


















# SIMULAÇÃO DO DERRAMAMENTO DE ÓLEO DO NORDESTE EM LABORATÓRIO: OSTRA SACOSTREA SP. COMO MODELO DE DIAGNÓSTICO AMBIENTAL E FONTE DE POTENCIAIS ANTÍDOTOS CONTRA AMEAÇAS QUÍMICAS

Simulation of Northeast oil spill in the laboratory: *Saccostrea* sp. oyster as a model of environmental diagnosis and source of potential antidotes against chemical threats

Janaína Pessanha de Macedo Chaves<sup>1</sup> , Ana Paula de França Leal<sup>2</sup> , Pedro Sant'Anna Cortez<sup>3</sup> , Nicollas Menezes Ferreira<sup>4</sup> , Luciana Altvater<sup>5</sup> , Narcilo Cardoso<sup>6</sup> , Michael dos Anjos dos Santos<sup>7</sup> , Rayanne Antunes Fernandes Sales<sup>8</sup> , Guilherme Búrigo Zanette<sup>9</sup> , Júlio Cesar Monteiro<sup>10</sup>, Cássia de Oliveira Farias<sup>11</sup> , Dayana Maia Montalvão<sup>12</sup> , Laura Moura<sup>13</sup> , Tailah Almeida<sup>14</sup> , Louisi Souza de Oliveira<sup>15</sup> , Márcio Martins Lobão<sup>16</sup> , Ricardo Coutinho<sup>17</sup> , Giselle Pinto de Faria Lopes<sup>18</sup> 

1. Capitão-Tenente, Encarregada da Divisão de Saúde no Departamento de Administração, Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM). Doutoranda do Programa Associado de Pós-Graduação em Biotecnologia Marinha, IEAPM / Universidade Federal Fluminense (UFF), Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: janaina.macedo@marinha.mil.br
2. Mestranda do Programa Associado de Pós-Graduação em Biotecnologia Marinha, IEAPM / UFF, Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: ana.franca.leal@gmail.com
3. Primeiro-Tenente, ajudante da Divisão de Oceanografia Biológica do Departamento de Oceanografia Biológica, IEAPM. Doutorando do Programa Associado de Pós-Graduação em Biotecnologia Marinha, IEAPM / UFF, Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: pedro.cortez@marinha.mil.br
4. Doutorando do Programa Associado de Pós-Graduação em Biotecnologia Marinha, IEAPM / UFF, Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: nicollas.menezes@outlook.com
5. Pós-doutorando em Biotecnologia Marinha, IEAPM, Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: lual81bio@gmail.com
6. Bolsista de Treinamento e Capacitação Técnica, Divisão de Bioprodutos, Departamento de Biotecnologia Marinha, IEAPM, Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: narciloquadroscardoso@gmail.com
7. Bolsista de Treinamento e Capacitação Técnica, Divisão de Bioprodutos, Departamento de Biotecnologia Marinha, IEAPM, Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: michaelanjossantos@gmail.com
8. Bolsista de Treinamento e Capacitação Técnica, Divisão de Bioprodutos, Departamento de Biotecnologia Marinha, IEAPM, Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: rayannefernandes99@gmail.com
9. Pesquisador da Diretoria de Pesquisa e Produção, Fundação Instituto de Pesca do Estado do Rio de Janeiro (Fiperj), Niterói, RJ - Brasil. E-mail: guizanette@hotmail.com
10. Servidor civil de nível superior, tecnologista pleno III, ajudante da Divisão de Biodiversidade e Genética, Departamento de Biotecnologia Marinha, IEAPM, Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: juliuscmonteiro@yahoo.com.br
11. Professora adjunto, coordenadora do Laboratório de Geoquímica Orgânica Aplicada, Laboratório de Geoquímica Orgânica Marinha, Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, RJ - Brasil. E-mail: cassiaofarias@gmail.com
12. Terceiro-Sargento, auxiliar da Divisão de Bioprodutos, Departamento de Biotecnologia Marinha, IEAPM, Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: dayana.maia@marinha.mil.br
13. Primeiro-Tenente, ajudante da Divisão de Biotecnologia Aplicada, Departamento de Biotecnologia Marinha, IEAPM, Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: laura.moura@marinha.mil.br
14. Primeiro-Tenente, ajudante da Divisão de Bioprodutos, Departamento de Biotecnologia Marinha, IEAPM, Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: tailah.almeida@marinha.mil.br
15. Primeiro-Tenente, ajudante da Divisão de Genética e Biodiversidade, Departamento de Biotecnologia Marinha, IEAPM. Docente permanente do Programa Associado de Pós-Graduação em Biotecnologia Marinha, IEAPM / UFF, Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: louisi.oliveira@marinha.mil.br
16. Capitão de Mar e Guerra (EN), superintendente de Pesquisas, IEAPM, Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: marcio.lobao@marinha.mil.br
17. Servidor civil de nível superior, pesquisador titular III, chefe do Departamento de Biotecnologia Marinha, IEAPM. Coordenador e docente permanente do Programa Associado de Pós-Graduação em Biotecnologia Marinha, IEAPM / UFF, Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: ricardo.coutinho@marinha.mil.br
18. Servidora civil de nível superior, pesquisadora associada III, encarregada da Divisão de Bioprodutos, Departamento de Biotecnologia Marinha, IEAPM. Docente permanente do Programa Associado de Pós-Graduação em Biotecnologia Marinha, IEAPM / UFF, Arraial do Cabo, RJ - Brasil. E-mail: giselle.lopes@marinha.mil.br

