita através de dados coletados pelo <i>Shoreline Cleanup Assessment Technique</i> (SCAT).	SHAPIRO, KHANNA e USTIN, 2016
13 meses	<i>Avicennia marina</i> (Forssk.) Vierh. <i>Bruguiera gymnorrhiza</i> (L.) Lamk. <i>Rhizophora mucronata</i> Lamk.	Redução da altura da planta e da produção de novas folhas e redução do índice do teor de clorofila foliar. Folhas com tamanho menor e deformadas, morte dos ramos e abscisão das folhas.	NAIDOO, 2016
	<i>Avicennia marina</i> (Forssk.) Vierh. <i>Bruguiera gymnorrhiza</i> (L.) Lamk. <i>Rhizophora mucronata</i> Lamk.	Redução do comprimento e aumento do volume específico das raízes.	G. NAIDOO e K. NAIDOO, 2017a
2 anos	<i>Rhizophora racemosa</i> Meyer	Pouca ou nenhuma recuperação da vegetação pós derrame de óleo.	ADAMU, TANSEY e OGUTU, 2018
2 e 4 anos	<i>Avicennia marina</i> (Forssk.) Vierh.	Desfolhamento em massa e, finalmente, mortalidade entre 2 e 4 anos após o oleamento.	M. CONNOLLY, N. CONNOLLY e HAYES, 2020

Quadro 3: Efeitos relatados em espécies de mangue em diferentes períodos após oleamento ou efeitos de derramamentos crônicos (conclusão).

PERÍODO	ESPÉCIE	EFEITOS OBSERVADOS	REFERÊNCIA
10 anos	<i>Rhizophora mangle</i> L. <i>Laguncularia racemosa</i> (L.) C.F. Gaertn. <i>Avicennia schaueriana</i> Stapf & Leechman ex Moldenke	Árvores mortas, substrato exposto e povoamentos em recuperação com redução de desenvolvimento estrutural.	SANTOS <i>et al.</i> , 2012
26 anos	<i>Avicennia marina</i> (Forssk.) Vierh.	Recuperação do dossel do mangue de 25% a 45%.	M. CONNOLLY, N. CONNOLLY e HAYES, 2020
Crônico	<i>Avicennia marina</i> (Forssk.) Vierh.	Mutações tanto no núcleo quanto no cloroplasto dos genes, resultando na produção de propágulos albinos.	VELDKORNET <i>et al.</i> , 2020

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Figura 5: 5a) raiz exposta a água salgada, petróleo bruto (Tansel *et al.*, 2015); 5b) propágulos albinos de *A. marina* após derramamento de óleo em Sidney, Austrália. (Veldkornet *et al.*, 2020); 5c) mudas colhidas de *A. marina* (esquerda), *B. gymnorhiza* (meio) e *R. mucronata* (direita) sob os tratamentos oleado (O) e controle (C) (G. NAIDOO e K. NAIDOO, 2017a).



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Adicionalmente às espécies citadas no Quadro 3, em um estudo pontual, B. Tansel, Lee e Z. Tansel (2013) avaliaram a taxa de remoção de PAHs nas folhas de *Aegiceras corniculatum* (L.) Blanco e observou-se que essa remoção ocorre principalmente devido à mobilidade e/ou acúmulo de PAHs por meio dos tecidos da planta ao invés da biodegradação e que o volume molecular é um parâmetro importante para o transporte e mobilidade de PAHs em tecidos vegetais.

Outros estudos realizados no Delta do Níger indicam extensas áreas de vegetação estressadas e/ou mortas devido à contaminação por óleo oriundos de refinarias ilegais (Balogun, 2015), além de corpos hídricos contaminados por óleo, apresentando elevadas concentrações de PHAs nos manguezais em Ogoniland, Nigéria (LINDÉN e PALSSON, 2013).

Harisan *et al.*, (2018) demonstraram uma maior tolerância de *B. gymnorhiza* quanto o efeito agudo do oleamento e redução suave na taxa de mortalidade, ao contrário da *C. decandra* que se mostrou a mais sensível à óleo cru para efeito agudo, seguida por *R. apiculata*, uma espécie mais vulnerável à toxicidade.

Enquanto Hughes *et al.* (2018) testando os efeitos da perturbação por óleo em tratamentos com a espécie de mangue *A. germinans* e a grama marinha *Spartina alterniflora* Loisel associadas e separadamente, observaram que o efeito do óleo foi reduzido em composições mistas, que apresentam maior área e o volume da copa, em comparação com o tratamento com plantas de uma única espécie, porém não foi identificado a razão dessa relação. *S. alterniflora* é uma gramínea presente em áreas pantanosas, capaz de sobreviver em ambientes salobros como os manguezais, mas não é considerada uma espécie de mangue (DUKE, 2016).

Cabe destacar que das 80 espécies vegetais restritas às áreas de manguezais e descritas mundialmente por Tomlinson (2016) e corroborado por Duke (2017), nove já foram avaliadas quanto o efeito da poluição por óleo, considerando os dados obtidos na presente pesquisa (Quadro 3). A maioria dos estudos, contempla *A. marina*, uma espécie de ampla distribuição nos manguezais do Atlântico Leste e Indo Pacífico (Duke, 2017). A espécie é considerada a mais susceptível ao oleamento.

Naidoo (2016) sugere que a maior suscetibilidade de *A. marina* ao óleo é devido à eliminação precoce do pericarpo e rápido desenvolvimento da raiz e do caule após a separação da árvore mãe quando comparada com *R. mucronata* e *B. gymnorhiza*. Já G. Naidoo e K. Naidoo (2018) consideraram que o comprimento das raízes de *A. marina* permite uma maior exposição ao óleo, também em comparação a *R. mucronata*, que por sua vez apresenta características anatômicas que levam a uma menor suberização das células epidérmicas da raiz e um sistema antioxidante menos eficiente.

De acordo com G. Naidoo e K. Naidoo (2017a), *A. marina* exibe raiz com características típicas de uma espécie pioneira em comparação com espécies secundárias de crescimento mais lento, como *B. gymnorhiza* e *R. mucronata*. Essas características de *A. marina* não só permitem o estabelecimento mais rápido de mudas, mas também expõem uma maior área de superfície da raiz e, portanto, confere maior suscetibilidade à contaminação por óleo do que as outras espécies.

Mais recentemente, Moradi *et al.* (2020) objetivaram elucidar a resposta molecular das plantas de mangue à mistura de óleo cru no solo, assim, propágulos de *A. marina* foram plantados e cultivados em solo contaminado com óleo. Observou-se que as plantas *A. marina* podem tolerar a exposição de médio prazo à contaminação moderada por óleo no solo e mesmo que elas possam sobreviver em concentrações mais altas, há uma diminuição significativa no crescimento da planta (MORADI *et al.*, 2020).

Orif e Maradny (2018) investigaram nove povoamentos de *A. marina* na costa do Golfo Árabe avaliando a bioacumulação de PAHs, uma classe de contaminantes relacionados ao petróleo. Os resultados indicaram aumento significativo da concentração do solo para a folha, tendo os maiores valores encontrados nas raízes do mangue (ORIF e MARADNY, 2018).

Esta tendência apoia a absorção de PAH por meio do mecanismo solo/raiz, corroborando com Wang *et al.* (2010) e Lohmann *et al.* (2011) que afirmam que o mecanismo substancial para o acúmulo de PAHs em plantas de mangue ocorre através da absorção de solos/raízes. Isso ocorre devido à fatores como o tamanho das partículas do solo ao redor das raízes (WANG *et al.*, 2008), a solubilidade dos PAHs em água e o coeficiente de partição n-octanol-água que controlam a absorção de PAHs pela planta (CHIOU; SHENG e MANES, 2011).

Os resultados aqui apresentados indicam que contaminação por óleo em manguezais pode ser evidenciada de diversas formas. Cabe destacar que os efeitos do óleo nas espécies de mangue podem diminuir a quantidade de detritos e a exportação de matéria orgânica para áreas adjacentes, em virtude do desfolhamento ocasionado pelo óleo afetando a produtividade dessas áreas (Alencar *et al.*, 2016), levar à diminuição de árvores o que torna o manguezal vulnerável a perturbações como a erosão (Duke *et al.*, 2000) e ainda, promover a contaminação de rios, riachos e águas subterrâneas, comprometendo a balneabilidade e potabilidade da água (Lindén e Palsson, 2013) e ocorrência da fauna associada (DUKE e BURNS, 1999).

5.3 Impactos relatados para fauna

Diferentemente do que ocorre com a flora, a fauna encontrada no manguezal não é exclusiva desse ecossistema, visto que grande parte desses representantes também são encontrados em outros ambientes costeiros. Essa complexa comunidade apresenta adaptações que a permite explorar desde o solo, bem como a copa das árvores, migrar com a dinâmica das marés e perfurar ou aderir a substratos (SCHAEFFER-NOVELLI, 2018).

No presente estudo, 10% das pesquisas identificadas demonstraram o efeito o óleo em vários grupos taxonômicos. Das espécies de fauna investigadas ou citadas nos artigos avaliados pode-se observar que poucos grupos faunísticos foram investigados denotando uma lacuna de informações de referência (Quadro 4). Dos estudos

identificados, a maior proporção deu-se em relação às espécies comercializadas e/ou consumidas pela população local, evidenciando importante impacto na economia e na disponibilidade de alimentos em um cenário com derramamento de óleo em manguezais.

Quadro 4: Espécies de fauna avaliadas em estudos sobre derramamento de óleo em manguezais considerando a importância para o comércio ou consumo humano, endemismo, o fato de serem bioindicadoras e a categoria de conservação listada pela IUCN (continua).

GRUPO TAXONÔMICO	COMÉRCIO E CONSUMO HUMANO	ENDEMISMO	BIOINDICADORA	LOCALIZAÇÃO	IUCN	REFERÊNCIA
FILO NEMATODA						
<i>Neochromadora</i> sp.	--	--	x	Restinga da Marambaia-RJ, Brasil	N/A	SANTOS <i>et al.</i> , 2010
FILO MOLLUSCA						
BIVALVIA						
<i>Keletistes rhizoecus</i> (P. G. Oliver, 1986)	x	x	--	Bodo Creek no Delta do Niger, Nigéria	N/A	PEGG e ZABBEY, 2013
<i>Senilia senilis</i> (Linnaeus, 1758)	x	--	--	Ogoniland, Nigéria	N/A	LINDEN E PALSSON, 2013
<i>Tegillarca granosa</i> (Linnaeus, 1758)	--	--	--		N/A	
<i>Crassostrea gasar</i> (Deshayes, 1830)	x	--	--		N/A	
<i>Tympanotonus fuscatus</i> (Linnaeus, 1758)	--	--	--		LC	
<i>Donax variabili</i> (Say, 1822)	--	--	--	South Beach, Miami, Estados Unidos	N/A	TANSEL e LEE, 2019
GASTROPODA						
<i>Littorina littorea</i> (Linnaeus, 1758)	x	--	--	Bodo Creek no Delta do Niger, Nigéria	N/A	PEGG e ZABBEY, 2013
<i>Nucella lapillus</i> (Linnaeus, 1758)	x	--	--		N/A	

Quadro 4: Espécies de fauna avaliadas em estudos sobre derramamento de óleo em manguezais considerando a importância para o comércio ou consumo humano, endemismo, o fato de serem bioindicadoras e a categoria de conservação listada pela IUCN (continua).

GRUPO TAXONÔMICO	COMÉRCIO E CONSUMO HUMANO	ENDEMISMO	BIOINDICADORA	LOCALIZAÇÃO	IUCN	REFERÊNCIA
<i>Pachymelania aurita</i> (O. F. Müller, 1774)	x	--	--	Bodo Creek no Delta do Niger, Nigéria	LC	PEGG e ZABBEY, 2013
FILO ARTRHOPODA						
MALACOSTRACA						
<i>Goniopsis pelii</i> (Herklots, 1851)	x	--	--	Bodo Creek no Delta do Niger, Nigéria	N/A	PEGG e ZABBEY, 2013
<i>Penaeus monodon</i> (Fabricius, 1798)	x	--	--		N/A	
<i>Penaeus notialis</i> (Pérez Farfante, 1967)	x	--	--		N/A	
<i>Goniopsis pelii</i> (Herklots, 1851)	x	--	--		N/A	
<i>Ucides cordatus</i> (Linnaeus, 1763)	--	--	x	Cubatão-SP, Brasil	N/A	ALENCAR <i>et al.</i> , 2016
<i>Farfantepenaeus notialis</i> (Pérez Farfante, 1967)	x	--	--	Bodo Creek no Delta do Niger, Nigéria	N/A	PEGG e ZABBEY, 2013
<i>Callinectes amnicola</i> (Rochebrune, 1883)	x	--	--		N/A	PEGG e ZABBEY, 2013
FILO CHORDATA						
ACTINOPTERYGII						
<i>Ethmalosa fimbriata</i> (Bowdich, 1825)	x	--	--	Bodo Creek no Delta do Niger, Nigéria	LC	PEGG e ZABBEY, 2013
<i>Mugil cephalus</i> (Linnaeus, 1758)	x	--	--	Ogoniland, Nigéria	LC	LINDEN E PALSSON, 2013
<i>Pseudotolithus senegalensis</i> (Valenciennes 1833)	x	--	--		N/A	

Quadro 4: Espécies de fauna avaliadas em estudos sobre derramamento de óleo em manguezais considerando a importância para o comércio ou consumo humano, endemismo, o fato de serem bioindicadoras e a categoria de conservação listada pela IUCN (conclusão).

GRUPO TAXONÔMICO	COMÉRCIO E CONSUMO HUMANO	ENDEMISMO	BIOINDICADORA	LOCALIZAÇÃO	IUCN	REFERÊNCIA
<i>Sphyraena sphyraena</i> (Linnaeus, 1758)	x	--	--	Ogoniland, Nigéria	LC	LINDEN E PALSSON, 2013
<i>Periophthalmus barbarus</i> (Linnaeus, 1766)	x	--	--		LC	
Subfamília <i>Epinephelinae</i> (Bleeker, 1874)	x	--	--	Bodo Creek no Delta do Niger, Nigéria	N/A	PEGG e ZABBEY, 2013
AVES						
<i>Nycticorax nycticorax</i> (Linnaeus, 1758)	--	--	x	NE	LC	ALENCAR <i>et al.</i> , 2016

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Nota: Os nomes das espécies foram atualizados de acordo com *World Register of Marine Species*-WORMS. Disponível em <<https://www.marinespecies.org/index.php>> Acesso em: 21 de abril de 2021.

LC: *Least concern* (pouco preocupante); NA: Não avaliada. Disponível em <<https://www.iucnredlist.org>> Acesso em: 21 de abril de 2021.

De acordo com Müller *et al.* (2015), a fauna dos manguezais oferece uma série de benefícios socioeconômicos às populações, uma vez que muitas espécies são comercializadas e/ou servem como fonte de subsistência para as comunidades que sobrevivem desse ecossistema. Comunidades que vivem nas proximidades de manguezais utilizam-se de moluscos, crustáceos e peixes em atividades que geram recursos financeiros e/ou de subsistência e em alguns casos, é a única fonte de proteínas disponível para populações em situação de risco social (SOUZA *et al.*, 2018).

No Brasil, entre as principais atividades econômicas das comunidades tradicionais costeiras estão as atividades de pesca em manguezais e áreas adjacentes e embora os dados de pesca em manguezais sejam limitados, estima-se que, em alguns estados brasileiros, a contribuição desses ecossistemas atinja quase 50% da produção total da pesca artesanal (ICMBio, 2018). E ainda, 80% das espécies marinhas de valor comercial, como peixes, crustáceos e moluscos, dependem dos ecossistemas manguezais em uma ou mais etapas dos seus ciclos de vida, sobretudo nas fases larval e juvenil (MOBERG e RONNBACH, 2003). De acordo com o Anuário de pesca e aquicultura da FAO (2018), milhões de pessoas em todo o mundo encontram uma fonte de renda e sustento na pesca e setor de aquicultura, sendo que as mulheres representavam 14% do total de 59,51 milhões de pessoas engajados no setor primário de pesca de captura e aquicultura.

Assim, impactos ocasionados por óleo em manguezais não oferecem risco somente ao ambiente, mas também à disponibilização de alimentos ao homem. Um exemplo de afetação à essa disponibilidade, ocorreu em Bodo Creek, Nigéria entre os anos de 2008 e 2009 quando dois grandes derramamentos de óleo provocaram o colapso da pesca fazendo com que essa atividade fosse abandonada pela população local (ECOLAND, 2010).

Lindén e Palsson (2013) em Ogoniland, registraram em menos de 10% das amostras de peixes e bivalves coletados, concentrações mensuráveis de hidrocarbonetos extraíveis de petróleo (EPHs). Os autores acreditam que esse resultado pode estar relacionado ao fato de as amostras terem sido obtidas no mercado local, sendo que os pescadores evitam pescar em locais muito próximas a áreas visivelmente contaminadas (LINDÉN E PALSSON, 2013).

