



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE SANTA CRUZ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA E CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE**

CAROLINA BARRETO TELES

**IMPACTOS DOS CONTAMINANTES DERIVADOS DO PETROLEO NAS ÁRVORES
DOS MANGUEZAIS**

**ILHÉUS - BAHIA
AGOSTO, 2024**

CAROLINA BARRETO TELES

**IMPACTOS DOS CONTAMINANTES DERIVADOS DO PETROLEO NAS ÁRVORES
DOS MANGUEZAIS**

Tese apresentada à Universidade Estadual de Santa Cruz,
como parte das exigências para obtenção do título de
Doutora em Ecologia e Conservação da Biodiversidade.

Área de concentração: Ecologia e Conservação da
Biodiversidade

Discente: Carolina Barreto Teles

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Schramm Mielke

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a Ândrea Carla Dalmolin

ILHÉUS – BAHIA

AGOSTO, 2024

T269

Teles, Carolina Barreto.

Impactos dos contaminantes derivados do petróleo nas árvores dos manguezais / Carolilna Barreto Teles. – Ilhéus, BA: UESC, 2024.

80f.: il.

Orientador: Marcelo Schramm Mielke
Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Santa Cruz. Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação da Biodiversidade – PPGECB.

Inclui referências.

1. Ecologia dos manguezais. 2. Cientometria. 3. Ecofisiologia vegetal. 4. Hidrocarbonetos. I. Título.

CDD 577.698

CAROLINA BARRETO TELES

**IMPACTOS DOS CONTAMINANTES DERIVADOS DO PETROLEO NAS ÁRVORES
DOS MANGUEZAIS**

Tese apresentada à Universidade Estadual de Santa Cruz, como parte das exigências para obtenção do título de Doutora em Ecologia e Conservação da Biodiversidade.

Ilhéus, 22 de agosto de 2024.

Dr^a. Amanda Freitas Cerqueira
Universidade Estadual de Santa Cruz

Prof. Dr. Rogério Ferreira Ribas
Universidade Federal do Recôncavo
da Bahia

Prof^a. Dr. Renato de Almeida
Universidade Federal do Recôncavo
da Bahia

Dr^a. Leiza Serafim
Universidade Estadual de Santa Cruz

Prof. Dr. Marcelo Schramm Mielke
Universidade Estadual de Santa Cruz
(Orientador)

*“O Mangue nasce, cresce, viceja, floresce, renova
aquece, o Mangue tece; o Mangue sobe e desce,
salga, cerca, refresca, protege, o Mangue veste,
e tudo mais que o Mangue faz serve...”*

Chico Maranhão

Dedico este trabalho para todos os protetores dos manguezais, para todos que sobrevivem e vivem neste ecossistema; para os guardiões e seres que protegem essas florestas únicas. Dedico aos meus Protetores.

Dedico à minha família.

AGRADECIMENTOS

Destino. Makutb, estava escrito. São palavras que encontro para descrever minha trajetória até este momento. Desde pequena, saber a diferença de boi, búfalo e bisão. Aliás, saber o que é bisão. Amar igualmente filmes de princesa e documentários da vida animal narrados pelo grande David Attenborough, ficar horas no quintal para descobrir a cura do câncer e ensaiar discursos de premiação, como um utópico Nobel de Ciência, essas coisas com menos de 10 anos de idade, se não estava no meu destino ser cientista, não sei o como explicar. Agradeço a Deus e aos bons espíritos que me seguem até aqui, pela chance de voltar à Terra deste jeitinho único. Muitos podem não acreditar, mas existe uma força maior que me guia sempre, que me levanta quando quero cair e essa força é a junção da fé e do amor.

Agradeço pelos pais que tive, que muitas vezes não gostando da ideia de ter uma filha cientista, nunca colocaram empecilhos, pelo contrário. O meu pai, mesmo que agora distante, me ensinou muito, assistindo comigo estes documentários, me presenteando com livros de inúmeras espécies, me ensinando a plantar, pescar e se bobear minhas primeiras práticas de zoologia foram com ele, cuidando de um aquário de girinos até virarem sapos e eviscerando peixes; lembro dele mostrando a diferença de peixe de água doce para salgada. Minha mãe me ensinou o valor da vida, o amor à todas formas de vida, quando, por exemplo, me levava aos recifes de corais para desbravar um mundo novo. Me ensinou a importância do estudo, da dedicação e da leitura. Dona Vera me ensinou algo muito valioso que trouxe para esse trabalho, nunca sabemos de tudo, a importância da sabedoria popular e que pedir ajuda e perguntar não é demérito e sim humildade de aprender mais. Mãe se com 6 anos eu não te dedicava o prêmio Nobel por causas das broncas, hoje te dedico a realização do meu sonho, ninguém nesse mundo me inspirou e me inspira quanto você, nem sei quem mais abraçou os meus sonhos quanto você. Minha avó, uma segunda mãe, que me ensinava no quintal, como é bom comer frutos frescos do pé, sobre o poder de chás e ervas, o seu “dedo verde” incomparável. Minha irmã Jú, que mulher de garra retada, mulher de fogo nas ventas que já me defendeu e me apoiou tantas vezes. Que sorte que tenho desta família em que Deus me colocou, aprendemos juntas, o amor e o respeito acima de tudo. É com este respeito que segui e seguirei a minha vida acadêmica e pessoal inteiras. Sou uma mãe desnaturalada de pet, mas agradeço a eles que foram pingos de luz e companhia quando as vezes a escuridão me silenciava. Agradeço também a minha família que pode não ter vínculo de sangue mas tem de coração, Tia Oade, Tia Cata, Ana, Jurandi pelas orações, carinho e torcida. Ao meu afilhado Marquinhos, que me encheu de alegria quando disse que queria ser biólogo. Vem uma nova geração aí!

E como se não fosse obra do destino me esbarrei com um lindo homem no primeiro dia de aula do mestrado, beleza essa que com o tempo não é só exterior, a beleza interna o torna o homem espetacular. Esse homem agora tenho a honra de chamar de “meu marido”. Meu Léo, que nunca saiu do meu lado, que sempre me apoia e me impulsiona. Esteve ao meu lado em momentos de dor, desespero e angustia, oferecendo abraços que não sei descrever. Desde que ele chegou, a minha vida tornou mais colorida, mais alegre, mais leve, e divertida. Hoje planejamos e dividimos os mesmos sonhos, dois librianos, biólogos, com a vontade da nossa casa no mato, com uma biblioteca que caiba nossa compulsividade por livros e nossas tempestades de ideias. E principalmente nossos filhos, “picutucos” como ele gosta de chamar. Nossos sonhos são nossos, resistentes e resilientes, como as

árvores, mas podem mudar de lugar conforme o destino e os ciclos, como os animais. O mais importante é a nossa união, o nosso amor e a nossa fé. O mundo é nosso e dos nossos sonhos, que assim seja e será, meu amor! Nesse pacote de amor infinito, encontrei um lar, vi que na linda família que ele já possuía um cantinho para mim, agradeço ao meu sogro Leildo, por tanto carinho e proteção, não mexam comigo, pois, como ele mesmo diz, sou a filha que Leozinho deu a ele; à minha sogra, carinhosamente chamo de Tia Keu que com alegria e pratos deliciosos, mostra seu carinho me mimando sempre que pode e a Milene, com um gênio forte me mostrou que desistir de um sonho nunca será opção. Obrigada meu amor por compartilhar comigo a sua vida e a sua família.

Nesse caminho me deparo ouvindo a música de Osvaldo Montenegro “a lista”, listando os amigos que fiz, que foram tão importantes nessa jornada. Algumas amizades duraram, acredito, o tempo que tinha que durar, outras carrego até hoje. Minhas amigas de colégio Laís e Monique, a gente se vê basicamente uma vez por ano, mas é como se a distância não impedisse nada, pois a amizade e o amor não são materiais eles vão além de distâncias e nos conectam por energia. Na graduação fiz do meu orientador um amigo importantíssimo e precioso, Márcio Lacerda Martins. Ele abriu meus olhos para o invisível e acreditou em mim mesmo quando eu mesma não acreditava, foi um porto seguro quando tudo parecia estar se desmoronando. É, Márcio, terá que me aguentar por muito tempo e ainda quero muito ser sua parceira de pesquisa. Existem amigos que fazemos pelos caminhos que percorremos Thais Arrais, que grata surpresa ter reencontrar no doc, Ana Carla, Wendel e Erminda, gratidão pela amizade e por mostrar este fantástico mundo dos manguezais. Ao quarteto, Hevila, Bruno, Laura (minha parceira, mais resistente que uma *Avicennia*) e João, juntos criamos laços neste caminho, criamos historias através e vinhos e comidas; se bem que agora estamos mais para café com bolo. 2 pessoas são incrivelmente especiais para mim, Ramon e Omar, um é oposto do outro, mas mesmo sem me conhecerem direito me ajudam desde o mestrado, me fazem rir e são fontes de apoio. Não posso deixar de falar de um casal muito querido Victor e Carla (Balinha) que já me ouviram muito, principalmente o Victor sobre as minhas plantas imortais e a Carla com sua luz e alegria únicas. Obrigada pessoal por fazerem parte dessa jornada. Abro um parêntese para agradecer duas figuras especiais Rayanne e Emylle duas psicólogas. Ray minha amiga, uma grata surpresa na minha vida, que comprehende o silêncio e sempre tem uma palavra amiga para consolar-me, como demorei tanto tempo para te conhecer? À Emylle, minha psicóloga que a cada sessão me ajuda a vencer o medo, cansaço, desespero, e me mostra que existe luz no fim do túnel e que sempre tem um lado B. Obrigada.

Agradeço imensamente aos meus orientadores, que pessoas incríveis. Prova que existe humanidade e apoio na pós-graduação. Obrigada, por aceitarem uma pessoa que pulou da Floresta Atlântica com um projeto tão diferente, quanto esse projeto dos manguezais. Obrigada por todos os conselhos, conversas, apoios, ideias, planos “a”, “b”, “c”... Professor Marcelo, com sua calma e tranquilidade abraça a todos como um pai, ensina através dos seus próprios exemplos que nem tudo são flores, mas o caminho não precisa ser de espinhos, existe um meio termo, que com paciência, humanidade e dedicação chegamos lá. Ândrea, me faltam palavras para descrever o seu apoio e sua força, aqueles vários delineamentos, nossas conversas, caronas e almoços. Desde que escrevi o projeto, não tinha dúvidas que queria você ao meu lado, você inspira. Se tem uma pessoa que vibrava com cada experimento finalizado essa pessoa é você, nunca vi confiar tanto em coisas que eu julgava não dar certo. Você sempre dizia “confia no processo, confia no experimento, confia na gente”, eu confiei e cheguei aqui. Nesse pacote de Ândrea, conheci uma pessoa única, Daniel, que parceiro! Entre uma medição e outra, um chocolate com café, um bom papo, uma boa “edificada”. Conte

comigo sempre Dani. Agradeço aos meus colegas de Laboratório, Carol Brito (minha dupla sertaneja), Poliana, Igor, Martielli, e Amanda pelo apoio e pelas risadas. Agradeço também ao pessoal da UFSB e do LEAC em especial a professora Eliana Cazeta, nunca esquecerei da prova de seleção e de como o seu abraço e apoio foram fundamentais.

Agradeço aos manguezais que visitei, às energias que foram renovadas a cada ida de campo, aos presentes que recebia. A conexão que eu tive com essas árvores, esse ecossistema, não tem como explicar. Agradeço a cada guardião que conheci, ao Alex, barqueiro de Itacaré que já se arriscou subindo em árvores enormes para me ajudar, ao Guidomar, por me apresentar à associação de barqueiros de Itacaré, e a escola de canoagem de Itacaré, pessoas maravilhosas que só fizeram enriquecer o meu trabalho e minha mente com tanto conhecimento; os meninos que da canoagem que participaram da nossa roda de conversa, boa sorte nas Olimpíadas e nas competições mundiais, vocês são o futuro! Agradeço ao “Seu unha de gato”, barqueiro de Canavieiras, que com tanta simplicidade me ensinou e me mostrou a vastidão que é aquele lindo manguezal, agradeço também à Natália, aluna de geografia que com toda atenção me ajudou neste campo. Obrigada a todos.

Agradeço aos professores e ao programa PPGEBCB, saibam que a Carolina que entrou não é a mesma Carolina que está saindo. Hoje me sinto mais forte, mais determinada e destemida, sei que posso falar e tenho coragem e força. Agradeço a UESC por ser essa casa que me acolheu muito bem e a CAPES pelo apoio e financiamento. Agradeço à banca pela disponibilidade e considerações.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	5
RESUMO	14
ABSTRACT	15
INTRODUÇÃO GERAL.....	16
CAPÍTULO 1	22
CAPÍTULO 2:	44
CAPÍTULO 3:	66
CONSIDERAÇÕES FINAIS	85

RESUMO

Manguezais são ecossistemas únicos que fornecem inúmeros serviços ecossistêmicos. Porém no período do antropoceno vem sofrendo com inúmeros estresses que vão além da sua capacidade suporte. Um desses estresses são as contaminações por petróleo e seus derivados. Principalmente nas árvores exclusivas dos manguezais que não a base que sustenta todo o ecossistema. Nosso trabalho teve como objetivo descobrir lacunas do conhecimento sobre a interação mangue e contaminantes ao redor do mundo, bem como usar metodologias ecofisiológicas para entender como contaminantes derivados do petróleo interferem na vitalidade das folhas de *Rhizophora mangle*. Desta forma utilizamos variáveis de fluorescência da clorofila para investigar danos foliares, destacando técnicas e variáveis mais precisas para isto. E, em seguida, comparando os efeitos destes mesmos contaminantes em folhas de *R. mangle* de diferentes manguezais com características hidrográficas contrastantes. Assim definimos que a gasolina é o contaminante que mais afeta a vitalidade das folhas de *R. mangle* e que a variável Piabs é a variável da fluorescência, ela indica o índice de performance da fluorescência que é mais adequada para inferir sobre os dados do contaminante nas folhas.

Palavras chaves: Manguezais, Cienciometria, Ecofisiologia vegetal, Hidrocarboneto

ABSTRACT

Mangroves are unique ecosystems that provide numerous ecosystem services. However, during the Anthropocene, they have been subjected to various stresses that exceed their carrying capacity. One of these stresses is contamination by oil and its derivatives, particularly affecting the exclusive trees of mangroves, which serve as the foundation for the entire ecosystem. Our study aimed to identify knowledge gaps regarding the interaction between mangroves and contaminants worldwide, as well as to employ ecophysiological methodologies to understand how oil-derived contaminants interfere with the vitality of the leaves of *Rhizophora* mangle. To this end, we utilized chlorophyll fluorescence variables to investigate foliar damage, highlighting the most precise techniques and variables for this purpose. Subsequently, we compared the effects of these same contaminants on the leaves of *R. mangle* from different mangroves with contrasting hydrographic characteristics. We determined that gasoline is the contaminant that most significantly affects the vitality of *R. mangle* leaves, and that the variable Piabs is the chlorophyll fluorescence variable that best indicates the performance index of fluorescence, making it the most suitable for inferring data regarding the contaminant in the leaves.

Keywords: Mangroves, Scientometrics, Plant Eco-physiology, Petroleum

INTRODUÇÃO GERAL

Estima-se que os manguezais tenham surgido a cerca de 60 milhões de anos onde atualmente encontra-se a Ásia, tendo se dispersado por duas rotas, uma dissipando pela Atual Oceania e a outra pelo extinto mar de Thety, chegando assim na África de nas Américas (de Melo et al 2011). Pelos registros fosseis, principalmente paleopalinológicos, há evidências de que estes ecossistemas suportaram inúmeros estresses nos períodos glaciais e interglaciais, como avanços e recuos dos mares, mudanças de temperatura e salinidade do ambiente (Duke, 2002 a; Sierra, 2011). Assim, as plantas que naturalmente habitam os manguezais se adaptaram às estruturas e funcionamentos que conhecemos hoje, com morfologia e fisiologia únicas, com raízes do tipo pneumatóforos, folhas com características xeromórficas, estruturas que excretam sal e outras substâncias. Essas características lhes permitem suportar variações do regime de marés, alta salinidade, temperatura elevada e diferentes aportes de água doce, dependendo dos níveis de precipitação (Schaeffer- Novelli et al 1990; Schaeffer- Novelli, 1999; Pascoalini et al 2014; Soares e Pereira, 2021).

Atualmente os manguezais vem perdendo substancialmente áreas no Brasil e no mundo e de forma crescente, 61.5% dessas perdas causadas por ações antrópicas, o restante por ações de mudanças climáticas ou ambientais, o que indiretamente pode ser causado por efeitos antrópicos, Embora exista esforços para conter a destruição deste ecossistema, a porcentagem de perda é 2,3 vezes mais rápida que a recuperação de áreas degradadas (Mapbiomas 2020; Instituto Chico Mendes 2018). No ano de 1983 estimavam-se as áreas de florestas de mangue brasileiras em 25.000 Km²,000km²; no ano de 1997 esta estimativa passou a ser de 13.400 Km² (Valiela et al 2001) O estado da Bahia tem cerca de 6,4% de seu território ocupado por áreas de florestas de mangue, sendo o quarto maior estado com a presença deste ecossistema no país (Instituto Chico Mendes, 2018, Mapbiomas 2021), estas estão distribuídas de forma irregular e descontinua ao longo de toda a costa.

No Brasil, os primeiros impactos humanos em ambientes de mangue provavelmente foram ocasionados por caçadores-coletores, que usavam recursos existentes nos manguezais como fonte de proteína, por meio da extração de animais que ficam aderidos as raízes de mangue, coletando peixes e caçando mamíferos, além da coleta de barro para moldar artefatos a serem utilizados para as mais diversas finalidades e madeira para o fogo (Dean, 1996). A exploração dos manguezais foi intensificada com a chegada dos primeiros europeus a partir

de 1500. Inicialmente utilizados apenas para a extração de peixes e proteínas, a disponibilidade de madeira como de *Paubrasilia echinata* fez com que esses ambientes servissem como portos e fortificações de defesa para os portugueses e franceses (Dean 1996), como exemplo dessa utilização temos a Baía de Guanabara, que era utilizada como observatório pela corte portuguesa para evitar pirataria. Observando os povos originários, os europeus viram, além da madeira em si, a possibilidade de uso de substâncias capazes de curtir o couro e impermeabilizar redes de pesca e madeira, começando assim um intenso processo de exploração da *Rizophora mangle*, conhecida popularmente como mangue vermelho (Sofiatti, 2023).

Embora sejam áreas de rica biodiversidade de diversos grupos, no que diz respeito às espécies vegetais, em todo o planeta as florestas de mangue apresentam somente cerca de 54 espécies vegetais, pertencentes a 16 famílias, em sua composição (Sandylan e Kathiresan, 2012). No Brasil são encontradas apenas seis, das 54 espécies exclusivas para o ecossistema, sendo elas: *Avicennia germinans*, *A. schaueriana*, *Laguncularia racemosa*, *Rhizophora mangle*, *R. harrisonii* e *R. racemosa*, (Schaffer-Novelli et al 1990). Devido a sua resistência e resiliência *R. mangle* é uma das espécies mais abundantes ao longo da costa brasileira, possuindo características xeromórficas, de folhas com densas cutículas, limbo verde escuro, parênquima espesso, além de um propágulo com grande reserva energética (Grahan 1964; Instituto Chico Mendes, 2018; Souza e Lorenzi, 2019). Indivíduos adultos dessa espécie são facilmente reconhecidos por suas raízes de sustentação, que a fazem parecer um candelabro invertido.

Mesmo apresentando uma ampla capacidade de adaptação aos ambientes estressantes dos manguezais, os indivíduos de *R. mangle*, assim como ocorre com todas as espécies de mangue do mundo, têm sido afetadas diretamente pela perda da qualidade ambiental, muito em função da exposição a diversos tipos de contaminantes. Entre esses contaminantes, os derivados de petróleo, tanto cru quanto refinado tem chamado atenção de pesquisadores do mundo todo. Estima-se que mais de 5 mil toneladas de derivados de petróleo sejam lançadas ao mar por ano (ITOPF, 2020), causando danos que vão desde o sufocamento das raízes de mangue, até a contaminação da fauna e flora dos manguezais, sendo esses danos muitas vezes irreparáveis (Duke, 2016, 2002b; Santos et al 2011; Billah et al 2022).

Com a chegada das manchas de óleo no litoral do nordeste brasileiro entre agosto de 2019 e janeiro de 2020, uma fonte extra de pressão foi estabelecida para as áreas de manguezal dessa região. Mais de 5000 toneladas de resíduo foram coletadas e removidas das praias,

manguezais e recifes de coral brasileiros (Brum et al 2020, Magris, 2020), sendo a presença do poluente observada em mais de 1000 localidades (IBAMA, 2020). No litoral baiano todos os municípios que abrigam áreas de manguezais foram atingidos, e a presença de fragmentos do petróleo dentro dessas áreas ainda pode ser observada, mesmo após inúmeros esforços da comunidade em geral para a remoção. Acredita-se ainda que parte desse petróleo possa estar preso às áreas costeiras rasas, aos sedimentos, ou estruturas duras, e podem ser ressuspensos a partir de eventos meteorológicos, levando o óleo novamente de volta a coluna d'água (Lourenço et al 2020). Novos processos de contaminação podem ocorrer pelos fragmentos que se desprendem, ou ainda pela fração solúvel, que é liberada lentamente enquanto esse material está em contato com a água. Dentro do manguezal em si, a contaminação é de difícil mensuração, uma vez que as porções de óleo ficam aderidas as raízes das plantas e misturam-se ao substrato lodoso do ambiente, tornando praticamente impossível a sua retirada. Ao nos debruçarmos sobre as implicações desse contaminante sobre as áreas de manguezal, outras questões relativas aos derivados de petróleo são suscitadas, como por exemplo, qual seria o dano causado por combustíveis de embarcações que facilmente transitam por áreas de manguezal. Combustíveis estes que dependendo da atividade que é exercida próximo aos manguezais podem aparecer em maior ou menor quantidade, como a gasolina e o óleo diesel, por exemplo, que são utilizados em barcos pesqueiros e de turismo.

Diante de tais inquietações, a presente tese de doutorado foi elaborada em três capítulos, buscando entender o efeito de derivados de petróleo sobre a fisiologia de folhas de *R. mangle* sobre a perspectiva da desidratação foliar e fluorescência da clorofila. Uma vez que a fisiologia vegetal é um ramo da Botânica que nos ajuda a entender o efeito do estresse nas plantas de uma forma rápida e às vezes pouco invasiva para o organismo como um todo.