**Resumo:** O Plano Estratégico da Marinha (PEM 2040) descreve diferentes ameaças no mar que poderão comprometer a sobrevivência e a prosperidade do Brasil. Este estudo associa duas das ameaças mais relevantes para o preparo e o emprego do Poder Naval: as Questões Ambientais, como vazamentos de óleo na costa brasileira ocorrido no litoral nordestino em 2019, e o Terrorismo, cujo evento, considerado um crime ambiental, foi exemplificado no trabalho pela exposição crônica aos agentes químicos do óleo, incluindo os carcinogênicos. O modelo utilizado em laboratório para simular o derramamento de óleo foi a ostra exótica do gênero *Saccostrea*, encontrada em abundância no Nordeste e Sudeste brasileiros. Esses bivalves, por serem animais filtradores, podem ser usados como bioindicadores do impacto ambiental. Além disso, através de técnicas de cromatografia e histologia, observamos que sua resiliência direcionará este estudo a uma segunda etapa, de desenvolvimento de um bioproduto natural marinho com possível potencial antídoto para a toxicidade resultante da exposição de agentes químicos à saúde humana, inovação biotecnológica inédita no país.

**Palavras-chave:** Ameaças. Terrorismo. Óleo. Toxicidade. Ostra. Inovação biotecnológica.

**Abstract:** The Navy's Strategic Plan (*Plano Estratégico da Marinha* – PEM 2040) describes several threats at sea that could compromise Brazil's survival and prosperity. This study associated two of the most relevant threats to the preparation and employment of Naval Power: Environmental Issues, such as the oil spills on the Brazilian coast that occurred on the northeastern coast in 2019, and Terrorism, which through this event, considered an environmental crime, was exemplified at work by chronic exposure to chemical agents in oil, including carcinogens. The model used in the laboratory to simulate the oil spill was the exotic oyster of the genus *Saccostrea*, found in abundance in the Brazilian Northeast and Southeast. These bivalves, as filter feeders, can be used as bioindicators of environmental impact. In addition, through chromatography and histology techniques, it was observed that its resilience would direct this study to a second stage, the development of a natural marine bioproduct with a possible antidote potential for the toxicity resulting from exposure to chemical agents to human health, biotechnological innovation unprecedented in the country.

**Keywords:** Threats. Terrorism. Oil. Toxicity. Oyster. Biotechnological Innovation.

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com o Plano Estratégico da Marinha (PEM-2040) (MARINHA DO BRASIL, 2020), dentre as principais ameaças aos interesses nacionais do mar, com potencial comprometimento do desenvolvimento da Nação, estão as “Questões Ambientais, Desastres Naturais e Pandemias”. Em 2019 ocorreu um derramamento de óleo de origem desconhecida que atingiu grande extensão da costa brasileira, sobretudo na região Nordeste. Esse incidente é considerado um dos mais graves desastres ambientais marinhos da história do país, devido à grande extensão da linha de costa atingida, com mais de 3.000 km do litoral impactados (LOBÃO et al., 2022). Além disso, um dos fatores condicionantes citados no PEM-2040, com grande capacidade de influenciar o Poder Marítimo, é a necessidade de um desenvolvimento sustentável, no qual tornam-se inaceitáveis atividades de exploração de recursos naturais sem medidas adequadas de preservação, de modo a evitar a degradação dos recursos vivos e do meio ambiente marítimo. Dessa forma, o gerenciamento do uso sustentável do meio ambiente marinho se faz extremamente

necessário. Acidentes dessa natureza ressaltam a importância do estabelecimento de um programa de monitoramento da poluição com um gerenciamento do espaço costeiro para avaliar os efeitos dos derivados do petróleo nos organismos marinhos, além do estudo de sua resiliência para inovações biotecnológicas na área da saúde.