Diferente do estudo anterior, Pegg e Zabbey (2013), destacaram o impacto provocado nas comunidades zoobentônicas, que tiveram perda de 91% e destacaram a extinção do bivalve endêmico *Keletistes rhizoecus* e do gastrópode *Pachymelania*

aurita, anteriormente abundante e comercializado pela população local em Bodo Creek (PEGG e ZABBEY, 2013). Adicionalmente, os moluscos mais importantes comercialmente para a região eram *Littorina littorea*, *Tegillarca granosa* e *Nucella lapillus* e os crustáceos *Caladenia amnicola*, *Goniopsis pelii*, *Penaeus notialis* e *Penaeus monodon* também foram extintas localmente pós derrame de óleo (PEGG e ZABBEY, 2013).

Também foi observado no mesmo estudo, o colapso das populações de importantes espécies de peixes, que de acordo com Zabbey e Hart (2011) eram anteriormente pescadas e consumidas pela comunidade local, tais como *Mugil cephalus*, *Snappers*, *cichlids*, *Tilapia guineensis*, *Pseudotolithus* sp., *Epinephelinae*, *Periophthalmus barbarus* e *Ethmalosa fimbriata*. Cabe ressaltar que segundo Van der Oost, Beyer e Vermeulen (2003) e Reynaud e Deschaux (2006) relatam que os peixes são capazes de metabolizar hidrocarbonetos de petróleo em um grau variável e não prontamente retém esses elementos nos músculos.

Santos *et al.* (2010) observaram que os microeucariontes podem ser utilizados para monitorar a contaminação por óleo em manguezais. Os resultados obtidos pelos pesquisadores revelaram uma diminuição na diversidade e riqueza de espécies após a contaminação, tendo o grupo Nematoda a maior sensibilidade ao óleo e *Neochromadora* e *Minutocellus* como os gêneros mais sensíveis (Santos *et al.*, 2010).

Segundo Alencar *et al.* (2016), o caranguejo-uçá, *Ucides cordatus* também pode ser utilizado como uma espécie alvo de pesquisas para verificação da acumulação e toxicidade de metais em seu organismo, devido a características da espécie como, por exemplo, longo ciclo de vida, baixa taxa de crescimento, fácil captura e sua ocorrência exclusiva em manguezais (SILVA, 2011; FRAGOSO, 2013).

Assim como a garça da noite, *Nyctiorax nyctiorax*, um organismo de topo de cadeia alimentar, na qual altos níveis de metais foram encontrados no fígado e rins, intensificados pela bioacumulação e biomagnificação via teia trófica (FERREIRA; HORTA e CUNHA, 2010). Além disso, para as aves, a presença da mancha de óleo na superfície da água pode levar a redução acentuada da disponibilidade alimentos pela mortalidade em massa de peixes e invertebrados (Romero, Oliveira e Abessa, 2018) ou interferir na sua visualização já que a maioria se alimenta com base localização visual de presas (Martínez-Abraín e Oro, 2004), levando a consequências negativas para saúde e sobrevivência dessas comunidades.

Observa-se ainda, que a maioria dessas espécies não foram sequer avaliadas na lista das espécies ameaçadas de extinção (*red list*) organizada pela *International Union for Conservation of Nature* – IUCN. Das sete espécies constantes na lista, todas correspondem à categoria de pouco preocupante (LC), sigla em inglês. São elas: *Tympanotonus fuscatus*, *Pachymelania aurita*, *Ethmalosa fimbriata*, *Periophthalmus barbarus*, *Mugil cephalus*, *Sphyrna sphyraena*, *Nycticorax nycticorax*.

Muitos organismos constantes no Quadro 4, apesar de não terem sido denominadas como “bioindicadoras” pelos autores, apresentaram índices de contaminação por metais pesados, inclusive aquelas comercializadas e/ou consumidas por populações locais, como por exemplo todas citadas por Peggy e Zabbey (2013).

Listas de monitoramento acerca da população, ocorrência e ameaças de espécies são importantes ferramentas de gestão e conservação ecossistêmica e devem ser de interesse dos órgãos públicos, universidades, sociedade civil organizada, iniciativa privada e comunidades locais, pois tem potencial para subsidiar estudos de licenciamento, pesquisas científicas, proposta de implantação de Unidades de Conservação (UC), assim como campanhas de Educação Ambiental.

A ausência de informações na IUCN acerca de tantas espécies importantes econômica e socialmente denota um risco para gestão pública e tomada de decisões, bem como a operacionalização de planos de contingência, manejo, remediação e monitoramento de áreas de manguezais afetadas por óleo.

5.4 Impactos relatados para o solo

Solos de manguezais diferem dos solos comuns principalmente devido à sua baixa disponibilidade de oxigênio, salinidade e potencial redox altamente redutor (HOLGUIN, VAZQUEZ e BASHAN, 2001; FERREIRA; HORTA e CUNHA, 2010). Apresentam ainda uma composição variável de silte, argila e areia. Dependendo condições físico-químicas, podem atuar como um sumidouro ou fonte de metais traço em um ecossistema aquático (SAPPAL *et al.*, 2014).

Assim, estudos da caracterização e distribuição de metais traço em solos de mangue podem fornecer uma melhor compreensão dos mecanismos que controlam a dispersão, acumulação e o destino dos metais nos manguezais (KUMAR *et al.*, 2016). Entretanto, dos estudos incluídos na presente pesquisa que trataram sobre solo, incluindo outros componentes, como fauna e/ou flora, totalizou 9,61%.

Esses estudos dedicaram-se a investigar os solos como meio de contaminação e/ou identificação dos níveis de concentração de contaminantes, mas não avaliaram os impactos provocados pelo óleo no solo em si, quais alterações ele provoca, se são reversíveis ou não. Isso pode ser evidenciado em Orif e Maradny (2018) que identificaram níveis moderados de PAHs nos solos de povoados de mangues investigados ao longo da Costa Saudita, assim como Lindén e Palsson (2019) que encontraram concentrações de PHAs variadas em Ogoniland, Nigéria.

Ainda, Bonte *et al.* (2019) testaram as observações do método sistemático para levantamento de uma linha costeira afetada por óleo, o *Shoreline Cleanup Assessment Technique* (SCAT) em Bodo, Nigéria com amostras coletadas de solos para analisar um conjunto de constituintes de hidrocarbonetos. Os resultados indicam que embora a amostragem e análise sejam necessárias para caracterizar quimicamente a contaminação, as observações SCAT podem ser calibradas usando amostragem de solos limitada e são suficientes para orientar métodos de limpeza.

Utilizando o solo como meio contaminante em pesquisa do tipo experimental, Naidoo (2016) utilizou amostras de solo intencionalmente contaminadas com óleo para avaliar o desempenho de propágulos de *A. marina*, *B. gymnorhiza* e *R. mucronata* podendo observar resultados distintos em cada espécie relativos a anormalidades no crescimento, abscisão e mortalidade foliar com efeitos mais significativos em *A. marina*. Também Moradi *et al.*, 2020 que utilizaram de experimento com solo contaminado por óleo para identificar um gene biomarcador responsivo à poluição em *A. marina*.

5.5 Impactos relatados para microrganismos

A diversa e altamente produtiva atividade microbiana no ecossistema manguezal transforma a matéria orgânica em fonte de nitrogênio, fósforo e outros nutrientes utilizados pela vegetação (HOLGUIN, VAZQUEZ e BASHAN, 2001; BASHAN; HOLGUIN, 2002). Por essa razão, impactos nesses organismos podem comprometer toda a cadeia alimentar e a biodiversidade em áreas costeiras como um todo uma vez que os manguezais são os principais responsáveis pela produtividade nessas regiões.

Apesar da importância da poluição do petróleo bruto em ambientes costeiros, pouca atenção tem sido dada a diversidade bacteriana e potencial de degradação anaeróbia de hidrocarbonetos de petróleo bruto em sedimentos de manguezal. Os artigos

que avaliaram o componente microrganismos corresponderam a 25% e avaliaram os efeitos do óleo em bactérias e fungos associados ao solo ou raízes e folhas de árvores de mangue com respostas na sua distribuição, abundância, composição ou material genético (Quadro 5).

Observa-se também pelo Quadro 5 que o meio em que esses organismos foram analisados se deu principalmente no solo, componente rico em matéria orgânica e microrganismos diversos, bem como os componentes analisados foram sobretudo de DNA e do gene 16S rRNA. Além disso, a grande maioria do grupo de microrganismos investigados foi referente ao Reino Bacteria e os demais, Archaea ou Fungi, dos Filos *Proteobacteria*, *Bacteroidetes*, *Firmicutes*, *Cyanobacteria*, *Diazotroph*, *Bacteroidetes*, *Acidobacteria*, *Planctomycete*, *Gemmatimonadetes*, *Thaumarchaeota*, *Crenarchaeota*, *Basidiomycota*, *Ascomycota* e as Classes *Alphaproteobacteria*, *Betaproteobacteria*, *Actinobacteria*, *Bacteria*, *Gammaproteobacteria*, *Deltaproteobacteria*, *Epsilonproteobacteria*.

Parte dos estudos aqui identificados adotaram uma metodologia comparativa entre manguezais com diferentes níveis de contaminação por óleo, possibilitando assim embasamento científico que fundamentam a criação de estratégias de e técnicas de gestão de impactos em manguezais.

Quadro 5: Espécies de microrganismos avaliados nos estudos, considerando o aspecto avaliado e de onde foi isolado (continua).

LEVANTAMENTO MICRORGANISMOS				
REINO	ESPÉCIE	ASPECTO AVALIADO	ISOLADO EM	REFERÊNCIA
BACTERIA	<i>Methylobacterium</i> spp. <i>Methylobacterium zatmanii</i> <i>Methylobacterium extorquens</i> <i>Methylobacterium jeotgali</i>	Gene 16S rRNA	<i>Rhizophora mangle</i> ; <i>Laguncularia racemosa</i> ; <i>Avicennia</i> spp	DOURADO <i>et al.</i> , 2012
	<i>Pseudonomas</i> spp.	Gene 16S rRNA	Solo	PEIXOTO <i>et al.</i> , 2011
	<i>Sinorhizobium</i> spp. <i>Azotobacter</i> spp. <i>Azospirillum</i> spp. <i>Gluconacetobacter</i> spp. <i>Rhizobium</i> spp. <i>Desulfovibrio</i> spp. <i>Pleomorphomonas</i> spp. <i>Gluconacetobacter</i> spp. <i>Rhizobium</i> spp. <i>Azospirillum</i> spp. <i>Heliobacterium</i> spp. <i>Desulfumicrobium</i> spp. <i>Clostridium</i> spp.	Gene nifH	Solo	DIAS <i>et al.</i> , 2012

Quadro 5: Espécies de microrganismos avaliados nos estudos, considerando o aspecto avaliado e de onde foi isolado (continua).

LEVANTAMENTO MICRORGANISMOS				
REINO	ESPÉCIE	ASPECTO AVALIADO	ISOLADO EM	REFERÊNCIA
BACTERIA	<i>Desulfococcus</i> spp. <i>Desulfotignum</i> spp. <i>Sulfurimonas</i> spp. <i>Marinobacter</i> spp. <i>Aquabacterium</i> spp. <i>Halomonas</i> spp. <i>Marinobacterium</i> spp.	DNA	Solo	WANG, HUANG e ZHENG, 2016;
	<i>Bradyrhizobium</i> sp. <i>Pseudothermotoga hypogea</i> <i>Desulfococcus multivorans</i> <i>Herpetosiphon geysericola</i>	Enzimas	Solo	OTTONI, <i>et al.</i> , 2017
	<i>Cycloclasticus</i> spp. <i>Firmicutes</i> spp. <i>Clostridium</i> spp. <i>Fusibacter</i> spp. <i>Haliea</i> spp.	Gene 16S rRNA	Solo	SANTOS <i>et al.</i> , 2011
ARCHAEA	<i>Nitrosopumilus</i> spp. <i>Candidatus</i> spp. <i>Nitrososphaera</i> spp.	DNA	Solo	WANG, HUANG e ZHENG, 2016
FUNGI	<i>Desulfobacteraceae</i> spp. <i>Desulfuromonadales</i> spp. <i>Desulfobacterium</i> spp.	Gene 16S rRNA / DNA	Solo	TAKETANI <i>et al.</i> , 2010

Quadro 5: Espécies de microrganismos avaliados nos estudos, considerando o aspecto avaliado e de onde foi isolado (conclusão).

LEVANTAMENTO MICRORGANISMOS				
REINO	ESPÉCIE	ASPECTO AVALIADO	ISOLADO EM	REFERÊNCIA
FUNGI	<i>Epicoccum</i> spp. <i>Nigrospora</i> spp. <i>Cladosporium</i> spp. <i>Bullera</i> spp. <i>Candida</i> spp. <i>Cryptococcus</i> spp. <i>Metschnikowia</i> spp. <i>Saccharomyces</i> spp.	DNA	Solo	FASANELLA <i>et al.</i> , 2012

Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Taketani *et al.* (2010) analisaram amostras de solos contaminadas e não contaminadas na Baía de Todos os Santos, Brasil e observou-se que ambos os mesocosmos continham comunidades microbianas semelhantes no início do experimento e que se diferenciavam após 75 dias, demonstrando influência no aspecto temporal da contaminação. Essa relação foi corroborada por Rigonato *et al.* (2018) que identificaram que o efeito temporal na área contaminada teve influência quanto as mudanças em todas as comunidades avaliadas, apresentando uma correlação positiva da estrutura da comunidade entre diazotróficos e cianobactérias, sugerindo a importância funcional deste filo como fixador de nitrogênio em solos de manguezais (RIGONATO *et al.*, 2018). Esses estudos podem ter influência quanto às ações de remediação e controle de áreas poluídas observando a linha do tempo de cada derramamento.

Grativol *et al.* (2017) também identificaram uma relação quanto ao tempo de exposição ao óleo na comunidade bacteriana da Baía da Guanabara e São Francisco do Itapaboana, Brasil, os quais apresentam diferentes históricos de poluição por óleo. Os resultados indicam que a exposição ao petróleo tem um efeito de longo prazo na estrutura da comunidade bacteriana. Esse resultado corrobora com Lu *et al.* (2012), tendo em vista que a contaminação de óleo e mudanças ambientais associadas têm se mostrado o fator predominante para moldar a composição funcional e estrutura das comunidades microbianas.

Assim como o fator temporal influencia nos resultados das comunidades microbianas, a variação espacial dentro do mesmo manguezal também reflete nos resultados. Peixoto *et al.* (2010), em estudo conduzido nos manguezais da Baía de Todos os Santos, Brasil, demonstraram que as comunidades microbianas do manguezal estudado refletem a variação espacial dos produtos químicos no sedimento, demonstrando as influências específicas dos poluentes derivados do petróleo. Outrossim, Dias *et al.* (2020) ao investigaram solos de dois sistemas de manguezais localizados ao longo da costa do estado de São Paulo, Brasil, relataram que associações de bactérias fixadoras de nitrogênio podem ser parcialmente endêmicas de manguezais e essas comunidades são moduladas pela contaminação por óleo.

Andrade *et al.* (2012) identificaram diferenças quanto à abundância bacteriana em diferentes profundidades de solo no mangue Suruí, Brasil, sendo uma maior abundância na camada superior (0-5 cm) em relação às camadas mais profundas de sedimentos (15-20 e 35-40 cm), refletindo a influência da água do mar nessas comunidades. Essa diferença nas comunidades microbianas em níveis distintos de

profundidade, também foi apresentada por Machado *et al.* (2019) que identificou maior eficiência de degradação de hidrocarbonetos em camadas superficiais de solo.

Fasanella *et al.* (2012) analisaram dois manguezais localizados em Bertioga, Brasil, sendo um mangue afetado por derramamento de óleo e uma área de mangue próxima, não afetada, e identificaram um aumento na abundância de fungos nas regiões de manguezais poluídas com óleo e esses dados indicaram quatro potenciais candidatos a fungos para a remediação dos manguezais afetados por óleo. Também Ghizelini *et al.* (2019) que identificaram 34 gêneros e 97 espécies fúngicas em solos dos manguezais da Baía da Guanabara e Restinga da Marambaia, Brasil, com diferenças de riqueza de espécies entre os locais mais ou menos poluídos, sendo os mais poluídos com maior riqueza de espécies que os menos poluídos.

Otoni *et al.* (2017) investigaram se a contaminação do óleo interfere na prevalência de hidrolases particulares e seus microrganismos atribuídos em regiões com diferentes níveis de poluição por óleo, encontrando maior abundância para proteases (Bradyrhizobiaceae), esterases (Planctomycetaceae) e amilases (Chloroflexaceae).

Demais artigos consideraram nas suas investigações outros componentes taxonômicos descritos no Quadro 6.

Quadro 6: Microrganismos classificados quanto à ordem e família identificados nos estudos considerados (continua).