O primeiro capítulo baseia-se em uma revisão cienciometria onde busca-se o levantamento do conhecimento sobre os efeitos do petróleo e dos seus derivados, em espécies de mangue. Para tanto, levanta-se informações sobre o que foi publicado nos últimos 20 anos (2000-2020) sobre esse tema. O segundo capítulo, busca testar uma metodologia para estudos sobre o efeito da fração solúvel de petróleo cru e derivados de petróleo sobre a fisiologia foliar de *R. mangle*, e no terceiro capítulo esta metodologia é aplicada buscando estudar a fisiologia foliar de *R. mangle* com ocorrência em três manguezais em diferentes estados de conservação.

Referências bibliográficas:

- Billah, M. M., Bhuiyan, M. K. A., Amran, M. I. U. A., Cabral, A. C., & Garcia, M. R. D. (2022). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) pollution in mangrove ecosystems: global synthesis and future research directions. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 21(3), 747-770.
- Brum HD, Campo-Silva JV, Oliveira EG (2020) Brazil oil spill response: government inaction. *Science* 367:155–156.
- Christensen B (1982) Management and utilization of mangroves in Asia and the Pacific. FAO Environment Paper No. 3, Food and Agriculture Organization, Rome.
- De Melo, A. T., & E. J. S. Sierra, (2011). Biogeografia dos manguezais. *Geografia* 36: 311-334
- Dean, W. (1996). A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira. In A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira (pp. 484-484).
- Duke, N. C., Lo, E., & Sun, M. (2002) (a). Global distribution and genetic discontinuities of mangroves—emerging patterns in the evolution of *Rhizophora*. *Trees*, 16, 65-79.(a)
- Duke, N. C., & A. J., Watkinson, (2002) (b) . Chlorophyll-deficient propagules of *Avicennia marina* and apparent longer term deterioration of mangrove fitness in oil-polluted sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 44: 1269-1276(b)
- Duke, N. C. (2016). Oil spill impacts on mangrove: recommendations for operational planning and action based on a global review. *Marine pollution bulletin* 109 (2), 700-715

- Giri C, Ochieng E, Tieszen LL, Zhu Z, Singh A, Loveland T, Masek J, Duke N (2011) Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecol. Biogeogr.* 20: 154–159
- Graham, S. A. (1964). The genera of Rhizophoraceae and Combretaceae in the southeastern United States. *Journal of the Arnold Arboretum*, 45(3), 285-301.
- IBAMA – Brazilian Institute of the Environment and of Renewable Natural Resources, 2020. <https://www.ibama.gov.br> Accessed on 2020/02/17.
- Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade do Brasil, (2018). Atlas dos manguezais do Brasil. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade.
- ITOPF, (2020). Available in:<https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/document/ocean-orbit/>, accessed in: november, 2020
- Lourenço RA, Combib T, Alexandre MR, Sasakid ST, Zanardi-Lamardoe E, Yogue GT (2020) Mysterious oil spill along Brazil's northeast and southeast seaboard (2019–2020): Trying to find answers and filling data gaps. *Mar. Pol. Bul.* 156: 111219.
- Magris, R. A., & T. Giarrizzo, (2020). Mysterious oil spill in the Atlantic Ocean threatens marine biodiversity and local people in Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 153: 110961.
- Pascoalini, S. S., de Santana Lopes, D. M., Falqueto, A. R., & Tognella, M. M. P. (2014). Abordagem ecofisiológica dos manguezais: uma revisão. *Biotemas*, 27(3), 1-11.
- Pereira, R. C., & Gomes, A. S. (2021). Ecologia marinha. Interciencia.
- Sandilyan, S, K. Kathiresan., (2012). Mangrove conservation: a global perspective. *Biodiversity and Conservation*, v. 21, n. 14, p. 3523-3542
- Santos, H. F., Carmo, F. L., Paes, J. E., Rosado, A. S., & Peixoto, R. S. (2011). Bioremediation of mangroves impacted by petroleum. *Water, Air, & Soil Pollution*, 216, 329-350.
- Schaeffer-Novelli, Y., Cintrón-Molero, G., Adaime, R. R., & de Camargo, T. M. (1990). Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. *Estuaries*, 13,

204-218

Schaeffer-Novelli, Y. A. R. A., (1999). Grupo de ecossistemas: manguezal, marisma e apicum. São Paulo

Sierra, E. J. S. (2011). Biogeografia dos manguezais. *Geografia*, 36(2), 311-334.

Soffiati, A. (2023). Breve história das relações das sociedades com os manguezais no Brasil. *AMBIENTES: Revista de Geografia e Ecologia Política*, 5(1).

Souza, C. V. & Lorenzi, H. *Botânica Sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas do Brasil, baseado em APG IV* (2019) . 4 ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2019.

Valiela I, Bowen JL, York JK. 2001. Mangrove Forests: One of the World's Threatened Major Tropical Environments. *BioScience* 51:807-815

CAPÍTULO 1:

Mangroves contamination by oil spills: a scientometric review

Abstract

In tropical and subtropical oceanic coastal regions, mangroves stand out as a unique forest ecosystem, exhibiting distinct morphology and physiology that allow them to cope with tidal regimes and salinity variations. Its tree species have unique characteristics, the result of thousands of years of adaptation to changes on the planet. However, mangroves are threatened by human disturbances, with pollution from oil and its derivatives being one of the main threats today. With the aim of addressing the effects of these contaminants on mangrove trees around the world, we opted for a scientometric analysis of what has been published on the relationship between mangrove tree species and oil pollution in the period 2000-2020. Specifically, we seek to answer the following questions: i) How many articles are there relating mangrove trees and contaminants over a period of 20 years? ii) Where do accidents occur most often and what types of contaminants are derived from oil? iii) Which area of botanical knowledge is most used to understand the effect of oil contaminants on mangrove trees? Armed with these questions, we emphasize the lack of publications on the subject, especially ecology and genetic studies. Another point is the alert for crude oil refining areas, as these are the areas where most accident studies have occurred at different times, which could make contamination by oil and its derivatives a chronic situation in these locations.

Keywords: pollution; fossil, fuel, plant physiology, plant anatomy, plant ecology, plant genetics

Introduction

Mangrove is a name given to a tropical and sub-tropical coastal forest ecosystem dominated by high selective and restricted groups of plant species, usually trees. The species that form the mangroves share euryhaline ecophysiological systems - adapted to variations in salinity (Schaeffer-Novelli, 1999; de Melo et al 2011; Instituto Chico Mendes, 2018). In addition to salinity, the occurrence of mangrove forests is directly related to temperature, coinciding with the distribution pattern of warm sea currents (Duke, 1992). The tree richness of mangroves is low in most regions where this ecosystem is found. However, arboreal richness increases when it comes to the Austro-Asian portion, known as the center of origin of mangroves (Robertson & Alongi, 1992; Schaeffer-Novelli, 1999).

As coastal plant species adapted to oceanic environments, mangrove trees are inherently exposed to pollution from high tides (Sandilyan & Kathiresan, 2012). Studies indicate that salinity tolerance and symbiosis with other living beings (Nansingh & Jurawan, 1999) make mangrove species become phytoremediators and bioaccumulators (for example, Zaier et al 2010; dos Santos Garcia et al 2017; dos Santos Garcia et al 2018). However, other studies claim that the intensity of the sea regime and the constant arrival of contaminants in mangroves can cause irreversible damage, from mutations in propagules to various problems in plant tissues (e.g. Duke et al 2002; Naidoo et al 2016). Once damage to trees is lethal, the entire ecosystem is doomed to disappear, as the flora-fauna relationship in these environments is mutually dependent (Santos, et al 2019).

Mangroves play a significant role globally, providing essential ecosystem services, serving as a shelter, feeding and nesting area for animal species, in addition to acting as blue carbon sequesters (Barcellos et al 2019). In addition, studies show that silt sediments, as well as large mangrove roots, function as plastic and microplastic sinks in the long term (Martin et al 2020). These ecosystems are among those in which there are intra- and interspecific

relationships, between coastal environments, making it a complex ecosystem. This complexity makes mangroves more resilient to adverse conditions, whether natural or anthropogenic. However, like any system, there is a tolerance limit to withstand the disturbances. The more intense and frequent these disturbances are, the lower the balance between species and individuals will be, making the system increasingly weakened (Schaeffer-Novelli, 1999; Schaeffer-Novelli et al 2000). The spillage of contaminants is one of the types of disturbances to which mangroves are subjected.

Oil is an example of a contaminant responsible for causing major environmental disasters, especially in marine-coastal environments (e.g. spills off the coast of Northeastern Brazil between August 2019 and January 2020) (Naidoo et al 2010; Duke, 2016; ITOPF, 2019; Magris, 2020). Of fossil origin, oil is formed when a thin layer of organic matter is buried with rocks and exposed to high temperatures for a long period of time either in maritime or terrestrial areas (Meinschein, 1959; Welte & Yukler, 1981; PETROBRAS, 2021). Due to its origin from organic matter, crude oil contains various types of hydrocarbons in its composition, some similar to those found in living organisms and others modified by physical-chemical processes (Meinschein, 1959). The modification in the structure of these hydrocarbons makes them important environmental disturbances and can cause serious damage to the ecosystems where they are found (Duke et al 2002; Moradi et al 2020).

Due to the importance and urgency of the topic, we believe that it is necessary to compile publications on the subject to fill in knowledge gaps and help future research. We used scientometrics as it helps us understand these gaps and makes a quantitative analysis of the periodicity of production on the subject using computational and statistical tools. Due to high publication rates, methodologies like this are used more frequently to group works in the areas of medicine and sociology and are still little explored when it comes to aquatic

environments. However, some more current publications draw attention to this topic (e.g. Lewis et al 2011; Gao et al 2022; Billah et al 2022).

In view of the recurrent exposure of marine ecosystems to contaminants, the aim of this study is to carry out a scientometric review on a global scale on the effects of oil-based contaminants in mangroves and the gaps in knowledge and research on this topic. The published articles were analyzed in a quantitative and qualitative way, informing the development of publications on the topic in question over the years (Hood & Wilson, 2001). In this way, we sought to find gaps that could contribute to new research and thus help in the conservation of tree species in mangroves. Specifically, we seek to answer the following questions: i) How many articles are there relating mangrove trees and contaminants over a period of 20 years? ii) Where do accidents occur most often and what types of contaminants are derived from oil? iii) Which area of botanical knowledge is most used to understand the effect of oil contaminants on mangrove trees?

Methodology

We performed a search for articles gathered in the databases of the Web of Science and Scopus platforms with the following keywords: “*mangrove**” AND “*oil pollution*” OR “*marine oil pollution*” OR “*pollution by hydrocarbons*” OR “*oil*” OR “*petroleum*”. For better refinement, we marked a time period between the years 2000-2020, selecting articles only in English and excluding gray literature.

After collecting articles on the platforms, the data obtained underwent filtering where duplicate articles were removed and then information was compiled from them; DOI (Digital Object Identifier), names of authors, title, year and country of publication for such activities, the Bibliometrix package was used (Aria et al 2017). After the automatic classification carried out by the package (Bibliometrix), the process of reading the articles began, following the pattern illustrated in the PRISMA diagram (www.prisma-statement.org) (Fig

1).

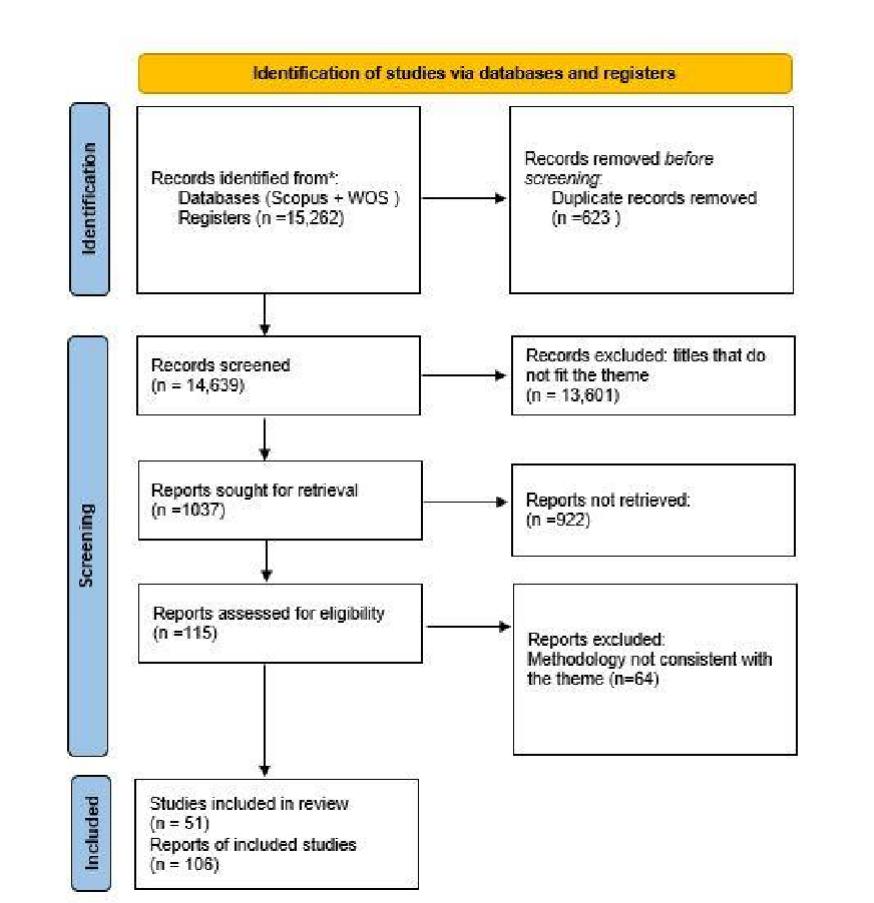


Fig. 1 PRISMA scheme listing the steps for the selection of articles and the exclusion criteria.

After screening, the title and abstract were analyzed and articles that did not meet the criteria presented in figure 1 were excluded. Finally, the remaining articles were read and, if the established inclusion criteria were met (e.g. location, methodology described, species exclusive to mangroves, contaminants from oil) were incorporated into the final database.

With the selection of articles completed, for better classification of the articles studied, information was collected and classified such as better visualize the results. These show, with greater clarity, the genera of the species studied, the countries where the samples were collected, the number of studies per year, and the parts of the plants used in the studies. Finally, based on the methodology used in each article, we classify the studies into four macro-areas of knowledge: Anatomy, Ecology, Physiology and Genetics (Table 1).

Because the articles analyzed had limited data on the systematic and conservation status of the mangrove species, we conducted a complementary search on the Kew Garden website (<http://apps.kew.org/herbcat/navigator.do>) and the red list of IUCN threatened species (<https://www.iucnredlist.org/>) (Table 2). With regard to species, we separated the case studies as different species that were studied; thus, we had a greater coverage of the studied genus and methodologies used by the articles.

Table 1. Definition of macro areas of studies and methodological factors that influenced the selection of articles.

Macro-areas of study	Description
Genetics	Effects of contaminants on DNA and/or RNA, or proteins.
Anatomy	Effects of contaminants on tissues and organelles of mangrove species
Physiology	Effects of contaminants on mangrove germination, growth and development
Ecology	Studies dealing with conservation, of mangrove areas contaminated by oil pollutants.

In order to better visualize the objectives, we separated the methodologies by mangrove tissues studied, that is leaves, roots, propagules and whole plant (when the whole plant or most of the vegetative part of the plant was used).

Results

Bibliometric Survey

Observing the publications over the years (Fig 2) four peaks were noticed of publications that, occurred after environmental disasters (e.g. 2010 and 2016).

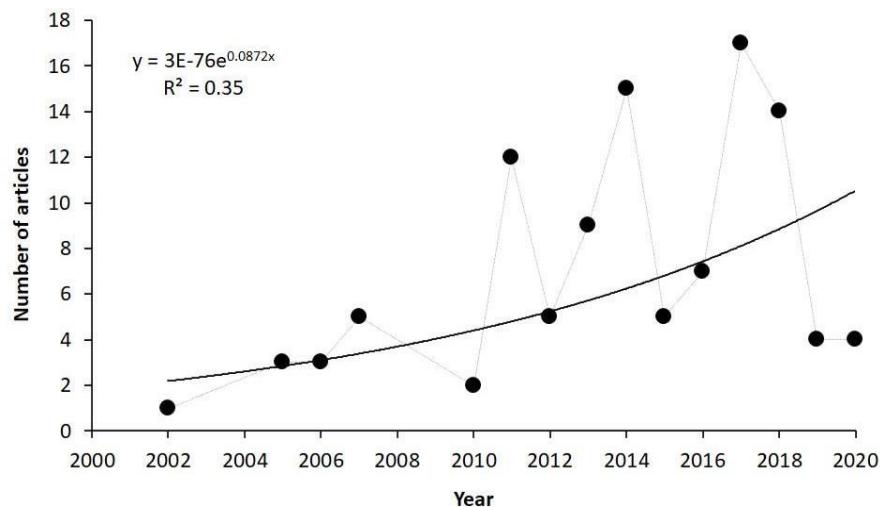


Fig 2. Number of publications per year, showing an increasing trend in the number of publications

Genus and Species Survey

In the selected articles we found information for 11 genus and 20 mangrove tree species. However, we observed that some genres (possibly because they have a wider distribution) are more frequent in the studies: *Aegiceras* (13 case studies), *Avicennia*, (30 case studies), *Bruguiera* (15 case studies), *Kandelia* (13 case studies), and *Rizophora* (16 case studies), (Table 2). According to data published by the IUCN, most mangrove tree species are categorized as “least concern”, that is, they are not at risk of extinction. However, there are species for which these data do not exist, that is, their conservation status is not known (Table 2).

Table 2. Data from the five most representative genus in data collection, being the name of the species found in the review search material, as well as their global distribution (Kew Garden, 2023) and the species' global conservation status according to the IUCN. When; LC (Least Concern) and NA (No data found) (IUCN, 2023).

Genus	Distribution	Family	Species	Conservation status
<i>Aegiceras</i> Gaertn.	Tropical and subtropical Asia to Queensland, Australia	Primulaceae	<i>Aegiceras corniculatum</i>	LC
<i>Kandelia</i> Wight & Arn	Tropical and subtropical Asia	Rhizophoraceae	<i>Kandelia obovata</i>	LC

			<i>Kandelia candel</i>	LC
<i>Bruguiera</i> Thouars/ <i>sin.</i> <i>Lumnitzera</i> Willd.	From Kenya to KwaZulu-Natal and West Pacific	Combretaceae	<i>Bruguiera</i> <i>gymnorhiza</i>	NA
			<i>Lumnitzera</i> <i>racemosa</i>	LC
<i>Rhizophora</i> L.	Tropical and subtropical regions	Rhizophoraceae	<i>Rhizophora</i> <i>mangle</i>	LC
			<i>Rhizophora</i> <i>mucronata</i>	LC
			<i>Rhizophora</i> <i>racemosa</i>	LC
			<i>Rhizophora</i> <i>harrisonii</i>	NA
			<i>Rhizophora</i> <i>apiculata</i>	LC
<i>Avicennia</i> L.	Tropical and Subtropical regions	Acanthaceae	<i>Avicennia</i> <i>marina</i>	LC
			<i>Avicennia</i> <i>schaueriana</i>	LC
			<i>Avicennia</i> <i>germinans</i>	LC
			<i>Avicennia</i> <i>corniculata</i>	NA

Survey contaminants

In the articles kept for analysis, six types of contaminants of petroleum origin. Contaminants ranged from water-soluble portions PAH -Polycyclic aromatic hydrocarbons) and TPH (total hydrocarbons), refined contaminants (diesel oil, lubricating oil and BHT (Butylated Hydroxytoluen)), in addition to the spillage of crude petroleum oil itself. Considering the countries that had the most locations sampled in the studies, three stand out; China (50 case studies), Brazil (19 case studies) and South Africa (13 case studies) (Fig 3). We emphasize that we only count the sites where the materials were collected and not the laboratories where they were processed and analyzed.

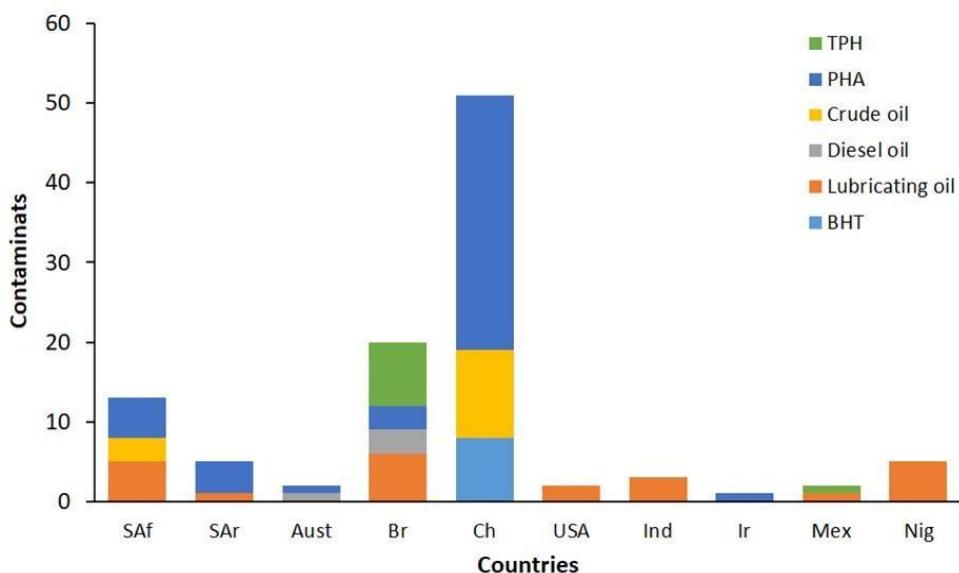


Fig 3. Contaminants by country, found in the 106 case studies of the 57 articles analyzed in this study. Identified by the colors of the bars, the following contaminants are illustrated: TPH (total hydrocarbons), PAH (polycyclic aromatic hydrocarbons) and BHT (butylated hydroxytoluene). Countries are described by acronyms; SAf (South Africa), SAR (Saudi Arabia), Aust (Australia), Br (Brazil), Ch (China), USA (United States of America), Ind (Indonesia), Ir (Iran), Mex (Mexico) and Nig (Niger).

Survey macro-areas of studies

Among the macro-areas of studies, we observed that most case studies fall into the area of physiology (85 case studies), followed by anatomy (6 case studies), ecology (9 case studies) and last genetics (4 case studies) (Fig 4).

