



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE BOTÂNICA
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Nicole Simon Gislou

**Análise da toxicidade de petróleo bruto sobre *Lithothamnion crispatum*
(Corallinophycidae, Rhodophyta) em cenários de mudanças climáticas**

Florianópolis

2022

Nicole Simon Gislou

**Análise da toxicidade de petróleo bruto sobre *Lithothamnion crispatum*
(Corallinophycidae, Rhodophyta) em cenários de mudanças climáticas**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Ciências Biológicas do Centro de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do Título de Licenciada em Ciências Biológicas.

Orientador: Prof. Dr. Professor Paulo Antunes Horta Júnior.

Coorientador: Dr. Eduardo de Oliveira Bastos

Florianópolis

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Gislon, Nicole Simon
Análise da toxicidade de petróleo bruto sobre
Lithothamnion crispatum (Corallinophycidae, Rhodophyta) em
cenários de mudanças climáticas / Nicole Simon Gislon ;
orientador, Paulo Antunes Horta Júnior, coorientador,
Eduardo de Oliveira Bastos, 2022.
37 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências
Biológicas, Graduação em Ciências Biológicas, Florianópolis,
2022.

Inclui referências.

1. Ciências Biológicas. 2. Vazamento de Petróleo. 3.
Mudanças Climáticas . 4. Algas Calcárias. 5. Eficiência
Fotossintética. I. Antunes Horta Júnior, Paulo. II. de
Oliveira Bastos, Eduardo. III. Universidade Federal de
Santa Catarina. Graduação em Ciências Biológicas. IV. Título.

Nicole Simon Gislou

**Análise da toxicidade de petróleo bruto sobre *Lithothamnion crispatum*
(Corallinophycidae, Rhodophyta) em cenários de mudanças climáticas**

Este Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de Licenciada em Biologia e aprovado em sua forma final pelo Curso de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 09 de março de 2022

Dra. Daniela Cristina De Toni
Coordenadora do Curso

Banca Examinadora:

Paulo Antunes Horta Júnior
Orientador
Universidade Federal de Santa Catarina

Kalina Manabe Brauko
Avaliadora
Universidade Federal de Santa Catarina

Paulo Tamaso Mioto
Avaliador
Universidade Federal de Santa Catarina

AGRADECIMENTOS

Sou grata a tudo que a universidade me proporciona e proporcionou até hoje, pra além do desenvolvimento desta pesquisa. Foram muitas as pessoas que conheci e que levo pra vida e professores que contribuíram para os conhecimentos que obtive nesses anos de graduação.

Agradeço ao Centro Acadêmico da Bio (CABIO) por todas as trocas, festas, sorrisos, música, arte, diálogos e encontros como um espaço de construção, resistência e luta por direitos. Ao meu orientador Paulo Horta pela abertura, orientação e ensinamentos e ao coorientador Eduardo Bastos pelo suporte.

À minha família e amigos que me apoiam e me dão força pra seguir meu caminho. E ao universo, por proporcionar cada momento e colocar pessoas e lugares tão especiais na minha vida.

RESUMO

A exploração de petróleo, que resiste aos alertas globais por redução de emissões de gases estufa, representa uma das principais fontes de contaminação em ambientes marinhos costeiros, contribuindo localmente não só para a crise da biodiversidade como para as mudanças climáticas. Essa pesquisa foi desenvolvida considerando a ausência de estudos sobre o efeito da toxicidade do petróleo bruto em espécies de algas calcárias e tendo em vista que acidentes de vazamento de petróleo ocorrem frequentemente, sobretudo, o derramamento que ocorreu na costa do Nordeste do Brasil em 2019. O objetivo foi avaliar eventual impacto sobre a eficiência fotossintética de uma importante espécie de alga calcária formadora de bancos de rodólitos, *Lithothamnion crispatum*, depois de exposta à contaminação por petróleo e a diferentes condições de salinidade, as quais estão diretamente relacionadas ao aumento da temperatura global e evaporação dos oceanos. Também, avaliar se houve sinais de recuperação da espécie após contaminação. O experimento teve duração de nove dias, onde os efeitos da interação entre os dois fatores foram considerados nas análises estatísticas. Foram realizados três tipos de tratamento (solução controle; água contaminada com óleo; óleo em contato direto com os rodólitos). Os espécimes foram submetidos aos tratamentos nos primeiros sete dias de experimento sobre salinidade de 48 ups. Para avaliar a recuperação, trocou-se a água do mar dos tratamentos para salinidade de 37 ups nos dois últimos dias. O rendimento quântico efetivo (Y) de *Lithothamnion crispatum* foi avaliado uma vez ao dia. Os valores mais elevados de rendimento quântico foram observados nas amostras representadas pelos rodólitos em salinidade normal tanto em solução controle quanto contaminada pela presença do poluente. Entretanto quando em salinidade elevada observou-se a intensificação do comprometimento, sendo os menores valores observados na salinidade mais elevada quando o petróleo esteve em contato com a superfície dos rodólitos. Com isso, o comprometimento da eficiência fotossintética mais significativa ocorreu quando houve interação entre os fatores correspondentes às letras a e b (contato direto com o óleo e alta salinidade), com valores de $F= 8,604$ e $P=0,000478$. A partir dos resultados, corrobora-se que o petróleo bruto tem efeitos tóxicos sobre organismos fotossintetizantes e quando em interação com alta salinidade, o rendimento quântico efetivo das algas fica ainda mais comprometido. Contudo, vale destacar que entre os resultados obtidos neste trabalho, os efeitos menos tóxicos foram apresentados em salinidade normal, podendo ser um indicativo de possível recuperação dos organismos.