ORDEM	REFERÊNCIA
<i>Desulfobacterales</i> <i>Campylobacterales</i> <i>Thiotrichales</i> <i>Desulfobacterales</i> <i>Desulfuromonadales</i> <i>Alteromonadales</i> <i>Chromatiales</i> <i>Bacteroidales</i> <i>Oceanospirillales</i> <i>Alteromonadales</i> <i>Thiotrichales</i> <i>Oceanospirillales</i>	WANG, HUANG e ZHENG, 2016
FAMÍLIA	REFERÊNCIA
<i>Rhodobacteraceae</i> <i>Desulfobulbaceae</i> <i>Desulfuromonadaceae</i> <i>Pelobacteraceae</i> <i>Marinicellaceae</i> <i>Helicobacteraceae</i> <i>Piscirickettsiaceae</i> <i>Desulfobacteraceae</i>	WANG, HUANG e ZHENG, 2016

Quadro 6: Microrganismos classificados quanto à ordem e família identificados nos estudos considerados (conclusão).

ORDEM	REFERÊNCIA
<i>Chromatiales</i> <i>Desulfobacterales</i> <i>Oceanospirillales</i> <i>Alteromonadales</i> <i>Thiotrichales</i>	SANTOS <i>et al.</i> , 2011

Fonte: Elaborado pela Autora (2021).

5.6 Remediação e Biorremediação

Acidentes envolvendo derramamento de óleo quase sempre requerem alguma intervenção que visa o controle e remediação dos impactos causados nos manguezais ou em qualquer ecossistema.

Existem inúmeras ações e/ou técnicas de remediação que podem ser utilizadas por ocasião de algum acidente com derramamento de óleo e devem ser definidas levando-se em consideração uma série de fatores, como o tipo e volume do óleo a ser disperso, características oceanográficas e meteorológicas, tipo de dispersante a ser utilizado e os equipamentos disponíveis para a aplicação (SZEWCZYK, 2006). Assim, os procedimentos de limpeza devem ser avaliados caso a caso, invariavelmente com a participação dos órgãos ambientais competentes e equipes capacitadas para esse fim (DICKS *et al.*, 2000).

Entretanto, dependendo das ações aplicadas, o impacto geral da ocorrência pode ampliar-se. De acordo com Lopes *et al.* (2007) inúmeras estratégias de limpeza são mais prejudiciais que a própria ação do óleo e em alguns casos, podem aumentar a penetração do óleo no sedimento na zona entremarés.

Os dispersantes químicos são um grupo de produto de químicos, que ao serem pulverizado nas manchas de óleo, aceleram o processo de dispersão natural e a sua aplicação visa remover o óleo da superfície, particularmente quando a remoção mecânica não é possível, minimizando os impactos do óleo flutuante, por exemplo, para aves ou zonas costeiras sensíveis (SZEWCZYK, 2006).

Como alternativa aos produtos químicos dispersantes, o uso de microrganismos vem ganhando espaço como uma opção de remediação menos impactante, chamada de biorremediação e é preferível ao tratamento químico e convencional por várias razões, inclusive por se caracterizar como uma opção de baixo custo (SZEWCZYK, 2006).

A biorremediação compreende um conjunto de tecnologias que auxiliam na

remoção de contaminantes ou os tornam menos nocivos por meio da atividade biológica (SILVA, CAVALCANTI e DE MELO, 2015). Isso pode ser alcançado com a ajuda de microrganismos, como bactérias, microalgas e fungos, isolados de um ambiente diferente ou introduzidos nos locais contaminados ou pelo enriquecimento dos organismos já presentes nos locais contaminados (ADEBUSOYE *et al.*, 2007).

De acordo com Lima *et al.* (2015) a utilização dos hidrocarbonetos por estes microrganismos, dependente da natureza química dos compostos existentes na mistura do petróleo e das condições ambientais. Quando ecossistemas naturais são contaminados com hidrocarbonetos de petróleo, as comunidades microbiológicas presentes podem desenvolver estratégias de sobrevivência e até mesmo utilizar esses contaminantes como fonte de carbono, inclusive a partir da colaboração entre espécies diferentes e consórcios de microrganismos (LIMA *et al.*, 2015).

A identificação de componentes microbianos funcionalmente importantes envolvidos na degradação do ambiente poluentes é o primeiro passo para entender os mecanismos ecológicos de recuperação ambiental (Gomes *et al.*, 2010). Dessa forma, os microrganismos potenciais selecionados utilizam o petróleo bruto como substrato de carbono e biodegradam os hidrocarbonetos em produtos não tóxicos e comparativamente mais seguros para o meio ambiente e os seres vivos (TOLEDO *et al.*, 2006).

McGenity (2013) destaca que o desenvolvimento em diversas áreas como biologia de sistemas, microbiologia, ecologia, biogeoquímica e química analítica estão melhorando a compreensão de biodegradação de hidrocarbonetos e, portanto, biorremediação de poluição de óleo em ambientes costeiros. Santos *et al.* (2010) consideram microrganismos uma alternativa promissora para a recuperação de ambientes impactados por óleo e já foram aplicadas em diversos cenários reais como os vazamentos dos navios Exxon Valdez, Amoco Cadiz, Apex Barge, Mega Borg e Prestige (NOAA, 2004; SWANNELL, LEE, DONAGH, 1996; WHITFIELD, 2003).

As técnicas de biorremediação podem ocorrer *in situ* ou *exsitu* envolvendo processos de bioaumento que visam aumentar o número de microrganismos degradadores de compostos orgânicos e/ou bioestímulo, que visam melhorar as condições de crescimento do microrganismo (BAKER e HERSON, 1994). Wang *et al.* (2016) sugerem que a biorremediação *in situ* deve levar em consideração a profundidade do solo por causa da variação de comunidades microbianas e propriedades químicas dos mesmos.

Os artigos que investigaram o potencial de remediação e biorremediação correspondem a 23% artigos levantados e considerados nessa pesquisa e apresentam resultados que demonstram o comportamento de fungos, bactérias frente à contaminação por óleo, indicando possibilidade de uso como biorremediadores, além do uso de dispersantes químicos como estratégia de remediação (Quadro 7).

Quadro 7: Potencial de biorremediação em relação à contaminação por óleo em manguezais pelos microrganismos avaliados (continua).

ORGANISMO/PRODUTO	LOCAL	REFERÊNCIA
<i>Desulfotignum e Marinobacter</i> (gênero)	N/E	WANG <i>et al.</i> , 2016
<i>Proteobacteria</i> (filó) <i>Firmicutes</i> (filó) <i>Alphaproteobacteria</i> (classe) <i>Gammaproteobacteria</i> (classe) <i>Deltaproteobacteria</i> (classe) <i>Oceanospirillales</i> (ordem) <i>Alteromonadales</i> (ordem) <i>Alteromonadales</i> (ordem) <i>Oceanospirillales</i> (ordem) <i>Chromatiales</i> (ordem) <i>Marinobacter</i> (gênero) <i>Marinobacterium</i> (gênero) <i>Halieta</i> (gênero) <i>Cycloclasticus</i> (gênero) <i>Chromatiaceae</i> (família) <i>Ectothiorhodospiraceae</i> (família)	Delta do Niger, Nigéria	JOHN e OKPOKWASILI (2012)
<i>Penicillium citrinum</i> (fungo)	Mar da Arábia	BARNES <i>et al.</i> , 2017
<i>Methylobacterium</i> (gênero)	Bertioga- SP, Brasil	DOURADO <i>et al.</i> , 2012
<i>Alcaligenes</i> sp. <i>Bacillus</i> sp. <i>Flavobacterium</i> sp. <i>Micrococcus</i> sp. <i>Pseudomonas aeruginosa</i> (ordem)	Qua Iboe, Delta do Niger, Nigéria	ESSIEN <i>et al.</i> , 2012
<i>Chromatiales</i> (ordem) <i>Halieta</i> (gênero) <i>Marinobacterium</i> (gênero) <i>Marinobacter</i> (gênero) <i>Cycloclasticus</i> (gênero)	Experimento microcosmo	SANTOS <i>et al.</i> , 2011
<i>Vibrio</i> sp. cepa NW4 <i>Idiomarina</i> sp. cepa BW32 <i>Kangiella</i> sp. estirpe DP40 <i>Marinobacter</i> sp. estirpe DW44 <i>Halomonas</i> sp. estirpe BS53 <i>Vibrio</i> sp. cepa DS35	Bushehr, Golfo Pérsico, Iran.	FAKHRZADEGAN <i>et al.</i> , 2019

Quadro 7: Potencial de biorremediação em relação à contaminação por óleo em manguezais pelos microrganismos avaliados (conclusão).

ORGANISMO/PRODUTO	LOCAL	REFERÊNCIA
IncP-1a, IncP-1b, IncP-7 e IncP-9; naphthalene, extradiol e intradiol dioxygenases	Baía da Guanabara- RJ, Brasil	GOMES <i>et al.</i> , 2010
<i>Geobacter</i> (gênero) Chromate transport protein ChrA Haloacid dehalogenase-like hydrolase Lipopolysaccharide transport system-related proteins	Laboratório	CABRAL <i>et al.</i> , 2019
<i>Proteobacteria</i> (filó) <i>Firmicutes</i> (filó) <i>Bacteroidetes</i> (filó) <i>Gammaproteobacteria</i> (classe) <i>Flavobacteriales</i> (ordem) <i>Clostridiales</i> (classe)	Restinga da Marambaia-RJ, Brasil	MACHADO <i>et al.</i> , 2019
<i>Avicennia schaueriana</i> (fitoremediação)	Baía de Todos os Santos-BA, Brasil	MOREIRA <i>et al.</i> , 2014
Corexit 9500A (dispersante químico)	South Beach-FL, Estados Unidos	TANSEL <i>et al.</i> , 2014; TANSEL <i>et al.</i> , 2015; TANSEL e LEE, 2019
<i>Actinobacteria</i> (filó) <i>Alphaproteobacteria</i> (classe) <i>Betaproteobacteria</i> (classe) <i>Deltaproteobacteria</i> (classe) <i>Gammaproteobacteria</i> (ordem)	Laboratório	SOUSA <i>et al.</i> , 2020

Fonte: Elaborado pela Autora (2021).

Gomes *et al.* (2010) identificaram em micro nichos de mangue da Baía da Guanabara, Brasil, uma baixa abundância de genes e plasmídeos de degradação de PH nas amostras, contudo, a composição bacteriana original determinou a diversidade estrutural e funcional do consórcio de degradação de PH enriquecido. Da mesma forma, Sousa *et al.* (2020) observaram em seu estudo que os genes de degradação de hidrocarbonetos aromático, como monooxigenases e dioxigenases, foram agrupados em degradação anaeróbica de compostos aromáticos (20,34%), metabolismo de aromáticos intermediários centrais (35,40%) e vias periféricas para catabolismo de compostos aromáticos (22,56%).

Adicionalmente, a afiliação taxonômica de genes relacionados ao metabolismo de compostos aromáticos revelou a prevalência das classes Alphaproteobacteria,

Actinobacteria, Betaproteobacteria, Gammaproteobacteria e Deltaproteobacteria. Esses resultados mostraram que a comunidade microbiana encontrada tem a capacidade genética de metabolizar hidrocarbonetos aromáticos *in situ*, auxiliando na desintoxicação e recuperação ambiental (SOUSA *et al.*, 2020).

Fakhrzadegan *et al.* (2019) realizaram estudo de isolamento e caracterização de bactérias degradadoras de óleo cru de ecossistemas de mangue no Bushehr, Golfo Pérsico, Iran e os resultados indicaram que a quantidade bactéria degradante foi maior na raiz das plantas de mangue em comparação com solo e água do mar. Os autores consideram que a aplicação de estratégias de biorremediação com as bactérias identificadas no estudo podem reduzir a poluição do petróleo bruto nesse ecossistema.

Santos *et al.* (2011) conduziram um experimento de microcosmo para investigar o efeito do derramamento de óleo na comunidade microbiana existente, e observaram uma alta diversidade bacteriana no solo, mesmo após a contaminação por óleo e o número de unidades taxonômicas operacionais-OTUs diferentes, detectados em amostras contaminadas, foi significativamente maior que em amostras não contaminadas. O Filo *Proteobacteria*, em particular as classes *Gammaproteobacteria* e *Deltaproteobacteria*, foram prevalentes antes e depois do derramamento de óleo simulado. Por outro lado, a ordem *Chromatiales* e o gênero *Haliea* diminuiu com a exposição a 2 e 5% de óleo, estes são propostos como indicadores sensíveis a contaminação por óleo. Três outros gêneros, *Marinobacterium*, *Marinobacter* e *Cycloclasticus* aumentaram sua prevalência quando confrontado com o petróleo. Esses grupos são possíveis alvos para a biorremediação para impacto do óleo em ambientes de mangue (SANTOS *et al.*, 2011).

Por outro lado, Essien *et al.* (2012) identificaram com forte capacidade de degradação de PHAs, no Estuário Qua Iboe, Delta do Níger, Nigéria, os grupos de bactérias *Alcaligenes* sp., *Bacillus* sp., *Flavobacterium* sp., *Micrococcus* sp. e *Pseudomonas aeruginosa*, assim, a biorremediação poderia ocorrer por esses microrganismos autóctones naquela região. Também no Delta do Níger, John e Okpokwasili (2012) testaram a capacidade de degradação de PHAs e o perfil do plasmídeo de bactérias nitrificantes autotróficas, *Nitrosomonas* e espécies de *Nitrobacter*. Os resultados mostraram que as bactérias nitrificantes podem utilizar óleo bruto e seus produtos petroquímicos, como fonte de carbono para crescimento. No entanto, sua capacidade de utilizar o petróleo bruto variou tanto em taxas de utilização como nos perfis de crescimento. Já Wang, Huang e Zengh (2016) identificaram os

gêneros *Desulfotignum* e *Marinobacter* como potenciais substitutos em poluição por óleo nos solos dos manguezais como estratégia de estimulação com nitrato.

Utilizando processo de atenuação natural, Marín *et al.* (2013) avaliaram a biodegradação e bioaugmentação de determinados compostos em solo de mangue em Campeche no Golfo do México, ao que se observou que com a bioaugmentação da população bacteriana em condições aeróbicas é possível aumentar a degradação de compostos de petróleo em relação ao um processo de atenuação natural. Assim como, Machado *et al.* (2019) ao investigarem solos de mangue em Restinga da Marambaia, Brasil, identificaram que a eficiência de degradação de hidrocarbonetos foi maior em camadas superficiais de solos, tendo amostras da camada mais profunda exibindo maiores abundâncias dos genes analisados. Além disso, apresentou fortes distinções entre os táxons microbianos em resposta a diferentes tratamentos e nas duas profundidades de coleta.

Os resultados indicaram uma alta eficiência da atenuação natural monitorada (MNA) para o consumo de óleo nos solos de mangue, revelando o potencial desta estratégia para descontaminação e sugerindo que fatores ambientais e ecológicos podem selecionar populações bacterianas específicas em nichos distintos (MACHADO *et al.*, 2019).

Cabral *et al.* (2019) identificaram a presença de genes relacionados a metais pesados e resistentes a antibióticos no microbioma de mangue, com o perfil taxonômico sugerindo que *Geobacter* foi o gênero mais abundante no conjunto de dados e a avaliação de triagem funcional da biblioteca metagenômica detectou 24 potenciais clones tolerantes a metais pesados, seis dos quais foram capazes de crescer com concentrações de mercúrio (CABRAL *et al.*, 2019).

B. Tansel, Lee e D. Tansel (2013) utilizaram taxas de remoção de primeira ordem para 15 PAHs em folhas e solo de manguezais e identificaram que a taxa de remoção está correlacionada com suas difusividades na água, bem como com os volumes moleculares em diferentes meios. Todavia, não foi possível obter fortes correlações para a taxa de remoção em solos para a maioria dos parâmetros avaliados e estas, não se aplicam a folhas de mangue.

Barnes *et al.* (2017) realizaram estudo em solos de mangue sobre fungos com capacidade de degradar o petróleo bruto e identificaram seis fungos pertencentes a *Aspergillus*, dois a *Fusarium* e os outros dois ao *Penicillium* e *Acremonium*, respectivamente, sendo que o *Penicillium citrinum* mostrou-se altamente eficiente na

biodegradação de petróleo bruto, reduzindo o total de petróleo bruto com teor de 77% e a fração de n-alcano individual em uma média de 95,37%, indicando que é um candidato potencial para o desenvolvimento em um agente de biorremediação.

Nota-se que a maioria das pesquisas realizou investigações *ex-situ* e poucas ocorreram em ambientes de mesocosmo, isso pode ser explicado devido aos muitos fatores externos que podem afetar o sucesso da biorremediação. A presença e atividade dos microorganismos degradadores de óleo no solo, bem como, a disponibilidade e concentração de óleo e nutrientes, salinidade, temperatura e toxicidade do óleo, são exemplos que podem afetar o experimento (SANTOS *et al.*, 2010).