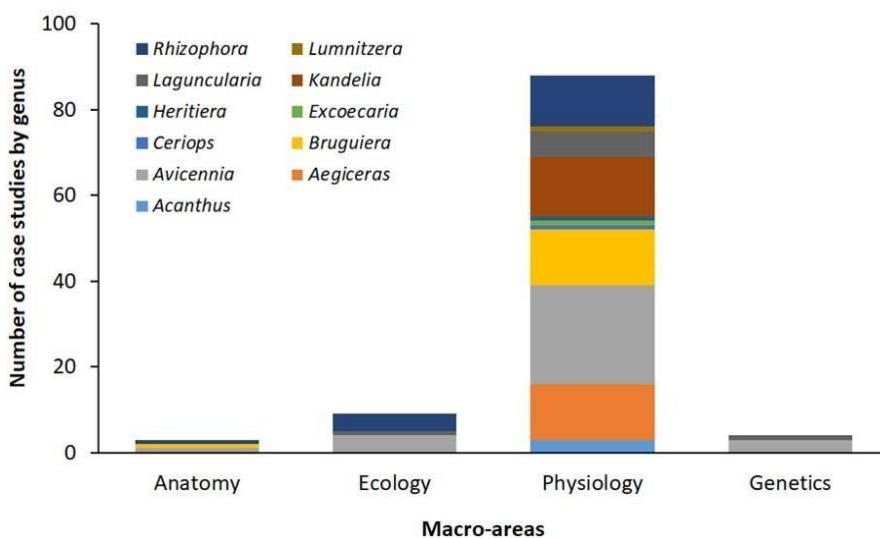


Fig 4. Macro-areas of studies by plant genus; where case studies (articles) were categorized according to the methodology with the genera of the species found.

The number of articles that portray the macro-area Plant Physiology was greater than the other macro-areas, in this sense it was subdivided into more specific areas, seeking to facilitate the understanding of the data. These areas were named as; growth and development (when relating the effect of the pollutant on the growth and development of plants or propagules), phytoremediation (when the topic is the potential for phytoremediation or bioaccumulation of a given mangrove species to the contaminant) and germination (when the effect of the pollutant is analyzed as a pollutant in the germination of the species' propagules) (Fig 5).

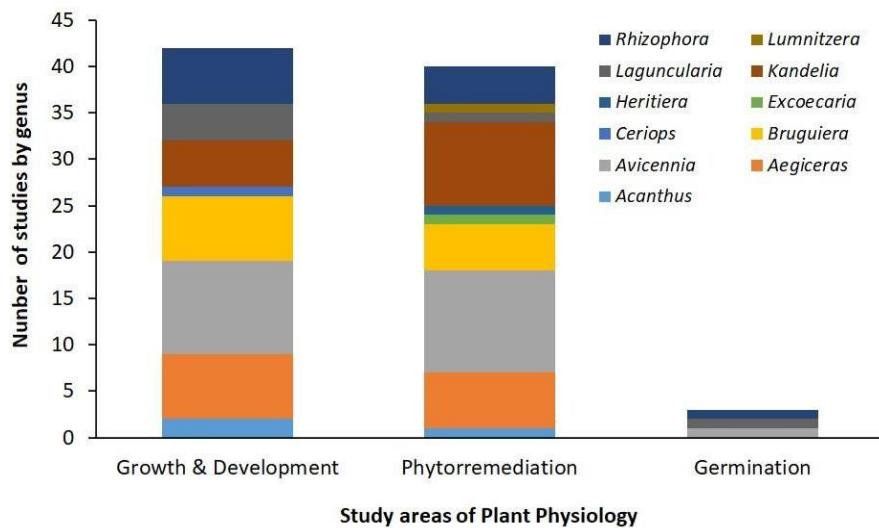


Fig 5. Categorization of the macro-area plant physiology, differentiating according to the methodological approach used in each study.

Survey of part of the plants used

Among the four categories of plant parts, the most used was the whole plant (47 case studies), followed by roots (28 case studies), propagules (17 case studies) and leaves (12 case studies) (Fig 6). Aiming at having a broader view of the methodologies used, in order to find gaps, we list the macro-areas of studies in a graph, with the parts of the plants used by genus of the species studied (Fig 5). With this graph we also observe the predominance of plant physiology more evident in case studies with whole plant and roots (34 and 26 respectively) on the other hand we observe that in genetics the 4 case studies found are with whole plant and propagule (3 and 1 respectively). Ecology, on the other hand, we only found works with whole plant, since these studies dealt with remote sensing and/or restoration of areas degraded by pollutants. Another fact that we observed is the predominance of the use

of leaves in methodologies in the macro-area of plant physiology.

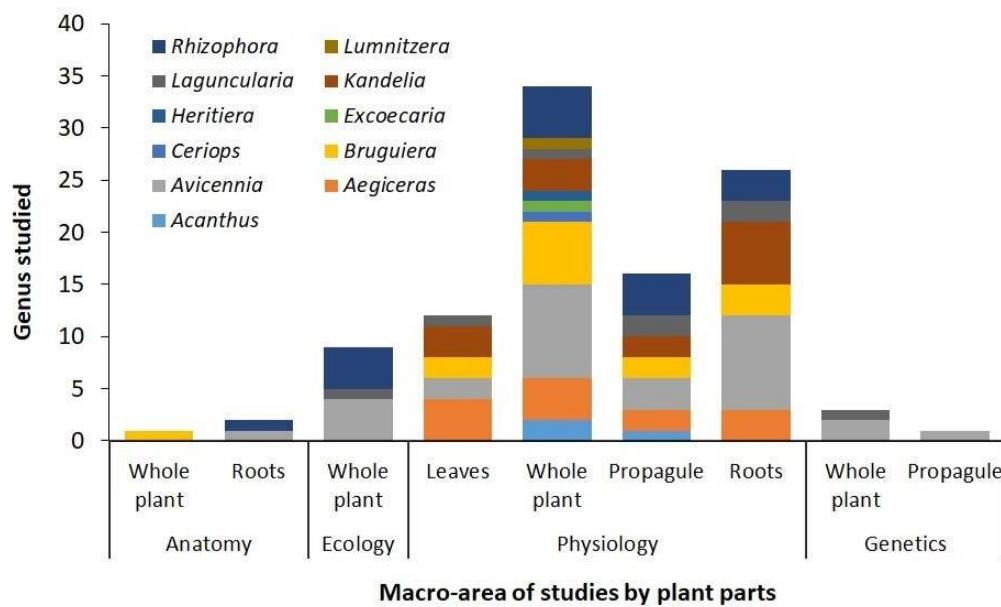


Fig 6. Graph illustrating the relationship between the types of methodologies found (macro study areas) with the parts of the plants studied from different genera. Where: leaves studies using only the leaves, roots, studies using only the roots, propagule, studies using only the propagule and whole plant studies where the plant as a whole is studied, from the leaf to the roots, sometimes excluding reproductive parts.

Discussion

For the first time, a scientometric study was carried out relating contaminants derived from oil, with only arboreal species from mangroves on a global scale. Considering the importance of mangroves, especially tree species exclusive to this ecosystem for their maintenance, just 51 articles in 20 years, is a worrying number, considering that the use of petroleum derivatives on a global scale is not decreasing. Considering other reviews on pollution in this ecosystem, it is confirmed that there are few articles published on the topic (e.g. Billah et al 2022; Gao et al 2022).

Spikes in publications were detected shortly after oil spills (for example, accidents in Guanabara Bay, Brazil, in 2002, and another in the Gulf of Mexico, in 2010). On the other

hand, the biggest environmental disaster that has ever occurred in Brazil was the spill of crude oil along the entire Northeast coast, published regarding the topic of this review, in question. This accident affected and still affects the entire food web (De Santana Campelo et al 2021), in addition to the local economy such as coastal communities that live off fishing, extractivism and tourism (Magris et al 2020, ITOPF, 2023). In a survey of oil spill cases from 2000 to 2020, 27 accidents were recorded, predominantly in tropical regions. However, only in four of these disasters was the presence of the contaminant found in mangroves (ITOPF, 2023). Comparing the location of these accidents with the literature researched for the database of this review, it is clear that none of these locations where accidents occurred have been studied to the point of generating scientific works. Furthermore, even when it comes to the presence of other pollutants in mangroves, the number of published works is scarce, as demonstrated in scientometric reviews for plastics and microplastics (e.g. Manullang et al., et al 2020; Deng et al., et al 2021). It is worrying, since several coastal communities and riverine communities live in subsistence extractivism in these ecosystems (Instituto Chico Mendes, 2018), which can be directly or indirectly contaminated through the consumption of animals collected in the areas, in addition to the leaves of the plants themselves being used as condiments in foods of traditional communities (Andrade et al 2013; Chowdhury et al 2021).

Based on research carried out in the media and at ITOPF (The International Tanker Owners Pollution Federation Limited), it is observed that incidents are published years later, reaching the deadline of only having complete information about the impact after a decade. An example of this was a significant oil spill that occurred in the Niger Delta in 2008 and studies on the impacts on mangrove trees only began to appear in 2016, with Naidoo & Naidoo, 2016) (Fig. 2). Another case of this delay in publishing the impacts of these

contaminants, mainly on trees, is the crude oil spill that occurred on the Northeast coast of Brazil in 2019. This disaster was considered the largest in Brazil (Magris, 2020), but by the deadline collection of articles, nothing on the topic covered here was published.

It is understood that it is important to know the impacts in the medium and long term, but it is of great value to know the impacts immediately after the accidents. The country with the largest number of studies and the greatest volume of data on contamination by petroleum material was China. Probably due to the number of factories in the country, environmental disasters may occur more frequently. An example is the contamination of mangrove trees by BHT (Butylated Hydroxytoluene), in factories producing vegetable, cosmetic and cleaning products (Miguel, 1992).

Brazil is the second largest country in terms of number of studies, probably because it has an extensive coastal area (IBGE, 2012). Furthermore, oil extraction and refining activities (PETROBRAS, 2021) increase the probability of environmental disasters with these contaminants (e.g. Spills in Guanabara Bay in Rio de Janeiro in 2000 and 2005) (Acselrad & Melo, 2002). With these spills, contamination also occurred with polycyclic aromatic hydrocarbons and total hydrocarbons (PAH and TPH respectively) (Lewis, et al 2011; Billah et al 2022), the contaminants that were found most in case studies for the country (n=55). These contaminations can occur due to the release of spilled crude oil into the environment, and are likely to become more prevalent in the environment. The existence of PAH and TPH are indicators that contamination of crude oil originating from petroleum has already occurred in the region, as these are part of its composition, and their quantity can vary between the oil sources and the time in which the contamination occurs (Meinschein, 1959; Billah et al 2022). Most case studies are related to investigations on impacts arising from the accidental spillage of crude oil in areas close to mangroves (e.g. Chindah et al 2011; Dealtry et al 2018; Hughes et al 2018; among others).

When it's about the most studied tree genus, we have the *Avicennia* species with 31% of the case studies. In this case, what happens may be due to the distribution and quantity of species, which are found in abundance throughout the world (KEW, 2023; IUCN, 2023). These species are widely used for studies with contaminants ranging across large areas of botany, predominating in physiology in bioaccumulation research in countries such as China and Saudi Arabia (e.g. studies such as those by Li et al 2017; Bashir et al 2017; El_Maradny, 2021; among others). Studies of this nature may be common in these areas as they are countries with high oil extraction as well as its refinement and use to produce manufactured goods.

On the other hand, genus with very restricted distribution such as *Acanthus* L., *Ceriops* Arn. and *Eichhornia* Kunth (KEW, 2023) present few studies and consequently few publications (n=5). These genus are also used as study objects for bioaccumulation and phytoremediation (Obogu et al 2019; Whang et al 2014; respectively). However, some studies seek to understand the effect of crude petroleum oil on the growth and development of species in these genus (Zhang et al 2007; Ke et al 2011; Harisam et al 2018). Studies of this nature can help us understand how species behave with contamination in addition to the degree of lethality of the pollutant.

While mangroves play an important role in maintaining coastal environments, especially the trees that build the landscapes. These organisms arouse great curiosity among ecophysiology researchers due to their unique characteristics and adaptations to the environment in which they live (Pascoalini et al 2014). Probably due to this interest, we have a greater number of studies in plant physiology than in other areas (around 82% of case studies). Among these studies, the majority (34 case studies) focus on whole plant physiology (e.g., Dealtry et al 2018; Verâne et al; 2020; El-Maradny et al 2020), while only one article deals with restoration (macro-area ecology) (Connolly et al 2020). Thus, we found a gap to be filled in studies related to the ecology of mangroves affected by petroleum

contaminants, as well as the use of reproductive structures and leaves as material to be analyzed with the aforementioned methodologies. Although in recent years, there has been a trend of increasing research related to the focus of this review.

Final considerations:

At the end of this work, we concluded that there are few articles on the subject, highlighting the number of 51 articles in 20 years, tree species that are exclusive to a single ecosystem. In addition, we can observe that where most accidents occur are in crude oil refining sites, where it is observed by reading the works and comparing them with journalistic research, some places have a recurrence of these accidents, which can become chronic contamination. We also observed that the use of physiology is the most used area of knowledge, probably, knowing how species function when faced with the stress of contamination can help to find mitigating measures in the future. On the other hand, genetics and ecology are areas of knowledge that are little used, which could be further explored and thus better address a topic that lacks more information and studies, mainly to try to find ways to reduce the effect of oil on mangrove trees.

Conflict of Interest The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be considered as a potential conflict of interest.

Acknowledgements This research was co-supported by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001. Carolina B. Teles gratefully acknowledge CAPES for her doctoral fellowship. Marcelo S. Mielke (308860/2021-7) and Ândrea Carla Dalmolin (307604/2020-9) gratefully acknowledge the Brazilian National Council for Scientific and

Technological Development (CNPq) for the fellowship award for scientific productivity.

References

- Acselrad, H., & C. D. A., Mello, (2002). Conflito social e risco ambiental: o caso de um vazamento de óleo na Baía de Guanabara. *Ecología Política. Naturaleza, sociedad y utopía*, 293-317.
- Andrade J., V.Hatje, G.Nubia, N.Ribeiro, (2013). *Atlas da culinária na Baía de todos os Santos*, ed. EDUFBA, Salvador, Bahia.
- Aria M., & C. Cuccurullo (2017). “bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis.” *Journal of Informetrics*, 11: 959-975. <https://doi.org/10.1016/j.joi.2017.08.007>
- Barcellos, D., H. M. Queiroz, G. N. Nóbrega., R. L de Oliveira Filho, S. T., Santaella, X. L., Otero, & T. O. Ferreira,(2019). Phosphorus enriched effluents increase eutrophication risks for mangrove systems in northeastern Brazil. *Marine pollution bulletin* 142: 58-63 <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.03.031>.
- Bashir M., El-Maradny M., El-Sherbiny K., Orif M., (2017) Bioconcentration of polycyclic aromatic hydrocarbons in the grey mangrove *Avicennia marina* along eastern coast of the red sea. *Open Chemistry*. 10.1515/chem-2017-0038.
- Billah,M.M., Bhuiyan, M.K.A., Amran, M.I.U.A., Cabral, A. C.,& Garcia M.R.D. (2022). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) pollution in mangrove ecosystems: global synthesis and future research directions. *Reviews in EnvironmentalScience and Bio/Technology*, 21 (3), 747-770 doi.org/10.1007/s11157-022-09625-0
- Chindah, A. C., S. A Braide., J. O., Amakiri, & J. Onokurhefe,(2011). Effect of crude oil on the development of white mangrove seedlings (*Avicennia germinans*) in the Niger Delta, Nigeria. *Polish Journal of Environmental Studies* 20: 275-284. <https://doi.org/10.1590/1809-4392202202342>
- Chowdhury, A., A., Naz, & S. K. Maiti, (2021). Bioaccumulation of potentially toxic elements in three mangrove species and human health risk due to their ethnobotanical uses. *Environmental Science and Pollution Research* 28: 33042-33059. <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12566-w>
- Connolly, R. M., F. N., Connolly, & M. A. Hayes, (2020). Oil spill from the Era: Mangroves taking eons to recover. *Marine pollution bulletin* 153: 110965. 10.1016/j.marpolbul.2020.110965
- Dealtry, S., A. M., Ghizelini, L., Mendonça-Hagler, R. M Chaloub, F. Reinert, , , T. M., de Campos. & K. Smalla, (2018). Petroleum contamination and bioaugmentation in bacterial rhizosphere communities from *Avicennia schaueriana*. *Brazilian Journal of Microbiology*, 49: 757-769. 10.1016/j.bjm.2018.02.012
- De Melo, A. T., & E. J. S. Sierra, (2011). Biogeografia dos manguezais. *Geografia* 36: 311-334.
- De Santana Campelo, R. P., de Lima, C. D. M., de Santana, C. S., da Silva, A. J., Neumann-Leitão, S., Ferreira, B. P., ... & de Castro Melo, P. A. M. (2021). Oil spills: The invisible impact on the base of tropical marine food webs. *Marine Pollution Bulletin*,

- 167, 112281. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112281>
- Deng, H., J., He, D., Feng, , Y., Zhao W., Sun, H. Yu, & C. Ge,(2021). Microplastics pollution in mangrove ecosystems: a critical review of current knowledge and future directions. *Science of The Total Environment* 753: 142041. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142041>
- Dos Santos Garcia, J., Â. C., Dalmolin, M. G. C., França, & P. A. O Mangabeira, (2017). Different salt concentrations induce alterations both in photosynthetic parameters and salt gland activity in leaves of the mangrove *Avicennia schaueriana*. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 141: 70-74. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2017.03.016>
- Dos Santos Garcia, J. S., Â. C Dalmolin, P. A Cortez, P. S., Barbeira, P. A Mangabeira, & M. G. França, (2018). Short-term cadmium exposure induces gas exchanges, morphological and ultrastructural disturbances in mangrove *Avicennia schaueriana* young plants. *Marine Pollution Bulletin* 131: 122-129. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.03.058>
- Duke, N. C., & S Zuleika. M. Pinzon, (1992). Aging *Rhizophora* seedlings from leaf scar nodes: a technique for studying recruitment and growth in mangrove forests. *Biotropica* 173-186 <https://doi.org/10.2307/2388671>.
- Duke, N. C., & A. J., Watkinson, (2002). Chlorophyll-deficient propagules of *Avicennia marina* and apparent longer term deterioration of mangrove fitness in oil-polluted sediments. *Marine Pollution Bulletin*, 44: 1269-1276. 10.1016/S0025-326X(02)00221-7
- Duke, N. C. (2016). Oil spill impacts on mangrove: recommendations for operational planning and action base don a global review. *Marine pollution bulletin* 109 (2), 700-715. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.082>.
- El-Maradny, A., M. M El-Sherbiny, M. Ghandourah, M. El-Amin Bashir, & M. Orif, (2020). PAH bioaccumulation in two polluted sites along the eastern coast of the Red Sea, Saudi Arabia. *International Journal of Environmental Science and Technology* 18: 1335-1348. 10.1007/s13762-020-02929-0
- Gao, Y., K., Fan, Z.Lai, C. Wang., H. Li, , & Q. Liu, (2022). A comprehensive review of the circulation of microplastics in aquatic ecosystem using scientometric method. *Environmental Science and Pollution Research* 29: 30935-30953. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-18837-4>
- Harisam T., Sugiyono S., Pribadi R;Sari S A., Marnani S., Wisudyanti B H D., Arie P N., (2018). Acute effects of crude oil for three common mangrove seedling in segara anakan nature reserve sanr cilacap Indonesia. *E3s Web Of Conferences*. 10.1051/e3sconf/20184704005.
- Hughes, A. R., J Cebrian, K. Heck, J., Goff, T. Hanley, W. Scheffel, & R. A. Zerebecki, (2018). Effects of oil exposure, plant species composition, and plant genotypic diversity on salt marsh and mangrove assemblages. *Ecosphere* 9: e02207. 10.1002/ecs2.2207
- IBGE: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRÁFIA E ESTATÍSTICA, (2012) Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Ed.2. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro,
- Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade do Brasil, (2018). *Atlas dos manguezais do Brasil*. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade.
- ITOPF, (2019). Available in:<https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/document/ocean-orbit/>,accessed in: november, 2019.
- ITOPF (2023). Available in <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents->

- guides/document/ocean-orbit/, accessed in: january, 2023.
- IUCN, (2023). available i: <https://www.iucnredlist.org/> , accessed in: setember,2023 Lewis, M., Pryor, R. & Wilking, L. (2011). Fate and effects of anthropogenic chemicals in mangrove ecosystems: a review. *Environmental pollution* 159 (10), 2328-2346. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.04.027>
- Li R., Liu B., Zhu Y., Zhang Y., (2017) Effects of flooding and aging on phytoremediation of typical polycyclic aromatic hydrocarbons in mangrove sediments by *Kandelia obovata* seedlings. *Ecotoxicology And Environmental Safety*. 10.1016/j.ecoenv.2016.02.002.
- Magris, R. A., & T. Giarrizzo, (2020). Mysterious oil spill in the Atlantic Ocean threatens marine biodiversity and local people in Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 153: 110961. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110961>
- Marisha, (2019). Scientometric analysis of current science. *Current Science* 117:190-197. doi: 10.18520/cs/v117/i2/190-197
- Manullang, C. Y., (2020). Distribution of plastic debris pollution and its implications on mangrove vegetation. *Marine Pollution Bulletin* 160: 111642. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.111642>
- Martin, C., F. Baalkhuyur, L. Valluzzi, V. Saderne, M. Cusack, H. Almahasheer, P. K. Krishnakumar L. Rabaoui, M.A. Qurban A. Arias-Ortiz, P. Masqué, C. M. Duarte, (2020). Exponential increase of plastic burial in mangrove sediments as a major plastic sink. *Science Advances* 6: eaaz5593. doi: 10.1126/sciadv.aaz5593
- Meinschein, W. G., (1959). Origin of petroleum. *AAPG Bulletin*, 43: 925-943 <https://doi.org/10.1306/0BDA5CF9-16BD-11D7-8645000102C1865D>.
- Miguel, A. H., (1992). Poluição atmosférica urbana no Brasil: uma visão geral. *Química Nova*, 15: 116-125.
- Moradi, B., H. Z Kissen, H. Z. Maivan, M. S., Hashtroudi, M. Sorahinobar, T. Sparstad & A. M. Bones, (2020). Assessment of oxidative stress response genes in *Avicennia marina* exposed to oil contamination–Polyphenol oxidase (PPOA) as a biomarker. *Biotechnology Reports* 28: e00565. 10.1016/j.btre.2020.e00565
- Naidoo, G., (2010). Ecophysiological differences between fringe and dwarf *Avicennia marina* mangroves. *Trees* 24: 667-673. 10.1016/j.flora.2009.12.033
- Naidoo, G., & K. Naidoo, (2016). Uptake of polycyclic aromatic hydrocarbons and their cellular effects in the mangrove *Bruguiera gymnorhiza*. *Marine Pollution Bulletin* 113: 193-199. 10.1016/j.marpolbul.2016.09.012
- Naidoo, G (2016). Mangrove propagule size and oil contamination effects does size matter. *Marine Pollution Bulletin*. 10.1016/j.marpolbul.2016.06.040
- Nansingh, P, & Jurawan, S (1999) Environmental sensitivity of a tropical coastline (Trinidad, West Indies) to oil spills. *Spill Science & Technology Bulletin*, 5(2), 161-172. [https://doi.org/10.1016/S1353-2561\(98\)00052-8](https://doi.org/10.1016/S1353-2561(98)00052-8)
- Ke L., Zhang C., Guo C., Lin N. (2011). Effects of environmental stresses on the responses of mangrove plants to spent lubricating oil. *Marine Pollution Bulletin*. 10.1016/j.marpolbul.2011.05.016.
- Kew Herbarium, (2023). Available in: <http://apps.kew.org/herbcat/navigator.do> . accessed in: august,2023 2023.