Uma das formas de realizar o monitoramento desse ambiente é a partir de estudos com organismos marinhos que vivem entre os poluentes, tendo contato com produtos químicos por difusão, adsorção ou ingestão, muitas vezes acumulando concentrações superiores à da água ou dos sedimentos (SHAO; WANG, 2020). Gastrópodes e bivalves são classes de moluscos comumente usados como indicadores da qualidade do ecossistema marinho (bioindicadores) (PHAM et al., 2020). Desses, os bivalves são mais utilizados para o biomonitoramento devido ao seu estilo de vida sésil e alimentação filtradora. As ostras, abundantes na costa do Nordeste e do Sudeste brasileiro, constituem o modelo de estudo do presente trabalho, sendo os bivalves economicamente importantes e já descritos como capazes de absorver e metabolizar contaminantes químicos (LÜCHMANN et al., 2014).

Dependendo da estrutura química do contaminante ao qual a ostra é exposta, da concentração e do período de exposição, alterações biológicas podem ocorrer a níveis moleculares e teciduais nos órgãos envolvidos no processamento dos hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs), principal componente do óleo das embarcações marítimas (AARAB et al., 2008).

Como resultado do extenso e duradouro derramamento de óleo na costa brasileira, concentrado sobretudo no Nordeste, é possível que tenham sido liberadas quantidades significativas de HPAs no meio ambiente. Os HPAs são compostos por dois ou mais anéis benzênicos e constituem uma classe de compostos orgânicos altamente poluentes distribuídos no ambiente aquático. Além dos danos ao meio ambiente, os seres humanos são expostos a essas substâncias cancerígenas através da ingestão do pescado contaminado ou da exposição nas vias aéreas, nervosas e, principalmente, cutâneas, de forma tópica (LATIMER; ZHENG, 2003).

A *United States Environmental Protection Agency* designou 16 HPAs como poluentes prioritários para fins de monitoramento ambiental (USEPA, 2014). Desses, o benzo[a]pireno é reconhecido como um agente carcinogênico a humanos (grupo 1), e outros seis HPAs são classificados como prováveis ou possíveis agentes carcinogênicos a humanos (IARC WORKING GROUP ON THE EVALUATION OF CARCINOGENIC RISKS TO HUMANS, 2010). Por isso, a concentração e as fontes desses compostos são bastante monitoradas. Segundo Ramesh et al. (2012), exposições crônicas — até mesmo em baixas concentrações — a esses produtos químicos causam danos de longa duração, como câncer, infertilidade e neurotoxicidade em seres humanos e à vida selvagem. Em função de sua persistência e efeitos nocivos à saúde, os HPAs estão entre os POPs (poluentes orgânicos persistentes) mais estudados em meio ambiente.

Considerando os incidentes de derramamento de óleo recorrentes, e tendo em vista que organismos marinhos podem sofrer alterações teciduais como consequência da exposição a compostos químicos como os HPAs, o presente estudo teve como objetivo simular um derramamento de óleo em laboratório, utilizando ostras como modelo. Foram avaliados possíveis indicadores histológicos para biomonitoramento, além de bioprodutos marinhos produzidos pelos exemplares resistentes à exposição ao óleo, vislumbrando possíveis

antídotos naturais marinhos contra a toxicidade promovida pelos HPAs à saúde humana.

## 2. OBJETIVO

Simular o derramamento de óleo em laboratório, avaliando as possíveis alterações morfológicas em diferentes órgãos de ostras *Saccostrea* sp. expostas aos HPAs e outros compostos eventualmente dissolvidos na fração acomodada em água (*Water Accommodated Fraction* — WAF), usando o óleo envolvido no incidente ocorrido na costa brasileira em 2019.