Um grande desafio para a biorremediação de manguezais é definir os níveis de poluição e medir a recuperação de um mangue, pois normalmente, os parâmetros químicos dos níveis de poluição, como PAHs são usados, mas são medidas extremamente variáveis no campo, portanto, estratégias de monitoramento de manguezais devem ser desenvolvidas (SANTOS *et al.*, 2010).

Em pesquisa de cunho experimental, Tansel e Lee (2019) testaram o uso dos mesmos dispersantes químicos utilizados por ocasião do *Deepwater Horizon* na remoção de óleo cru em manguezais, para três componentes: folhas de mangue, solos e conchas do mar coletados em Miami, EUA. Os resultados mostraram que a efetividade dos dispersantes varia de acordo com a salinidade da água e o componente avaliado e que estes foram mais efetivos em relação aos solos e às folhas de mangue (*Rizophora mangle*). Adicionalmente altas taxas de aplicação de dispersantes não necessariamente melhoram a dispersão de óleo das superfícies contaminadas (TANSEL e LEE, 2019).

Em outro estudo de avaliação de eficácia com uso do dispersante Corexit 9500A, Tansel *et al.*, (2014) na remoção de óleo em diferentes componentes naturais, revelou que tanto a salinidade quanto a proporção de dispersante para óleo (DOR) tiveram efeitos significativos na dispersão do óleo, contudo, a eficácia do dispersante foi reduzida significativamente com o aumento da salinidade, tendo eficácia mínima observada em a faixa de salinidade entre 30 e 50 ppt em todas as amostras aquosas contendo materiais naturais. Esse resultado pode ser útil quando da tomada de decisão acerca de qual dispersante pode ser mais eficiente tendo em vista estudos prévios.

5.7 Planejamento, operação e procedimentos de limpeza em manguezais atingidos por óleo

Seguindo a recomendação PRISMA adotada nessa pesquisa, os documentos que foram considerados para este item foram *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), *Centre of Documentation, Research and Experimentation on Accidental Water Pollution* (CEDRE), Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA).

Os processos de limpeza e recuperação de manguezais impactados por óleo são quase sempre difíceis de se operacionalizar, pois muitas variáveis são levadas em consideração antes que alguma decisão seja tomada. Características e composição físico-química do óleo, os intemperismos a que ele está sujeito, bem como as características ambientais da região afetada, devem ser avaliadas a fim decidir quanto à técnica a ser utilizada (NOAA, 2014; KERAMBRUN, 2016). Inclusive a opção de não fazer nada pode ser também uma recomendação a depender do caso, visto que várias estratégias de limpeza podem ser mais prejudiciais que a própria ação do óleo (NOAA, 2014; CETESB, 2007).

Duke (2016) em estudo de levantamento de seis décadas de dados acerca de derrame de óleo em manguezais, alerta que há uma grande necessidade de relatórios padronizados para cada incidente de derramamento afetando manguezais a fim de sistematizar as informações e defende que seja criado um *Fórum* público com descritores do tipo: área do mangue oleado e solos circundantes; bem como áreas de desmatamento impactado por petróleo. Esse *Fórum* teria a função de compartilhamento de informações sobre os acidentes com óleo.

Relativo aos procedimentos de limpeza e recuperação do ecossistema manguezal, o autor destaca que no caso de haver alguma dúvida sobre como fazer uma intervenção, essa incerteza deve enfatizar a necessidade de mais pesquisas e testes, bem como, ao tomar a decisão de intervir, essa ação deve ser rigorosamente revisada, monitorada e testada para avaliar adequadamente seu valor e mérito futuro nas respostas subsequentes em comparação com fazer coisa nenhuma (DUKE, 2016).

Para o monitoramento pós oleamento, Duke (2016) apresenta algumas recomendações que envolvem o relato, registro e disponibilização pública de todas as informações relevantes sobre o incidente; sempre que possível, realizar avaliação rápida das condições do manguezal antes mesmo do óleo alcançar esse ambiente, com vistas a

apoiar futuras comparações “antes e depois do impacto”; coletar e disponibilizar todos os dados descritivos sobre grandes derramamentos de forma padronizada; determinar, usando métodos aceitos, o tipo, extensão e concentrações de óleo nas áreas impactadas, tanto no momento do oleamento e em algum período após a lubrificação inicial (ou seja, 3-6 meses); o monitoramento de reflorestamento de manguezais e a presença de hidrocarbonetos nos solos deve ser conduzido ao longo de 3-4 décadas para avaliar a recuperação do habitat onde árvores morreram, assim como a fauna deve ser monitorada por mais de 2 anos para avaliar a adequada recuperação.

Acerca dos procedimentos de limpeza no ecossistema manguezal, o Manual de orientação para ambientes costeiros contaminados por óleo da CETESB, elaborado por Lopes, Milanelli e Poffo (2007), apresentam diversas ações que visam evitar a chegada do óleo a esses ambientes, tais como: adotar medidas de proteção e isolamento dos manguezais (barreiras de contenção); adotar prioritariamente procedimentos de remoção em mar, nas águas adjacentes e contíguas aos manguezais; considerar a possibilidade do uso de dispersantes químicos em mar, desde que respeitadas as condições e premissas que regulamentam a técnica na Resolução CONAMA Nº 269/2000; adotar a aplicação criteriosa de absorventes naturais combinada com o uso de barreiras absorventes, como complemento das técnicas mecânicas de recolhimento; remover resíduos e vegetação flutuantes em áreas estuarinas, normalmente depositados e acumulados nos manguezais durante a maré enchente, de preferência a bordo de embarcações de pequeno porte, durante a preamar, evitando pisoteio nos bosques, entre outros.

Todavia, ao se tratar de procedimentos relativos à remoção de óleo no bosque de mangue, as recomendações assumem a tônica de adotar limpeza natural, impedir o corte ou a remoção da vegetação contaminada; impedir procedimentos de limpeza mecânica no bosque, como jateamento com água, vapor ou areia, raspagem de troncos e raízes; impedir a remoção do solo contaminado e o trânsito de pessoas no interior do mangue, em qualquer situação, para evitar danos gerados pelo pisoteio à fauna e às raízes, e principalmente a transferência do óleo para camadas mais profundas do solo onde a degradação natural é ineficiente (LOPES, MILANELLI e POFFO, 2007).

O Guia Operacional de Respostas em Manguezais do CEDRE (KERAMBRUN, 2016) apresenta dois cenários possíveis de ameaça ao manguezal por derrame de óleo:

1. O derrame é oriundo de um navio ou de uma instalação petrolífera e o óleo está à deriva nas águas costeiras e nesse caso, as respostas devem ser implementadas primeiro no mar;

2. O derrame no mar atinge a costa ou o já é oriundo de uma instalação dentro ou na borda do manguezal e este é afetado, então as respostas são realizadas em terra.

As etapas que se seguem após o contato do óleo com o manguezal, são: avaliação da situação; determinação das áreas prioritárias a serem atendidas ou mesmo se alguma ação será tomada; as ações de resposta em si, que compreendem desde permitir que o ambiente haja naturalmente na remoção/absorção do óleo, implantar barreiras flutuantes de proteção na borda do manguezal, estruturar o *layout* da área de trabalho, prover suprimentos necessários e cuidar da segurança dos trabalhadores até a recuperação de limpeza do óleo das áreas afetadas; gerenciar os resíduos coletados; e por fim tornar público as informações para a sociedade (KERAMBRUN, 2016).

Quando o óleo atinge a costa, um esforço considerável pode ser necessário para limpar as áreas afetadas. Portanto, é essencial que arranjos abrangentes e bem ensaiados para a limpeza da costa sejam incluídos nos planos de contingência. As técnicas disponíveis para limpeza da costa são relativamente diretas e normalmente não requerem equipamento especializado. No entanto, técnicas inadequadas e má organização podem agravar os impactos causados pelo próprio óleo (ITOPF, s.d).

O guia sobre Derrame de óleo em manguezais: considerações de planejamento e resposta do NOAA (2014) contempla quatro capítulos que abordam a ecologia do manguezal, os efeitos da toxicidade do óleo em manguezais, as ações de resposta e por fim a restauração e recuperação de manguezais.

Acerca das opções de limpeza em manguezais, o guia destaca que existem várias circunstâncias em que é apropriado não fazer nada. A principal dessas situações é quando a limpeza causaria mais danos do que benefícios aos manguezais ou outros habitats associados, ou quando as linhas costeiras são inacessíveis. Essa opção também leva em consideração o tipo de óleo, por exemplo, derramamentos de óleos leves, que evaporam naturalmente e se decompõem muito rapidamente, não exigem limpeza, além disso causam impactos tóxicos imediatamente, e a limpeza pouco pode fazer para reduzir os danos (NOAA, 2014). O Quadro 8 ilustra a relação do tipo de óleo com as ações de resposta e seu respectivo dano. É importante reconhecer, entretanto, que mesmo onde a recuperação natural é aconselhável, os óleos leves podem causar danos significativos e os habitats de manguezais contaminados podem levar muitos anos para se recuperar.

Quadro 8: Recomendações para opções de resposta em manguezais contaminados por óleo pesado.

Descrição de Grupo de Óleo	Método de resposta	Grupo de Óleo	
1. Grau médio e produtos intermediários			
2. Óleos pesados e produtos residuais			
Categorias para comparar o impacto ambiental relativo de cada método de resposta no ambiente para cada tipo de óleo. A = O menor impacto adverso do habitat. B = Algum impacto adverso do habitat. C = Impacto adverso significativo do habitat. D = O impacto de habitat mais adverso. I = Informação insuficiente - o impacto ou eficácia do método não pôde ser avaliado. — = Não aplicável.	Recuperação Natural	A	A
	Barreiras/Bermas	B	B
	Remoção manual	C	C
	Remoção mecânica	—	—
	Sorventes	A	A
	Aspirador	B	B
	Remoção de entulho	A	A
	Recolocação de solo	—	—
	Remover/cortar vegetação	—	—

Fonte: Adaptado de NOAA (2014).

Como exemplo de que os processos de limpeza, por vezes podem causar danos adversos, NOAA (2014) apresenta um caso ocorrido em Tampa, Flórida em que o processo de limpeza acabou provocando contaminação de áreas antes não oleadas do manguezal, em virtude da movimentação de entrar e sair do mangue para efetuar a limpeza.

Diferente dos demais documentos técnicos mencionados, o guia do NOAA traz uma alínea específica sobre “Técnicas de respostas inapropriadas em manguezais”, onde exemplifica algumas técnicas já mencionadas aqui, além de alertar que “sob nenhuma circunstância a vegetação viva do mangue deve ser cortada ou queimada”, tendo em vista que ambas as técnicas destruirão as árvores e o habitat dos manguezais. Tal advertência é justificada pelo crescimento muito lento das árvores de mangue que levam décadas para atingir o estágio maduro, portanto, a perda de um grande número de árvores pode comprometer a estrutura da floresta, dificultando sua recuperação natural (NOAA, 2014).

Assim, o processo de tomada de decisão quanto às respostas ao derramamento de óleo em manguezais leva em conta as variáveis: tipo e quantidade de óleo e características da floresta de mangue afetada, prioritariamente. Em qualquer caso,

devem ser feitas tentativas para controlar o movimento e a propagação de qualquer óleo móvel dentro dos manguezais para evitar a contaminação das áreas adjacentes (NOAA, 2014).

No que diz respeito à coordenação das ações, o ITOPF em seu documento *Leadership, command & management of oil spills* ressalta que uma resposta eficaz e bem-sucedida a um derramamento de óleo depende em grande medida da qualidade da liderança demonstrada por aqueles que estão no comando ou na gerência e que devem ser feitos em todos os estágios da resposta (ITOPF, 2012).

No Brasil, a Lei Nº 9.966/2000 que dispõe sobre prevenção, controle e fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo em águas sob jurisdição nacional, prevê três tipos de planos para o combate à poluição causada por lançamento de óleo em águas brasileiras, que são acionados de forma complementar: o Plano de Emergência Individual – PEI que é obrigatório para cada instalação, sendo exigido e aprovado no âmbito Licenciamento Ambiental do empreendimento; o Plano de Área – PA que é a consolidação de diversos Planos de Emergência Individuais de empreendimentos localizados em uma determinada área geográfica – aprovado pelo órgão de licenciamento ambiental; e o Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional – PNC é um plano adotado em acidentes de maiores proporções, onde a ação individualizada dos agentes não se mostra suficiente para a solução do problema (BRASIL, 2000).

O PNC brasileiro instituído pelo Decreto Nº 8.127 de 22 de outubro de 2013, fixa responsabilidades, estabelece estrutura organizacional e define diretrizes, procedimentos e ações, com o objetivo de permitir a atuação coordenada de órgãos da administração pública além de entidades públicas e privadas para ampliar a capacidade de resposta em incidentes com derrame de óleo em águas sob jurisdição nacional (IBAMA, 2016). Este deverá ser acionado em caso de acidentes de maiores proporções, nos quais a ação individualizada dos agentes diretamente envolvidos (poluidor) não se mostrar suficiente para a solução do problema.

A principal figura executiva é a do Coordenador Operacional responsável pelo comando das ações imediatas ao acidente, que deverá ser preferencialmente coordenado pela Marinha, para incidentes em águas marítimas; pelo Ibama, para incidentes em águas interiores; e pela Agência Nacional do Petróleo (ANP) nos casos que envolvam estruturas submarinas de perfuração e produção de petróleo, porém a Autoridade

Nacional que coordena todas as atividades do Plano Nacional é exercida pelo Ministério do Meio Ambiente (IBAMA, 2016).

5.7.1 O derramamento de óleo no Nordeste do Brasil em 2019

Há algumas divergências quanto ao acionamento do PNC por ocasião do derrame de óleo ocorrido no Brasil em 2019. Soares *et al.* (2020) afirmam que o PNC nem chegou a ser acionado oficialmente, o que foi objeto de ação por parte do Ministério Público Federal- MPF o qual ajuizou ação em 18 de outubro de 2019, contra o Governo Federal por omissão, estabelecendo multa diária de R\$1 milhão de reais por desconformidade ao PNC.

O MPF apontou evidências que enfatizam o não acionamento oficial do PNC por parte do Governo Federal. Algumas dessas evidências foi que o fator “significância nacional” não ter sido reconhecido; os estados afetados deveriam fazer parte do Comitê de Suporte ao PNC, mas este nem chegou a ser reunido; além disso, o IBAMA ficou desautorizado a dar entrevistas e repassar informações à imprensa (MPF-SE, 2019), sendo que uma das características do PNC é garantir informações e transparência (Decreto 8.127/2013, art. 10, inciso VIII, alínea “b”).

Adicionalmente, foi relatado o não emprego de técnicas adequadas para proteção de áreas sensíveis e vulneráveis, além da não utilização do Mapeamento Ambiental para Resposta à Emergência no Mar (Marem) criado em 2013, em acordo de cooperação entre o IBAMA e o Instituto Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis (IBP); e o não cumprimento dos deveres a cargo do Coordenador Operacional previstos no Art. 10 do mesmo decreto (MPF-SE, 2019).

Entretanto, o IBAMA que tem a função de executar o PNC (Decreto 8.127/2013) alega que este foi acionado pela primeira vez por ocasião desse derramamento (IBAMA, 2020) e embora não haja uma publicação oficial acionando o PNC, há uma comunicação oficial da MB informando sobre “Desmobilização do Plano Nacional de Contingência” a partir de 20 de março de 2020 (MB, 2020).

Outros pontos que corroboram às divergências de informações, foi que apesar de em 28 de outubro de 2019 o MPF ter recorrido da decisão em primeira instância, para que o Governo Federal acionasse o PNC, o site do MMA publicou uma notícia em 16 de outubro de 2019 no qual afirma que “As ações do Plano Nacional de Contingência (PNC) e do Grupo de Acompanhamento e Avaliação (GAA) estão em

pleno funcionamento” (MMA, 2019). Adicionalmente, a União em resposta à ação judicial movida pelo MPF, informou que o PNC estava em funcionamento “com as devidas adaptações necessárias” (TRF-5, 2019).