Palavras-chave: Algas calcárias. Petróleo. Mudanças Climáticas.

ABSTRACT

Oil exploration, which resists global warnings for reducing greenhouse gas emissions, represents one of the main sources of contamination in coastal marine environments, contributing locally not only to the biodiversity crisis but also to climate change. This research was developed considering the lack of studies on the effect of crude oil toxicity on calcareous algae species and given that oil spill accidents occur frequently, especially the spill that occurred off the coast of Northeast Brazil in 2019. The objective was to evaluate a possible impact on the photosynthetic efficiency of an important species of calcareous algae that forms rhodolith banks, *Lithothamnion crispatum*, after being exposed to oil contamination and different salinity conditions, which are directly related to the increase in global temperature and evaporation from the oceans. Also, evaluate if there were signs of recovery of the species after contamination. The experiment lasted nine days, where the effects of the interaction between the two factors were considered in the statistical analyses. Three types of treatment were performed (control solution; water contaminated with oil; oil in direct contact with the rhodolites). The specimens were submitted to treatments in the first seven days of the experiment under salinity of 48 ups. To assess the recovery, the seawater of the treatments was changed to salinity of 37 ups in the last two days. The effective quantum yield (Y) of *Lithothamnion crispatum* was evaluated once a day. The highest values of quantum yield were observed in samples represented by rhodolites in normal salinity both in control solution and contaminated by the presence of the pollutant. However, when in high salinity it was observed the intensification of the compromise, being the smallest values observed in the highest salinity when the oil was in contact with the surface of the rhodolites. Thus, the most significant impairment of photosynthetic efficiency occurred when there was interaction between the factors corresponding to letters a and b (direct contact with the oil and high salinity), with values of $F=8.604$ and $P=0.000478$. From the results, it is corroborated that crude oil has toxic effects on photosynthetic organisms and when in interaction with high salinity, the effective quantum yield of algae is even more compromised. However, it is worth noting that among the results obtained in this work, the least toxic effects were presented in normal salinity, which may be an indication of possible recovery of the organisms.

Keywords: Calcareous algae. Petroleum. Climate changes.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Principais eventos do derramamento de óleo *offshore* por imagens do satélite Sentinel-1A e seu avanço sobre os estados da costa brasileira. 1) Detecção de uma grande mancha de óleo 26 km da costa nordeste. 2) Registro de outra grande mancha de óleo a 40 km da costa. 3) Primeira mancha de óleo em praias de Paraíba. 4) Quatro novos estados do Nordeste com manchas de óleo (Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco e Alagoas). 5) Outros três estados afetados (Maranhão, Piauí e Sergipe). 6) Registro do óleo na Bahia. 7) O óleo chega no Espírito Santo. 8) Rio de Janeiro tornando-se o 11º estado afetado. Fonte: Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade (2020)..... 14
- Figura 2 - Banco de Rodolitos na Reserva Biológica Marinha do Arvoredo, SC, Brasil.....17
- Figura 3 - Representação esquemática do desenho experimental descrevendo os três tipos de tratamentos. O tratamento circulado em azul (T.C) representa a Solução controle, enquanto o cinza representa o Tratamento com Água Contaminada (T.AC). Circundado em marrom o tratamento com *Lithothamnion crispatum* em contato direto com o óleo (T.O)..... 20
- Figura 4 - Rendimento quântico ótimo de *Lithothamnion crispatum* exposto a diferentes salinidades, em águas contaminadas ou ainda em contato direto com o contaminante. (onde: Barras de dispersão representam o erro padrão; letras diferentes representam diferenças estatisticamente significativas segundo o teste de Student Newman).....23

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Resumo de medidas repetidas ANOVA comparando parâmetros fotossintéticos entre diferentes salinidades e concentrações de petróleo ($p < 0.05$) | 23 |
|--|----|

LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

ANOVA Análise de variância

API° *Application Programming Interface* (Interface de programaco de aplicativos)

IPCC Painel Intergovernamental de Mudancas Climáticas

Ppm Partes por milhão

Ups Unidade Prática de Salinidade

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUÇÃO | 11 |
| 1.1. OBJETIVOS | 18 |
| 1.2. 1.1.2 Objetivos Gerais | 18 |
| 1.3. 1.1.3 Objetivos Específicos | 18 |
| 1.4. JUSTIFICATIVA | 18 |
| 2. METODOLOGIA | 19 |
| 2.1. COLETA DOS ORGANISMOS E DO PETRÓLEO..... | 19 |
| 2.2. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL..... | 19 |
| 2.3. ANÁLISE DE FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA A E RENDIMENTO FOTOSSINTÉTICO | 21 |
| 2.4. ANÁLISE ESTATÍSTICA | 22 |
| 3. RESULTADOS | 22 |
| 3.1 ANÁLISE DE FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA A E RENDIMENTO FOTOSSINTÉTICO..... | 22 |
| 3.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA | 23 |
| 4. DISCUSSÃO | 23 |
| REFERÊNCIAS | 29 |
| APÊNDICE A - Tipos de tratamentos e respectivos valores do rendimento quântico efetivo (Y) | 36 |