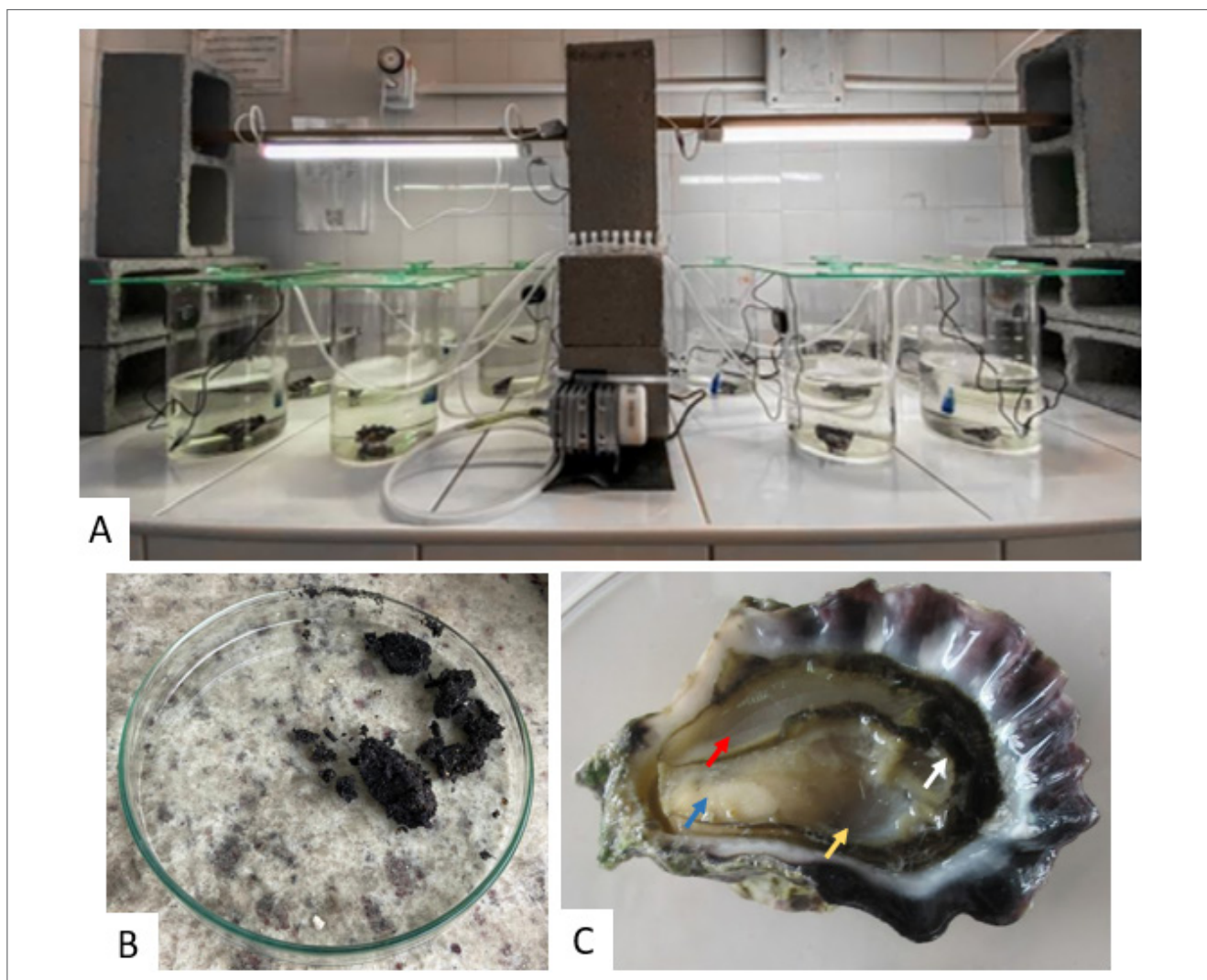
## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1. COLETA E ACLIMATAÇÃO

A coleta foi realizada na Praia do Forno, no município de Arraial do Cabo-RJ. Espécimes da ostra *Saccostrea* sp. (N = 20) foram encontradas em abundância e coletadas na zona entre marés. As ostras foram colocadas em um recipiente térmico e levadas imediatamente ao Laboratório de Recursos Marinhos (LAREMAR) do Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira (IEAPM). No laboratório, foi feita a triagem das ostras para remover organismos epibiontes associados. Posteriormente, as ostras foram aclimatadas, durante 6 dias, em um aquário com 40 litros de água salgada (salinidade 35) (2L/indivíduo), temperatura 21°C, fotoperíodo 12h/12h e aeração constante. A água salgada foi preparada com água doce deionizada e sal marinho sintético. As ostras foram alimentadas com 0,5 mL de suspensão de fitoplâncton *PhytogoldS* (*Brightwell*) no 5º dia.

### 3.2. SIMULAÇÃO DO DERRAMAMENTO DE ÓLEO EM LABORATÓRIO

Espécimes de *Saccostrea* sp. foram expostas à fração WAF de HPAs por um período de sete dias (Figura 1). Para o tratamento, foram utilizados cinco béqueres contendo 3 L de WAF cada. Em cada béquer foi colocado um espécime da ostra *Saccostrea* sp. Já o controle constituiu-se de cinco béqueres contendo 3 L de água salgada (salinidade 35) e um indivíduo de *Saccostrea* sp. (Figura 1A). O período do experimento foi de 7 dias, com fotoperíodo de 12h/12h. A alimentação das ostras foi suspensa durante esse período.