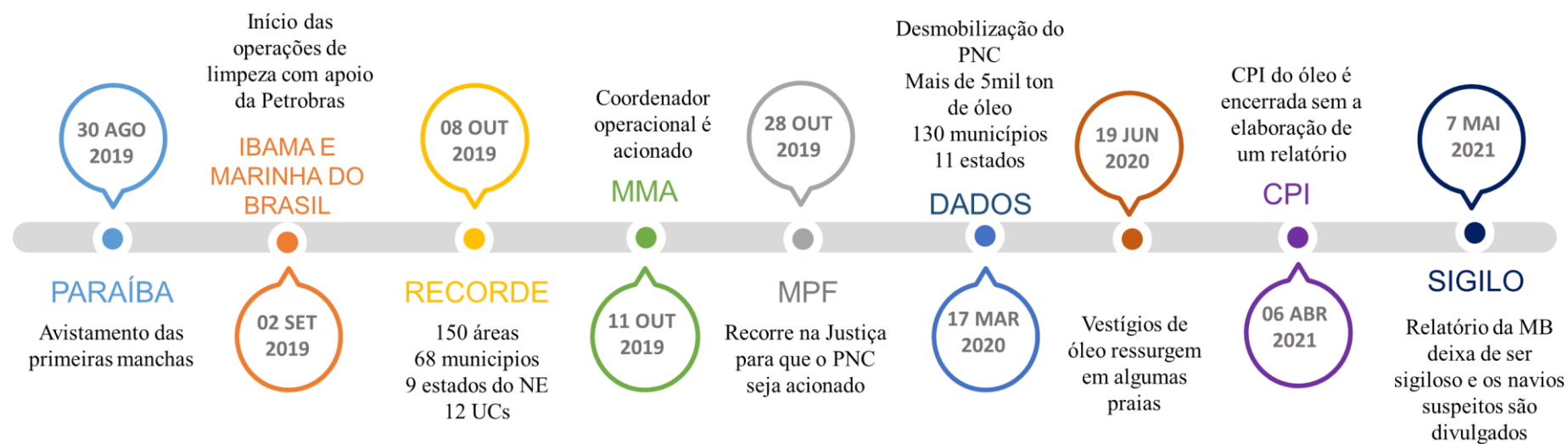
Watanable e Pamplona (2019) destacam que a falta de coordenação e de alinhamentos institucionais foi intensificada devido à extinção de dois comitês (Executivo e de Suporte) de plano de ação que integravam o PNC ainda em abril de 2019. Ambos eram compostos por Ministério do Meio Ambiente, Ministério de Minas e Energia, Marinha, Ibama, Agência Nacional do Petróleo, entre outros.

Após os primeiros avistamentos das manchas em 30 de agosto de 2019 no estado da Paraíba (Figura 6) a MB, o IBAMA e a Petrobras deram início às ações de limpeza das praias atingidas em 2 de setembro e as ações seguiram com grande parte das mobilizações de limpeza e contenção sendo empreendidas por cada estado brasileiro que foi sendo atingido pelas manchas de óleo, porém tendo como base as Cartas de Sensibilidade Ambiental a Derramamentos de Óleo (Cartas SAO) disponibilizadas pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) e contando com participação ativa das populações locais, universidades e organizações da sociedade civil (MAGALHÃES *et al.*, 2020).

Apesar da legislação ambiental brasileira (Decreto 8.127/2013) atribuir ao poluidor a responsabilidade pelo acionamento dos órgãos ambientais de controle, pela execução do plano de emergência e pela adoção de medidas reparatórias e compensatórias, nesse caso o poluidor não é conhecido. Sendo assim, o Ibama requisitou à Petrobras, empresa que opera diversos empreendimentos de petróleo e gás *offshore*, o emprego de recursos técnicos e logísticos disponíveis para o enfrentamento da emergência (IBAMA, 2020).

Apesar da finalização dessas das ações de limpeza, quase um ano após o avistamento das primeiras manchas de óleo, em 19 de junho de 2020, vestígios de óleo reapareceram em algumas praias e continuaram por alguns meses seguintes. No final de agosto de 2020, a MB conclui e entrega o relatório final de investigação à PF em que apontam prováveis culpados pelo maior crime ambiental com óleo já ocorrido na história do Brasil (MB, 2020) todavia, em maio de 2021 o mesmo relatório tem seu grau de sigilo alterado sendo desclassificado para uso no inquérito criminal da PF (MARINHA DO BRASIL, 2021).

Figura 6: Linha do tempo referente ao derrame de óleo no Brasil em 2019.



Fonte: Elaborado pela autora (2021).

Ainda que, em Nota de 07 de maio de 2021 a MB tenha revelado que os navios-tanque *Bouboulina*, *VL Nichioh* e *Amore mio* sejam suspeitos na investigação do derramamento do óleo, nada foi comprovado e nenhum suspeito indiciado. Adicionalmente, a Comissão Parlamentar de Inquérito (CPI) instaurada em dezembro de 2019 é encerrada março de 2021, sem que houvesse indicação de responsáveis.

O PNC prevê a criação do Grupo de Acompanhamento e Apoio (GAA) e este, foi formado tanto por instituições governamentais como pela comunidade científica e forças armadas, sendo liderado pela Marinha do Brasil. Ressalta-se que a chamada pública do CNPq\MCTI para apoio financeiro a projetos que contribuam para a geração de conhecimentos sobre o derramamento de óleo teve a contribuição direta da Coordenação Científica criada no âmbito do GAA (MB, s.d). Embora a coordenação do PNC seja de atribuição da Autoridade Nacional, ou seja, o MMA, (BRASIL, 8.127/2013) esta função foi designada pelo MMA à Marinha do Brasil “em razão da tipologia e das características do incidente” como informa o Portal de acesso à informação do Governo Federal em 11 de novembro de 2019 (BRASIL, 2019).

Não obstante, o acidente no Brasil ter tido tais proporções os manguezais atingidos não foram mapeados. O Centro Gestor e Operacional do Sistema de Proteção da Amazônia (Censipam) desenvolveu o aplicativo Olhos de Águia o qual inicialmente para mapear as queimadas na Amazônia e posteriormente uma nova versão foi criada para mapear as manchas de óleo no litoral do Brasil em 2019, tendo a funcionalidade de capturar novas manchas bem como, catalogar e coletar dados, imagens e coordenadas geográficas sobre as manchas de óleo. Todavia, o mesmo foi desabilitado em 2020, e embora o site do IBAMA ainda mantenha os registros de mapas com os avistamentos à época, não existe uma estimativa dos ecossistemas atingidos, porém foi encerrado para novos mapeamentos 04 de março de 2020.

Ainda que acidentes dessa magnitude não sejam frequentes no Brasil, a academia também teve notória e relevante atuação, reunindo pesquisadores de diversas universidades, notadamente do Nordeste e Sudeste do país, por meio do GAA.

Baleña (2015) relata acerca das respostas prioritárias que foram dadas pelo governo filipino por ocasião do derramamento de óleo ocasionado pelo naufrágio de um petroleiro ocorrido em 11 de agosto de 2006, na Ilha Guimaras em que, diferente do ocorrido no Brasil, teve seu PNC de Derramamento de Óleo-NOSCP acionado já no segundo dia de ocorrido o acidente. Relata ainda que a academia também agiu de

maneira rápida e coordenada acionando a mesma equipe que havia atuado em acidente ocorrido no ano anterior.

Contudo, nenhuma das ações implantadas pelo Governo filipino foi bem-sucedida, incluindo a negligência quanto à modelagem relativas à trajetória do óleo, além das ferramentas necessárias, materiais e suprimentos terem sido inadequados e a força tarefa foi criada apenas no 13º dia do acidente. No 39º dia, a Guarda Costeira das Filipinas (PCG) admitiu que falhou em conter o derramamento e em determinado momento, houve uma incerteza científica acerca do melhor método a ser empregado na limpeza dos manguezais o que interrompeu as ações de limpeza da força tarefa por três meses (BALEÑA, 2015).

Por fim, dois anos após, as condições da água haviam reduzido apenas 30% as concentrações médias de óleo/litro, traços de óleo ainda eram visíveis em vários lugares evidenciando resíduos de hidrocarbonetos, apenas 0,5% da carga de óleo foi recuperada, as compensações financeiras às populações afetadas (4.727 famílias) só chegaram em abril de 2007 e ainda com os menores valores possíveis, contrastando com os valores disponibilizados para restaurar o ecoturismo e a vida marinha (BALEÑA, 2015). No Brasil, após dois anos do acidente, embora haja a suspeita entre 3 navios, nenhum responsável foi indiciado.

No caso relatado há um conflito entre a assistência governamental e financeira que foi dedicada à recuperação dos ambientes marinhos e manguezais em detrimento às populações afetadas que tiveram necessidades básicas como acesso à comida, água potável, abrigo e atenção médica negligenciadas. Albert *et al.* (2018) consideram que necessário medir a vulnerabilidade de regiões afetadas por eventos desse tipo para avaliar o real impacto de curto ou longo prazo, permitindo assim a criação de estratégias de respostas a eventos atuais e futuros.

Câmara *et al.*, 2021 realizaram um estudo acerca da vulnerabilidade socioeconômica das comunidades da costa brasileira por ocasião do acidente de 2019 e identificaram que a dependência de uma economia fortemente focada na exploração dos recursos costeiros é um fator sensível quando eventos como este ocorrem, enfatizando que as ações estratégicas devem levar em consideração esse fator, bem como os fatores sociais deficientes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados aqui apresentados destacam a extensão de áreas de manguezais já atingidos em todo mundo por acidentes envolvendo derramamento de óleo. Ao todo, 11 países tiveram estudos desenvolvidos em manguezais, sendo a maior proporção relativo ao Brasil e em seguida, Nigéria. As áreas apontadas nos artigos apresentados devem ser consideradas prioritárias para o planejamento de contingência, avaliação de danos e implementação de ações de resposta a incidentes de poluição por óleo no mar.

Os artigos levantados foram identificados quanto ao tipo de derramamento de óleo, como “Crônico” o que se refere a locais que passaram por diversos eventos de derramamento de óleo ao longo dos anos, ou que um grande acidente tornou o local cronicamente poluído a maior proporção encontrada. Tais regiões demonstram a necessidade de monitoramento em curto, médio e longo prazo, pois podem influenciar a disponibilidade dos bens e serviços ambientais providos pelo ecossistema manguezal. Esses monitoramentos não devem limitar-se a ações corretivas de mitigação de impactos, mas também conhecer as áreas mais vulneráveis são também importantes para o processo de recuperação dessas áreas.

Os efeitos aqui demonstrados para fauna indicam o comprometimento da mobilidade de moluscos, crustáceos, peixes e aves, assim como é reduzida a tolerância a predadores, infecções e outros estresses a que possam ser submetidos. Contudo, observa-se predominância das pesquisas para determinados grupos faunísticos, quais sejam o filo Mollusca e Artrhopoda e pouca ou nenhuma pesquisa relativa aos demais grupos, se são ou não endêmicos de manguezais, ou o utilizam em parte do seu ciclo de vida, como répteis, anfíbios, peixes e aves ou mesmo que dependem da saúde ecossistêmica desse ambiente para se desenvolver e/ou sobrevivência, como por exemplo, o homem.

Nenhuma pesquisa abordou de maneira específica os impactos de manguezais contaminados por óleo nas comunidades tradicionais. Apenas um estudo mencionou de forma indireta que pescadores de uma localidade tiveram sua atividade interrompida definitivamente por causa da extinção de peixes na região.

Como efeitos adversos identificados para a flora do ecossistema manguezal pôde-se observar danos ultra estruturais em raízes, alterações celulares, desfolhamento em massa, redução do tamanho das folhas, altura do caule, dificuldade ou ausência da iniciação de novos propágulos e finalmente mortandade vegetal. Também houve

prevalência de estudos para a espécie de mangue *Avicennia marina*, enquanto que *Rhizophora racemosa*, *Rhizophora mangle*, *Rhizophora apiculata*, *Laguncularia racemosa* tiveram menor expressão.

Os estudos relativos ao solo de mangue apresentaram altas concentração de PHAs e outros metais pesados em todos as pesquisas realizadas, bem como grupos diversos de microrganismos foram identificados apresentando prevalência ou redução na presença de PHAs, o que são importantes referências para o desenvolvimento de estratégias de biorremediação em eventos com derramamento de óleo.

Um dos desafios universais enfrentados pelos gestores responsáveis pela resposta a derramamentos de óleo é o de compreender como os diferentes componentes ecossistêmicos reagem à presença de óleo, às variações relativas ao tipo de óleo, tempo e quantidade máxima tolerada. Esses dados são essenciais para fornecer subsídios acerca das melhores iniciativas de recuperação e mitigação dos efeitos causados em casos de derrame de óleo em manguezais. Pode-se perceber poucos estudos que testaram *in loco* microrganismos capazes de biorremediar manguezais impactados por óleo e sim testes feitos em laboratório, além disso, nenhuma das pesquisas relataram ações exitosas de monitoramento e/ou recuperação desses ambientes impactados.

O derrame de óleo corrido no Brasil em 2019 ficou conhecido como “as machas de óleo no Nordeste” embora algumas praias do Sudeste tenham também sido atingidas, foi o maior acidente com óleo já ocorrido em águas tropicais, inédito no Brasil e apesar de termos instituído ainda em 2013 um Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional, ainda assim, o Governo Federal não foi assertivo quanto à articulação e coordenação das ações previstas no PNC, bem como seu efetivo acionamento, uma vez que grande parte da mobilização se deu por parte das comunidades locais que sem nenhuma orientação técnica ou mesmo equipamentos de segurança individuais, iniciou o processo de retirada do óleo com as próprias mãos no sentido literal.

Considerando todos os aspectos apresentados, observa-se flagrante ineficiência, e omissão quanto à coordenação e articulação das ações necessárias para redução dos danos causados por esse acidente por parte do Governo Federal representado pelo Ministério do Meio Ambiente, quais sejam:

1. não acionou a tempo o PNC;

2. impediu o IBAMA, órgão responsável pela execução do PNC, de emitir informações acerca do andamento das ações e medidas informativas de procedimentos adequados que podem salvar vida da fauna atingida;

3. não houve reconhecimento da significância nacional do desastre;

4. o Comitê de Suporte do PNC não foi reunido;

5. não empregou técnicas adequadas de contenção para áreas sensíveis e vulneráveis, como os manguezais, embora documentos técnicos aqui citados respaldem tais ações;

6. além do não cumprimento do cargo de Operador Nacional, descumprindo seu dever de proteção à Nação. Dessa forma, os impactos socioambientais poderão ser maiores frente aos já abordados.

Todavia, cabe ressaltar o fator de ineditismo e singular desse acidente. Os órgãos e instituições brasileiras não tinham experiência prévia no acionamento do PNC, haja vista desde sua concepção em 2013 não houve nenhum acidente que justificasse sua implementação e embora os protocolos de acionamento e condução por parte do Ministério do Meio Ambiente não tenham seguido o rito que determina o decreto 8.127/2013, os órgãos que estiveram à frente, notadamente a Marinha do Brasil, IBAMA e ANP, juntamente com a Petrobras, não mediram esforços para conter o avanço das manchas, bem como identificar sua origem.

Diante do exposto, mister se faz uma forte articulação interinstituições públicas e privadas, com subsídios Federais no que diz respeito, não só ao acompanhamento do surgimento de novas manchas, mas sobretudo em relação ao monitoramento de médio e longo prazo dos manguezais atingidos pelo óleo, através da criação de grupos permanentes de educação ambiental, monitoramento, análise e interlocutores entre as comunidades e esses grupos. Assim, é imprescindível que todas as localidades costeiras tenham sistematizado informações técnicas e científicas, grupos acadêmicos, da sociedade civil organizada, instituições locais, regionais e federais alinhadas e atuando num esforço único de alinhamento de informações, assim como, estratégias de planos de ação bem definidos, com coordenação inequívoca e atuante e que sejam informações disponíveis à toda sociedade.

Adicionalmente, ter disponível laboratórios — estes podem ser de universidades e/ou instituições tanto públicas como privadas — com culturas de microrganismos capazes de contribuir na biorremediação dos impactos, além de produtos e equipamentos que possibilitarão que ações de remediação sejam mais eficazes. Por fim,

espera-se mais estudos relativos a esse desastre sejam publicados com enfoque no ecossistema manguezal, tendo em vista que dentro do recorte temporal aqui apresentado, apenas uma publicação referiu-se ao acidente e ainda apresentando dados de forma genérica, em virtude do pouco tempo decorrido entre o desastre e a referida publicação.

Assim, pode-se observar com os fatos narrados, que não obstante o ineditismo de um evento dessa magnitude, o Estado brasileiro mostrou-se ineficiente, omissos e negligente quanto à implementação coordenada do Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo em Águas sob Jurisdição Nacional instituído pelo Decreto 8.127/2013.