1 INTRODUÇÃO

A exploração de petróleo, que resiste aos alertas globais por redução de emissões de gases estufa (IPCC 2021), representa uma das principais fontes de contaminação em ambientes marinho costeiros, contribuindo localmente não só para a crise da biodiversidade como para as mudanças climáticas. A poluição pelas atividades de prospecção e exploração de petróleo se soma a outros estressores locais que são consequência da poluição de atividades antrópicas. Destacam-se entre estas atividades a pesca de arrasto (FRAGKOPOLOU *et al.*, 2021), que compromete comunidades bentônicas biogênicas como as florestas submersas e os bancos de rodolitos (HALL-SPENCER, 1998; HALL-SPENCER; MOORE, 2000). Podemos destacar ainda os efluentes urbanos (SCHERNER *et al.*, 2013) que, na carência de saneamento básico adequado, resultam em um aumento da concentração de nutrientes no ambiente marinho costeiro e conseqüentemente perda de diversidade biológica com o favorecimento de populações *r* estrategistas ou oportunistas. A conseqüente eutrofização relacionada aos fertilizantes carregados das plantações (HARRINGTON *et al.*, 2005), e da erosão observada em áreas desmatadas compromete ainda mais a saúde destes ambientes costeiros. Todas estas fontes de estresse para populações e comunidades marinhas se soma às mudanças no clima assim como muitas de suas conseqüências.

O aumento da salinidade dos oceanos está intimamente ligado aos desequilíbrios ambientais, como desmatamento, erosões e aumento de temperatura global. Conforme as temperaturas sobem, a evaporação aumenta e isso altera a frequência e distribuição das chuvas, podendo trazer chuvas em excesso em algumas regiões assim como estiagens prolongadas em outras (PBMC, 2017). A influência humana provavelmente contribuiu para o padrão das mudanças de precipitação observadas no decorrer do século XX, e é muito provável que as atividades antrópicas tenham contribuído para o padrão das mudanças observadas na salinidade oceânica próxima da superfície (IPCC, 2021). Estudos revelaram que a evaporação do oceano Atlântico aumentou entre 5 e 10 % nos últimos 40 anos (ECO21, 2004). Ambientes prejudicados pelas alterações nos padrões de precipitações, elevam a toxicidade do escoamento continental que é um dos responsáveis pelas alterações na composição e estrutura das comunidades bentônicas (HORTA *et al.*, 2011). Quando avaliada a toxicidade do petróleo em relação a outros fatores ambientais observa-se que baixas e altas salinidades tendem a elevar seus efeitos negativos. Entretanto, as respostas de diferentes grupos e espécies depende dos valores testados em relação aos seus ótimos osmóticos (HALL; ANDERSON, 1995).

Portanto, deve-se destacar que estes ambientes marinhos costeiros que já vêm sofrendo com os impactos de diversos estressores globais e locais foram recentemente, expostos a milhares de litros de petróleo bruto que se espalharam por milhares de quilômetros ao longo do litoral brasileiro, em função do vazamento de origem ainda misteriosa que impactou boa parte do litoral central e do Nordeste do Brasil. (LOURENÇO, *et al.*, 2020).

Infelizmente, vazamentos são mais comuns do que se imagina. Inúmeros acidentes de derramamento de petróleo ocorreram no mundo no último século. Segundo o Relatório do IBP (Instituto brasileiro de petróleo, gás e biocombustíveis, 2014), a quantidade de petróleo derramado durante acidentes pode variar de algumas centenas a várias centenas de milhares de litros. Em 2010 no Golfo do México, a plataforma *Deepwater Horizon*, da petrolífera inglesa *British Petroleum* (BP), explodiu, causando o vazamento de cerca de 5 milhões de barris de petróleo no mar, em um período de 87 dias, que se espalhou por mais de 1.500 km. Este foi considerado um dos piores acidentes envolvendo vazamento de óleo à nível mundial. Antes disso, podemos destacar também o vazamento na plataforma Exxon Valdez no Golfo do Alasca em 1989, com dispersão de aproximadamente 11.000.000 barris de petróleo (BRITANNICA, 2021). É preocupante reconhecer que anualmente, cerca de 2,7 milhões de galões de petróleo são derramados em águas norte-americanas durante o transporte para o mercado (NAS, 2002). No contexto nacional só a Petrobras foi responsável por 23 vazamentos de óleo e derivados, durante suas atividades em 2019 e 2020 (JANONE, 2021).