**Figura 1.** (A) Organização do experimento de simulação do derramamento de óleo. À direita, o grupo controle, e à esquerda, o grupo exposto ao óleo. (B) Sedimento com óleo coletado do derramamento em 2019. (C) Estruturas macroscópicas do modelo experimental, ostra *Saccostrea* sp.: seta azul - gônadas, contendo em seu interior o hepatopâncreas, onde localizam-se o estômago, intestino e divertículos digestivos; seta vermelha - brânquias; seta amarela - músculo; seta branca - manto.

### 3.3. PREPARO DA FRAÇÃO ACOMODADA DE ÁGUA

A Fração Acomodada de Água foi preparada de acordo com as diretrizes estabelecidas pelo *Chemical Response to Oil Spills: Ecological Research Forum* (AURAND; COELHO, 2005); já as concentrações utilizadas foram de acordo com Müller et al. (2021). Foi utilizado sedimento com óleo coletado por ocasião do derramamento ocorrido na costa brasileira em 2019 (Figura 1B), obtido junto ao Laboratório de Geoquímica Ambiental Forense do IEAPM, que participou

das ações de investigação e resposta sobre aquele incidente. Para a preparação da fração WAF, 53,7 g do sedimento com óleo foram misturados a 1,75 L de água salgada artificial (salinidade 35) em um recipiente de vidro de 3 L vedado e protegido da luz. A mistura de água e óleo foi agitada utilizando um agitador magnético por 24 horas, no escuro, a uma temperatura de 25°C e velocidade de 1.080 rpm. Após esse período, a fração preparada foi diluída em 15,75 L de água salgada artificial. A homogeneização da solução foi feita por agitação, com uma bomba subaquática, por 1 hora.

### 3.4. ANÁLISES DE HPAS

Alíquotas de 1 L de água foram coletadas de cada unidade amostral (5 unidades controle e 5 unidades tratamento), utilizando uma proveta volumétrica, no início do experimento e após 7 dias de exposição, totalizando 20 amostras de água. Após a coleta, as amostras foram armazenadas sob refrigeração até o momento da extração dos HPAs. A extração seguiu protocolo baseado no método EPA 3510C (EPA, 1986a). Para a validação do método foi adicionado padrão sub-rogado p-terfenil-d14 (100 ng.L<sup>-1</sup>), cuja recuperação deve se situar entre 40 e 125% (SCOFIELD et al., 2017).

Para a identificação e quantificação dos HPAs foi utilizada cromatografia em fase gasosa com detecção por espectrometria de massas (CG/EM) seguindo o método EPA 8270D (EPA, 1986b). Os HPAs identificados foram expressos em ng.L<sup>-1</sup> e os dados obtidos, expressos em médias com seus respectivos desvios padrões.

### 3.5. ANÁLISE HISTOLÓGICA

Após os 7 dias de experimento, as ostras foram retiradas dos aquários e fotografadas. As valvas foram abertas e as estruturas macroscópicas identificadas (Figura 1C). Cortes transversais foram realizados (HOWARD et al., 2004) e fixados em formol a 10% durante 48 h. Após a fixação, os tecidos das ostras foram desidratados em séries crescentes de álcoois, diafanizados em xilol, impregnados e incluídos em parafina (60°C). Foram feitos cortes com 5 µm de espessura, montados em lâminas de vidro. Os tecidos foram corados com hematoxilina e eosina conforme adaptação da metodologia de Johnson (1980). Além disso, a coloração histoquímica com azul de Alcian foi realizada para detectar a presença de células mucosas no manto (YAMABAYASHI, 1987).

## 4. RESULTADOS

### 4.1. ÁGUA DOS AQUÁRIOS COM WAF APRESENTARAM MAIOR CONCENTRAÇÃO DE HPA

Os resultados das quantificações de HPAs no início do experimento estão expressos na Tabela 1. Os valores de recuperação para o padrão sub-rogado p-terfenil-d14 estiveram dentro do esperado, validando a técnica de dosagem desses compostos. A concentração total dos 16 HPAs apresentou-se