REFERÊNCIAS

- ABESSA, D.M.S. et al. Integrative ecotoxicological assessment of contaminated sediments in a complex tropical estuarine system, 2008. In: Hofer, T.N. (Ed.), **Marine Pollution**. New Research, Nova Science Publishers Inc., New York, pp. 125–159
- ADAMU, B.; TANSEY, K.; OGUTU, B. Remote sensing for detection and monitoring of vegetation affected by oil spills. **International Journal of Remote Sensing**, v. 39, n. 11, p. 3628–3645, 2018.
- ADEBUSOYE, S.A. Microbial degradation of petroleum hydrocarbons in a polluted tropical stream, 2007. **World J Microbiol Biotechnol** 23:1149–1159
- AGÊNCIA BRASIL. **Fazendeiro paulista fez primeira tentativa de achar petróleo no Brasil**. Empresa Brasil de Comunicação, 2006. Disponível em: <http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2006-04-21/fazendeiro-paulista-fez-primeira-tentativa-de-achar-petroleo-no-brasil> Acesso em: 24 mar. 2020.
- ALENCAR, T. D. S. *et al.* Contaminação por metais pesados e hidrocarbonetos de petróleo: uma ameaça para os manguezais. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 10, n. 2, p. 7, 2016.
- ALVES, J. R. P. (org.) SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL – SEMADS **Manguezais: educar para proteger**. Projeto PLANÁGUA SEMADS / GTZ de Cooperação Técnica Brasil – Alemanha, 2001. Disponível em: https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_pnla/_arquivos/manguezais.pdf Acesso em: 05 abr. 2020.
- ANDRADE, L. L. *et al.* Microbial diversity and anaerobic hydrocarbon degradation potential in an oil-contaminated mangrove sediment. **BMC Microbiology**, v. 12, 2012.
- ANDREOTE, F.D.; JIMÉNEZ, D.J.; CHAVES, D.; DIAS, A.C.F.; LUVIZOTTO, D.M.DI.; ANDREOTE, F.; FASANELLA, C.C.; VARON LOPEZ, M.; BAENA, S.; TAKETANI, R.G.; MELO, T.S. **The microbiome of brazilian mangrove sediments as revealed by metagenomics**. PLoS One, v.7, e38600, 2012.
- ARAUJO, M. E.; RAMALHO, C. W. N.; MELO, P. W. **Pescadores artesanais, consumidores e meio ambiente: consequências imediatas do vazamento de petróleo no Estado de Pernambuco, Nordeste do Brasil**. Cad. Saúde Pública vol.36 no.1 Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-311X2020000100301&script=sci_arttext&tlng=pt Acesso em: 02 jun. 2020.
- BAKER K.H., HERSON D.S. **Bioremediation**, 1994. McGraw-Hill, New York
- BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL-BEN. **Matriz Energética Nacional 2018 - Ano Base 2017**. Empresa de Pesquisa Energética. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018> Acesso em: 12 mai. 2020.

BALEÑA, R. Priority responses to the 2006 Guimaras oil spill, Philippines: Will history repeat itself? **Ocean and Coastal Management**, v. 103, p. 42–55, 2015.

BARNES, N. M. *et al.* Bioremediation potential of hydrocarbon-utilizing fungi from select marine niches of India. **3 Biotech**, v. 8, n. 1, p. 1–10, 2018.

BARROS, M. F.; TAMMELA, I.; CRUZ, L. G. Z. **A cadeia logística de petróleo e gás dentro da perspectiva da logística verde**. In: II ENCONTRO FLUMINENSE DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 2010, Rio das Ostras. Anais do II ENFEPRO: Campos dos Goytacases: Essentia Editora, 2010. v. 01. p. 01-11.

BLUEMINK, E. **Size of Exxon spill remains disputed, 2010**. Atualizado em 27 jun. 2016. Disponível em: <https://www.adn.com/economy/article/size-exxon-spill-remains-disputed/2010/06/06/> Acesso em: 13 abr. 2020.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Dispõe sobre procedimentos para o licenciamento ambiental federal de atividades e empreendimentos de exploração e produção de petróleo e gás natural no ambiente marinho e em zona de transição terra-mar Disponível em: https://www.mprs.mp.br/media/areas/gapp/arquivos/atualizacao_intra/dou/port_422.pdf Acesso em: 24 mar. 2020.

BRASIL. Lei nº 12.651, 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nºs 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nºs 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Presidência da República Casa Civil** Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília, DF, 2012.

BRASIL. DEFENSORIA PÚBLICA DA UNIÃO. **DPU consegue ampliar indenizações a todos os atingidos pelo óleo no Ceará**. Disponível em: <https://www.dpu.def.br/noticias-ceara/58749-dpu-consegue-ampliar-indenizacoes-a-todos-os-atingidos-pelo-oleo-no-ceara?fbclid=IwAR0N50zJCUTdhdnX91dzhyEmyOJ9AV9t-a42DkqD8i6-sA8fn1rWAjTwt7E> Acesso em: 21 set. 2020.

BRASIL. Lei Nº 9.966/2000 de 28 de abril de 2000. Dispõe sobre a prevenção, o controle e a fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional e dá outras providências. **Presidência da República. Casa Civil**. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19966.htm> Acesso em: 24 mar. 2021.

BRASIL. Controladoria Geral da União. Acesso à informação, 2019. **Governo Federal**. Disponível em: <http://www.consultaesic.cgu.gov.br/busca/dados/Lists/Pedido/Item/displayifs.aspx?List=0c839f31%2D47d7%2D4485%2Dab65%2Dab0cee9cf8fe&ID=1006705&Web=88cc5f44%2D8cfe%2D4964%2D8ff4%2D376b5ebb3bef> Acesso em: 05 mai. 2021.

BONTE, M. *et al.* Comparison of chemical sediment analyses and field oiling observations from the shoreline cleanup assessment technique (SCAT) in heavily oiled

areas of former mangrove in Bodo, Eastern Niger Delta. **Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology**, v. 53, n. 1, p. 19–30, 2019.

CABRAL, L. et al. The metagenomic landscape of xenobiotics biodegradation in mangrove sediments. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 179, n. April, p. 232–240, 2019.

CÂMARA, S. F. *et al.* Socioeconomic vulnerability of communities on the Brazilian coast to the largest oil spill (2019–2020) in tropical oceans. **Ocean and Coastal Management**, v. 202, n. June 2020, 2021.

CARDOSO, Luiz Cláudio. **Petróleo: Do Poço ao Posto**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

CHIOU C. T., SHENG G., MANES M., A partition-limited model for the plant uptake of organic contaminants from soil and water. **Environ. Sci. Technol.**, 2001, 35, 1437-1444.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO-CETESB. **Breve história do petróleo no Brasil e em São Paulo e principais acidentes**. 2012. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/wp-content/uploads/sites/22/2013/12/Principais-Acidentes-Brasil-.pdf> Acesso em: 22 mai. 2020.

CONNOLLY, R. M.; CONNOLLY, F. N.; HAYES, M. A. Oil spill from the Era: Mangroves taking eons to recover. Elsevier. **Marine Pollution Bulletin**. 2020. Disponível em: http://www.rodconnolly.com/uploads/2/5/7/2/25722279/connolly_et_al_2020_mangrove_recovery_oil_spill.pdf Acesso em: 15 mar. 2020.

CONNOLLY, R. M.; CONNOLLY, F. N.; HAYES, M. A. Oil spill from the Era: Mangroves taking eons to recover. **Marine Pollution Bulletin**, v. 153, n. February, p. 110965, 2020.

CORRÊA, A. Meio ambiente: o que aconteceu com os responsáveis por um dos maiores desastres dos EUA. **BBC News Brasil**, 2019. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/internacional-47121631> Acesso em: 05 mai. 2020.

CORREDOR, J. E.; MORREL, J. M.; CASTILLO, C. E. **Persistence of spilled crude oil in a tropical intertidal environment**. Elsevier. **Marine Pollution Bulletin**. Vol. 21, Issue 8, August 1990, Pages 385-388. 1990. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0025326X9090647Q> Acesso em: 24 abr. 2020.

DAHDOUH-GUEBAS, F. *et al.* Human-impacted mangroves in Gazi (Kenya): predicting future vegetation based on retrospective remote sensing, social surveys, and tree distribution. **Marine Ecology Progress Series**, v. 272, p. 77 – 92, 2004.

DIAS, A. C. F. *et al.* Abundance and genetic diversity of nifH gene sequences in anthropogenically affected Brazilian Mangrove sediments. **Applied and**

Environmental Microbiology, v. 78, n. 22, p. 7960–7967, 2012.

DINERSTEIN, E. *et al.* A

Conservation Assessment of the Terrestrial Eco-regions of Latin America and the Caribbean. **The World Bank & World Wildlife**

Fund, v. 1, 1995, Washington, DC. Disponível em:

<http://documents1.worldbank.org/curated/en/957541468270313045/pdf/multi-page.pdf>

Acesso em: 24 mai. 2020.

DINIZ, C. *et al.* Brazilian Mangrove Status: Three Decades of Satellite Data Analysis.

Remote Sens. 2019, 11, 808; doi:10.3390/rs11070808. Disponível em:

www.mdpi.com/journal/remotesensing. Acesso em: 10 mai. 2020.

DONATO, D. C. *et al.* Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics.

Nature Geoscience, v. 4, n. 5, p. 293-297, 2011. Disponível em:

<https://go.nature.com/2EGvyTV> Acesso em: 12 jun. 2020.

DONATO, V. **Logística para a Indústria do Petróleo, Gás e Biocombustíveis**. 1ed. São Paulo: Érica, 2012.

DOS SANTOS, H. F. *et al.* Mangrove bacterial diversity and the impact of oil contamination revealed by pyrosequencing: Bacterial proxies for oil pollution. **PLoS ONE**, v. 6, n. 3, p. 1–8, 2011.

DOURADO, M. N. *et al.* The Diversity of Endophytic Methylophilic Bacteria in an Oil-Contaminated and an Oil-Free Mangrove Ecosystem and Their Tolerance to Heavy Metals. **Biotechnology Research International**, v. 2012, p. 1–8, 2012.

DUKE, N.C. Mangrove floristics and biogeography revisited: further deductions from biodiversity hot spots, ancestral discontinuities and common evolutionary processes. 2017. *Mangrove Ecosystems: A Global Biogeographic Perspective. Structure, Function and Services*. V. H. Rivera-Monroy, S.Y. Lee, E. Kristensen and R.R.Twilley, Springer. 2: 17-53. https://doi.org/10.1007/978-3-319-62206-4_2

DUKE, N.C., *et al.* Dispersant use and a bioremediation strategy as alternate means of reducing impacts of large oil spills on mangroves: the Gladstone field trials, 2000. **Mar. Pollut. Bull.** 41, 403–412

DUKE, N.C. Oil spill impacts on mangroves: Recommendations for operational planning and action based on a global review. **Marine Pollution Bulletin**, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.082> Acesso em: 21 jun. 2020.

DUKE, N.C., BURNS, K.A. Fate and effects of oil and dispersed oil on mangrove ecosystems in Australia. Environmental Implications of Offshore Oil and Gas Development in Australia: Further Research. A Compilation of Three Scientific Marine Studies, 2003. **Australian Petroleum Production and Exploration Association (APPEA)**, Canberra, pp. 232–363 (521 pp.).

ECOLAND Resources (Int'l) Limited (2010) Post Impact Ecological Assessment Study

of the Oil Spillage in Bodo Creek, Rivers State, a report submitted to the Centre for Environment, Human Rights and Development, Ogale Nchia, Nigeria.

ESSIEN, J. P. *et al.* Hydrocarbons contamination and microbial degradation in mangrove sediments of the Niger Delta region (Nigeria). **Chemistry and Ecology**, v. 28, n. 5, p. 421–434, 2012.

FAKHRZADEGAN, I. *et al.* A study of crude oil-degrading bacteria from mangrove forests in the Persian Gulf. **Marine Ecology**, v. 40, n. 2, p. 1–10, 2019.

FANDÉ, B.; PEREIRA, V. F. G. C. **Impactos ambientais do turismo: um estudo sobre a percepção de moradores e turistas no município de Paraty-RJ**. Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental-REGET, v. 18, n. 3, p. 1170-1778, 2014. Disponível em: <https://bit.ly/309PGcC> Acesso em: 10 jan. 2019.

FAO. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED STATES. **Fishery and aquaculture statistics**. Yearbook, 2018.

FASANELLA, C. C. *et al.* The selection exerted by oil contamination on mangrove fungal communities. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 223, n. 7, p. 4233–4243, 2012.

FERREIRA, A. P.; HORTA, M. A. P.; CUNHA, C. de L. N. da. Avaliação das concentrações de metais pesados no sedimento, na água e nos órgãos de *Nycticorax nycticorax* (Garça-da-noite) na Baía de Sepetiba, RJ, Brasil. Revista da Gestão Costeira Integrada, v. 10, n. 2, p. 229-241, 2010.

FRAGOSO, C. P. Mercúrio em compartimentos bióticos e abióticos do manguezal da foz do rio Paraíba do Sul (RJ), utilizando a composição elementar e isotópica do carbono e do nitrogênio. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Campos dos Goytacazes, RJ, 2013.

FRIESS, D. A. Where the tallest mangroves are. **Nature Geoscience**, v. 12, p. 4-6, 2019. Disponível em: <https://go.nature.com/2z7yZmq> Acesso em: 13 jan. 2020.

GHIZELINI, A. M. *et al.* Fungal communities in oil contaminated mangrove sediments – Who is in the mud? **Marine Pollution Bulletin**, v. 139, n. July 2018, p. 181–188, 2019.

GIRI, C; LONG, J; TIESZEN, L. **Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data**. Global Ecology and Biogeography. Vol. 20, Janeiro 2011, p.154-159. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x> Acesso em: 12 jul. 2020.

GRATIVOL, A. D. *et al.* Bacterial interactions and implications for oil biodegradation process in mangrove sediments. **Marine Pollution Bulletin**, v. 118, n. 1–2, p. 221–228, 2017.

GREIF, S. **Fauna atingida por acidentes ambientais envolvendo produtos químicos**. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização. Especialização em Gerenciamento

Ambiental. Universidade de São Paulo, SP, 2017. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/emergencias-quimicas/wp-content/uploads/sites/22/2015/01/TCC-S%C3%A9rgio-Greif.pdf> Acesso em: 12 abr. 2020.

GOMES, N. C. M. *et al.* Mangrove microniches determine the structural and functional diversity of enriched petroleum hydrocarbon-degrading consortia. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 74, n. 2, p. 276–290, 2010.

HARISAM, T. *et al.* Acute effects of crude oil for three common mangrove seedling in segara anakan nature reserve (sanr) cilacap, Indonesia. **E3S Web of Conferences**, v. 47, p. 1–9, 2018.

HOLGUIN, G., VAZQUEZ, P., BASHAN, Y. The role of sediment microorganisms in the productivity, conservation, and rehabilitation of mangrove ecosystems: an overview, 2001. **Biology and Fertility of Soils**, 33, 265–278.

HUGHES, A. R. *et al.* Effects of oil exposure, plant species composition, and plant genotypic diversity on salt marsh and mangrove assemblages. **Ecosphere**, v. 9, n. 4, 2018.

INTERNATIONAL AGENCY ENERGY-IEA. Coal production by type, World 1990-2017. **Data and statistics, 2018**. Disponível em: [https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20\(TPES\)%20by%20source](https://www.iea.org/data-and-statistics?country=WORLD&fuel=Energy%20supply&indicator=Total%20primary%20energy%20supply%20(TPES)%20by%20source) Acesso em: 24 mai. 2020.

INTERNATIONAL TANKER OWNERS POLLUTION FEDERATION LIMITED – ITOF. **Oil tanker spill statistics 2019**. Special edition, 50 of data: 1970-2019, 2020. Disponível em: <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/document/oil-tanker-spill-statistics-2019/> Acesso em: 02 fev. 2020.

JOHN, R. C.; OKPOKWASILI, G. C. Crude oil-degradation and plasmid profile of nitrifying bacteria isolated from oil-impacted mangrove sediment in the Niger Delta of Nigeria. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**, v. 88, n. 6, p. 1020–1026, 2012.

KAUFFMAN, J. B. *et al.* The jumbo carbono footprint of a shrimp: carbono losses from mangrove deforestation. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v.15, n.4, p. 183-188, mai. 2017.

KAUSHIK, M. **11 Major Oil Spills of the Maritime World**. Marine Insight, 2020. Disponível em: <https://www.marineinsight.com/environment/11-major-oil-spills-of-the-maritime-world/> Acesso em: 24 abr. 2020.

KERAMBRUN, L. **Response in mangrove: operational guide**. Brest: Cedre, 2017, 93p.

KIMURA, R. M. **Indústria Brasileira de Petróleo: Uma Análise da Cadeia de Valor Agregado**. 104 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto de Economia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

KNIGHT, J.M. *et al.* Patterns of tidal flooding within a mangrove forest: Coombabah Lake, Southeast Queensland, Australia. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 76, p. 580–593, 2008.

KRAUSS, K.W.; BALL, M.C. **On the halophytic nature of mangroves**. *Trees*, v. 27, p. 7–11, 2013.

KURTZ, B. C.; DE OLIVEIRA FERREIRA LIMA, E. A. P. C. E S. **Manguezais Da Bacia De Campos**. [s.l.] Elsevier Ltda., 2017.

LACERDA, L. D. Os manguezais do Brasil. In: VANNUCCI, M. 2003. **Os manguezais e nós: uma síntese de percepções**. São Paulo: Universidade de São Paulo, p. 3193 – 3205, 2003.

LAMPARELLI, M.L. *et al.* **Sistema Estuarino de Santos e São Vicente, 2001**. Relatório Técnico, São Paulo, CETESB 178 p.