De acordo com Lourenço *et al.* (2020), o derramamento de óleo no Nordeste do Brasil em agosto de 2019 foi considerado o maior acidente de petróleo da história do país e o mais grave desastre ambiental já registrado nas regiões costeiras tropicais, considerando todos os impactos. Segundo o IBAMA (2020), foram atingidas mais de 1000 localidades, desde a costa do Nordeste, até parte do Sudeste do Brasil, sendo que até janeiro de 2020 foram encontrados resquícios do óleo (Fig. 1). A origem do derramamento ainda é incerta. Foram mais de 5000 toneladas de óleo removidas das praias, recifes de corais e manguezais (BRUM *et al.*, 2020). A deposição no fundo ocorre quando as gotas de óleo dispersas interagem com partículas do sedimento fino e matéria orgânica em suspensão, que ao se tornarem mais pesadas, afundam, e quando derramados formam pavimentos asfálticos pela foto-oxidação da camada superficial do depósito, deste modo o óleo disperso tende a ser retido e persistir por longo tempo neste substrato (IBP, 2014). A preocupação continua em relação ao acidente, pois parte do petróleo ainda pode estar presa em áreas costeiras rasas e sedimentos marinhos, bem como estruturas duras, por exemplo, recifes e banco de algas calcárias (rodolitos) (LOURENÇO *et al.*, 2020).

O petróleo pode ser definido como uma substância oleosa, inflamável, menos densa que a água, com odor característico e cor que varia entre o preto e o castanho escuro. É uma mistura química complexa que tem nos hidrocarbonetos seu principal constituinte. Estas substâncias são constituídas por compostos químicos orgânicos formados de átomos de carbono e hidrogênio, derivado da transformação geológica de matéria orgânica vegetal e animal (MEDEIROS *et al.*, 2005). A composição do petróleo varia conforme o local onde foi formado, com o tipo de matéria orgânica que levou à sua formação e com o tempo e condições de maturação (NAS, 1985; SPEIGHT, 1999). O petróleo recebe diferentes classificações de acordo com sua viscosidade, densidade, volatilidade, índice de refração e grau API° (FERNANDES, 1994; SEVERINO, 1997), onde é dividido em frações, sendo elas alifática, aromática, polar e asfáltica. Seus derivados possuem alta toxicidade. Um dos grupos de hidrocarbonetos presentes no petróleo bruto, os hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA), representam compostos orgânicos semivoláteis considerados entre os compostos mais tóxicos do óleo (CFQ, 2019).

Por terem propriedades hidrofóbicas e menor densidade que a água do mar, uma grande parte fica suspensa quando são lançados nos oceanos, podendo ser ingeridas por diversas espécies, entrar em contato com suas camadas lipídicas, bem como, as partículas podem se associar aos sedimentos e depositarem-se sobre organismos fixos, como recifes biogênicos e algas calcáreas. Dependendo das características físico-químicas, podem ser transportados de diversas formas por longas distâncias (DA ROCHA, 2012). Estudos apontam meia vida de aproximadamente seis anos em sedimentos (LEMOS, 2016).

Após seu derramamento, o petróleo sofre diversos processos físicos e químicos, como evaporação, emulsificação, dissolução, biodegradação e foto-oxidação. Esses processos irão depender das condições climáticas no momento do vazamento, de sua dispersão e das propriedades químicas do poluente. A mudança das propriedades do petróleo devido a esses processos é conhecida como intemperismo, e seu desenvolvimento determina os efeitos ou sua toxicidade sobre o meio ambiente (BURWOOD *et al.*, 1974; FINGAS *et al.*, 2001; MUSCHENHEIM *et al.*, 2002; O'REILLY *et al.*, 2010), além de afetar também sua dispersão sobre o ecossistema marinho. Quanto mais tempo no mar, menor o teor de compostos voláteis e de menor massa, e maior a concentração relativa de compostos polares e massa mais elevada, tornando o óleo menos tóxico, porém mais persistente. Isso acontece porque os compostos de maior toxicidade são os constituintes mais voláteis e solúveis. Com isso, o impacto químico fica maior nos primeiros dias da exposição do óleo no ambiente marinho (LEMOS, 2016).

Figura 1 - Principais eventos do derramamento de óleo offshore por imagens do satélite Sentinel-1A e seu avanço sobre os estados da costa brasileira. 1) Detecção de uma grande mancha de óleo 26 km da costa nordeste. 2) Registro de outra grande mancha de óleo a 40 km a costa. 3) Primeira mancha de óleo em praias de Paraíba. 4) Quatro novos estados do Nordeste com manchas de óleo (Ceará, Rio Grande do Norte, Pernambuco e Alagoas). 5) Outros três estados afetados (Maranhão, Piauí e Sergipe). 6) Registro do óleo na Bahia. 7) O óleo chega no Espírito Santo. 8) Rio de Janeiro tornando-se o 11º estado afetado.



Fonte: Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade (2020).

MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Mudanças significativas no clima vem sendo observadas no decorrer do século XXI. Isso fica ainda mais evidente com estudos sendo realizados sobre o impacto dessas mudanças, principalmente no que se refere ao aquecimento global. Segundo o relatório do IPCC (2021), as atividades antrópicas causaram um aumento da superfície global de 0,8°C a 1,3°C desde 1850-1900 até 2010-2019. Há fenômenos naturais que ocorrem há milhares de anos, como o *El Niño* e *La Niña*, que oscilam interferindo nas temperaturas da superfície do mar e precipitações e influenciam nas variações do sistema climático da Terra, porém, o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), nos mostra evidências de que a maior parte do aquecimento observado durante os últimos 50 anos está relacionada às atividades humanas. A crescente emissão de gases do efeito estufa promove o aumento da temperatura