**Tabela 1.** Quantificação dos HPAs na água dos aquários das ostras no início do experimento.

HPAs (ng.L <sup>-1</sup> )	Controle (média ± dp)	Tratamento (média ± dp)
p-Terfenil_d14	82,08 ± 7,04	85,24 ± 12,57
16 HPAs	28,93 ± 4,53	56,02 ± 5,9*
Benzo(a)pireno	1,13 ± 0,82	3,4 ± 0,43*
Naftaleno	2,82 ± 0,42	5,64 ± 0,56*
Acenaftileno	Nd	0,42 ± 0,58
Acenafteno	Nd	8,03 ± 0,69
Fluoreno	Nd	4,75 ± 1,66
Fenantreno	6,26 ± 1,01	5,32 ± 2,21*
Antraceno	3,85 ± 0,78	6,06 ± 0,85*
Fluoranteno	4,35 ± 0,69	4,26 ± 0,31
Pireno	8,49 ± 1,47	12,05 ± 0,64*
Benzo(a)antraceno	Nd	0,14 ± 0,31
Criseno	Nd	3,25 ± 0,45
Benzo(b)fluoranteno	Nd	0,4 ± 0,9
Benzo(k)fluoranteno	Nd	Nd
Indeno(1,2,3-cd)pireno	Nd	0,17 ± 0,37
Dibenzo(a,h)antraceno	2,05 ± 0,24	1,86 ± 0,55

dp: desvio padrão; \*P < 0,05 através do teste *t-student*; Nd: Não determinado, abaixo do limite de detecção.

significativamente duas vezes maior na água das ostras com WAF comparada com a concentração de HPAs totais na água das ostras do grupo controle através do teste paramétrico *t-student*, no início da simulação experimental. Além disso, a concentração do benzo[a]pireno, reconhecido como um agente carcinogênico a humanos, mostrou-se significativamente triplicada na água das ostras com WAF em relação à concentração na água das ostras do controle (Tabela 1). Dentre os 16 HPAs, 13 apresentaram concentrações de compostos maiores na água das ostras com WAF do que na água das ostras controle, variando de 0,5 a 8 ng.L<sup>-1</sup> a mais. Também foram feitas dosagens das concentrações de HPAs ao final do experimento, depois de 7 dias de exposição, mas os dados não foram mostrados na Tabela 1, pois a concentração da maioria dos compostos não

pôde ser determinada por estar abaixo do limite de detecção da técnica. No tempo final, foi observado que a concentração dosada do carcinogênico benzo[a]pireno na água das ostras com WAF foi reduzida mais de seis vezes em relação à água do controle, enquanto as concentrações da maioria dos outros HPAs mostraram-se semelhantes, considerando sua quantidade inicial e final em cada condição experimental.