LOPES, C.F; MILANELLI, J.C.C; POFFO, I.R.F. **Ambientes costeiros contaminados por óleo: procedimentos de limpeza – manual de orientação**, 2007. São Paulo: Secretaria de Estado do Meio Ambiente. 120 p. ISBN 85-86624-51-9

LEE, S. Y. *et al.* Ecological role and services of tropical mangrove ecosystems: a reassessment. **Global Ecology and Biogeography**, Australian, v. 23, n. 7, p. 726-743, 2014.

LEWIS, M.; PRYOR, R.; WILKING L. **Fate and effects of anthropogenic chemicals in mangrove ecosystems: a review**. *Environmental Pollution*. V. 159, Issue 10, October 2011, p. 2328-2346 Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749111002351> Acesso em: 22 fev. 2020.

LIN, Q. *et al.* The dose response relationship between fuel oil and the growth of the saltmarsh grass, *Spartina alterniflora*. 2002. **Mar. Pollut. Bull.** No.2 44,897–902.

LINDÉN, O.; PÅLSSON, J. Oil contamination in ogoniland, Niger delta. **Ambio**, v. 42, n. 6, p. 685–701, 2013.

LOHMANN, R. Fluxes of soot black carbon to South Atlantic sediments, 2009. **Global Biogeochemical Cycles** 23. doi:10.1029/2008GB003253.

LOVATTO, P. A. *et al.* **Meta-análise em pesquisas científicas: Enfoque em metodologias**. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 36 (supl.), 285–294. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-35982007001000026 Acesso em: 10 fev. 2020.

LU, Z., *et al.* Microbial gene functions enriched in the Deepwater Horizon deep-sea oil plume, 2012. *TL - 6. ISME J* 6:451–460 VN - re. 10.1038/ ismej.2011.91.

MACHADO, L. F. *et al.* Tracking Mangrove Oil Bioremediation Approaches and

Bacterial Diversity at Different Depths in an in situ Mesocosms System. **Frontiers in Microbiology**, v. 10, n. September, p. 1–14, 2019.

MAIA, L. P. *et al.* Atlas dos Manguezais do Nordeste do Brasil: Avaliação das Áreas de Manguezais dos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. **SEMACE**. Fortaleza, 2006.

MAIA, R.C. *et al.* Impactos ambientais em manguezais no Ceará: causas e Consequências. **Conexões: Ciência e Tecnologia**, v.13, n. 5, p. 69 - 77, dez. 2019.

MAGALHÃES, K.M. *et al.* Oil Spill + COVID-19: a Disastrous Year for Brazilian Seagrass Conservation. **Science of the Total Environment**. 2020.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142872>.

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, n. December 2019, p. 110961, 2020.

MARTÍNEZ-ABRAÍN, A., ORO, D., Ecology and behaviour of seabirds. In: Encyclopedia of Life Support Systems, 2004. EOLSS Publishers-UNESCO, Oxford, UK. <http://www.eolss.net>.

MATOS, F. O. *et al.* **Educação Ambiental: olhares e saberes**. Campinas, SP: Pontes, 2019.

MC GENITY, T. J. Hydrocarbon biodegradation in intertidal wetland sediments. Current **Opinion in Biotechnology**, v. 27, p. 46–54, 2014.

MENDELSSOHN, I.A. *et al.* Oil impacts on coastal wetlands: implications for the Mississippi River Delta ecosystem after the Deepwater Horizon oil spill. 2012. **BioScience** 62 (6), 562574. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.6.7>.

MEIRELES, J. A. M. *et al.* **Parecer técnico-científico acerca dos danos socioambientais provocados pelo derrame de petróleo em 2019/2020 no litoral cearense**, 2020.

MICHEL, J.; RUTHERFORD, N. Impacts, recovery rates, and treatment options for spilled oil in marshes. Elsevier. **Marine Pollution Bulletin**. Vol. 82, 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X1400160X>
Acesso em: 21 fev. 2020.

MIGLIERINI, J. Mexicans still haunted by 1979 Ixtoc spill. **BBC News**, Campeche, México. 14 jun 2010. Disponível em: <https://www.bbc.com/news/10307105> Acesso em: 10 abr. 2020.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Secretaria de Ciência, Tecnologia e Insumos Estratégicos. Departamento de Ciência e Tecnologia. **Diretrizes metodológicas: elaboração de revisão sistemática e metanálise de ensaios clínicos randomizados**. Brasília. Editora do Ministério da Saúde, 2012. Disponível em:
http://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretrizes_metodologicas_elaboracao_sistem

[atica.pdf](#) Acesso em: 13 mai. 2020.

MOHER, D. *et al.* Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Group Statement. **PLoS Med**, 2009. Disponível em: <https://journals.plos.org/plosmedicine/article?id=10.1371/journal.pmed.1000097> Acesso em: 05 jun. 2020.

MORADI, B. *et al.* Assessment of oxidative stress response genes in *Avicennia marina* exposed to oil contamination – Polyphenol oxidase (PPOA) as a biomarker. **Biotechnology Reports**, v. 28, p. e00565, 2020.

MOREIRA, Í. T. A. *et al.* Strategies of Bioremediation for the Degradation of Petroleum Hydrocarbons in the Presence of Metals in Mangrove Simulated. **Clean - Soil, Air, Water**, v. 44, n. 6, p. 631–637, 2016.

MÜLLER, F.; MYTANZ, C.; OLIVIER, J.; RENNER, I. e RIHA, K. Adaptação baseada em Ecossistemas (AbE). Projeto Biodiversidade e Mudanças Climáticas na Mata Atlântica. **Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH**. 8 p. 2015.

MURDIYARSO, D. *et al.* The potential of Indonesian mangrove forests for global climate change mitigation. **Nature Clim Change** 5, 1089–1092 (2015). <https://doi.org/10.1038/nclimate2734>

NASCIMENTO, A. I. Manguezal e carcinicultura: o conflito da ecocompatibilidade. **Diálogos e Ciências - Revista da rede de ensino FTC, Bahia**, n. 10, p. 1-15, maio, 2007.

NAIDOO, G. Mangrove propagule size and oil contamination effects: Does size matter? **Marine Pollution Bulletin**, v. 110, n. 1, p. 362–370, 2016.

NAIDOO, G.; NAIDOO, K. Are pioneer mangroves more vulnerable to oil pollution than later successional species? **Marine Pollution Bulletin**, v. 121, n. 1–2, p. 135–142, 2017a.

NAIDOO, G.; NAIDOO, K. Ultrastructural effects of polycyclic aromatic hydrocarbons in the mangroves *Avicennia marina* and *Rhizophora mucronata*. **Flora: Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 235, n. November 2016, p. 1–9, 2017b.

NAIDOO, G.; NAIDOO, K. Uptake and accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the mangroves *Avicennia marina* and *Rhizophora mucronata*. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, n. 29, p. 28875–28883, 2018.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION -NOAA. **Oil Spills in Mangroves. Planning & Response Considerations**. Seattle, Washington, 2014.

_____. **Oil spill: Case histories-1967-1991**. 1992. Hazardous Materials Response and Assessments Division, Seattle, Washington. Disponível em: https://response.restoration.noaa.gov/sites/default/files/Oil_Spill_Case_Histories.pdf Acesso em: 13 mai. 2020.

ORIF, M.; EL-MARADNY, A. Bio-accumulation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Grey Mangrove (*Avicennia marina*) along Arabian Gulf, Saudi Coast. **Open Chemistry**, v. 16, n. 1, p. 340–348, 2018.

OTTONI, J. R. *et al.* Functional metagenomics of oil-impacted mangrove sediments reveals high abundance of hydrolases of biotechnological interest. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 33, n. 7, p. 0, 2017.

PEGG, S.; ZABBEY, N. Oil and water: The Bodo spills and the destruction of traditional livelihood structures in the Niger Delta. **Community Development Journal**, v. 48, n. 3, p. 391–405, 2013.

PEIXOTO, R. *et al.* Bacterial communities reflect the spatial variation in pollutant levels in Brazilian mangrove sediment. **Antonie van Leeuwenhoek, International Journal of General and Molecular Microbiology**, v. 99, n. 2, p. 341–354, 2011.

PEZESHKI, S.R. *et al.* The effects of oil spill and clean up on dominant US Gulf coast marsh macrophytes: a review, 2000. **Environ. Pollut.** 8, 129–139.

POLYANA, R., *et al.* Oil spills : The invisible impact on the base of tropical marine food webs, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112281>

POFFO, I.R.F.; XAVIER, J.C.M.; SERPA, R.R. 2001. A História dos 27 anos de Vazamento de Óleo no Litoral Norte do Estado de São Paulo (1974-2000). **Revista Meio Ambiente Industrial** nº 30, p.98-104.

PORTER, M.E. **Vantagem Competitiva Criando e Sustentando um Desempenho Superior**, 1989. Editora Campus, 11^a ed.

PRABHU, V.V.; GURUVAYOORAPPAN, C. Phytochemical screening of methanolic extract of mangrove *Avicennia marina* (Forssk) **Vierh.** Pelagia Research Library Der Pharmacia Sinica, v. 3, p. 64-70, 2012.

RAMALHO, C.W.N. Oil and Uncertainty. The latest Atlantic tragedy reaches thousands in Brazil and remains unsolved. **Samudra Report** Nº 82, 2020.

REDDY, C.M. *et al.* The West Falmouth oil spill after thirty years: the persistence of petroleum hydrocarbons in marsh sediments. **Environ. Sci. Technol.** 2002. 36, 4754–4760. doi: 10.1021/es020656n.

REYNAUD, S., P. DESCHAUX. The effects of polycyclic aromatic hydrocarbons on the immune system of fish: A review. 2006. **Aquatic Toxicology** 77: 229–238.

RIGONATO, J. *et al.* Temporal assessment of microbial communities in soils of two contrasting mangroves. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 49, n. 1, p. 87–96, 2018.

ROMERO, A. F.; OLIVEIRA, M.; ABESSA, D. M. S. A simple Bird Sensitivity to Oil Index as a management tool in coastal and marine areas subject to oil spills when few biological information is available. **Marine Pollution Bulletin**, v. 128, n. October 2017,

p. 460–465, 2018.

ROMAN, C.; FUTADA, S. No Nordeste, óleo ameaça quem vive da pesca. **Outras Palavras**, 2020. Disponível em: <https://outraspalavras.net/outrasmidias/no-nordeste-oleo-ameaca-quem-vive-da-pesca/> Acesso em: 21 mar. 2020.

ROSSI, M. Solos de mangue do Estado de São Paulo: caracterização química e física. **Revista do Departamento de Geografia**, 15, 101–113, 2002.

RUIZ-MARÍN, A. *et al.* Tropical bacteria isolated from oil-contaminated mangrove soil: Bioremediation by natural attenuation and bioaugmentation. **Revista Mexicana de Ingeniera Quimica**, v. 12, n. 3, p. 553–560, 2013.

SANTOS, H. F. *et al.* Bioremediation of Mangroves Impacted by Petroleum. **Springer Link**, 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-010-0536-4> Acesso em: 20 abr. 2020.

_____. 18S rDNA sequences from microeukaryotes reveal oil indicators in mangrove sediment. **PLoS ONE**, v. 5, n. 8, 2010.

_____. Bioremediation of mangroves impacted by petroleum. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 216, n. 1–4, p. 329–350, 2011.

SANTOS, L. C. M. *et al.* Long-term effects of oil pollution in mangrove forests (Baixada Santista, Southeast Brazil) detected using a GIS-based multitemporal analysis of aerial photographs. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 60, n. 2, p. 159–170, 2012.

SANTOS, H. F. *et al.* **Bioremediation of Mangroves Impacted by Petroleum**. Springer Link, 2010. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-010-0536-4> Acesso em: 20 abr. 2020.

SANTOS, D. O que se sabe até agora sobre o derramamento de óleo no Nordeste. **WWF**, 12 nov. 2019, Notícias. Disponível em: https://www.wwf.org.br/informacoes/noticias_meio_ambiente_e_natureza/?73944/O-que-se-sabe-ate-agora-sobre-o-derramamento-de-oleo-no-Nordeste Acesso em: 02 fev. 2020

SAPPAL SM, et al. Rare earth elements as biogeochemical indicators in mangrove ecosystems (Pichavaram, Tamilnadu, India), 2014. **J Sediment Res** 84:781–791

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Atlas dos manguezais do Brasil**, p.17-36, 2018.

_____. **Manguezal: ecossistema entre a terra e o mar**. São Paulo: Caribbean Ecological Research. 1995 64p.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN, G. Guia para estudo de áreas de Manguezal: estrutura, função e flora. São Paulo: **Caribbean Ecological Research**, p. 150, 1986.

SHAPIRO, K.; KHANNA, S.; USTIN, S. L. Vegetation impact and recovery from oil-

induced stress on three ecologically Distinct Wetland Sites in the Gulf of Mexico. **Journal of Marine Science and Engineering**, v. 4, n. 2, 2016.

SHEELA, F.K. **Ecophysiology of some species of mangroves of Kerala**. University of Calicut, p. 1429. 2008.

SILVA, D.P, CAVALCANTI, D.D, DE MELO, E.V. Bioremoval of diesel oil through a microbial consortium isolated from a polluted environment, 2015. **Int Biodeterior Biodegrad** 97:85–89

SIMÕES, J.A. **O petróleo no mundo e no Brasil**. Associação dos Engenheiros da Petrobras, 2015. Notícias. Disponível em: <http://www.aepet.org.br/noticias/pagina/12313/O-petrleo-no-mundo-e-no-Brasil> Acesso em: 12 fev. 2020.

SOARES, M. O. *et al.* **Oil spill in South Atlantic (Brazil): Environmental and governmental disaster**. Marine Policy. 115. 103879. 10.1016/j.marpol.2020.103879. 2020. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/339212504_Oil_spill_in_South_Atlantic_Brazil_Environmental_and_governmental_disaster Acesso em: 05 mai. 2020.

_____. **Brazil oil spill response: Time for coordination. American Association for the Advancement of Science**. Science, 10 Jan 2020: Vol. 367, Issue 6474, pp. 155 367, 155-155. Disponível em: <https://science.sciencemag.org/content/367/6474/155.2> Acesso em: 24 mai. 2020.

SOUSA, S. T. P. DE *et al.* Exploring the genetic potential of a fosmid metagenomic library from an oil-impacted mangrove sediment for metabolism of aromatic compounds. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 189, n. November 2019, p. 109974, 2020.

SOUZA, K. N. S.; MAIA, R. M. Análise ambiental de manguezais no Ceará por meio da caracterização dos resíduos sólidos presentes nestes ambientes costeiros. In: MATOS, F. O. *et al.* **Educação Ambiental: olhares e saberes**. Campinas, SP: Pontes, 2019.

SPALDING, M.; COLLINS, M.K.L. **World Map of Mangroves**, 2010. Disponível em: <http://www.environmentalunit.com/Documentation/04%20Resources%20at%20Risk/World%20mangrove%20atlas.pdf> Acesso em: 24 abr. 2020.

SZEWZYK, S.B.O. Processos envolvidos em um derramamento de óleo no mar, 2006. **II Semin. e Work. em Eng. Oceânica**.

TAKETANI, R. G. *et al.* Microbial community response to a simulated hydrocarbon spill in mangrove sediments. **Journal of Microbiology**, v. 48, n. 1, p. 7–15, 2010.

TANSEL, B. *et al.* Dispersion of Louisiana crude oil in salt water environment by Corexit 9500A in the presence of natural coastal materials. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 143, p. 58–64, 2014.

TANSEL, B. *et al.* Decrease in osmotically driven water flux and transport through mangrove roots after oil spills in the presence and absence of dispersants. **Marine Pollution Bulletin**, v. 98, n. 1–2, p. 34–39, 2015.

TANSEL, B.; LEE, M. Removal of crude oil from highly contaminated natural surfaces with corexit dispersants. **Journal of Environmental Management**, v. 247, n. June, p. 363–370, 2019.

TANSEL, B.; LEE, M.; TANSEL, D. Z. Comparison of fate profiles of PAHs in soil, sediments and mangrove leaves after oil spills by QSAR and QSPR. **Marine Pollution Bulletin**, v. 73, n. 1, p. 258–262, 2013.

THOMPSON, A. FAQ: **The Science and History of Oil Spills**. Live Science, Climate Central, 2010. Disponível em: <https://www.livescience.com/9885-faq-science-history-oil-spills.html> Acesso em: 15 mai. 2020.

TOLEDO FL., *et al.* Selection and identification of bacteria isolated from waste crude oil with polycyclic aromatic hydrocarbons removal capacities, 2006. **Syst Appl Microbiol** 29:244–252

TOJU FRANCIS, B. Mapping impacts of crude oil theft and illegal refineries on mangrove of the niger delta of Nigeria with remote sensing technology. **Mediterranean Journal of Social Sciences**, v. 6, n. 3, p. 150–155, 2015.