- Ubogu M., Odokuma L., Akponah E., (2019). Enhanced rhizoremediation of crude oilcontaminated mangrove swamp soil using two wetland plants *Phragmites australis* and *Eichhornia crassipes*. Brazilian Journal Of Microbiology. 10.1007/s42770-019-00077-3.
- Pascoalini, S. S., D. M de Santana Lopes, A. R. Falqueto, & M. M. P. Tognella, (2014). Abordagem ecofisiológica dos manguezais: uma revisão. Biotemas, 27(3), 1-11. <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2014v27n3p1>
- PETROBRAS (2021). Available in: <http://www.petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/exploracao-e-producao-de-petroleo-e-gas/>, accessed in setember, 2021.
- Prisma diagram, (2020). Available in: www.prisma-statement.org , accessed in june, 2020.
- Robertson, A. I., & Alongi, D. M., (1992). Tropical mangrove ecosystems (No. 574.52632 T7).
- Sandilyan, S, K. Kathiresan., (2012). Mangrove conservation: a global perspective. Biodiversity and Conservation, v. 21, n. 14, p. 3523-3542. <https://doi.org/10.1007/s10531-012-0388-x>
- Santos, F.R., Martins, D.A.,Morais, P.C., Oliveira, A.H., Gama, A.F., Nascimento, R.F.,...& Calvacante, R.M. (2019) Influence of anthropogenic activities and risk assesment on projected mangrove forest using traditional and amerging molecular markers (Ceará coast, northeastern Brazil). Science of the Total Environment, 656, 877-888 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.380>.
- Schaeffer-Novelli, Y. A. R. A., (1999). Grupo de ecossistemas: manguezal, marisma e apicum. São Paulo.
- Schaeffer-Novelli, Y., G. Cintrón-Molero, M. L. G. Soares, & T. De-Rosa, (2000). Brazilian mangroves. Aquatic Ecosystem Health & Management 3: 561-570. <https://doi.org/10.1080/14634980008650693>
- Verâne, J., N. C., Dos Santos, V. L., da Silva., M., de Almeida, O. M. de Oliveira, & Í. T. Moreira, (2020). Phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in mangrove sediments using *Rhizophora mangle*. Marine Pollution Bulletin 160: 111687. 10.1016/j.marpolbul.2020.111687
- Wang Y., Zhu H., Tam N., (2014) Polyphenols tannins and antioxidant activities of eight true mangrove plant species in South China. Plant And Soil. 10.1007/s11104-013-1912-9.
- Welte, D. H., & M. A. Yukler, (1981). Petroleum origin and accumulation in basin evolution—a quantitative model. AAPG Bulletin, 65: 1387-1396. <https://doi.org/10.1306/03B59553-16D1-11D7-8645000102C1865D>
- Zaier, H., T., Ghnaya, A., Lakhdar, R., Baioui, R., Ghabriche, M., Mnasri,..., & C., Abdelly, (2010). Comparative study of Pb-phytoextraction potential in *Sesuvium portulacastrum* and *Brassica juncea*: tolerance and accumulation. Journal of Hazardous Materials, 183: 609-615 <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.07.068>.
- Zhang C., Leung K., Wong Y., Tam N., (2007). Germination growth and physiological responses of mangrove plant *Bruguiera gymnorhiza* to lubricating oil pollution. Environmental And Experimental Botany. 10.1016/j.envexpbot.2006.09.002.

Supplementary Material

Table 1 (Supplementary Material). References of the articles analyzed for the review, where Number is the Number referring to the total table formed with all the articles collected from the platforms.

NÚMERO	REFERÊNCIA
5	VERÂNE, Jéssica et al Phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in mangrove sediments using <i>Rhizophora mangle</i> . Marine Pollution Bulletin , v. 160, p. 111687, 2020.
10	EL-MARADNY, A. et al PAH bioaccumulation in two polluted sites along the eastern coast of the Red Sea, Saudi Arabia. International Journal of Environmental Science and Technology , v. 18, n. 6, p. 1335-1348, 2021.
25	CONNOLLY, Rod M.; CONNOLLY, Finnian N.; HAYES, Matthew A. Oil spill from the Era: Mangroves taking eons to recover. Marine pollution bulletin , v. 153, p. 110965, 2020.
41	LÓPEZ-JIMÉNEZ, José Guadalupe et al <i>Laguncularia racemosa</i> (Combretaceae) and associated ground bacteria half a century after chronic oil pollution. Revista de Biología Tropical , v. 67, n. 6, p. 1194-1209, 2019.
53	UBOGU, Monday; ODOKUMA, Lucky O.; AKPONAH, Ejiro. Enhanced rhizoremediation of crude oil-contaminated mangrove swamp soil using two wetland plants (<i>Phragmites australis</i> and <i>Eichhornia crassipes</i>). Brazilian Journal of Microbiology , v. 50, n. 3, p. 715-728, 2019.
58	SAMPAIO, Carla JS et al Biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in a diesel oil-contaminated mangrove by plant growth-promoting rhizobacteria. 3 Biotech , v. 9, n. 4, p. 1-10, 2019.
67	DE FREITAS GUEDES, Fernanda Alves et al Characterization of <i>Laguncularia racemosa</i> transcriptome and molecular response to oil pollution. Aquatic Toxicology , v. 205, p. 36-50, 2018.
71	DEALTRY, Simone et al Petroleum contamination and bioaugmentation in bacterial rhizosphere communities from <i>Avicennia schaueriana</i> . brazilian journal of microbiology , v. 49, p. 757-769, 2018.
72	NAIDOO, Gonasageran; NAIDOO, Krishnaveni. Uptake and accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the mangroves <i>Avicennia marina</i> and <i>Rhizophora mucronata</i> . Environmental Science and Pollution Research , v. 25, n. 29, p. 28875-28883, 2018.
80	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, p. e02207, 2018.
84	LI, Ruilong et al Development of a novel methodology for in vivo quantification of N/O/S-containing polycyclic aromatic hydrocarbons located on the epidermis of mangrove roots using graphene quantum dots as a fluorescence quencher. Marine pollution bulletin , v. 127, p. 424-428, 2018.
87	ORIF, Mohammed; EL-MARADNY, Amr. Bio-accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the grey mangrove (<i>Avicennia marina</i>) along Arabian gulf, Saudi coast. Open Chemistry , v. 16, n. 1, p. 340-348, 2018.
88	ADAMU, Bashir; TANSEY, Kevin; OGUTU, Booker. 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.
91	NAIDOO, Gonasageran; NAIDOO, Krishnaveni. Ultrastructural effects of polycyclic aromatic hydrocarbons in the mangroves <i>Avicennia marina</i> and <i>Rhizophora mucronata</i> . Flora , v. 235, p. 1-9, 2017.
94	CHEQUER, Luciana et al Response of mangrove propagules to the presence of oil-and hydrocarbon-degrading bacteria during an experimental oil spill. Latin american journal of aquatic research , v. 45, n. 4, p. 814-821, 2017.
98	LI, Ruilong et al The retention and distribution of parent, alkylated, and N/O/S-containing polycyclic aromatic hydrocarbons on the epidermal tissue of mangrove seedlings. Environmental Pollution , v. 226, p. 135-142, 2017.
102	JIANG, Shan et al Response of low-molecular-weight organic acids in mangrove root exudates to exposure of polycyclic aromatic hydrocarbons. Environmental Science &

	Pollution Research , v. 24, n. 13, 2017.
107	BASHIR, M. El-Amin et al Bio-concentration of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the grey Mangrove (<i>Avicennia marina</i>) along eastern coast of the Red Sea. Open Chemistry , v. 15, n. 1, p. 344-351, 2017.
109	REINERT, Fernanda; DE PINHO, Camila Ferreira; FERREIRA, Marcio Alves. Diagnosing the level of stress on a mangrove species (<i>Laguncularia racemosa</i>) contaminated with oil: A necessary step for monitoring mangrove ecosystems. Marine pollution bulletin , v. 113, n. 1-2, p. 94-99, 2016.
110	NAIDOO, Gonasageran; NAIDOO, Krishnaveni. Uptake of polycyclic aromatic hydrocarbons and their cellular effects in the mangrove <i>Bruguiera gymnorhiza</i> . Marine pollution bulletin , v. 113, n. 1-2, p. 193-199, 2016.
115	NAIDOO, Gonasageran. Mangrove propagule size and oil contamination effects: Does size matter?. Marine pollution bulletin , v. 110, n. 1, p. 362-370, 2016.
128	SHAPIRO, Kristen; KHANNA, Shruti; USTIN, Susan 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, p. 33, 2016.
129	LI, Rui-Long et al Effects of flooding and aging on phytoremediation of typical polycyclic aromatic hydrocarbons in mangrove sediments by <i>Kandelia obovata</i> seedlings. Ecotoxicology and environmental safety , v. 128, p. 118-125, 2016.
144	PARTANI, S. et al Investigating Natural Physical Adsorption of Oil Content by Mangroves, A field-scale study. International Journal of Environmental Research , v. 9, n. 1, p. 373-384, 2015.
149	TANSEL, Berrin 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.
168	LI, R. L. et al In situ simultaneous investigation of the transport of phenanthrene and fluoranthene adsorbed onto the root surfaces to tissues of mangrove seedlings. Analytical Methods , v. 7, n. 16, p. 6828-6836, 2015.
175	LI, Fenglan et al Contamination of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in surface sediments and plants of mangrove swamps in Shenzhen, China. Marine pollution bulletin , v. 85, n. 2, p. 590-596, 2014.
186	WANG, Yuanyuan et al Effects of low molecular-weight organic acids and dehydrogenase activity in rhizosphere sediments of mangrove plants on phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbons. Chemosphere , v. 99, p. 152-159, 2014.
194	WANG, Ying; ZHU, Haowen; TAM, Nora Fung Yee. Polyphenols, tannins and antioxidant activities of eight true mangrove plant species in South China. Plant and soil , v. 374, n. 1, p. 549-563, 2014.
198	SUN, Hai-Feng et al In situ determination mechanisms for the depuration of polycyclic aromatic hydrocarbons adsorbed onto the leaf surfaces of living mangrove seedlings. Journal of hazardous materials , v. 262, p. 339-347, 2013.
199	SUN, Haifeng et al In situ investigation of the depuration of fluoranthene adsorbed on the leaf surfaces of living mangrove seedlings. Talanta , v. 116, p. 441-447, 2013.
209	TANSEL, Berrin; LEE, Mengshan; TANSEL, Derya 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.
222	MOREIRA, Icaro TA et al Phytoremediation in mangrove sediments impacted by persistent total petroleum hydrocarbons (TPH's) using <i>Avicennia schaueriana</i> . Marine pollution bulletin , v. 67, n. 1-2, p. 130-136, 2013.
223	SODRÉ, Vanessa et al Physiological aspects of mangrove (<i>Laguncularia racemosa</i>) grown in microcosms with oil-degrading bacteria and oil contaminated sediment. Environmental pollution , v. 172, p. 243-249, 2013.
241	SANTOS, Luciana Cavalcanti Maia 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.
245	WANG, Ping et al Novel method for in situ investigation of PAH adsorption onto mangrove leaves. Journal of Coastal Research , v. 28, n. 2, p. 499-504, 2012.
257	LU, Haoliang et al Rhizodegradation gradients of phenanthrene and pyrene in sediment of mangrove (<i>Kandelia candel</i> (L.) Druce). Journal of hazardous materials , v. 196, p. 263-

	269, 2011.
259	MOREIRA, Icaro TA et al Phytoremediation using <i>Rizophora mangle</i> L. in mangrove sediments contaminated by persistent total petroleum hydrocarbons (TPH's). Microchemical Journal , v. 99, n. 2, p. 376-382, 2011.
264	DO CARMO, Flávia Lima et al Bacterial structure and characterization of plant growth promoting and oil degrading bacteria from the rhizospheres of mangrove plants. The Journal of Microbiology , v. 49, n. 4, p. 535, 2011.
274	CHINDAH, Alex C. et al Effect of crude oil on the development of white mangrove seedlings (<i>Avicennia germinans</i>) in the Niger Delta, Nigeria. Polish Journal of Environmental Studies , v. 20, n. 2, p. 275-284, 2011.
276	KE, Lin et al Dose and accumulative effects of spent lubricating oil on four common mangrove plants in South China. Ecotoxicology and environmental safety , v. 74, n. 1, p. 55-66, 2011.
278	KE, Lin et al Effects of environmental stresses on the responses of mangrove plants to spent lubricating oil. Marine pollution bulletin , v. 63, n. 5-12, p. 385-395, 2011.
302	NAIDOO, Gonasageran; NAIDOO, Yougasphree; ACHAR, Premila. Responses of the mangroves <i>Avicennia marina</i> and <i>Bruguiera gymnorhiza</i> to oil contamination. Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants , v. 205, n. 5, p. 357-362, 2010.
337	ZHANG, C. G. et al Germination, growth and physiological responses of mangrove plant (<i>Bruguiera gymnorhiza</i>) to lubricating oil pollution. Environmental and Experimental Botany , v. 60, n. 1, p. 127-136, 2007.
342	YONG, Y. E.; TAM, N. F. Y. Effects of used lubricating oil on two mangroves <i>Aegiceras corniculatum</i> and <i>Avicennia marina</i> . Journal of Environmental Sciences , v. 19, n. 11, p. 1355-1360, 2007.
348	COSTA, L. N.; ALVES, L. S. Evaluation of the Impacts of Petroleum Hydrocarbates in the Reproductive Cycle of, and in Brazilian Mangroves.
376	DUKE, Norman C.; WATKINSON, Andrew J. Chlorophyll-deficient propagules of <i>Avicennia marina</i> and apparent longer term deterioration of mangrove fitness in oil-polluted sediments. Marine pollution bulletin , v. 44, n. 11, p. 1269-1276, 2002.
406	MORADI, Babak et al Assessment of oxidative stress response genes in <i>Avicennia marina</i> exposed to oil contamination–Polyphenol oxidase (PPOA) as a biomarker. Biotechnology Reports , v. 28, p. e00565, 2020.
650	HARISAM, Taufan et al Acute effects of crude oil for three common mangrove seedling in segara anakan nature reserve (sanr) cilacap, Indonesia. In: E3S Web of Conferences . EDP Sciences, 2018. p. 04005.
718	OCHEGE, Friday Uchenna et al Geospatial assessment of vegetation status in Sagbama oilfield environment in the Niger Delta region, Nigeria. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science , v. 20, n. 2, p. 211-221, 2017.
784	NAIDOO, Gonasageran; NAIDOO, Krishnaveni. Are pioneer mangroves more vulnerable to oil pollution than later successional species? Marine pollution bulletin , v. 121, n. 1-2, p. 135-142, 2017.

CAPÍTULO 2:

Influência de contaminantes derivados do petróleo no teor de água e na eficiência fotoquímica de folhas de *Rhizophora mangle* L. (Rhizophoraceae)

Resumo

Manguezais são ecossistemas florestais costeiros únicos das regiões tropicais e subtropicais, proporcionando inúmeros serviços ecossistêmicos. Em todo mundo o gênero *Rhizophora* spp se destaca pela sua ampla distribuição, sendo *Rhizophora mangle* L. uma das espécies com maior ocorrência e distribuição. Esse estudo teve como objetivo avaliar os efeitos do tempo de exposição a frações solúveis de quatro contaminantes derivados do petróleo na vitalidade de folhas destacadas de *R. mangle*. Bem como, identificar se a metodologia de desidratação é eficiente para analisar danos causados pela exposição aos contaminantes e por fim qual variável da florescência de clorofila *a* é mais eficiente para avaliar tais danos. Folhas de *R. mangle* foram expostas a cinco tratamentos: controle, fração solúvel de óleo cru, fração solúvel de diesel, fração solúvel de óleo de motor dois tempos (óleo de motor dois tempos acrescido de gasolina) e fração solúvel de gasolina) durante 3h, 6h, e 24h. Após a exposição aos contaminantes, em 24 e 48h as folhas foram pesadas e a fluorescência da clorofila *a* avaliada, para ensaio de desidratação foliar. Após análises conclui-se que a partir do tempo de exposição 6h, a gasolina é o contaminante que mais afeta a vitalidade das folhas. Além disso, a desidratação funcionou como uma ferramenta funcional para avaliar danos nas folhas, tendo o índice de performance Piabs como variável mais eficiente para detectar os resultados de ambos os ensaios.

Palavras chaves: Mangue, exposição, desidratação, hidrocarbonetos

Introdução

Os manguezais são ecossistemas florestais localizados restritamente nos trópicos e subtrópicos e tem como origem a região asiática, há cerca de 60 milhões de anos (Sierra, 2011; Instituto Chico Mendes, 2018 e Sofiatti, 2023). Estes ecossistemas estão entre os mais produtivos do planeta Terra, sequestrando quase dez vezes mais carbono do que uma floresta temperada (Mossman et al 2022). Quando se trata de biomassa abaixo e acima do solo, o estoque de carbono em manguezais chega a ser significativamente maior do que a floresta Amazônica (Mcleod et al 2011; Instituto Chico Mendes, 2018). Além da contribuição para o sequestro e o estoque de carbono, esses ecossistemas apresentam papel importante para fornecimento de outros serviços ecossistêmicos para as populações que vivem ao seu entorno, desde serviços de provisão até culturais (Instituto Chico Mendes, 2018).

No entanto, as florestas de mangue, assim como as demais florestas tropicais do mundo, encontram-se diante de grande pressão antrópica (Wright 2005, Giam 2017). Estima-se que as áreas de manguezais ocupam cerca de 137.760 km², correspondendo a 0,7 % do total de florestas tropicais do mundo (Giri et al 2011). Cerca de 11 % das áreas de florestas de mangue estão inseridas no território da América do Sul, mas drasticamente reduzidas ao longo do tempo (FAO, 2000). Atualmente estima-se uma drástica diminuição das áreas anteriormente cobertas por manguezais atribuída ao crescimento populacional, aquicultura, desenvolvimento industrial e urbano, e, mais recentemente, às mudanças climáticas globais (Alongi, 2002; Douglas, 2020; Bryan-Brown et al 2020).

Com o aumento da temperatura decorrente do aquecimento global, são previstos o aumento do nível do mar, ocasionando erosão costeira, bem como o avanço dos manguezais para o continente, quando possível, implicando em problemas hídricos e competição com outras espécies poderão ser fatores limitadores à conservação desses ecossistemas (Pereira & Gomes, 2021). Além do aumento no nível do mar, variações no regime de chuvas podem ocasionar mudanças edáficas, promovendo alterações na composição das espécies florestais de mangue (Alongi, 2008; Schaffer-Novelli et al 2016). Concomitantemente aos efeitos das mudanças climáticas, existem efeitos de poluentes nos manguezais, afetando de forma direta ou indireta as espécies de mangue.

A origem de compostos poluentes que atingem os manguezais é diversa, os mesmos chegam a estas áreas via continente (e.g. resíduos agroindustriais, esgoto domésticos, efluentes industriais) (Bondin et al 2013; Lorenço et al 2020) ou via oceanos originados de derramamentos durante o transporte ou extravasamento do motor de embarcações (e.g petróleo cru, óleo de motor contendo como poluentes orgânicos permanentes (POPs), hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs) ou mesmo petróleo cru (Naidoo et al 2010; Maiti et al 2013, Duke 2016). Uma vez derramado ao mar, o óleo/petróleo se dissipa através das correntes marinhas e, neste processo, pode ocorrer o intemperismo, mesmo que uma parte seja volátil, moléculas mais pesadas ficam na água, (ITOPF, 2024), disponibilizando uma ampla gama de hidrocarbonetos; muitos são compostos leves e com grande potencial de contaminação (Meinschein, 1959; Lewis et al 2011; ITOPF, 2024). Os HAPs que podem chegar aos manguezais têm como fonte o derrame de petróleo cru, e materiais refinados, a exemplo dos óleos combustíveis e lubrificantes, considerados ameaças em potencial para diversos ambientes costeiros e marinhos, já que são usados em larga escala no transporte marítimo (ITOPF, 2024).

Uma vez em contato com os hidrocarbonetos, os mangues (espécies vegetais que habitam os manguezais) sofrem efeitos imediatos ou a longo prazo (Concawe, 1998), incluindo a inibição da germinação de sementes, murchamento, senescênci a e queda de folhas, seguido por diminuição do crescimento e mortalidade das plantas (Levings et al 1997, Zhang et al 2007). A contaminação mais comum das plantas por HPAs ocorre através das raízes e caules. Nas folhas esses compostos derivados do petróleo podem se acumular, levando a formação de moléculas reativas de oxigênio, os quais promovem danos às membranas biológicas (Zhang et al 2007). Além disso, os HPAs podem causar desarranjos em organelas como os mitocôndria e cloroplastos, neste último desintegrando granas e lamelas, com subsequentes efeitos na fotossíntese (Parida et al 2004; Naidoo e Naidoo, 2017).