atmosférica e oceânica e com isso, promove o aquecimento médio global, responsável pelo aumento de ondas de calor projetadas (OLIVER, 2019). Estudos realizados medindo a média de dias anuais de ondas de calor mostraram influências negativas sobre diversas espécies quanto a fisiologia, crescimento, desenvolvimento e reprodução, gerando stress e também, afetando a produtividade primária de organismos fotossintetizantes (ARIAS-ORTIZ *et al.*, 2018; RUTHROF *et al.*, 2018; SMALE *et al.*, 2019). De acordo com Marengo (2006), no seu livro sobre as Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade, estudos feitos a partir de amostras das geleiras da Antártica indicam que as concentrações de carbono atuais são as mais altas dos últimos 420.000 anos, sendo que a mesma aumentou 31%, ocorrendo em sua maior parte nos últimos 50 anos. Nota-se um aumento em eventos extremos como seca, enchentes, tempestades e furações que evidenciam desequilíbrios no clima do nosso planeta.

Desde o início da revolução industrial, a partir de 1750, as emissões de gases do efeito estufa na atmosfera têm aumentado. As principais causas de emissão desses gases estão relacionadas à queima de petróleo e carvão (combustíveis fósseis), o desmatamento e agropecuária. A Agência Internacional de Energia destacou em seu relatório sobre tendências mundiais de produção e consumo de energia, que as emissões de dióxido de carbono derivadas da queima de petróleo crescerão 52% até 2030, caso as tendências atuais do consumo sejam mantidas, o equivalente a 5,5 bilhões de toneladas de petróleo. O desmatamento desenfreado dos últimos anos, juntamente com os do final do século XIX e início do século XX, causam aumento da emissão de gases estufa colaborando para o aumento de diversas anomalias no sistema climático global.

Ações que na linha do tempo afetam os regimes de chuva, a umidade relativa do ar, o aumento da temperatura e a porcentagem elevada de CO₂ na atmosfera. Também propicia o derretimento de geleiras e calotas polares, acidificação e ondas de calor na superfície do mar, que conseqüentemente geram aumento do nível médio do mar. Além disso, conseqüências pontuais para determinadas espécies e populações, bem como, alterações na biodiversidade e nos ecossistemas.

ALGAS CALCÁRIAS

O impacto dessas atividades em algas calcárias vem sendo recentemente estudados, ao passo que estas possuem grande importância ecológica e socioeconômica. Essas algas fazem

parte das Rhodophytas, e constituem um grupo de algas vermelhas que depositam carbonato de cálcio em suas paredes celulares. Algumas espécies são calcificadas por completo, já outras possuem partes da estrutura não calcificada, sendo possível sua articulação. As algas calcárias não articuladas, apresentam hábitos de vida variados, como formas aderidas ao substrato, ou ainda, livres no fundo da plataforma continental de todos os oceanos (BROOM *et al.*, 2008; *apud* SISSINI, 2011). Formam os conhecidos banco de rodolitos (Fig. 2) e extensos recifes ao longo da costa brasileira e de outras partes do mundo. Segundo Steneck (1986), um espécime é classificado como rodolito quando mais de 50% do volume total é composto por uma ou mais espécie de alga calcária. Os maiores bancos de rodolitos ocorrem no litoral brasileiro, na região de Abrolhos (Foster, 2001). A ocorrência e abundância das espécies são influenciadas por fatores abióticos e bióticos que variam localmente (MCCONNICO *et al.*, 2017; PASCELLI *et al.*, 2013). Considerados “engenheiros do ecossistema” (BASSO, 2012), os bancos de rodolitos brasileiros possuem um importante papel na prestação de serviços ecossistêmicos e na conservação e proteção da biodiversidade marinha (PEREIRA-FILHO *et al.*, 2012), servindo de habitat, refúgio, local de reprodução e berçário para muitos invertebrados, crustáceos e peixes (RIUL *et al.*, 2009). Oliveira (1996) alerta sobre sua importância no balanço global de CO₂, já que esses organismos precipitam dióxido de carbono na forma de carbonato, cumprindo um papel importante no processo de sequestro e controle de carbono. Com o ambiente marinho acidificado, a saturação de carbonato de cálcio é reduzida, e com isso, organismos que armazenam carbonato tornam-se mais frágeis e vulneráveis. Por mais que alguns estudos mostram que o aumento da concentração de CO₂ promove maior produtividade primária em algumas espécies, não há evidências concretas de que as formações vegetais mundiais estão retendo CO₂ mais do que vem sendo emitido (KERR, 1995).

Elas também possuem valor econômico, podendo ser utilizadas na fabricação de fertilizantes, aditivos alimentícios e fonte de calcário, porém, atividades humanas relacionadas à exploração do fundo, através da maricultura, produção pesqueira, extração de calcário e dragagens de marinas e portos, assim como perfurações para a produção de óleo e gás, são grande causadores de danos aos bancos de rodolitos (DAVIES *et al.*, 2007), assim como sedimentos terrestres carregados por chuvas e desembocados no mar através dos rios (LEÃO 2003; DUTRA *et al.*, 2004). Além disso, o crescente aumento da temperatura tem levado a tropicalização dos ambientes temperados e o enfraquecimento de organismos calcários nas regiões tropicais (VERGES *et al.*, 2014), também, compromete o crescimento de algumas

espécies de algas. Foster (2001) afirma que os rodolitos comumente crescem menos que 1mm por ano, tornando a recuperação dos bancos consideravelmente lenta.