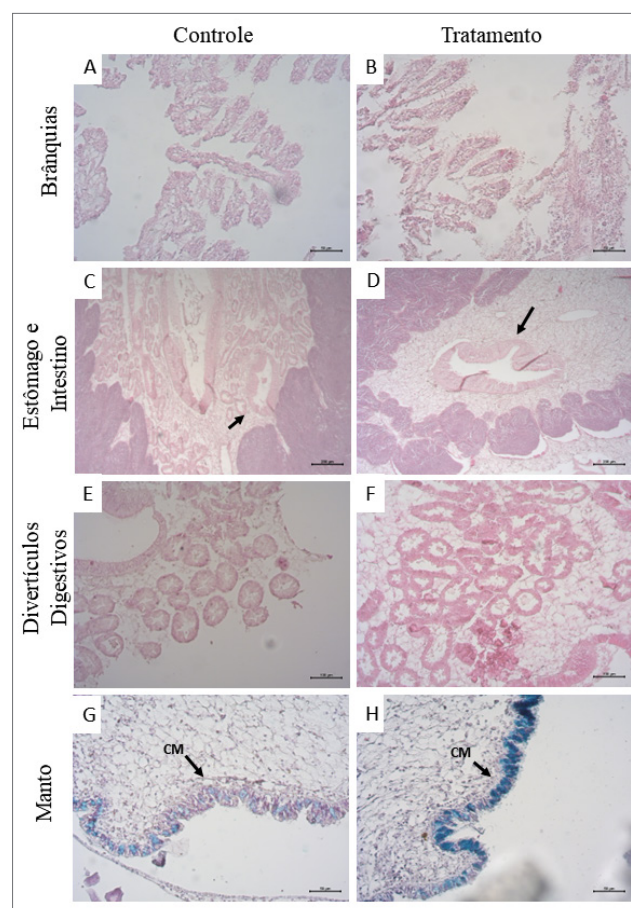
#### 4.2. OSTRAS EXPOSTAS AOS HPAs APRESENTARAM ALTERAÇÕES MORFOLÓGICAS

Ao final de 7 dias de simulação experimental do derramamento de óleo em laboratório, todas as ostras sobreviveram às condições experimentais. As análises de microscopia em campo claro das brânquias, intestino e estômago não demonstraram alterações relevantes na morfologia nas ostras do grupo controle ou naquelas expostas aos HPAs (Figuras 2A-2H). As brânquias apresentaram áreas de hiperplasia, sem perda de tecido ou cílios, não havendo diferenças morfofuncionais entre os grupos, indicando um perfil de resiliência aos compostos químicos em questão. Em contrapartida, os divertículos digestivos apresentaram níveis aumentados de atrofia tubular principalmente nas ostras expostas ao WAF (Figuras 2E-2F). A coloração com o azul, que tem grande especificidade em corar mucinas ácidas, evidenciou uma maior quantidade desse bioproduto nas células mucosas do manto das ostras expostas ao WAF em relação às ostras do controle (Figuras 2G e 2H). A próxima etapa desse estudo será a verificação potencial neutralizante desse bioproduto à ameaça química de exposição a HPAs para os sistemas respiratório, nervoso e cutâneo humano.

### 5. CONCLUSÕES

As ostras desempenham um papel vital na compreensão da distribuição e do efeito dos poluentes resultantes das atividades antropogênicas. Mais do que confirmar a presença/ausência de HPAs petrogênicos na biota marinha, torna-se primordial entender os processos fisiológicos, para prever como os organismos respondem aos estressores ambientais para restaurar seu equilíbrio metabólico.

A ostra, quando exposta aos HPAs, desenvolveu alterações histológicas importantes que atuam como um fator de proteção. Foram identificadas alterações principalmente



**Figura 2.** Cortes histológicas de brânquias, estômago, intestino e divertículos digestivos de ostras *Saccostrea sp.* do grupo controle e grupo exposto aos HPAs (tratamento) por 7 dias. (A e B) Integridade das brânquias mostrando filamentos branquiais com cílios laterais e frontais e algum grau de hiperplasia em ambos os grupos, respectivamente; (C e D) Intestino (seta) sem presença de ruptura epitelial e vacuolização e estômago sem alterações do epitélio; (E) Divertículos digestivos com baixo grau de atrofia; (F) Divertículos digestivos com grau moderado a alto de atrofia. (G) Presença do bioproduto mucina em menor intensidade nas células mucosas (CM) do manto das ostras controle, destacadas em azul claro; (H) Presença de mucina em maior quantidade nas CM do manto de ostras expostas aos HPAs. Coloração: (A-F) Hematoxilina e eosina; (G, H) Azul de Alcian. Barras de escala: (A, B, G, H) 50  $\mu$ m; C, (D) 200  $\mu$ m; (E-F) 100  $\mu$ m.

no manto, primeiro órgão a ter contato com os poluentes. Apesar das alterações observadas na estrutura tecidual, não houve morte de nenhum animal durante o experimento, o que nos faz crer na resiliência da ostra à exposição ao óleo e confirma seu papel fundamental como bioindicador.

Os resultados encontrados neste estudo corroboram com os fatores condicionantes citados no PEM-2040, cujo biomonitoramento da poluição por óleo, complementado com diferentes técnicas e o gerenciamento da utilização sustentável dos recursos naturais do espaço costeiro, nos permitirá não

somente gerar diagnósticos ambientais, mas também descobrir bioprodutos naturais inéditos, como antídotos naturais marinhos não somente para toxicidade de HPAs, mas servindo de modelo para demais ameaças químicas, incrementando o Poder Naval a partir da biotecnologia marinha.