A análise da cinética de emissão de fluorescência da clorofila é uma técnica amplamente aceita para analisar como alterações nos cloroplastos e, principalmente, no fotossistema II (PSII) podem afetar a performance fotossintética (Strasser et al 2004). Assim, o uso da técnica de análise da emissão de fluorescência da clorofila pode auxiliar na detecção do estresse ambiental em plantas, principalmente em membranas, as quais podem ser gravemente afetadas pelos hidrocarbonetos (de Santana Lopes, 2014; Naidoo e Naidoo, 2017). Em mangues o uso destas análises pode ser destinado a detectar o estresse vegetal causados por petróleo, antes mesmo de sintomas perceptíveis a olho nu

(Reinert et al 2016). Naidoo et al (2010) demonstraram em espécies de mangue, que os danos causados por HPAs oriundos de derrames de óleo cru podem ser observados na eficiência do processo fotossintético como um todo, sendo a eficiência quântica máxima do PSII (razão Fv/Fm) comprometida logo após o contato das plantas com os HPAs.

Assim como a razão Fv/Fm pode demonstrar danos causados pela contaminação de hidrocarbonetos em plantas, outras variáveis ligadas à fluorescência da clorofila podem ser bons indicadores, como os índices de performance Piabs e Pitotal, os quais representam, respectivamente, a conservação da energia dos fótons absorvidos pelo sistema coletor de luz do PSII até a redução dos intermediários de transporte de elétrons após o PSII e a redução dos aceptores finais dos elétrons no fotossistema I (PSI) (Strasser et al 2004). Isso ocorre pelo fato de que esses índices de performance integram mais etapas da cadeia de transporte de elétrons e permitem uma análise mais detalhada dos efeitos do estresse ambiental na performance fotossintética e na vitalidade foliar de plantas em condições de estresse ambiente (Strasser et al 2004).

Peixoto & Peixoto (2009) afirmam que, no tempo inicial, o teor absoluto de água (TAA) é uma variável que pode indicar estresse em espécies arbóreas. O teor relativo de água (TRA), por sua vez, tem se mostrado uma métrica significativa para a avaliação do estresse ao longo do tempo. Em estudos relacionados ao estresse hídrico, o TRA revelou-se uma variável eficaz, especialmente quando analisada em conjunto com parâmetros da fluorescência da clorofila a, o que permite uma compreensão mais aprofundada dos estresses em tecidos vegetais e, consequentemente, em organelas foliares. Esse entendimento é particularmente relevante quando se utiliza a desidratação letal foliar como ferramenta experimental (Trueba et al., 2019). No nosso experimento utilizamos a desidratação letal para entender como ocorre o efeito das frações solúveis provenientes do petróleo nas folhas de *R. mangle*, se direta em escala de folha (órgão) destruindo tecidos como parênquima e cutícula ou indiretamente, em escala de organela, atingindo diretamente cloroplastos, como indicado em Naidoo e Naidoo (2017).

Rhizophoraceae é uma das mais antigas e abundantes famílias de plantas de mangue no planeta Terra, tendo cerca de 15 gêneros aceitos. Um dos mais conhecidos é o *Rhizophora* L. com 6 espécies amplamente distribuídas nas regiões tropicais e subtropicais (Kew Garden Herbarium, 2024). *Rhizophora mangle* L é a espécies mais abundantes desse gênero (DeYoe et al 2020). Ela apresenta importante função na estabilização desses ecossistemas, pois seus indivíduos conseguem se fixar e se estabelecer em áreas com maior frequência de inundações, possibilitando a fixação de

outras espécies de mangue (Cunha-Lignon et al 2011). Popularmente conhecida como mangue-vermelho, suas árvores variam muito de tamanho, conforme a salinidade, temperatura e disponibilidade de nutrientes, podendo chegar até 50 metros de altura em manguezais onde as condições são mais favoráveis (Golley et al 1969, Instituto Chico Mendes, 2018).

Do ponto de vista morfológico essa espécie apresenta folhas simples, elípticas, com bordas inteiras e textura coriácea, com o formato variando de oblongas a obovadas, com a tonalidade verde escura e com pontuações escuras na parte adaxial (Graham, 1964; Tomlinson, 1986). Porém essas características podem ser alteradas tanto por fatores naturais quanto por fatores antrópicos, como a poluição. Quando estão presentes em manguezais próximos de núcleos urbanos as árvores dessa espécie se tornam vulneráveis a uma grande variedade de poluentes. Diversos estudos demonstraram que o petróleo e seus derivados podem causar mutações em mudas e propágulos, desfolhamento e até mesmo morte de populações inteiras (Ellison & Farnsworth, 1996; Naidoo et al 2016). Porém, pouco se conhece a respeito da relação entre a performance fisiológica de *R. mangle* em relação a contaminação por petróleo.

O presente estudo tem por objetivo avaliar os efeitos de frações solúveis de contaminantes derivados de petróleo no teor de água e na vitalidade do maquinário fotossintético de folhas de *R. mangle*. Óleo diesel, óleo de motor dois tempos e gasolina, além da fração solúvel do óleo cru de petróleo originado do derrame ocorrido em 2019, na costa do nordeste do Brasil (Magris, 2020), são os contaminantes com maior interação com os manguezais e, portanto, utilizados no presente estudo.

Acreditamos que as variáveis da fluorescência relacionadas com os índices de performance, por serem mais diretas, são mais eficientes para detectar o efeito dos hidrocarbonetos nas folhas de *R. mangle*. Outra hipótese é o uso da desidratação bem como variáveis de teor hídrico são importantes ferramentas para aferir o efeito dos contaminantes nas folhas ao logo do tempo. Os ensaios realizados buscaram avaliar: (i) os efeitos do tempo de exposição aos contaminantes no teor absoluto de água e na vitalidade do maquinário fotossintético de folhas destacadas de *R. mangle*, e (ii) o pós-efeito do contato com os contaminantes na desidratação foliar, medida por meio de decréscimos no teor relativo de água, e na vitalidade do maquinário fotossintético de folhas destacadas de *R. mangle*. Nesse sentido queremos saber: (i) Qual o contaminante e qual o tempo de exposição que mais afetam a vitalidade do maquinário fotossintético das folhas de *R. mangle*? (ii) A desidratação foliar é eficiente para avaliar os danos

causados ao maquinário fotossintético após a exposição a contaminantes derivados do petróleo? (iii) Entre as variáveis de emissão de fluorescência da clorofila avaliadas (Fv/Fm, Piabs e Pitotal) qual delas é mais eficiente na detecção de danos causados ao maquinário fotossintético das folhas expostas aos contaminantes derivados de petróleo?

Esperamos que os resultados obtidos nesse estudo auxiliem na compreensão dos impactos de poluentes originados do petróleo na performance fisiológica e no monitoramento ambiental de manguezais localizados em zonas propensas aos efeitos de pressão antrópica, particularmente no caso de contaminantes derivados do petróleo.

Material e métodos

Obtenção das frações solúveis

As frações solúveis de quatro contaminantes (óleo cru de petróleo, óleo diesel, óleo de motor dois tempos e gasolina) (Tabela 1) foram preparadas no Laboratório de Tecnologia da Madeira do Centro de Formação de Ciências Agroflorestais da Universidade Federal do Sul da Bahia (CFCAF/UFSB), Ilhéus, Bahia, Brasil.

Para cada contaminante foi preparada uma solução na proporção de 9:1, (900 mL de água deionizada para 100 mL de contaminante (óleo cru de petróleo, gasolina, óleo de motor dois tempos e óleo diesel) num bêquer de 2000 mL. Sobre agitador magnético com aquecimento, a solução foi mantida em temperatura média de 26 °C, e baixa rotação (50rpm) por 24 horas. Após esse período de tempo, a retirada da fase orgânica foi realizada com conta gotas, e depois filtrada em funil de separação. As frações solúveis dos contaminantes foram armazenadas em frasco âmbar, vedado, e mantidas em freezer -6 °C até sua utilização.

Tabela 1: Contaminantes derivados do petróleo, cujos impactos das frações solúveis em folhas de *R. mangle* foram avaliados no estudo. Obs: a composição química foi baseada nos dados do Site da Petrobras.

Contaminantes	Utilização em embarcações	Composição química
Óleo cru	Óleo cru proveniente do acidente ambiental que ocorreu na costa Nordeste do Brasil em 2019 (Magris, 2020)	Não se conhece
Óleo diesel	Utilizado em embarcações com maior porte e pesca em alto mar	hidrocarbonetos com cadeias de 8 a 16 carbonos, além de nitrogênio, enxofre e oxigênio
Óleo de motor dois tempos	Geralmente associado à gasolina, em uma proporção de 9:1, (9 de gasolina ,1 de óleo de motor lubrificante proporção seguindo a sugestão do fabricante) é usado em embarcações de pesca, turismo e lazer.	mistura dos hidrocarbonetos aromáticos contidos na gasolina com a mistura de hidrocarbonetos parafínicos e naftênicos, com menor teor de hidrocarbonetos aromáticos
Gasolina	Utilizada em embarcações de pesca, turismo e lazer, além de motores de quatro tempos.	C_7H_{16} a $C_{11}H_{24}$

Coleta das folhas

A coleta das folhas foi realizada através de busca ativa em árvores no manguezal da foz do rio Acuípe, Ilhéus, Bahia (Figura 1). Para tal, foram coletados galhos aleatórios expostos ao sol de *R. mangle*. Após a coleta dos galhos, cerca de 300 folhas maduras e completamente expandidas foram selecionadas e destacadas. As folhas foram então acondicionadas em caixa térmica contendo gelo e esponja vegetal embebida em água. As folhas permaneceram nesse sistema para hidratação por no mínimo 24 horas. As folhas foram então levadas ao Laboratório de Tecnologia da Madeira do CFCAF/UFSB. Uma nova seleção de folhas foi realizada, buscando manter o mesmo padrão de tamanho e coloração. Foram descartadas folhas pequenas ou demasiadamente grandes que apresentassem qualquer sinal de injúria ou clorose. Para as folhas selecionadas os pecíolos foram cortados. Em seguida, o conjunto de folhas foi dividido em cinco grupos, com 50 folhas cada, totalizando 200 folhas no experimento. O uso de folha para o experimento,

foi justificado por ser uma parte importante, para planta, uma vez que concentra a maior eficiência da fotossíntese, além de ser uma parte em constante regeneração devido os meristemas, o que causaria menos danos aos indivíduos e consequentemente para o ecossistema, uma vez que as folhas foram coletadas em locais naturais e não de plantas em ambientes controlados.

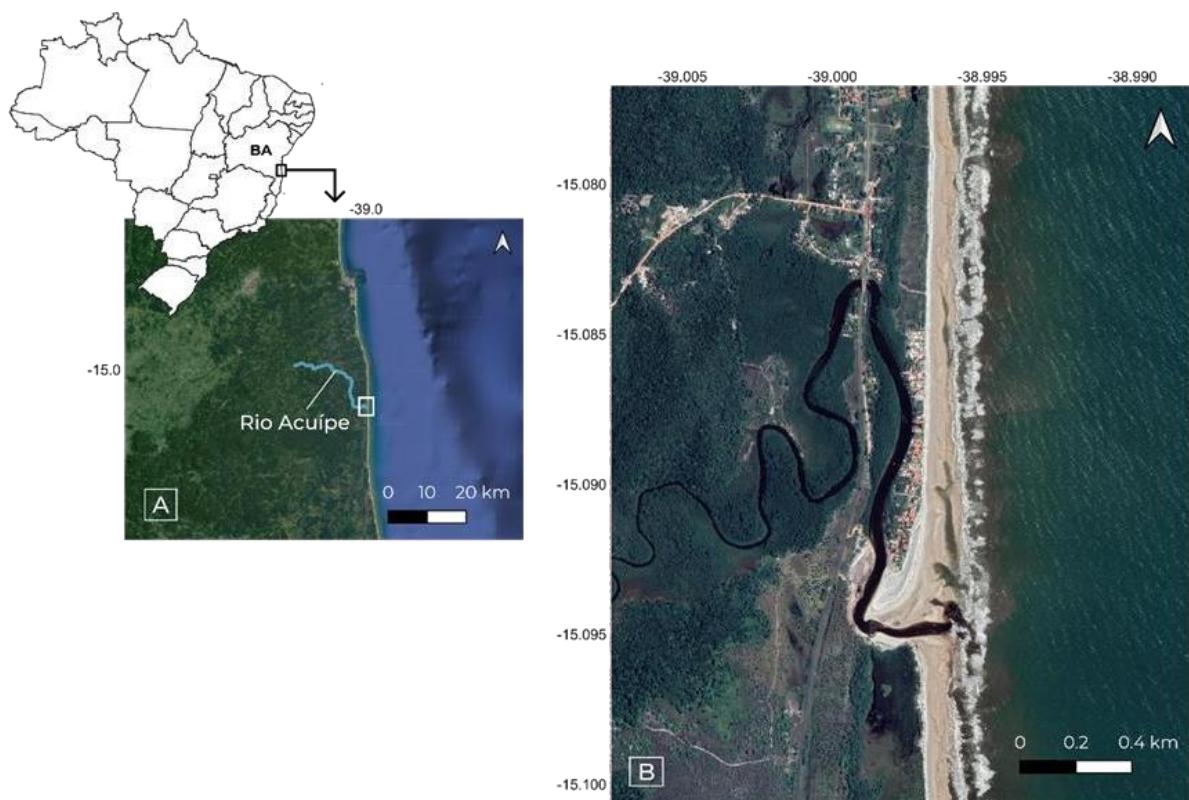


Figura 1: A: Localização do rio Acuípe no estado da Bahia, Brasil e no município de Ilhéus. B: Foz do rio Acuípe, onde foram coletadas as folhas de *R.mangle*. Fonte: Google Earth, 2024

Tempo de exposição aos contaminantes, teor absoluto de água e eficiência fotoquímica

As folhas foram submetidas ao contato com cinco soluções, ou seja, controle (água filtrada e deionizada) e frações solúveis do óleo cru de petróleo, gasolina, óleo de motor dois tempos e óleo diesel, em quatro tempos de exposição (3, 6, e 24 h) esses horários foram selecionados conforme ensaios prévios e logística. Foi adotado o delineamento experimental inteiramente ao acaso num esquema fatorial 5 x 3 x 10, com cinco soluções, cinco tempos de exposição e 10 repetições, totalizando 150 folhas. Para a aplicação dos tratamentos as folhas foram acondicionadas em camadas em bandejas refratárias de vidro com 30 x 18 x 10 cm (uma bandeja refratária para cada tratamento). Entre as camadas de folhas, foram dispostas camadas de papel toalha. A cada nova camada, a fração solúvel de contaminante era adicionada, de tal forma que todo o papel toalha fosse umedecido, e as folhas ficassem em contato com o mesmo. A cada bandeja foi adicionado 100 mL de cada solução. Ao tratamento controle foi adicionada somente água deionizada. Em seguida as bandejas refratárias foram fechadas hermeticamente e colocadas dentro de capela de exaustão. As folhas permaneceram nesta condição por 3, 6, e 24h, estes tempos foram pré-determinados por um experimento piloto. Ao final de cada tempo de exposição um grupo de 10 folhas eram retiradas de cada bandeja/tratamento. As folhas foram lavadas com água filtrada por cerca de 2 a 3 minutos, evitando assim contaminação do aparelho e uma interferência nos dados, secas com papel toalha e pesadas em balança analítica para a obtenção da massa fresca (MF) após cada período de tempo de contato com as soluções (MF₃, MF₆, MF₁₇ e MF₂₄, onde os índices 3, 6 e 24 correspondem aos tempos em contato com as soluções). Logo após a pesagem, em cada folha foi colocado um clipe para aclimatação ao escuro. Após um período de 30 minutos de aclimatação ao escuro, a fluorescência da clorofila *a* foi medida por meio de um fluorômetro portátil Pocket PEA (Hansatech Instruments, UK), para o cálculo da eficiência quântica máxima do fotossistema II (Fv/Fm), ou eficiência fotoquímica, Piabs e Pitotal. Dessa forma obteve-se os valores de Fv/Fm para cada período de tempo de exposição aos contaminantes e ao controle, ou seja, Fv/Fm3, Fv/Fm 6, e Fv/Fm24 bem como para as outras variáveis extraídas através do fluorômetro.

Ao final dos ensaios de desidratação foliar as folhas foram colocadas em estufa com circulação de ar forçado a 60°C, por no mínimo 7 dias, para obtenção da massa seca (MS) (Figura 2).

Desidratação foliar e perda da eficiência fotoquímica

Logo após a determinação da massa fresca e da emissão de fluorescência da clorofila, as folhas foram identificadas e mantidas por 24 e 48 horas em cima de uma bancada previamente limpa com álcool 70%. Após 24 e 48 horas as folhas foram pesadas e a emissão da fluorescência da clorofila medida novamente. Em seguida as folhas foram colocadas em estufa com circulação de ar forçada a 60°C para obtenção da massa seca (LMd). Os teores relativos de água após 24 e 48 horas de desidratação foram obtidos pela fórmula: $TRAn = (LMn - LMd/LM0 - LMd) \times 100$; onde n corresponde aos tempos de 24 e 48 horas, identificados como LM24 e LM48, e TRA24 e TRA48, respectivamente. (figura 2)

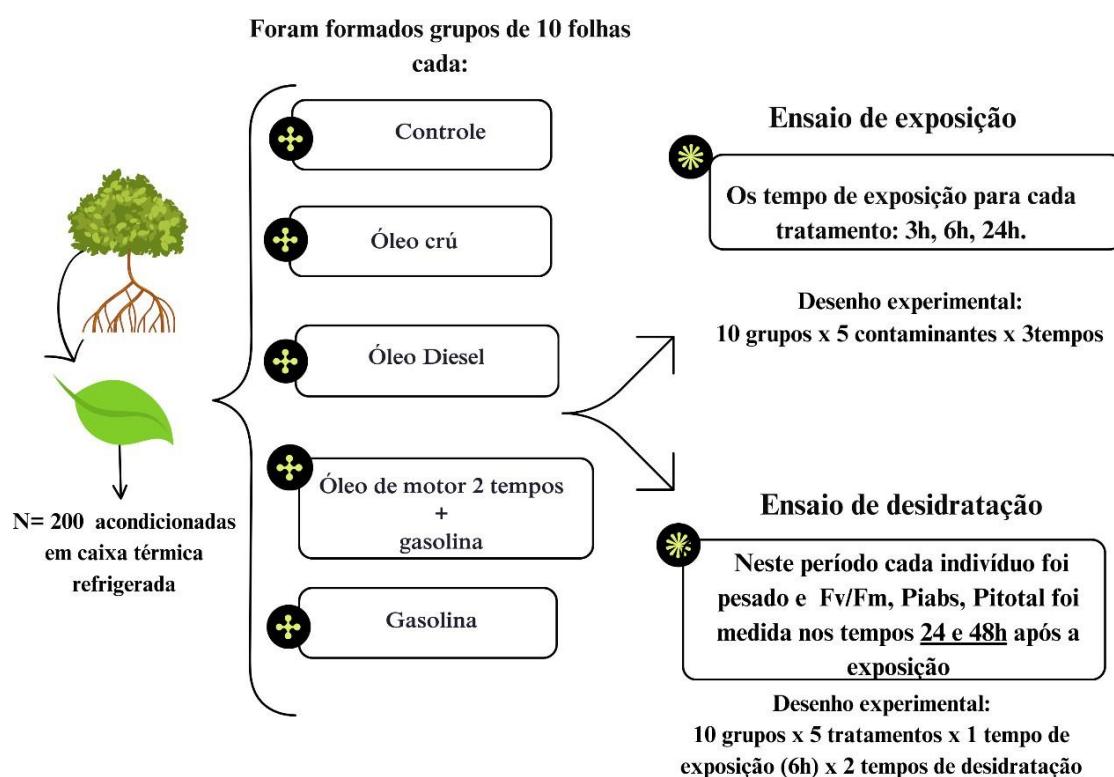


Figura 2: Fluxograma da metodologia experimental

Análise estatística

Os dados inicialmente foram submetidos á testes de normalidade e homocedasticidade, os quais comprovaram a normalidade dos dados.

Ensaio de exposição: Para saber qual contaminante e qual tempo de exposição (3h ,6h e 24h) teria maior influência nas variáveis respostas (TAA, Fv/Fm, Piabs e Pitotal) no tempo zero, ou seja, sem a interferência do tempo de desidratação. Devido a não normalidade dos dados utilizamos o teste de Kruska- Wallis, que é o equivalente não paramétrico da ANOVA e para o comparativo de médias e teste de Dunn.Para o ensaio e exposição usamos a variável de teor absoluto de água, uma vez que o peso de algumas folhas aumenta com o tempo de exposição ao contaminante podendo interferir no resultado da análise.

Ensaio de desidratação: Com o objetivo de saber com quanto tempo, qual contaminante e qual tempo de exposição teria maior influência nas variáveis respostas (TRA, Fv/Fm, Piabs e Pitotal), foi adicionado aos modelos o tempo de desidratação (24h e 48h), esses valores de desidratação foram definidos com base em um ensaio prévio. Nesta análise foi utilizada apenas o os valores condizentes com 6h de exposição, já que condiz com o tempo de maré cheia, período onde as folhas ficam mais expostas na natureza. Como anteriormente foram realizadas ANOVA e teste comparativo de médias o teste Tukey.

Para o ensaio de desidratação, que existem medidas ao longo do tempo optamos por usar a variável de teor relativo de água, uma vez que com o passar do tempo, está variável parece mais apropriada para medir a velocidade da desidratação das folhas.

Resultados

Tempo de exposição aos contaminantes, teor absoluto de água e eficiência fotoquímica

Observando as tabelas no tempo zero podemos ver quais variáveis preditoras, respondem melhor aos efeitos dos tratamentos nas folhas.