Figura 2 - Banco de Rodolitos na Reserva Biológica Marinha do Arvoredo, SC, Brasil.



Fonte: Rafael Metri (2006).

A fluorescência da clorofila é uma propriedade da molécula fundamental para se estimar a fotossíntese em ambientes aquáticos e terrestres. A partir dessa propriedade se desenvolveu uma técnica precisa e não destrutiva, que tem sido muito utilizada no estudo da eficiência fotossintética. Indicando de forma direta ou indireta os estados do sistema fotossintético de produtores primários, tornando possível identificar a influência e impacto de fatores ambientais sobre o seu rendimento bioquímico, bem como, possíveis mudanças na fisiologia destes organismos (BAKER, 2008). Quando submetidas a condições de estresse, a eficiência da fotossíntese de muitas plantas e algas diminui (KAO; TSAI, 1998; ZHAO *et al.*, 2007). Portanto, a fluorescência da clorofila é considerada um método eficiente para detecção de estresse causado por agentes poluidores (NDAO *et al.*, 2005).

Pouco se sabe sobre os efeitos do petróleo bruto sobre espécies formadoras de bancos de rodolitos, sobretudo quando em interação com efeitos de alta salinidade. Considerando a ausência de estudos relacionados na literatura e julgando ser um tema importante no cenário atual, buscamos avaliar o efeito desses dois estressores separadamente e em interação, sobre a

espécie de alga calcária *Lithothamnion crispatum*, a qual está presente em boa parte do litoral brasileiro e possui grande importância do ponto de vista ecológico no ecossistema marinho.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivos Gerais

Avaliar eventual toxicidade do petróleo bruto intemperizado, de origem desconhecida, e sua fração diluída, em diferentes condições de salinidade (48 e 37 ups) sobre o rendimento quântico efetivo e conseqüentemente, a fotossíntese de uma importante espécie formadora de rodólitos, *Lithothamnion crispatum*.

1.1.2 Objetivos Específicos

Avaliar o impacto e a recuperação de *Lithothamnion crispatum* depois de exposta a cenários de elevada salinidade, de contaminação por petróleo bruto e diluído, bem como, a interação entre os dois fatores.

1.2 JUSTIFICATIVA

O dimensionamento dos impactos das mudanças climáticas e suas interações com a poluição por petróleo representa informação fundamental para termos a dimensão dos prejuízos destes estressores sobre estes importantes constituintes da biodiversidade marinha brasileira e mundial. Impactos locais podem promover diferentes proporções, que irão depender das condições ambientais do local observado e a época em que ocorrerá. Esperamos assim contribuir para a discussão relacionada aos prejuízos da manutenção da presente matriz energética que além de queimar combustíveis fósseis e contribuir para o aquecimento global, tem em sua exploração fonte importante de impactos ambientais e perda de diversidade e de funções de ecossistemas marinho costeiros. Com isso, locais em que houver derramamento de óleo, em condições futuras, considerando as projeções de mudanças no clima, como aumento da temperatura global e da salinidade dos oceanos, a probabilidade é que impactos mais severos ocorram e comprometam ainda mais os serviços ecossistêmicos prestados pelos bancos de rodólitos.

2 METODOLOGIA

2.1 COLETA DOS ORGANISMOS E DO PETRÓLEO

Amostras de *Lithothamnion crispatum* foram coletadas em novembro de 2021, no banco de rodolitos localizado no Rancho Norte, na Ilha do Arvoredo, ambiente protegido ao largo do litoral Catarinense denominado como Reserva Biológica Marinha do Arvoredo ($-27^{\circ} 16'25,8''$, $-48^{\circ} 22'0,99''$). Os rodolitos foram amostrados a ~ 8 m de profundidade, mantidos em refrigeradores com água do mar e transportados para o Laboratório de Ficologia da Universidade Federal de Santa Catarina (LAFIC). As amostras foram transferidas para tanques ($V = 20L$), com circulação de água do mar da Ilha do Arvoredo. Os rodolitos foram aclimatados por 3 meses sob $25^{\circ}C$, temperatura observada no campo durante a coleta. A irradiância utilizada foi de amostra e luz de $60 \mu\text{mol f\u00f3tons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ fornecida por lâmpadas fluorescentes em 12 horas de fotoper\u00edodo claro / escuro. A salinidade foi gradualmente elevada durante 3 meses, at\u00e9 chegar em 48, com o intuito de simular cen\u00e1rios de alta saliniza\u00e7\u00e3o em consequ\u00eancia de baixa precipita\u00e7\u00e3o e evapora\u00e7\u00e3o, resultado da desertifica\u00e7\u00e3o observada especialmente em parte do nordeste brasileiro.

A amostra do petr\u00f3leo bruto foi coletada em Jaguaribe/CE em 2020, na \u00e9poca do derramamento de \u00f3leo na costa do Nordeste, e foi direcionado para a Universidade Federal do Cear\u00e1. Em janeiro de 2022 foi enviado via transporte a\u00e9reo para o Laborat\u00f3rio de Ficologia da UFSC.