## REFERÊNCIAS

- AARAB, N.; PAMPANIN, D. M.; NAEVDAL, A.; OYSAED, K. B.; GASTALDI, L.; BECHMANN, R. K. Histopathology alterations and histochemistry measurements in mussel, *Mytilus edulis* collected offshore from an aluminium smelter industry (Norway). *Marine Pollution Bulletin*, v. 57, n. 6-12, p. 569-574, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.01.045>
- AURAND, D.; COELHO, G. M. A model for cooperative research by industry and government. *Technical Report*, v. 7, n. 3. p. 105, 2005.
- ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (EPA). *Method 3510C*: separatory funnel liquid-liquid extraction. SW-846 – Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods. Washington, D.C.: USEPA, 1986a.
- ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (EPA). *Method 8270C*: semivolatile organic compounds by gas chromatography / mass spectrometry. SW-846 – Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods. Washington, D.C.: USEPA, 1986b.
- HOWARD, D.; LEWIS, E. J.; KELLER, B. J.; SMITH, C. S. *Histological techniques for marine bivalve mollusks and crustaceans*. 2. ed. NOAA Technical Memorandum NOS NCCOS, 2004.
- IARC WORKING GROUP ON THE EVALUATION OF CARCINOGENIC RISKS TO HUMANS. Some non-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons and some related exposures. *IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Human*, v. 92, p. 1-853, 2010.
- JOHNSON, P. T. *Histology of the blue crab, Callinectes sapidus*: a model for the decapoda. Nova York: Praeger, 1980. v. 41, n. 2.
- LATIMER, J.; ZHENG, J. The sources, transport, and fate of PAH in the marine environment. In: DOUBEN, P. E. T. (org.), *PAHs*: an ecotoxicological perspective. Nova York: John Wiley and Sons, 2003.
- LOBÃO, M. M.; THOMAZELLI, F. F.; BATISTA, E. P. M. P.; OLIVEIRA, R.; SOUZA, M. D. C.; MATOS, N. A. V. Chronic oil spills revealed by the most important set of samples from the incident in northeastern Brazil, 2019. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 94, supl. 2, p. 1-27, 2022. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202220210492>
- LÜCHMANN, K. H.; DAFRE, A. L.; TREVISAN, R.; CRAFT, J. A.; MENG, X.; MATTOS, J. J.; ZACCHI, F. L.; DORRINGTON, T. S.; SCHROEDER, D. C.; BAINY, A. C. D. A light in the darkness: New biotransformation genes, antioxidant parameters and tissue-specific responses in oysters exposed to phenanthrene. *Aquatic Toxicology*, v. 152, p. 324-334, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2014.04.021>
- MARINHA DO BRASIL. Estado-Maior da Armada. *Plano Estratégico da Marinha (PEM 2040)*. Brasília: Marinha do Brasil, 2020. 88 p. Disponível em: [https://www.marinha.mil.br/sites/all/modules/pub\\_pem\\_2040/book.html](https://www.marinha.mil.br/sites/all/modules/pub_pem_2040/book.html). Acesso em 7 nov. 2022.
- MÜLLER, M. N.; YOGUI, G. T.; GÁLVEZ, A. O.; JANNUZZI, L. G. S.; SOUZA FILHO, J. F.; MONTES, M. J. F.; MELO, P. A. M. C.; NEUMANN-LEITÃO, S.; ZANARDI-LAMARDO, E. Cellular accumulation of crude oil compounds reduces the competitive fitness of the coral symbiont *Symbiodinium glynnii*. *Environmental Pollution*, v. 289, 117928, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.117938>
- PHAM, L. T.; HOANG, T. T. T.; TU, L. C. T.; TRAN, Y. H. T.; LE, B. D.; NGUYEN, D. V.; DO, H. X.; THAI, N. V. Bioaccumulation and health risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons in oyster (*Crassostrea* sp.) and gastropod (*Cymatium* sp.) species from the Can Gio Coastal Wetland in Vietnam. *Freshwater Research*, v. 71, n. 6, p. 617-626, 2020. <https://doi.org/10.1071/MF19055>
- RAMESH, A.; ARCHIBONG, A. E.; HOOD, D. B.; GUO, Z.; LOGANATHAN, B. G. Global environmental distribution and human health effects of polycyclic aromatic hydrocarbons. In: LOGANATHAN, B. G.; LAM, P. K. S. (org.). *Global Contamination Trends of Persistent Organic Chemicals*. Taylor and Francis, 2012. p. 469-479.
- SCOFIELD, A. L.; WAGENER, A. L. R.; CAMPOS, R. C.; GODOY, J. M.; FARIAS, C. O.; SUZUKI, M.; REZENDE, C. E.; PARANHOS, R.; CARREIRA, R. Determinação de parâmetros químicos em amostras de água e sedimento (incluindo granulometria). In: FALCÃO, A. P. C.; WAGENER, A. L. R.; CARREIRA, R. S. (org.). *Química ambiental: caracterização ambiental regional da Baía de Campos, Atlântico Sudoeste*. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017. v. 6. p. 32-64.
- SHAO, Z.; WANG, W. X. Biodynamics of silver nanoparticles in an estuarine oyster revealed by 110mAgNP tracing. *Environmental Science and Technology*, v. 54, n. 2, p. 965-974, 2020. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b04241>
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). *Toxic and Priority Pollutants Under the Clean Water Act – Priority Pollutant List*. USEPA, 2014. Disponível em: <https://www.epa.gov/eg/toxic-and-priority-pollutants-under-clean-water-act>. Acesso em: 22 nov. 2022.
- YAMABAYASHI, S. Periodic acid-Schiff-alcian blue: a method for the differential staining of glycoproteins. *Histochemistry Journal*, v. 19, n. 10-11, p. 565-571, 1987. <https://doi.org/10.1007/bf01687364>