Tabela 1: Dados de média e erro padrão dos tempos de exposição ao tratamento controle e comparação conforme o teste de Dunn

Tempo de exposição	TAA	Fv/Fm	Piabs	Pitotal
3	65,097 \pm 0,55 a	0,816 \pm 0,00 a	8,964 \pm 0,94 a	4,213 \pm 0,60 a
6	65,500 \pm 0,65 a	0,815 \pm 0,00 a	10,152 \pm 0,74 a	5,368 \pm 0,71 a
24	66,929 \pm 1,32 a	0,822 \pm 0,01 a	9,166 \pm 1,37 a	4,114 \pm 0,48 a

Tabela 2: Dados de média e erro padrão dos tempos de exposição ao tratamento Óleo do derrame de 2019 e comparação conforme o teste de Dunn

Tempo de exposição	TAA	Fv/Fm	Piabs	Pitotal
3	65,670 \pm 1,36 a	0,823 \pm 0,00 a	8,933 \pm 0,74 a	3,755 \pm 0,30 a
6	65,216 \pm 0,72 a	0,827 \pm 0,00 a	9,372 \pm 0,55 a	4,156 \pm 0,33 a
24	68,061 \pm 0,78 a	0,825 \pm 0,00 a	8,983 \pm 0,93 a	3,624 \pm 0,49 a

Tabela 3: Dados de média e erro padrão dos tempos de exposição ao tratamento Óleo diesel e comparação conforme o teste de Dunn

Tempo de exposição	TAA	Fv/Fm	Piabs	Pitotal
3	65,309 \pm 0,99 a	0,824 \pm 0,00 a	9,873 \pm 0,72 a	3,874 \pm 0,40 a
6	65,687 \pm 0,50 a	0,824 \pm 0,00 a	9,379 \pm 0,65 a	4,605 \pm 0,55 a
24	68,623 \pm 3,37 a	0,823 \pm 0,00 a	9,160 \pm 0,89 a	4,880 \pm 0,68 a

Tabela 4: Dados de média e erro padrão dos tempos de exposição ao tratamento Óleo de motor dois tempos e comparação conforme o teste de Dunn.

Tempo de exposição	TAA	Fv/Fm	Piabs	Pitotal
3	65,357 \pm 0,57 a	0,819 \pm 0,00 a	9,496 \pm 0,88 a	4,334 \pm 0,45 a
6	65,575 \pm 0,65 a	0,806 \pm 0,01 a	10,188 \pm 1,48 a	5,832 \pm 1,06 a
24	66,920 \pm 1,34 a	0,757 \pm 0,02 b	3,993 \pm 0,67 b	1,899 \pm 0,28 b

Tabela 5: Dados de média e erro padrão dos tempos de exposição ao tratamento gasolina e comparação conforme o teste de Dunn

Tempo de exposição	TAA	Fv/Fm	Piabs	Pitotal
3	66,106 \pm 0,70 a	0,807 \pm 0,01 a	9,086 \pm 1,24 a	4,091 \pm 0,61 a
6	67,979 \pm 0,78 a	0,637 \pm 0,12 a	4,879 \pm 1,25 b	4,023 \pm 1,30 a
24	66,514 \pm 0,47 a	0,093 \pm 0,09 b	0,612 \pm 0,61 c	0,476 \pm 0,48 b

Comparando os resultados, inicialmente vemos que os tratamentos óleo de motor dois tempos acrescidos de gasolina (chamado, resumidamente, nas tabelas de figuras de óleo de motor) e a gasolina apresentam diferenças entre os tempos de exposição, começando a ter dano irreversível à partir das 6h de exposição, se agravando com 24h de exposição. Esses resultados são vistos apenas nas variáveis relacionadas com a fluorescência da clorofila. Para TAA não existe diferença em nenhum tratamento, possivelmente por não passar algum período de desidratação, tempo em todos os tratamentos perdas aproximadas de teor relativo de água.

Tratando-se dos tratamentos a gasolina se mostrou o contaminante mais letal e onde ocorreu maior variação entre as medias em cada tempo, enfatizando a variável de índice de performance, Piabs. Provavelmente por ser uma variável mais específica e envolvendo menos processos da fotossíntese ela pode ter sido mais sensível, e registrado as diferenças entre os tempos de exposição que as demais variáveis não detectaram.

Desidratação foliar e perda da eficiência fotoquímica

A metodologia baseada na perda de água pelas folhas associada com as avaliações da fluorescência da clorofila se mostrou efetiva para avaliar efeitos de contaminantes em folhas de *R. mangle*.

Tabela 6: Comparativos de médias das variáveis respostas em 6h de exposição ao tratamento controle nos tempos 24 e 48h de desidratação

Tempo	TRA	Fv/Fm	Piabs	Pitotal
24	60,463±1,72 a	0,815±0,00 a	6,685±0,65 a	1,554±0,23 a
48	25,803±3,17 b	0,422±0,08 b	0,789±0,28 b	0,145±0,04 b

Tabela 7: Comparativos de médias das variáveis respostas em 6h de exposição ao tratamento óleo cru de petróleo nos tempos 24 e 48h de desidratação

Tempo	TRA	Fv/Fm	Piabs	Pitotal
24	59,990±3,22 a	0,802±0,01 a	4,456±0,56 a	0,812±0,12 a
48	25,980±5,06 b	0,368±0,11 b	0,998±0,44 b	0,138±0,06 b

Tabela 8: Comparativos de médias das variáveis respostas em 6h de exposição ao tratamento óleo diesel nos tempos 24 e 48h de desidratação

Tempo	TRA	Fv/Fm	Piabs	Pitotal
24	58,458± 3,19 a	0,797± 0,01 a	4,337± 0,70 a	1,176± 0,20 a
48	27,124± 4,06 b	0,396± 0,09 b	0,776± 0,32 b	0,141± 0,05 b

Tabela 9: Comparativos de médias das variáveis respostas em 6h de exposição ao tratamento óleo de motor 2 tempos acrescido de gasolina nos tempos 24 e 48h de desidratação

Tempo	TRA	Fv/Fm	Piabs	Pitotal
24	63,665± 1,25 a	0,811± 0,00 a	6,053± 0,54 a	1,724± 0,20 a
48	30,707± 2,63 b	0,529± 0,08 b	1,234± 0,40 b	0,239± 0,08 b

Tabela 10: Comparativos de médias das variáveis respostas em 6h de exposição ao tratamento óleo de Gasolina nos tempos 24 e 48h de desidratação

Tempo	TRA	Fv/Fm	Piabs	Pitotal
24	48,337± 6,91 a	0,566± 0,13 a	3,603± 0,98 a	0,988± 0,29 a
48	24,810± 2,11 b	0,303± 0,11 b	0,705± 0,39 b	0,176± 0,09 b

Comparando os tratamentos com o tempo de contaminação, observa-se mesmo todas as variáveis diferindo entre os tempos de 24 e 48h de desidratação, as variáveis que indicam índice de performance, Piabs e Pitotal, tem os menores valores de erro padrão. Enfatizando que ocorre queda brusca entre os tempos, tendo 48h os menores valores. Quanto aos tratamentos reiteramos a letalidade da gasolina, sendo o tratamento com os menores valores com queda superior a 80% em relação a cada variável e os tempos de desidratação. Em segundo está o óleo diesel, seguido pelo óleo de motor dois tempos acrescido de gasolina.

Mesmo que em 24h o dano já se mostre irreversível para a exposição de 6h aos tratamentos, a queda que ocorre com 48h é muito brusca, em todos os tratamentos e para todas as variáveis.

Discussão

Os manguezais são extremamente resistentes e resilientes, tanto em relação às intempéries naturais, como aos impactos antropogênicos. Porém, atualmente, a intensidade e a frequência das atividades antropogênicas, especialmente os derrames de petróleo e seus derivados, têm excedido a capacidade de suporte desses ecossistemas (Santos et al 2019; ITOPF, 2023).

Os hidrocarbonetos são contaminantes derivados de petróleo mais bem estudados depois dos próprios derrames de óleo (Santos et al 2011). Por serem facilmente levados pelas marés e correntes marinhas, os contaminantes derivados do petróleo têm facilidade de contaminar as árvores dos manguezais (Nansingh e Jurawan, 1999). Quando em excesso esses contaminantes podem causar danos irreversíveis nas plantas. Ao absorverem esses contaminantes, as plantas podem apresentar diferentes sintomas de estresse, como o desfolhamento ou o amarelamento das folhas, além de deformações de propágulos e a morte dos indivíduos jovens e adultos (Billah et al 2022). Em nosso trabalho, 24h após a exposição aos contaminantes, manchas necróticas começaram a aparecer próximas a nervura central das folhas. As manchas eram mais intensas com os contaminantes gasolina e óleo de motor, onde muitas vezes estas folhas ficavam retorcidas com o passar o tempo de desidratação (dados não apresentados).

As folhas das espécies do gênero *Rhizophora* L. são muito resistentes à desidratação, apresentando cutícula espessa e cerosa. Porém, uma vez que hidrocarbonetos adiram às folhas, essa camada de proteção pode ser rompida, acelerando o processo de desidratação foliar e, por consequência, afetando o sistema fotossintético da planta (Duke 2016). Esse fato pode ser observado no ensaio de tempo de exposição. É possível que as cadeias de hidrocarbonetos tenham danificado as folhas, principalmente no caso da gasolina, uma vez que as mesmas apresentaram necroses no limbo e na nervura central, até ficarem totalmente enegrecidas e retorcidas (dados não apresentados). Além disso, esses contaminantes podem causar danos nas membranas dos cloroplastos (Naidoo & Naidoo, 2017). Tal fato é preocupante, pois em função dos ciclos das marés o banco de plântulas fica durante parte do dia totalmente imersos e expostos a esse contaminante. Além do mais, em toda a costa brasileira, os barcos mais modernos e de menor porte são movidos com gasolina pura, associada ao óleo de motor dois tempos. Porém, na região onde o estudo foi realizado é comum o uso da gasolina pura por ser mais barata. Associado com descarte irregular de embalagens e falta de manutenção nos motores, isso pode representar um dano potencial ainda maior para a espécie.

Provavelmente devido às características xeromórficas das folhas de *R. mangle* o teor absoluto de água não tenha sido afetado. As espessas camadas de parênquima lacunoso e paliçádico observadas para folhas dessa espécie (Naidoo, 2016) podem ter contribuído para impedir quedas bruscas nos teores relativo e absoluto de água. Por serem moléculas pequenas, os hidrocarbonetos talvez consigam danificar a cutícula e atingir a eficiência fotossintética das folhas, sem danificar de imediato fatores hídricos supracitados. Esse fato poderia explicar as quedas nos valores de Fv/Fm, principalmente quando as folhas foram expostas à gasolina.

Variáveis referentes a fluorescência da clorofila *a* se mostraram mais sensíveis do que os teores absoluto e relativo de água para medir o estresse causado tanto pela exposição quanto pela desidratação, respectivamente, confirmando serem importantes indicadores de estresse nas plantas (Strasser et al 2004). Os resultados de Piabs e Pitotal confirmaram a afirmação supracitada. Num estudo pioneiro, Reinert et al (2016) testaram a efetividade de parâmetros derivados da cinética de emissão de fluorescência da clorofila para diagnosticar a vitalidade de plantas de *Laguncularia racemosa* submetidas à contaminação por derrame de óleo. Constataram diminuição substancial nos valores medidos de Pitotal nas plantas contaminadas, o qual foi mais efetivo em constatar os efeitos deletérios do contato do óleo com as plantas contaminadas do que Piabs. Além disso, também constataram que a razão Fv/Fm não foi capaz de indicar a existência do estresse ocasionado pela presença do contaminante. Em contrapartida, no caso do nosso estudo, o Piabs foi a variável que possui menores médias e mais sensibilidade, a ponto de detectar efeito em óleo de motor dois tempos acrescido de gasolina, fato que não ocorreu com as demais variáveis.

Em suma, uma vez que as variáveis referentes fluorescência da clorofila apresentem valores baixos, constata-se forte indicativo de contaminação e estresse nas plantas do ambiente, e por consequência todo o ambiente pode estar em risco de contaminação (Duke, 2016).

Conclusões:

A fração solúvel de gasolina foi o contaminante que mais afetou a vitalidade das folhas de *R. mangle*. No ensaio de exposição se constatou que em 6 horas de exposição este contaminante pode causar danos irreversíveis à vitalidade das folhas. Observa-se, também, que durante este tempo de exposição a variável Piabs apresentou melhor sensibilidade para distinguir mudanças entre contaminantes, o que não ocorreu com tanta precisão nas outras variáveis respostas.

A metodologia baseada na desidratação foliar, associada com medições de fluorescência da clorofila, demonstrou ser uma ferramenta eficiente para avaliar danos causados ao maquinário fotossintético exposto a fração solúvel de gasolina e a fração solúvel do óleo de motor dois tempos, sendo que a partir de 24 horas de desidratação para gasolina, indicando que o uso de gasolina pura no motor de embarcações causa mais danos nas folhas de *R. mangle* quando submersas pelas preamaras.

Com esses dois ensaios foi possível definir Piabs como a variável ligada a fluorescência da clorofila que mais demonstra os efeitos da fração solúvel de gasolina nas folhas de *R. mangle*. Contudo, não descartamos a importância das outras variáveis ligadas a fluorescência da clorofila.

Referências

Alongi D.M. (2002) Present state and future of the world's mangrove forests. *Environmental Conservation* 29:331–349

Alongi, D. M. (2008). Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. *Estuarine, coastal and shelf science*, 76(1), 1-13.

Billah,M.M., Bhuiyan, M.K.A., Amran, M.I.U.A., Cabral, A. C.,& Garcia M.R.D. (2022). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) pollution in mangrove ecosystems: global synthesis and future research directions. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 21 (3), 747-770.

Bodin N, N'Gom-Kâ R., Kâ S, Thiaw OT, Tito de Moraes L, Le Loc'h F, Rozuel-Chartier E, Auger D, Chiffolleau JF (2013) Assessment of trace metal contamination in mangrove ecosystems from Senegal, West Africa, *Chemosphere* 90(2):150-157

Bryan-Brown DN, Connolly RM, Richards DR, Adame F, Friess DA, Brown CJ (2020) Global trends in mangrove forest fragmentation. *Scientific Reports* 10:7117

Concawe (1998) Heavy fuel oil. Product Dossier 98/109, CONCAWE's Petroleum Products and Health Management Groups

Cunha-Lignon, M., Coelho Jr, C., Almeida, R. D., Menghini, R., Correa, F., Schaeffer-Novelli, Y., ... & Dahdouh-Guebas, F. (2009). Mangrove forests and sedimentary processes on the South of Coast of São Paulo State (Brazil). *Journal of Coastal Research*, 405-409.

DeYoe, H., Lonard, R. I., Judd, F. W., Stalter, R., & Feller, I. (2020). Biological flora of the tropical and subtropical intertidal zone: literature review for *Rhizophora mangle L.* *Journal of Coastal Research*, 36(4), 857-884.

Douglas I (2020) Mangroves. *Human Ecology Journal* 30:8-14

Ellison, A. M., & Farnsworth, E. J. (1996). Anthropogenic disturbance of Caribbean mangrove ecosystems: past impacts, present trends, and future predictions. *Biotropica*, 549-565.

Duke, N. C. (2016). Oil spill impacts on mangrove: recommendations for operational planning and action based on a global review. *Marine pollution bulletin* 109 (2), 700-715. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.082>.

FAO: Agriculture Organization of the United Nations. Fisheries Department. (2000). The State of World Fisheries and Aquaculture, 2000 (Vol. 3). Food & Agriculture Organization.

Giam X (2017) Global biodiversity loss from tropical deforestation. *PNAS* 114:5775-5777

Giri C, Ochieng E, Tieszen LL, Zhu Z, Singh A, Loveland T, Masek J, Duke N (2011) Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography* 20:154–159

Google Earth (2024). Available in <https://earth.google.com/web/search.com> in january 2024

Golley, F. B., McGinnis, J. T., Clements, R. G., Child, G. I., & Duever, M. J. (1969). The structure of tropical forests in Panama and Colombia. *BioScience*, 19(8), 693-696.

Graham, S. A. (1964). The genera of Rhizophoraceae and Combretaceae in the southeastern United States. *Journal of the Arnold Arboretum*, 45(3), 285-301.

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade do Brasil, (2018). Atlas dos manguezais do Brasil. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade.

ITOPF (2023). Available in <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/document/ocean-orbit/>, accessed in: january, 2023.

ITOPF (2024). Available in <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/document/ocean-orbit/>, accessed in: May, 2024.

Kew Garden Herbarium (2024). Available in:
<https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:30061149-2#children> accessed in: May , 2024

Lewis, M., Pryor, R. & Wilking, L. (2011). Fate and effects of anthropogenic chemicals in mangrove ecosystems: a review. *Environmental pollution* 159 (10), 2328-2346.

Levings SC, Garrity SD, Van Vleet ES, Wetzel DL (1997) Sublethal injury to red mangroves two years after oiling. In: Proceedings of the 1997 International Oil Spill Conference, April 7–10, Fort Lauderdale, FL, pp. 1040–1041

Lourenço RA, Combib T, Alexandre MR, Sasakid ST, Zanardi-Lamardoe E, Yogue GT (2020) Mysterious oil spill along Brazil's northeast and southeast seaboard (2019–2020): Trying to find answers and filling data gaps. *Marine Pollution Bulletin* 156: 111219

Magris, R. A., & T. Giarrizzo, (2020). Mysterious oil spill in the Atlantic Ocean threatens marine biodiversity and local people in Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 153: 110961.

Maiti SK, Chowdhury A. (2013) Effects of Anthropogenic Pollution on Mangrove Biodiversity: A Review *Journal of Environmental Protection* 4:1428-1434

Mcleod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., ... & Silliman, B. R. (2011). A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10), 552-560.

Meinschein, W. G., (1959). Origin of petroleum. *AAPG Bulletin*, 43: 925-943

Mossman, H. L., Pontee, N., Born, K., Hill, C., Lawrence, P. J., Rae, S., ... & Dunk, R. M. (2022). Rapid carbon accumulation at a saltmarsh restored by managed realignment exceeded carbon emitted in direct site construction. *Plos one*, 17(11), e0259033. 10.1371.

Naidoo G, Naidoo Y, Achar P (2010) Responses of the mangroves *Avicennia marina* and *Bruguiera gymnorhiza* to oil contamination. *Flora* 205:357–362

Naidoo, G (2016). Mangrove propagule size and oil contamination effects does size matter. *Marine Pollution Bulletin*.

Naidoo, G., & Naidoo, K. (2017). Ultrastructural effects of polycyclic aromatic hydrocarbons in the mangroves *Avicennia marina* and *Rhizophora mucronata*. *Flora*, 235, 1-9.

Nansingh, P., & Jurawan, S (1999) Environmental sensitivity of a tropical coastline (Trinidad, West Indies) to oil spills. *Spill Science & Technology Bulletin*, 5(2), 161-172. [https://doi.org/10.1016/S1353-2561\(98\)00052-8](https://doi.org/10.1016/S1353-2561(98)00052-8)

Parida, A. K., Das, A. B., & Mittra, B. (2004). Effects of salt on growth, ion accumulation, photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove, *Bruguiera parviflora*. *Trees*, 18, 167-174.

Pereira, R. C., & Gomes, A. S. (2021). Ecologia marinha. Interciencia

Peixoto, C. P., & Peixoto, M. F. S. P. (2009). Dinâmica do crescimento vegetal: princípios básicos. Tópicos em ciências agrárias, 38.

Reinert F, Pinho CF, Ferreira MA (2016) Diagnosing the level of stress on a mangrove species (*Laguncularia racemosa*) contaminated with oil: A necessary step for monitoring mangrove ecosystems. *Marine Pollution Bulletin* 113: 94–99

Santos, H. F., Carmo, F. L., Paes, J. E., Rosado, A. S., & Peixoto, R. S. (2011). Bioremediation of mangroves impacted by petroleum. *Water, Air, & Soil Pollution*, 216, 329-350.

Santos, F. R., Martins, D. A., Morais, P. C., Oliveira, A. H., Gama, A. F., Nascimento, R. F., ... & Cavalcante, R. M. (2019). Influence of anthropogenic activities and risk assessment on protected mangrove forest using traditional and emerging molecular markers (Ceará coast, northeastern Brazil). *Science of the Total Environment*, 656, 877-888.

Schaeffer-Novelli, Y., Soriano-Sierra, E. J., Vale, C. C. D., Bernini, E., Rovai, A. S., Pinheiro, M. A. A., ... & Cintrón-Molero, G. (2016). Climate changes in mangrove forests and salt marshes. *Brazilian Journal of Oceanography*, 64(spe2), 37-52.

Sierra, E. J. S. (2011). Biogeografia dos manguezais. *Geografia*, 36(2), 311-334.

Strasser, R. J., Tsimilli-Michael, M., & Srivastava, A. (2004). Analysis of the chlorophyll a fluorescence transient. In *Chlorophyll a fluorescence: a signature of photosynthesis* (pp. 321-362). Dordrecht: Springer Netherlands.

Soffiati, A. (2023). Breve história das relações das sociedades com os manguezais no Brasil. *AMBIENTES: Revista de Geografia e Ecologia Política*, 5(1).

Valiela I, Bowen JL, York JK. 2001. Mangrove forests: One of the world's threatened major tropical environments. *BioScience* 51:807-815

Wright SJ (2005) Tropical forests in a changing environment. *Trends Ecology Evolution* 20:553-560

Zhang CG, Leung KK, Wong YS, Tam NFY (2007) Germination, growth and physiological responses of mangrove plant (*Bruguiera gymnorhiza*) to lubricating oil pollution. *Environmental Experimental Botany* 60:27–136

CAPÍTULO 3:

Influência de contaminantes derivados do petróleo na desidratação e na fluorescência da clorofila *a* de folhas de *Rhizophora mangle* de três manguezais do litoral sul da Bahia, Brasil

Resumo:

Os manguezais são ecossistemas costeiros, encontrados nos trópicos e subtrópicos do planeta. Possuem árvores com características únicas, como tolerância a variação de marés, salinidade e temperatura. Estes organismos também estão submetidos a estresses antrópicos, principalmente em decorrência de contaminação, a exemplo dos hidrocarbonetos provenientes do petróleo, como abordado no presente trabalho. O objetivo geral foi avaliar os efeitos de frações solúveis de quatro contaminantes derivados de petróleo na desidratação foliar e na emissão de fluorescência da clorofila *a* de folhas destacadas de *Rhizophora mangle* originadas de manguezais com características hidrográficas distintas. Para entender os efeitos destes contaminantes nos manguezais, foram selecionados três manguezais na região sul da Bahia. Foram retiradas 75 folhas de cada manguezal equidistantes entre si (Rio Acuipe, em Ilheus; Rio Pardo, em Canavieiras; e Rio de Contas em Itacaré). As folhas foram expostas a 5 tratamentos, utilizando frações solúveis de contaminantes provenientes do petróleo (óleo crú, diesel, óleo de motor dois tempo e gasolina) além do controle (água destilada). As folhas foram expostas aos contaminantes por 6h, simulando o período de preamar. Em seguida, as folhas foram pesadas e medidas em intervalos de 24 e 48h para avaliação dos valores de TRA (teor relativo de água), e variáveis da fluorescência Fv/Fm, Pitotal e Piabs, variáveis utilizadas para verificar a vitalidade das folhas. Pelo menos 30 folhas de cada manguezal foram retiradas, scaneadas e medidas para a avaliação de atributos foliares. Concluímos que diferenças nos atributos foliares e nas bacias hidrográficas podem ser indicadores da vitalidade das folhas submetidas a diferentes contaminantes, indicando que manguezais com melhor conservação possuem folhas mais tolerantes aos efeitos dos contaminantes. Juntamente com as variáveis da fluorescência da clorofila, destacamos a gasolina como o contaminante mais danoso. A variável Piabs é aquela que tem maior acurácia para detectar danos nas folhas.