2.2 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

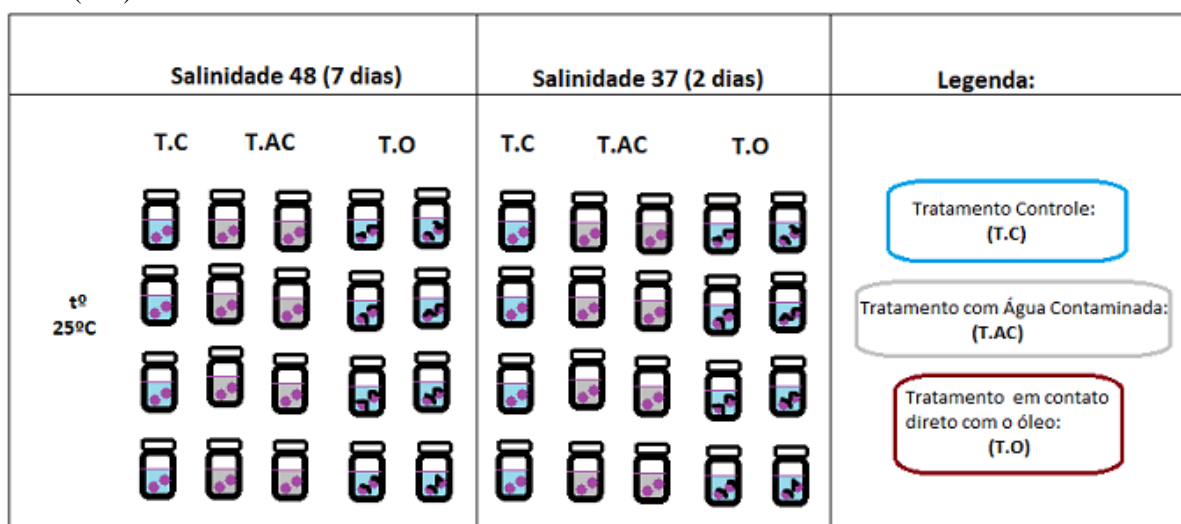
O delineamento experimental seguiu uma abordagem baseada em um cen\u00e1rio colapsado (aqui, salinidade alta e vazamento de \u00f3leo) como um fator, sem perda de poder estat\u00edstico (BOYD *et al.*, 2018). Tamb\u00e9m, sobre cen\u00e1rio de condi\u00e7\u00f5es naturais atuais, (ou seja, sem adi\u00e7\u00e3o de \u00f3leo na \u00e1gua do mar e com salinidade 37), afim de avaliar poss\u00edveis diferen\u00e7as entre os tratamentos. Foram preparados tr\u00eas tipos de tratamentos: (solu\u00e7\u00e3o controle; \u00e1gua contaminada com \u00f3leo; \u00f3leo em contato direto com os rodolitos). Cada tratamento conteve oito r\u00e9plicas, com exce\u00e7\u00e3o da solu\u00e7\u00e3o controle, que conteve quatro.

O experimento teve duração de nove dias, avaliando-se o impacto de cada uma das condições na primeira e segunda semana. Correspondendo a sete dias em salinidade elevada e dois dias em recuperação, com a salinidade normal. Na primeira parte do tratamento (7 dias), a espécie *L. crispatum* foi exposta a salinidade 48, sobre os diferentes tipos de tratamentos. Na segunda parte do experimento (2 dias de recuperação), trocou-se a água do mar dos tratamentos que até então estavam com salinidade 48, para a água de salinidade 37, mantendo as algas nos respectivos tratamentos. O experimento permaneceu em temperatura ambiente de 25°C, simulando as temperaturas médias de verão encontradas no banco de rodolitos estudado (~ 8 m) (SARTI; SEGAL, 2018).

As unidades experimentais foram representadas por frascos de vidro de 150ml, contendo duas unidades da espécie em 100ml de água do mar respeitando os respectivos tratamentos. Os frascos foram mantidos fechados com tampa com rosca para evitar contaminação atmosférica por eventuais frações voláteis do poluente, em aeração sobre a Mesa Agitadora Magnética TE-1400. Portanto as algas foram expostas às seguintes soluções:

- Solução Controle: apenas com água do mar.
- Solução Contaminada com petróleo: Foi diluído 50g de petróleo bruto em 5 litros de água do mar (10.000 ppm), considerando as respectivas salinidades, e adaptando o protocolo descrito por Olivier *et al.* (2004). Para tanto as soluções foram homogeneizadas sob a mesa agitadora durante 12h.
- *L. crispatum* em contato direto com o óleo: Uma camada de óleo foi colocada em cima dos rodolitos, em contato direto com o mesmo.

Figura 3 - Representação esquemática do desenho experimental descrevendo os três tipos de tratamentos. O tratamento circulado em azul (T.C) representa a Solução Controle, enquanto o cinza representa o Tratamento com Água Contaminada (T.AC). Circundado em marrom o tratamento com *L. crispatum* em contato direto com o óleo (T.O).



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

Os efeitos da interação entre os dois fatores foram considerados nas análises estatísticas.