TOMLINSON, P. B. **The botany of mangroves**. 2016. 2 ed. Harvard University, Massachusetts.

UNITED NATION ENVIRONMENT PROGRAMME-UNEP.

The importance of mangroves to people: a call to action. Cambridge: UNEP-WCMC 128 p. 2014. Disponível em: https://www.unep-wcmc.org/system/dataset_file_fields/files/000/000/275/original/DEPI_Mangrove_ES_report_complete_Low_Res.pdf?1416237427 Acesso em: 21 mai. 2020.

VAN DER OOST, R., J. BEYER, N.P.E. VERMEULEN. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: A review, 2003. **Environmental Toxicology and Pharmacology** 13: 57–149.

VELDKORNET, D. *et al.* Oil induces chlorophyll deficient propagules in mangroves. **Marine Pollution Bulletin**, v. 150, n. June 2019, 2020.

VIDAL, J. Shell Nigeria oil spill ‘60 Times Bigger than It Claimed’, 2012. **The Guardian**. Acessado em 20 jun 2020. Disponível em: <http://www.guardian.co.uk/environment/2012/apr/23/shell-nigeria-oil-spill-bigger>.

WANG, L.; HUANG, X.; ZHENG, T. L. Responses of bacterial and archaeal communities to nitrate stimulation after oil pollution in mangrove sediment revealed by Illumina sequencing. **Marine Pollution Bulletin**, v. 109, n. 1, p. 281–289, 2016.

WHITFIELD, J. How to clean a beach. *Nature*, v. 422, p. 464 – 466, 2003

Y. BASHAN, G. HOLGUIN. Plant growth-promoting bacteria: a potential tool for arid mangrove reforestation. **Trees**, vol.16, no. 2-3, pp. 159–166, 2002.

ZABBEY, N., HART, A. I., WOLFF, W. J. Population structure, biomass and production of the West African lucinid *Keletistes rhizoecus* (Bivalvia, Mollusca) in Sivibilagbara Swamp at Bodo Creek, Niger Delta, Nigeria, 2010. **Hydrobiologia**, 654 (1), 193–203.

ZABBEY, N., HART, A. I. Preliminary checklist of macrozoobenthos of Bodo Creek in the Niger Delta, Nigeria, 2011. **Nigerian Journal of Fisheries**, 8 (2), 271–283

APÊNDICE A- RELAÇÃO DE ARTIGOS UTILIZADOS NA REVISÃO SISTEMÁTICA (continua).

ANO DE PUBLICAÇÃO	AUTORES	TÍTULO
2015	Berrin Tansel, Ariadna Arreaza, Derya Z. Tansel , Mengshan Lee	Decrease in osmotically driven water flux and transport through mangrove roots after oil spills in the presence and absence of dispersants
2018	Mohammed Orif, Amr El-Maradny	Bio-accumulation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Grey Mangrove (<i>Avicennia marina</i>) along Arabian Gulf, Saudi Coast
2012	Luciana Cavalcanti Maia Santos, Marília Cunha-Lignon, Yara Schaeffer-Novelli and Gilberto Cintrón-Molero	Long-term effects of oil pollution in mangrove forests (baixada santista, southeast brazil) detected using a gis-based multitemporal analysis of aerial photographs
2010	Newton C.M. Gomes, Cecilia G. Flocco Rodrigo Costa, Howard Junca, Ramiro Vilchez, Dietmar H. Pieper, Ellen Krogerrecklenfort, Rodolfo Paranhos, Leda C.S. Mendonça, Hagler & Kornelia Smalla	Mangrove microniches determine the structural and functional diversity of enriched petroleum hydrocarbon-degrading consortia
2012	R. C. John e G. C. Okpokwasili	Crude Oil-Degradation and Plasmid Profile of Nitrifying Bacteria Isolated from Oil-Impacted Mangrove Sediment in the Niger Delta of Nigeria
2012	Luiza L Andrade, Deborah CA Leite, Edir M Ferreira, Livia Q Ferreira, Geraldo R Paula, Michael J Maguire, Casey RJ Hubert, Raquel S Peixoto, Regina MCP Domingues and Alexandre S Rosado	Microbial diversity and anaerobic hydrocarbon degradation potential in an oil-contaminated mangrove sediment
2010	R. Peixoto, G. M. Chaer, F. L. Carmo, F. V. Araújo, J. E. Paes, A. Volpon, G. A. Santiago, A. S. Rosado	Bacterial communities reflect the spatial variation in pollutant levels in Brazilian mangrove sediment

APÊNDICE A- RELAÇÃO DE ARTIGOS UTILIZADOS NA REVISÃO SISTEMÁTICA (continua).

ANO DE PUBLICAÇÃO	AUTORES	TÍTULO
2019	Matthijs Bonte, Erich R. Gundlach, Ogonnaya Iroakasi, Kabari Visigah, Ferdinand Giadom, Philip Shekwolo, Vincent Nwabueze, Mike Cowing e Nenibarini Zabbey	Comparison of chemical sediment analyses and field oiling observations from the Shoreline Cleanup Assessment Technique (SCAT) in heavily oiled areas of former mangrove in Bodo, eastern Niger Delta
2015	Balogun, Toju Francis	Mapping Impacts of Crude Oil theft and Illegal Refineries on Mangrove of the Niger Delta of Nigeria with Remote Sensing Technology
2017	Natasha Maria Barnes, Vishwas B. Khodse, Nikita P. Lotlikar, Ram Murti Meena, Samir R. Damare	Bioremediation potential of hydrocarbon-utilizing fungi from select marine niches of India
2012	Manuella Nobrega Dourado, Anderson Ferreira, Welington Luiz Araújo, João Lúciocio Azevedo, and Paulo Teixeira Lacava	The Diversity of Endophytic Methylophilic Bacteria in an Oil-Contaminated and an Oil-Free Mangrove Ecosystem and Their Tolerance to Heavy Metals
2020	Armando Cavalcante Franco Dias, Michele de Cassia Pereira e Silva, Simone Raposo Cotta, Francisco Dini-Andreote, Fábio Lino Soares, Jr., Joana Falcão Salles, João Lúcio Azevedo, Jan Dirk van Elsas, and Fernando Dini Andreote	Abundance and Genetic Diversity of nifH Gene Sequences in Anthropogenically Affected Brazilian Mangrove Sediments
2012	J. P. Essien, G. A. Ebong, J. E. Asuquo e A. A. Olajire	Hydrocarbons contamination and microbial degradation in mangrove sediments of the Niger Delta region (Nigeria)

APÊNDICE A- RELAÇÃO DE ARTIGOS UTILIZADOS NA REVISÃO SISTEMÁTICA (continua).

ANO DE PUBLICAÇÃO	AUTORES	TÍTULO
2019	Lucélia Cabral, Melline Fontes Noronha, Sanderson Tarciso Pereira de Sousa, Gileno Vieira Lacerda-Júnior, Larissa Richcabter, Anne Hélène Fostier, Fernando Dini Andreote, Matthias Hesse, Valéria Maia de Oliveira	The metagenomic landscape of xenobiotics biodegradation in mangrove sediments
2018	Taufan Harisam, Sugiyono, Rudhi Pribadi, Asrul Sari Siregar, Sri Marnani ¹ , Dewi Wisudyanti Budi Hastuti ¹ , Norman Arie Prayogo	Acute effects of crude oil for three common mangrove seedling in segara anakan nature reserve (SANR) cilacap, Indonesia
2018	A. R. Hughes, J. Cebrian, K. Heck, J. Goff, T. C. Hanley, W. Scheffel, and R. A. Zerebecki	Effects of oil exposure, plant species composition, and plant genotypic diversity on salt marsh and mangrove assemblages
2018	Gonasageran Naidoo e Krishnaveni Naidoo	Uptake and accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the mangroves <i>Avicennia marina</i> and <i>Rhizophora mucronata</i>
2012	Cristiane Cipola Fasanella, Armando Cavalcante Franco Dias, Janaina Rigonato, Marli de Fátima Fiore, Fábio Lino Soares Jr., Itamar Soares Melo, Aline Aparecida Pizzirani-Kleiner, Jan Dirk van Elsas, Fernando Dini Andreote	The Selection Exerted by Oil Contamination on Mangrove Fungal Communities

APÊNDICE A- RELAÇÃO DE ARTIGOS UTILIZADOS NA REVISÃO SISTEMÁTICA (continua).

ANO DE PUBLICAÇÃO	AUTORES	TÍTULO
2019	Laís Feitosa Machado, Deborah Catharine de Assis Leite, Caio Tavora Coelho da Costa Rachid ¹ , Jorge Eduardo Paes, Edir Ferreira Martins, Raquel Silva Peixoto and Alexandre Soares Rosado	Tracking Mangrove Oil Bioremediation Approaches and Bacterial Diversity at Different Depths in an in situ Mesocosms System
2016	Kristen Shapiro, Shruti Khanna e Susan L. Ustin	Vegetation Impact and Recovery from Oil-Induced Stress on Three Ecologically Distinct Wetland Sites in the Gulf of Mexico
2013	Olof Lindén, Jonas Pa ^o lsson	Oil Contamination in Ogoniland, Niger Delta
2014	Icaro T. A. Moreira, Olívia M. C. Oliveira Thomas Azwel, Antonio F. S. Queiroz, Rita M. W. Nano Eliane S. Souza, José A. S. A. Dos Anjos, Ramilla V. Assunção, Lucas Medeiros Guimarães	Strategies of Bioremediation for the Degradation of Petroleum Hydrocarbons in the Presence of Metals in Mangrove Simulated
2013	Scott Pegg e Nenibarini Zabbey	Oil and water: the Bodo spills and the destruction of traditional livelihood structures in the Niger Delta
2010	Henrique F. Santos, Juliano C. Cury, Flavia L. Carmo, Alexandre S. Rosado, Raquel S. Peixoto	18S rDNA Sequences from Microeukaryotes Reveal Oil Indicators in Mangrove Sediment
2016	Gonasageran Naidoo	Mangrove propagule size and oil contamination effects: Does size matter?
2010	Rodrigo Gouvêa Taketani, Natália Oliveira Franco, Alexandre Soares Rosado, and Jan Dirk van Elsas	Microbial Community Response to a Simulated Hydrocarbon Spill in Mangrove Sediments

APÊNDICE A- RELAÇÃO DE ARTIGOS UTILIZADOS NA REVISÃO SISTEMÁTICA (continua).

ANO DE PUBLICAÇÃO	AUTORES	TÍTULO
2018	Janaina Rigonato, Angela D. Kent, Thiago Gumiere, Luiz Henrique Zanini Branco, Fernando Dini Andreotti, Marli Fátima Fiorea	Temporal assessment of microbial communities in soils of two contrasting mangroves
2013	Terry J McGenity	Hydrocarbon biodegradation in intertidal wetland sediments
2019	Berrin Tansel, Mengshan Lee	Removal of crude oil from highly contaminated natural surfaces with corexit dispersants
2014	Berrin Tansel, Mengshan Lee, Jillian Berbakov, Derya Z. Tansel, Urpiana Koklonis	Dispersion of Louisiana crude oil in salt water environment by Corexit 9500A in the presence of natural coastal materials
2020	Sanderson Tarciso Pereira de Sousa, Lucélia Cabral, Gileno Vieira Lacerda-Júnior, Melline Fontes Noronha, Júlia Ronzella Ottoni, Adilson Sartoratto, Valéria Maia de Oliveira	Exploring the genetic potential of a fosmid metagenomic library from an oilimpacted mangrove sediment for metabolism of aromatic compounds
2019	Angela Michelato Ghizelinia, Kelly Geronazzo Martinsb, Urs Christian Gießelmannnc, Erika Santoroa, Laura Pasqualettea, Leda C.S. Mendonça-Haglera, Alexandre Soares Rosadoa, Andrew Macraea	Fungal communities in oil contaminated mangrove sediments – Who is in the mud?
2018	A.F. Romero, M. Oliveira, D.M.S. Abessa	A simple Bird Sensitivity to Oil Index as a management tool in coastal and marine areas subject to oil spills when few biological information is available

APÊNDICE A- RELAÇÃO DE ARTIGOS UTILIZADOS NA REVISÃO SISTEMÁTICA (continua).

ANO DE PUBLICAÇÃO	AUTORES	TÍTULO
2017	Adriana Daudt Grativol, Albany A. Marchetti, Rita M. Wetler-Tonini, Thiago M. Venancio, Carlos E N Gatts Fabiano L. Thompson, Carlos E. Rezende	Bacterial interactions and implications for oil biodegradation process in mangrove sediments
2016	Norman C. Duke	Oil spill impacts on mangroves: Recommendations for operational planning and action based on a global review
2013	Berrin Tansel, Mengshan Lee, Derya Z. Tansel	Comparison of fate profiles of PAHs in soil, sediments and mangrove leaves after oil spills by QSAR and QSPR
2020	Dimitri Veldkorneta, Anusha Rajkarana, Swapan Paulb, Gonasageran Naidoo	Oil induces chlorophyll deficient propagules in mangroves
2019	Iman Fakhrzadegan, Mehdi Hassanshahian, Majid Askari Hesni, Amir Saadatfar	A study of crude oil-degrading bacteria from mangrove forests in the Persian Gulf
2017	Gonasageran Naidoo, Krishnaveni Naidoo	Are pioneer mangroves more vulnerable to oil pollution than later successional species?
2014	Rex Baleña	Priority responses to the 2006 Guimaras oil spill, Philippines: Will history repeat itself?
2017	Gonasageran Naidoo, Krishnaveni Naidoo	Ultrastructural effects of polycyclic aromatic hydrocarbons in the mangroves <i>Avicennia marina</i> and <i>Rhizophora mucronata</i>
2016	Lei Wang, Xu Huang, Tian-Ling Zheng	Responses of bacterial and archaeal communities to nitrate stimulation after oil pollution in mangrove sediment revealed by Illumina sequencing
2020	Rod M. Connolly, Finnian N. Connolly Matthew A. Hayes	Oil spill from the Era: Mangroves taking eons to recover
2020	Rafael Almeida Magris, Tommaso Giarrizzo	Mysterious oil spill in the Atlantic Ocean threatens marine biodiversity and local people in Brazil

APÊNDICE A- RELAÇÃO DE ARTIGOS UTILIZADOS NA REVISÃO SISTEMÁTICA (continua).

ANO DE PUBLICAÇÃO	AUTORES	TÍTULO
2016	Thaís dos Santos Alencar, Vicente de Paulo Santos de Oliveira, Manildo Marcião de Oliveira, Victor Barbosa Saraiva	Contaminação por metais pesados e hidrocarbonetos de petróleo: uma ameaça para os manguezais
2010	Henrique F. Santos, Flávia L. Carmo, Jorge E. S. Paes, Alexandre S. Rosado, Raquel S. Peixoto	Bioremediation of Mangroves Impacted by Petroleum
2017	Júlia Ronzella Ottoni, Lucélia Cabral, Sanderson Tarciso Pereira de Sousa, Gileno Vieira Lacerda Júnior, Daniela Ferreira Domingos, Fábio Lino Soares Junior, Mylenne Calciolari Pinheiro da Silva, Joelma Marcon, Armando Cavalcante Franco Dias, Itamar Soares de Melo, Anete Pereira de Souza, Fernando Dini Andreote Valéria Maia de Oliveira	Functional metagenomics of oil-impacted mangrove sediments reveals high abundance of hydrolases of biotechnological interest
2018	Bashir Adamu, Kevin Tansey e Booker Ogutu	Remote sensing for detection and monitoring of vegetation affected by oil spills
2017	Bruno Coutinho Kurtz, Elisa Araujo Penna Caris e Sirayama de Oliveira Ferreira Lima	Manguezais da Bacia de Campos
2011	Henrique Fragoso dos Santos, Juliano Carvalho Cury, Flávia Lima do Carmo, Adriana Lopes dos Santos, James Tiedje, Jan Dirk van Elsas, Alexandre Soares Rosado, Raquel Silva Peixoto	Mangrove Bacterial Diversity and the Impact of Oil Contamination Revealed by Pyrosequencing: Bacterial Proxies for Oil Pollution

APÊNDICE A- RELAÇÃO DE ARTIGOS UTILIZADOS NA REVISÃO SISTEMÁTICA (conclusão).

ANO DE PUBLICAÇÃO	AUTORES	TÍTULO
2020	Babak Moradi, Ralph Kissen, Hassan Zare Maivan, Mehri Seyed Hashtroudi, Mona Sorahinobar, Torfinn Sparstad, Atle M. Bones	Assessment of oxidative stress response genes in <i>Avicennia marina</i> exposed to oil contamination –Polyphenol oxidase (PPOA) as a biomarker
2013	A. Ruiz-Marín , J.C. Zavala-Loria, Y. Canedo-López and A.V. Cordova-Quiroz	Tropical bacteria isolated from oil-contaminated mangrove soil: bioremediation by natural attenuation and bioaugmentation