Palavras chave: Hidrocarbonetos; Fotossíntese; Ecofisiologia; Mangue-vermelho

Introdução

Os manguezais são ecossistemas únicos, localizados majoritariamente nos trópicos e subtrópicos do globo terrestre, mas com maior concentração entre as latitudes 30° N e 30°S. São considerados ecossistemas costeiros, tendo a influência tanto do mar quanto dos rios (Schaffer-Novelli 1999, Instituto Chico Mendes, 2018). Os organismos que habitam esses ecossistemas estão sempre lidando com tensões naturais, como marés, salinidade, enchentes (Pereira & Gomes, 2021), quanto antrópicos, como desmatamento, queimadas e contaminação química ou biológica (Lewis et al 2011; Instituto Chico Mendes, 2018).

A contaminação de origem química tem causado graves danos à integridade dos manguezais, principalmente das suas árvores. Estudos mostram a contaminação destes organismos por diversos materiais, como exemplo, metais pesados (e.g. Yan et al 2017; Kulkarni et al 2018), esgoto doméstico (e.g. Mater et al; 2004) e por petróleo e seus derivados (e.g. Cornolly et al 2020; Naidoo et al 2018; Naidoo et al 2017; Hughes et al 2018; Duke, 2016). Acidentes com contaminantes provenientes de combustíveis fosseis são cada vez mais frequentes (ITOPF, 2023), podendo causar danos irreversíveis às espécies arbóreas e consequentemente para todo o ecossistema. Estima-se que quando um grave derrame de petróleo ocorre pode demorar de 5 até 20 anos para que um manguezal possa ter a sua biota reestruturada novamente (Duke, 2016). Derrames na escala daquele que ocorreu em 2019 no nordeste do Brasil, considerado o maior desastre ambiental desta natureza no país (Magris, 2020), possivelmente causará danos aos manguezais e a outros ecossistemas marinhos em uma escala considerada de longo prazo, tanto pela sua extensão de área atingida quanto pela quantidade (Lorenço et al 2020, Magris 2020).

As espécies de mangue possuem formas diferentes de excretar o excesso do sal absorvido por suas raízes. Muitas vezes por processos físicos eles são retidos nas raízes e excluídos, outras vezes são excretadas por estruturas específicas como nectários modificados ou eliminadas por folhas senescentes (Pereira & Gomes, 2021). Um exemplo são as espécies do gênero *Rizophora*, um dos gêneros mais abundantes do mundo (Duke, 2002), estas plantas retêm maior parte de sal em suas raízes e outra parte é redistribuída para outros tecidos da planta através da seiva xilemática, onde pode chegar até as folhas com maior estágio de maturação (Wang et al 2002; Hao et al 2009; Parida 2010). Este também é um mecanismo para proteção dos órgãos reprodutores e dos propágulos do gênero (Wang et al 2002). Por essas vias também podem ser absorvidos os metais pesados e outros

poluentes, como os hidrocarbonetos derivados do petróleo. Podendo causar danos irreversíveis nas plantas, desde amarelamento e a queda das folhas até a deformação de propágulos (Santos et al 2011), ou mesmo a morte da planta.

No entanto, quando os hidrocarbonetos estão dissolvidos na água podem causar danos nas folhas, principalmente em escala celular, rompendo membranas de organelas importantes para a fotossíntese, como cloroplastos (Naidoo & Naidoo, 2017). Resultados mostram que frações solúveis de diferentes contaminantes provenientes do petróleo, ao longo do tempo, causam danos letais ou semi-letais nas folhas de *Rhizophora mangle*. E esse é um indicativo do dano irreversível que esses contaminantes podem causar nos ecossistemas costeiros.

A área costeira da região Sul da Bahia, Brasil abrange 182 km de litoral (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012). É por onde passam muitos rios de pequeno porte (e.g. Acuipe) e alguns de maior porte (e.g. Rio Pardo e Rio Jequitinhonha). Além disso, existem grandes depósitos de areia, formando praias que fazem da região um grande atrativo turístico. Os manguezais também compõem essa paisagem, tendo diferentes dimensões e transacionando, as vezes com praias e pequenos estuários (Nascimento, 2017; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2012).

Esses manguezais desempenham importantes serviços ecossistêmicos para a população que vive em seu entorno (Lewis et al 2011; Instituto Chico mendes, 2018). Predominantemente, esses ecossistemas são formados pela *Rizophora mangle* L., podendo chegar a considerar florestas monoespecíficas (Instituto Chico Mendes, 2018). A espécie *R. mangle*, apresenta características únicas, que diferenciam de outras espécies de mangue existentes no Brasil, como folhas com espessas cutículas e parênquima, características de espécies xeromórficas (Naidoo, 2016). Possuem longas raízes que além de sustentar a árvore possuem mecanismos de filtragem de sal e outras substâncias (Pereira & Gomes, 2021).

Análises da emissão de fluorescência da clorofila *a* podem fornecer informações detalhadas sobre a estrutura e função do aparato fotossintético, especialmente do fotossistema II (PSII) (Gonçalves et al 2010). Pode, por exemplo, ser utilizada para detectar estresse em plantas como o comprometimento da função fotossintética para espécies de mangue antes mesmo das manifestações de sintomas em resposta a contaminação por óleo (Reinert et al 2016). Naidoo et al (2017) demonstraram em espécies de mangue que os danos dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) podem atingir o processo fotossintético, desorganizando as membranas dos cloroplastos. As moléculas de hidrocarbonetos também podem afetar a eficiência do PSII e a taxa de transporte de elétrons através do PSII, comprometidas logo após o contato das espécies com os HPAs (Naidoo 2010). Assim como a perda de água nas folhas afetando indiretamente o aparato fotossintético.

Embora ainda não amplamente utilizada, a metodologia de desidratação letal tem se mostrado uma ferramenta importante, em conjunto com variáveis da fluorescência da clorofila a, para avaliar o estresse em folhas de espécies tropicais (Chaves et al., 2023). Kachout et al. (2011) demonstraram que variáveis de teor hídrico, especialmente o TRA (Teor Relativo de Água), são eficazes na avaliação do estresse por toxicidade em plantas. Em nosso estudo, essa metodologia pode nos auxiliar na compreensão dos efeitos de contaminantes de origem petrolífera ao longo do tempo, analisando tanto o teor relativo de água bem como se o dano ocorre de forma direta, ou seja, em escala de órgão, no caso do nosso trabalho as folhas ou de forma indireta, em escala de organela, nesse caso o cloroplasto. Comprometendo a vitalidade da folhas.

O objetivo do presente estudo é avaliar os efeitos de frações solúveis de quatro contaminantes derivados de petróleo na desidratação foliar e na emissão de fluorescência da clorofila *a* de folhas destacadas de *R. mangle* originadas de manguezais com características hidrográficas distintas. Foi utilizada a fração solúvel de três contaminantes derivados do petróleo comuns em áreas de manguezais (óleo Diesel, óleo de motor dois tempos e gasolina), além da fração solúvel do óleo cru de petróleo originado do derrame ocorrido em 2019 na costa do nordeste do Brasil (ITOPF, 2019; Magris, 2020). Acreditamos que quanto maior a vasão do rio e melhor a conservação dos manguezais presente neste rio, maior será a vitalidade das folhas e assim maior a tolerância destas folhas aos contaminantes. Uma vez que a metodologia testada no capítulo anterior permitiu verificar os impactos diferenciais dos hidrocarbonetos testados na vitalidade das folhas de *R. mangle*, medida por meio da fluorescência da clorofila, testamos a hipótese de que essa mesma metodologia pode ser replicada para outros dois manguezais com características espaciais e de uso antrópico distintas.

Material e métodos

Obtenção das frações solúveis

As frações solúveis de quatro contaminantes (óleo cru de petróleo, gasolina, óleo de motor dois tempos e óleo diesel) foram preparadas e armazenadas no Laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Federal do Sul da Bahia (UFSB), Ilhéus, Bahia, Brasil, conforme descrito no Capítulo 2 desta Tese.

Coleta das folhas e caracterização dos manguezais

A coleta das folhas foi realizada através de busca ativa em árvores de três manguezais com características distintas, ambos localizados no litoral sul do estado da Bahia, Brasil, e distantes entre si por, pelo menos, 100 km (Tabela 1, Figura 1).

Foram coletados galhos aleatórios de *R. mangle* expostos ao sol. Após a coleta dos galhos, cerca de 200 folhas em cada manguezal foram selecionadas e separadas, considerando-se como principal critério o fato de serem folhas completamente expandidas, maduras e expostas ao sol. As folhas foram acondicionadas em caixa térmica contendo gelo e esponja vegetal, e hidratadas por no mínimo 24 horas. No Laboratório de Tecnologia da Madeira da UFSB, Ilhéus, Bahia, Brasil, um grupo de 30 folhas de cada manguezal foi selecionado para a caracterização dos mesmos através dos atributos foliares (Tabela 2).

Para tal, as folhas foram inicialmente colocadas em balança analítica para a obtenção da massa fresca saturada (LMs). Logo após, as folhas foram digitalizadas num scanner de mesa e foram obtidas medidas do índice de clorofilas por meio de um medidor de clorofilas portátil SPAD-502 (Minolta, Japão). Após as medições do índice SPAD as folhas foram colocadas em estufa com circulação de ar forçada a 60°C por, no mínimo 7 dias, para obtenção da massa seca (LMd). A área foliar individual (ILA) foi obtida por meio do software ImageJ (Abràmoff et al 2004, Brito-Rocha et al 2017) e o Índice total de clorofilas (Chl) de cada folha por meio da fórmula $Chl = (SPAD - 22,70)/0,57$ (Connelly 1997). A massa foliar por unidade de área (LMA) foi obtida por meio da fórmula $LMA = LMd/ILA$. Amostras compostas das 30 folhas coletadas em cada manguezal foram enviadas para análises dos teores de N, P, K.

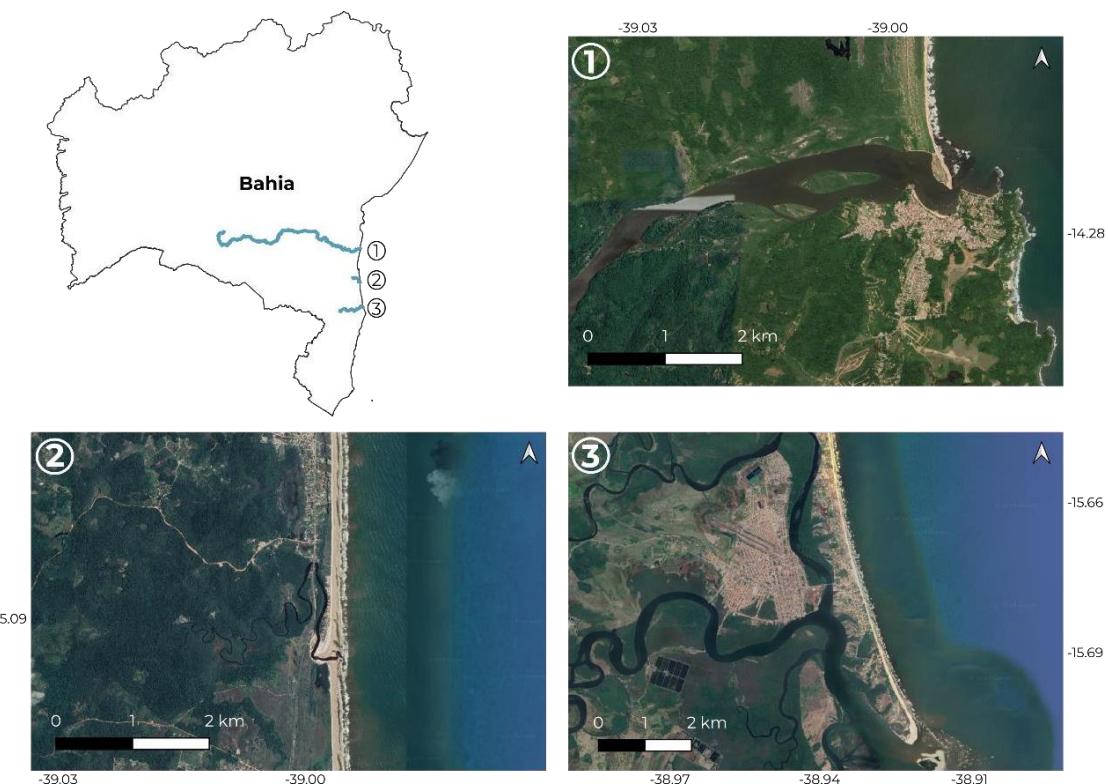


Figura 1: Localização dos Manguezais utilizados como ponto de coleta: Mapa do Estado da Bahia, Brasil, contendo a localização dos principais rios que compõem a bacia hidrográfica dos rios Contas, Acuípe e Pardo respectivamente. 1; Foz e manguezal do Rio de Contas, Itacaré. 2; Foz e manguezal do Rio Acuípe, Ilhéus. 3; Foz e manguezal do Rio Pardo, Canavieiras. Dados coletados do Google Earth, 2024.

Tabela 1: Caracterização dos manguezais conforme Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) 2020; observação durante a coleta e georreferenciamento remoto. Obs: Porcentagens de área urbanizada,

Características	Rio Acuípe	Rio Pardo	Rio de Contas
Localização da Foz	Ilhéus	Canavieiras	Itacaré
Espécie predominante	<i>R. mangle</i>	<i>R. mangle</i>	<i>R. mangle</i> Obs: muitas regenerantes de <i>Laguncularia racemosa</i>
Tipo de Manguezal	Franja, com área de transição para restinga	Ilhotes	Ilhotes
Extensão do Rio	Na	32.334 km	55.334 km
População existente	178.703 (Ilhéus)	39.906 (Canavieiras)	28.684 (Itacaré)
% de área urbanizada	6.04%	47.37%	16.30%
% de vegetação de manguezal	10.91%	26.17%	16.46%

Principais atividades econômicas na foz	Pesca artesanal, turismo, extrativismo	Pesca artesanal, carcinocultura, extrativismo, turismo, transporte fluvial	Turismo, esportes, extrativismo, pesca artesanal.
Nutrientes minerais no ponto de coleta das folhas (% de N, P K , respectivamente) g/kg⁻¹	12.25; 1.06; 5.85	14.00; 1.13; 8.45	14.98; 1.09; 7.15

Efeito dos contaminantes na desidratação foliar e emissão de fluorescência da clorofila

Um segundo grupo de 150 folhas de cada manguezal foi selecionado para os ensaios de desidratação foliar e pesagem para a obtenção da massa fresca saturada antes do contato com as soluções (MFs0). Logo após, as folhas foram submetidas ao contato com cinco soluções, ou seja, controle (água filtrada) e frações solúveis do óleo cru de petróleo, óleo Diesel, óleo de motor dois tempos (gasolina misturada com óleo lubrificante na proporção de 9:1, como usado nas embarcações) e gasolina, sendo mantidas em contato com as soluções por um período de seis horas. Esse tempo de exposição foi escolhido com base nos resultados obtidos no Capítulo II, e pelo fato de que durante as variações naturais do nível das marés este é o tempo pelo qual as folhas localizadas na parte baixa da copa das árvores ficam submersas, e consequentemente em contato com as frações solúveis dos contaminantes. Para o contato com as soluções, as folhas foram acondicionadas em bandejas refratárias de vidro com 30 x 18 x 10 cm (uma bandeja refratária para cada solução), cobertas com camadas com papel toalha e adicionado 100 mL de cada solução (o mesmo procedimento foi utilizado para o controle, sendo utilizada água destilada). Em seguida, as bandejas refratárias foram fechadas hermeticamente e colocados dentro de uma capela de exaustão de gases de laboratório. Ao final dos tempos de exposição as folhas foram novamente lavadas com água filtrada por cerca de 2 a 3 minutos, secas com papel toalha e colocadas em balança analítica para a obtenção da massa fresca após 6 e 24h de contato com as soluções (MF₆, MF₂₄).

Logo após a obtenção da massa fresca, em cada folha foi colocado um clipe para aclimatação ao escuro, para a realização das medições da emissão de fluorescência da clorofila. Após 30 minutos de aclimatação ao escuro, a emissão de fluorescência da clorofila foi medida por meio de um fluorômetro portátil Pocket PEA (Hansatech Instruments, UK), para a obtenção da eficiência fotoquímica máxima do fotossistema II (Fv/Fm). Após esses procedimentos, as folhas foram colocadas sob a bancada do laboratório e pesadas após 24 e 48 horas, para a obtenção da massa fresca atual da folha durante a desidratação (MFde). No momento de cada pesagem foi medida simultaneamente a emissão de fluorescência da clorofila *a*. Logo após a última pesagem as folhas foram colocadas em estufa com circulação de ar forçado a 60°C para obtenção da massa seca (MS). O teor relativo de água (TRA) foi calculado a partir dos valores de MF_x, MF_{de} e MS para cada horário de medição, por meio da fórmula $TRA = (MF_{de}-MS)/(MF_x-MS)$ onde x é o valor do tempo de exposição (6, 24h).

Análise estatística

Comparação de atributos foliares entre manguezais: Os dados foram submetidos a testes de resíduos para comprovar a normalidade e a homocedasticidade para cada variável (área foliar; massa foliar específica e índice de clorofila). Não sendo observada a normalidade e homoscedasticidade dos dados foram realizados testes não paramétricos para comparar as médias utilizando o teste de Kruskal Wallis (equivalente não paramétrico para Anova) e teste de Dunn, (equivalente não paramétrico para o teste de Tukey). A análise estatística foi realizada utilizando o programa Rstudio.

Comparação manguezais e contaminantes: Após testes de resíduos observamos a normalidade e homocedasticidade dos mesmos para cada variável resposta (TRA, Fv/Fm, Piabs e Pitotal) sendo então empregado para análise dos dados o teste de ANOVA fatorial seguido por teste de média para isto utilizamos o teste Tukey e em seguida foi aplicado Scott Knott para melhor alinhamento e visualização das interações das médias. A análise estatística foi realizada utilizando o programa Rstudio.

Resultados:

Os maiores e menores valores médios de AF e MFE foram encontrados para os manguezais do rio Pardo (Canavieiras) e Acuípe, respectivamente, ao passo que os maiores e menores valores para os teores de clorofila foram encontrados para os manguezais do rio de Contas (Itacaré) e Acuípe, respectivamente (Tabela 3). Para a AF o valor médio obtido para o manguezal do rio Pardo (Canavieiras) foi significativamente superior ao manguezal do rio Acuípe, ao passo que o valor médio de AF obtido para o rio de Contas (Itacaré) não diferiu significativamente em relação aos outros dois manguezais. O valor médio da MFE foi significativamente superior no manguezal do rio Pardo (Canavieiras) em relação aos outros dois manguezais, sendo aproximadamente 1,5 vezes maior do que no manguezal do rio Acuípe. Os teores de clorofila não diferiram significativamente entre os manguezais dos rios Pardo (Canavieiras) e Contas (Itacaré), os quais foram significativamente superiores em relação ao rio Acuípe.

Tabela 3. Valores médios \pm erro padrão da área foliar individual (AF), da massa foliar específica (MFE) e do teor de clorofilas (Clorofila) para folhas de *R. mangle* coletadas em três manguezais com características hidrográficas distintas no sul da Bahia, Brasil. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Dunn ($p < 0,05$). $N = 30$

	Acuípe	Canavieiras	Itacaré
AF (cm^2)	$47,05 \pm 2,23$ b	$71,50 \pm 1,93$ a	$50,40 \pm 1,58$ ab
MFE (g m^{-2})	$57,20 \pm 0,96$ c	$84,55 \pm 1,54$ a	$66,13 \pm 1,15$ b
Clorofila (mg g^{-1})	$36,75 \pm 1,97$ b	$49,17 \pm 1,40$ a	$50,57 \pm 1,80$ a

Foram encontradas diferenças significativas entre os manguezais e os contaminantes, além de interações significativas entre manguezais e contaminantes para as quatro variáveis analisadas (TRA, Fv/Fm, Piabs, Pitotal) (Tabela 4).

Tabela 4. Sumário da análise da variância para os efeitos dos manguezais e contaminantes no teor relativo de água (TRA), na razão Fv/Fm e nos índices de performance Piabs e Pitotal.

Variável	Manguezal (M)	Contaminante (C)	M x C
TRA	0,0001	0,0001	0,0001
Fv/Fm	0,0001	0,0001	0,0001
Piabs	0,0001	0,0001	0,0001
Pitotal	0,0001	0,0001	0,0001

Após 48 horas de desidratação das folhas em laboratório, os valores médios de TRA não diferiram entre os manguezais dos rios Pardo (Canavieiras) e Contas (Itacaré), os quais foram significativamente superiores em relação ao manguezal do rio Acuípe (Tabela 5). Os três manguezais apresentaram diferenças significativas entre si para as variáveis de emissão de fluorescência da clorofila *a*, sendo os maiores e menores valores para Fv/Fm e Piabs encontrados para os manguezais dos rios Pardo (Canavieiras) e Acuípe, respectivamente. Por outro lado, os maiores e menores valores, de Pitotal foram encontrados para os manguezais do rio de Contas (Itacaré) e Acuípe, respectivamente. Salienta-se que os menores valores de TRA, Fv/Fm, Piabs e Pitotal foram sempre observados para o manguezal do rio Acuípe.

Tabela 5. Valores médios \pm erro padrão do teor relativo de água (TRA), da razão Fv/Fm e dos índices de performance Piabs e Pitotal em folhas de *R. mangle* coletadas em três manguezais com características hidrográficas distintas e submetidas à exposição por 6 h a diferentes contaminantes derivados do petróleo e desidratadas em ambiente de laboratório por 48 h. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). N = 75

	TRA	Fv/Fm	Piabs	Pitotal
Acuípe	$40,34 \pm 1,07$ b	$0,50 \pm 0,03$ c	$1,58 \pm 0,21$ c	$0,36 \pm 0,05$ c
Canavieiras	$55,02 \pm 0,89$ a	$0,80 \pm 0,00$ a	$4,02 \pm 0,16$ a	$0,57 \pm 0,06$ b
Itacaré	$53,06 \pm 0,93$ a	$0,66 \pm 0,03$ b	$3,31 \pm 0,24$ b	$0,77 \pm 0,07$ a

Considerando-se os valores médios dos três manguezais (Tabela 6), os maiores valores para todas as variáveis analisadas foram observados para o controle e os menores valores médios para o contaminante gasolina. Os demais contaminantes (óleo cru, óleo diesel e óleo de motor) apresentaram valores médios intermediários. Apenas o óleo diesel não diferiu significativamente em relação ao controle para Fv/Fm, o óleo cru e o óleo diesel não diferiram significativamente em relação ao controle para Piabs e o óleo de motor não diferiu significativamente em relação ao controle para Pitotal.

Tabela 6. Valores médios \pm erro padrão do teor relativo de água (TRA), da razão Fv/Fm e dos índices de performance Piabs e Pitotal em folhas de *R. mangle* coletadas em três manguezais com características hidrográficas distintas e submetidas à exposição por 6 h a diferentes contaminantes derivados do petróleo e desidratadas em ambiente de laboratório por 48 h. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). N = 45

	TRA	Fv/Fm	Piabs	Pitotal
Controle	$54,39 \pm 1,19$ a	$0,78 \pm 0,02$ a	$4,23 \pm 0,24$ a	$0,91 \pm 0,06$ a
Óleo cru	$48,56 \pm 1,16$ bc	$0,69 \pm 0,03$ ab	$2,77 \pm 0,27$ b	$0,55 \pm 0,06$ bc

Óleo diesel	52,46 ± 1,69 ab	0,68 ± 0,04 ab	2,82 ± 0,26 b	0,26 ± 0,08 d
Óleo de motor	47,03 ± 1,95 c	0,64 ± 0,04 b	3,23 ± 0,36 a	0,75 ± 0,09 ab
Gasolina	44,61 ± 1,35 c	0,46 ± 0,05 c	1,74 ± 0,28 c	0,36 ± 0,06 cd

Os resultados obtidos para os fatores, quando considerados isoladamente (Tabelas 5 e 6), refletiram os resultados das interações entre manguezais e contaminantes (Tabela 7). Ou seja, quando as comparações de médias foram feitas entre contaminantes dentro de manguezais os maiores e os menores valores médios foram obtidos para o controle e para o contaminante gasolina, respectivamente. Além disso, os menores valores médios obtidos para todos os quatro contaminantes analisados foram obtidos no manguezal do rio Acuípe. É importante salientar os valores extremamente baixos obtidos para as médias de Pitotal para o contaminante óleo diesel, fato esse que não ocorreu nos demais manguezais.

Tabela 7. Valores médios ± erro padrão do teor relativo de água (TRA), da razão Fv/Fm e dos índices de performance Piabs e Pitotal em folhas de *R. mangle* coletadas em três manguezais com características hidrográficas distintas e submetidas à exposição por 6 h a diferentes contaminantes derivados do petróleo e desidratadas em ambiente de laboratório por 48 h. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). N = 15

Manguezal	Contaminante	TRA	Fv/Fm	Piabs	Pitotal
Acuípe	Controle	47,41 ± 1,78bA	0,73 ± 0,05aA	3,67 ± 0,50aA	0,81 ± 0,11aA
	Óleo cru	40,82 ± 1,28abB	0,51 ± 0,06bB	0,97 ± 0,26bB	0,20 ± 0,04bB
	Óleo diesel	41,45 ± 2,46abC	0,46 ± 0,08bB	1,35 ± 0,45bB	0,35 ± 0,14abA
	Óleo de motor	32,02 ± 2,37cB	0,36 ± 0,07bB	0,72 ± 0,31bC	0,18 ± 0,07bB
	Gasolina	40,02 ± 2,25bB	0,42 ± 0,08bB	1,16 ± 0,38bB	0,27 ± 0,08bAB
Canavieiras	Controle	56,66 ± 1,37abA	0,82 ± 0,00aA	4,28 ± 0,26abA	0,79 ± 0,07abA
	Óleo cru	51,12 ± 1,54bA	0,80 ± 0,01aA	3,66 ± 0,26bA	0,64 ± 0,06bA
	Óleo diesel	60,78 ± 2,06aA	0,80 ± 0,00aA	3,62 ± 0,27bA	0,00 ± 0,00cB
	Óleo de motor	56,34 ± 1,57abA	0,82 ± 0,00aA	5,20 ± 0,35aA	1,08 ± 0,11aA
	Gasolina	50,21 ± 2,12bA	0,78 ± 0,01aA	3,33 ± 0,39bA	0,61 ± 0,09bA
Itacaré	Controle	59,43 ± 1,66aA	0,80 ± 0,01aA	4,77 ± 0,40aA	1,13 ± 0,12aA
	Óleo cru	53,74 ± 1,45aA	0,75 ± 0,03aA	3,67 ± 0,43aA	0,81 ± 0,12abA
	Óleo diesel	54,42 ± 1,78aB	0,77 ± 0,02aA	3,39 ± 0,39aA	0,69 ± 0,09bA
	Óleo de motor	53,13 ± 1,48aA	0,76 ± 0,02aA	3,83 ± 0,50aB	1,00 ± 0,17aA
	Gasolina	42,98 ± 1,84bB	0,10 ± 0,06bC	0,45 ± 0,37bB	0,15 ± 0,12cB

Letras minúsculas representam comparações entre médias de contaminantes dentro de manguezais e letras maiúsculas representam comparações entre médias de manguezais dentro de contaminantes.

Discussão

Desde o momento de extração até o seu refinamento o petróleo pode causar danos em manguezais, seja por derrames, asfixiando as árvores (Duke, 2016; Naidoo 2016), até mesmo quando frações solúveis desses compostos chegam através das marés e pelo ar em forma dos conhecidos hidrocarbonetos (Duke, 2016; Billah et al 2022). Estudos que visam investigar as consequências dessas substâncias em plantas de manguezais são escassos (Duke, 2016). Naidoo & Naidoo (2017), relatam em seu trabalho os danos que hidrocarbonetos podem causar nos tecidos das espécies do gênero *Rhizophora*. No seu experimento, após a contaminação por diversos hidrocarbonetos presentes no petróleo em propágulo de duas espécies mangue da África do Sul, constataram menor taxa de crescimento nas plantas contaminadas que as controles, principalmente nas raízes, sugerindo que as espécies (*Avicennia marina* e *Rhizophora mucronata*) acumulam esses hidrocarbonetos em seu sistema radicular.

Outro estudo, conduzido também em condições de casa de vegetação por Naidoo et al (2010), foi observado que, além da diminuição do crescimento radicular, quanto maior a concentração de óleo cru nos tratamentos menores os valores de Fv/Fm em relação ao controle. Nesse caso os autores constataram o efeito nocivo dos hidrocarbonetos presentes no contaminante, principalmente para a alocação de carbono nas mudas et al. Os trabalhos supracitados mostram estudos ecofisiológicos em diferentes espécies de mangue, apresentando os efeitos nocivos dos hidrocarbonetos para as espécies estudadas bem como o presente trabalho.

Porém, o presente trabalho é o primeiro a usar uma espécie amplamente distribuída no Brasil (*Rhizophora mangle*) para analisar o efeito dos hidrocarbonetos de diferentes frações solúveis de contaminantes em diferentes tempos de exposição em suas folhas. Uma vez que as folhas são partes da planta de grande importância para a sobrevivência do organismo, por serem os órgãos que mais promovem a fotossíntese, além de apresentar características mais visuais de identificação de contaminação, como diferenças na coloração, formato e tamanho (Santos, et al 2011; Lewis et al 2011).

Comparando as características dos manguezais com os resultados desse estudo foi possível observar que as folhas dos manguezais analisados apresentam padrões distintos em relação aos atributos foliares medidos e em relação as respostas aos contaminantes. O Acuipe é um rio de

pequena extensão, bastante assoreado e com pouca cobertura de manguezal ao redor. Observando o local nota-se características que demonstram que as árvores estão sob estresse segundo (Duke 2016), como necrose e amarelamento das folhas bem como deformação de propágulos (dados não publicados). Tais características são descritas como possível contaminação por hidrocarbonetos provenientes do petróleo no ambiente (Nansingh & Jurawan, 1999; Lewis et al 2011; Billah et al 2022). No comparativo de médias este foi o manguezal que mais teve impacto negativo na vitalidade das folhas para todos os contaminantes em todas as variáveis analisadas.

Em contrapartida o manguezal do rio Pardo encontra-se na foz de um rio de grande extensão, com vários afluentes e a presença de manguezais do tipo ilhote, como o nome diz, ilhas de manguezal ao longo do rio (Pereira & Gomes, 2021). As folhas de *R. mangle* no manguezal da foz do rio Pardo apresentam área foliar maior em relação aos outros dois manguezais (Tabelas 2 e 3), de um verde escuro e limbo rígido, característica natural apresentada para a descrição do gênero (Grahan, 1964). Pelas características das folhas (Tabelas 2 e 3) e até mesmo do local onde foi coletada (Tabela 1) são as folhas que mais toleraram a presença da maioria dos contaminantes principalmente para o tempo de desidratação exposto, visto que no comparativo de médias apenas o manguezal de Itacaré (Rio de Contas) se aproxima dele, porém para as variáveis TRA, Fv/Fm e Piabs Canavieiras apresenta as maiores médias (Tabela 5).

A foz do rio de Contas situa-se em Itacaré, a cidade mais turística dentre as três. Esse local é caracterizado por manguezais do tipo ilhote, os quais ficam no meio da foz e por onde todos os dias passam vários pequenos barcos para passeios, utilizando comumente a gasolina como combustível principal destas embarcações. Este uso pode explicar a baixa resistência das folhas deste local à gasolina. Comparativamente, as médias de Itacaré apresentam os menores valores para todas as variáveis, porém destaca-se Fv/Fm e Piabs.

A variável TRA é geralmente utilizada para estudos de relação hídrica, principalmente em relações ambientais extremas (e.g seca e alagamento). Atualmente vem sendo usada para medir efeitos de eventos extremos em espécies vegetais. Uma vez que o tempo de desidratação pode indicar a resistência da espécie a estresses, como nesse caso, estresse hídrico severo (Trueba et al 2019; Mielke et al 2023). No nosso experimento a desidratação serviu como uma importante ferramenta para aferir os danos dos contaminantes nas folhas ao longo do tempo, uma vez que observando dos valores de teor relativo de água, vemos a velocidade que com a contaminante influência na perda de água na folha e consequentemente pode afetar no funcionamento fotossintético. No nosso caso comprovando o efeito negativo da gasolina nos diferentes ambientes.

Tratando das variáveis referentes a fluorescência da clorofila a, destacam-se a Fv/Fm e a Piabs com resultados que são mais próximos do que foi observado ao longo do experimento, sendo

gasolina e óleo de motor 2 tempos variáveis que apresentam as menores médias e destacando o que já foi supracitado, o Acuípe como manguezal com maiores danos aos contaminantes que Canavieiras e Itacaré. Pitotal, Índice de performance total, medindo a performance até os aceptores finais de elétrons do FSI (Reinert et al 2016) provavelmente, por ser uma variável que abrange vários processos da fotossíntese, para o caso da medição com contaminantes se mostrou menos precisa, em exemplo podemos citar o óleo diesel, que apresentou resultados diferentes dos demais (Tabela 7). Em um experimento com contaminação de óleo crú foi destacado que Pitotal apresentou menores valores comparando com as duas variáveis supracitadas (Reinert et al, 2016). Provavelmente o uso de contaminantes mais refinados, torne Piabs mais precisa que Pitotal. Em relação a Fv/Fm esta variável já se mostrou eficiente para demonstrar estresses em espécies no mesmo gênero estudado no presente estudo (Barnuevo & Asaeda, 2018).

Com base nos resultados obtidos nesse estudo é possível inferir que a resistência e a resiliência da espécie de *R. mangle* nos manguezais onde as folhas foram coletadas, depende de características do local onde vivem. Mesmo sendo considerado um gênero antigo, datado do Pleistoceno (Duke, 2002) que resistiu a períodos de glaciações e interglaciações e demais intempéries como tsunamis e terremotos (Schaffer-Novelli, 1999; Duke, 2002; Pereira & Gomes 2021). Mudanças em curto período de tempo pedem fazer com que esta espécie não se adapte. Para isso, estudos ecofisiológicos objetivando avaliar efeitos antrópicos nestas espécies podem ajudar na compreensão dos efeitos que estas mudanças podem causar na espécie e traçar metodologias para mitigar esses estresses e ajudar na manutenção da *R. mangle*. (Lewis et al 2011). Acreditamos que entender o efeito de contaminantes que estão cada vez mais frequentes nos manguezais, nas folhas desta espécie, destacando a importância da mesma para a fixação do ecossistema, ajudaria na conscientização e melhorias na conservação da mesma, bem como o ecossistema, uma vez que a conectividade planta ecossistema é muito forte.

Conclusões

Após os comparativos dos atributos foliares dos diferentes manguezais observa-se que estes refletem nas respostas da interação das folhas com os diferentes contaminantes, onde folhas com atributos de maiores médias apresentam maiores resistência ao efeito dos contaminantes.

Manguezais mais conservados, ou, como no caso do manguezal do Rio Pardo, uma Ressex, com bacias hidrográficas de grande vasão, tendem a ter um maquinário fotossintético mais resistente aos contaminantes, diferindo na vitalidade das folhas. Porém a gasolina se mostrou um contaminante bastante nocivo para a espécie, sendo capaz de atingi-la de forma intensa, mesmo estando em um ambiente que possua maior conservação que os demais. Comparando com o Acuípe , as folhas dos manguezais de Canavieiras possuem maior resistência, provando que estratégias de conservação do ambiente podem ajudar na conservação da espécie.

Por fim, a variável que melhor detecta os danos dos contaminantes no maquinário fotossintético é Piabs, por ser uma variável mais direta. Ela afere a performance fotossintética através do índice de desempenho de energia nos aceptores de elétrons, e apresenta maior acuidade em diferir o tamanho dos danos dos contaminantes nas folhas de *R.mangle* .

Referências

Barnuevo, A., & Asaeda, T. (2018). Integrating the ecophysiology and biochemical stress indicators into the paradigm of mangrove ecology and a rehabilitation blueprint. *PLoS One*, 13(8), e0202227.

Billah,M.M., Bhuiyan, M.K.A., Amran, M.I.U.A., Cabral, A. C.,& Garcia M.R.D. (2022). Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) pollution in mangrove ecosystems: global synthesis and future research directions. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 21 (3), 747-770.

Connelly, X. M. 1997. The Use of a chlorophyll meter (SPAD-502) for field determinations of red mangrove (*Rhizophora mangle* L.) leaf chlorophyll amount. *NASA Univ. Res. Cent. Tech. Adv. Educ. Aeronaut. Space Auton. Earth Environ*, 1, 187–190.

Connolly, R. M., F. N., Connolly, & M. A. Hayes, (2020). Oil spill from the Era: Mangroves taking eons to recover. *Marine pollution bulletin* 153: 110965

Duke, N. C., Lo, E., & Sun, M. (2002). Global distribution and genetic discontinuities of mangroves—emerging patterns in the evolution of *Rhizophora*. *Trees*, 16, 65-79.

Duke, N. C. (2016). Oil spill impacts on mangrove: recommendations for operational planning and action base don a global review. *Marine pollution bulletin* 109 (2), 700-715.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.06.082>

Graham, S. A. (1964). The genera of Rhizophoraceae and Combretaceae in the southeastern United States. *Journal of the Arnold Arboretum*, 45(3), 285-301.

Gonçalves, J. F. D. C., Silva, C. E., Guimarães, D. G., & Bernardes, R. S. (2010). Análise dos transientes da fluorescência da clorofila a de plantas jovens de *Carapa guianensis* e de *Dipteryx odorata* submetidas a dois ambientes de luz. *Acta amazônica*, 40, 89-98.

Hao, G. Y., Jones, T. J., Luton, C., Zhang, Y. J., Manzane, E., Scholz, F. G., ... & Goldstein, G. (2009). Hydraulic redistribution in dwarf *Rhizophora mangle* trees driven by interstitial soil

water salinity gradients: impacts on hydraulic architecture and gas exchange. *Tree Physiology*, 29(5), 697-705.

Hughes, A. R., J Cebrian, K. Heck, J., Goff, T. Hanley, W. Scheffel, & R. A. Zerebecki, (2018). Effects of oil exposure, plant species composition, and plant genotypic diversity on salt marsh and mangrove assemblages. *Ecosphere*

IBGE: Instituto Brasileiro De Geografia E Estatistica, (2012) Manual Técnico da Vegetação Brasileira. Ed.2. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro,

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade do Brasil, (2018). Atlas dos manguezais do Brasil. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade.

Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade do Brasil (2024). Available in <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/marinho/lista-de-ucs/resex-de-canavieiras>, accessed in April, 2024.

ITOPF (2023). Available in <https://www.itopf.org/knowledge-resources/documents-guides/document/ocean-orbit/>, accessed in: january, 2023.

Kulkarni, R., Deobagkar, D., & Zinjarde, S. (2018). Metals in mangrove ecosystems and associated biota: a global perspective. *Ecotoxicology and environmental safety*, 153, 215-228.

Lewis, M., Pryor, R. & Wilking, L. (2011). Fate and effects of anthropogenic chemicals in mangrove ecosystems: a review. *Environmental pollution* 159 (10), 2328-2346. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.04.027>

Magris, R. A., & T. Giarrizzo, (2020). Mysterious oil spill in the Atlantic Ocean threatens marine biodiversity and local people in Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 153: 110961. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2020.110961>

Mater, L., Alexandre, M. R., Hansel, F. A., & Madureira, L. A. (2004). Assessment of lipid compounds and phosphorus in mangrove sediments of Santa Catarina Island, SC, Brazil. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 15, 725-734.

Mielke, M. S., Oliveira, L. A., dos Santos, M. S., Pérez-Molina, J. P., Cerqueira, A. F., Dalmolin, Â. C., ... & de Brito, C. R. (2024). Photochemical efficiency and lethal leaf dehydration in seedlings of nine tropical tree species. *New Forests*, 55(3), 505-521.

Naidoo G, Naidoo Y, Achar P (2010) Responses of the mangroves *Avicennia marina* and *Bruguiera gymnorhiza* to oil contamination. *Flora* 205:357–362

Naidoo, G., & K. Naidoo, (2016). Uptake of polycyclic aromatic hydrocarbons and their cellular effects in the mangrove *Bruguiera gymnorhiza*. *Marine Pollution Bulletin* 113: 193-199. 10.1016/j.marpolbul.2016.09.012

Naidoo, G., & Naidoo, K. (2017). Ultrastructural effects of polycyclic aromatic hydrocarbons in the mangroves *Avicennia marina* and *Rhizophora mucronata*. *Flora*, 235, 1-9.

Naidoo, G., & Naidoo, K. (2018). Uptake and accumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons in the mangroves *Avicennia marina* and *Rhizophora mucronata*. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 28875-28883.

Nansingh, P., & Jurawan, S (1999) Environmental sensitivity of a tropical coastline (Trinidad, West Indies) to oil spills. *Spill Science & Technology Bulletin*, 5(2), 161-172. [https://doi.org/10.1016/S1353-2561\(98\)00052-8](https://doi.org/10.1016/S1353-2561(98)00052-8)

Nascimento, L. D. (2017). Caracterização geoambiental da linha de costa da Costa do Cacau-Litoral Sul da Bahia.

Parida, A. K., & Jha, B. (2010). Salt tolerance mechanisms in mangroves: a review. *Trees*, 24(2), 199-217.

Pereira, R. C., & Gomes, A. S. (2021). Ecologia marinha. *Interciencia*.

Reinert F, Pinho CF, Ferreira MA (2016) Diagnosing the level of stress on a mangrove species (*Laguncularia racemosa*) contaminated with oil: A necessary step for monitoring mangrove ecosystems. *Marine Pollution Bulletin* 113: 94–99

Santos, H. F., Carmo, F. L., Paes, J. E., Rosado, A. S., & Peixoto, R. S. (2011). Bioremediation of mangroves impacted by petroleum. *Water, Air, & Soil Pollution*, 216, 329-350.

Schaeffer-Novelli, Y. A. R. A., (1999). *Grupo de ecossistemas: manguezal, marisma e apicum*. São Paulo.

Tiburtius, E. R. L., Peralta-Zamora, P., & Emmel, A. (2009). Degradação de benzeno, tolueno e xilenos em águas contaminadas por gasolina, utilizando-se processos foto-Fenton. *Química Nova*, 32, 2058-2063.

Trueba S, Pan R, Scoffoni C et al (2019) Thresholds for leaf damage due to dehydration: declines of hydraulic function, stomatal conductance and cellular integrity precede those for photochemistry. *New Phytol* 223:134–149. <https://doi.org/10.1111/nph.15779>

Wang, W. Q., Ke, L., Tam, N., & Wong, Y. S. (2002). Changes in the main osmotica during the development of *Kandelia candel* hypocotyls and after mature hypocotyls were transplanted in solutions with different salinities. *Marine biology*, 141, 1029-1034.

Yan, Z., Sun, X., Xu, Y., Zhang, Q., & Li, X. (2017). Accumulation and tolerance of mangroves to heavy metals: a review. *Current pollution reports*, 3, 302-317.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Existem lacunas nas áreas de pesquisa, principalmente quando se trata de ecologia e conservação das espécies de mangue para que possam conhecer o ecossistema e ajudar a mitigar danos antrópicos de curto, médio e longo prazo de forma pontual ou generalizada, a exemplo de estudos de área, geoprocessamento, relação planta-solo e assim inferir, escala nacional, com parâmetros que podem identificar áreas de risco de contaminação ou áreas já contaminadas.

A Fluorescência da clorofila é uma importante ferramenta para inferir danos de hidrocarbonetos de contaminantes derivados do petróleo em escala de folha e pode ajudar a descrever características fisiológicas para determinar vitalidade da espécie estudada.

Variáveis da curva OJIP, tais como as que identificam índice de performance da cadeia de transporte de elétrons da fotossíntese, podem ser utilizadas com mais frequência para indicar a danos da contaminação de hidrocarbonetos originários do petróleo em escala foliar de *Rhizophora mangle*, podendo ser expandida para outras espécies.

Característica foliares e conservação do ambiente podem ajudar na resiliência e resistência foliar da *R. mangle* à exposição aos contaminantes derivados do petróleo, uma vez que quanto maior a vasão dos rios que banham os manguezais maior os atributos foliares tais como, área foliar, massa foliar específica e clorofila.