2.3 ANÁLISE DE FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA A E RENDIMENTO FOTOSSINTÉTICO

As respostas fisiológicas ao cenário futuro proposto foram avaliadas por medições de rendimento fotossintético. O rendimento quântico efetivo (Y) indica a fração de energia absorvida pela clorofila associada ao fotossistema II (PS2) utilizada na atividade fotoquímica e informa a quantidade de elétrons transportados, assim sendo um indicativo do funcionamento do aparato fotossintetizante (LICHTENTHALER ET al., 2005).

No início e no final do experimento, as taxas de fotossíntese foram determinadas por incubações de laboratório feitas em frascos com circulação fornecida por uma Mesa Agitadora magnética TE-1400, da marca Tecnal, à 80 RPM, temperatura ambiente de 25° e o fotoperíodo ajustado em 12:12h (claro:escuro), durante o experimento, simulando o horário de verão.

Mediu-se o rendimento fotossintético com os respectivos tratamentos no primeiro e terceiro dia do experimento (com condições de salinidade 48) e nono dia (com salinidade 37), que corresponde à 48 horas de recuperação do experimento. As medidas do rendimento quântico efetivo, estimado pela fluorescência da clorofila a *in vivo* do fotossistema II, foram feitas antes do início do fotoperíodo. Antes de fazer as medições, as amostras ficaram aclimatadas no escuro durante 15 minutos a fim de permitir a obtenção máxima de rendimento quântico da amostra. Durante os períodos de iluminação, as posições dos frascos foram alteradas duas vezes ao dia, para assegurar a homogeneidade da luz incidente entre as réplicas até o fim do experimento.

Foram realizadas três medidas de cada réplica, de diferentes partes do talo, com clorofila modulada por amplitude de pulso e fluorômetro (Junior PAM - Walz Germany). A medição da fluorescência no escuro permite estimar a fluorescência basal (F_0) e, após a aplicação de um pulso de saturação, estima-se a fluorescência máxima (F) (SCHREIBER *et al.*, 1986). A partir dos três valores de F_v/F_m obtidos para cada réplica, calculou-se a média para a análise estatística, a fim de evitar pseudoreplicação.

2.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram verificados para garantir a normalidade e homogeneidade das variâncias utilizando-se o Qui-quadrado e testes de Cochran. A partir dos pressupostos obtidos da estatística paramétrica, esta foi aplicada. A ANOVA seguida do teste de Student Newman-Keuls foi aplicada para a avaliação dos efeitos isolados e combinados da salinidade, da água contaminada e do contato com o petróleo. Foi utilizado o software Statistica 7,0 (StatSoft, Inc., 2004) para a análise da significância das diferenças.

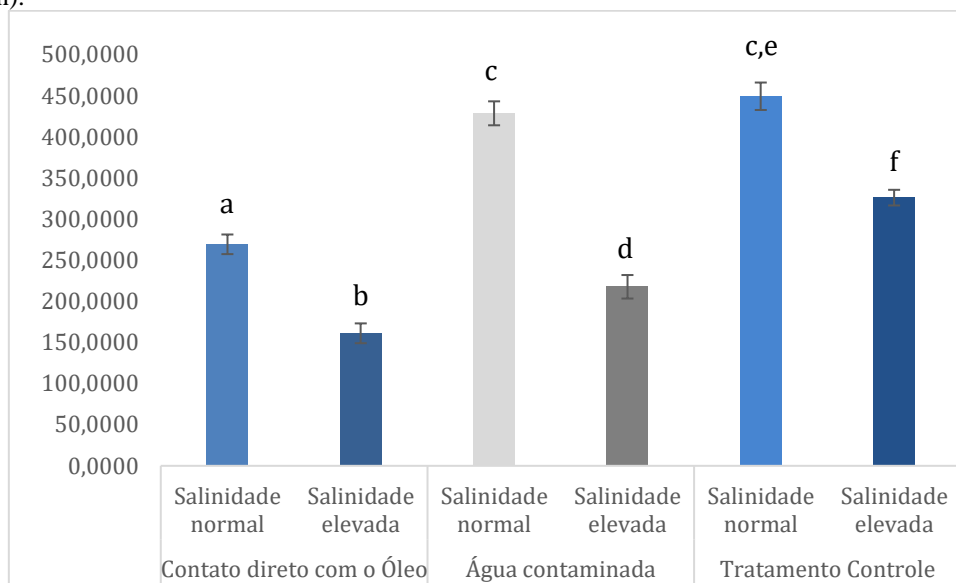
3 RESULTADOS

3.1 ANÁLISE DE FLUORESCÊNCIA DA CLOROFILA A E RENDIMENTO FOTOSINTÉTICO

Observou-se que *L. crispatum*, exposta sobre diferentes tratamentos, apresentou respostas fotossintéticas distintas em função de interações dos efeitos da salinidade e da presença dos contaminantes (Fig.4). Os valores mais elevados de rendimento quântico foram observados nas amostras representadas pelos rodolitos em salinidade normal tanto em solução controle quanto contaminada pela presença do poluente. Entretanto quando em salinidade elevada observou-se a intensificação do comprometimento do rendimento quântico sendo os menores valores observados na salinidade mais elevada quando o petróleo esteve em contato com a superfície do rodolito. Com isso, o comprometimento do rendimento fotossintético mais significativo ocorreu quando houve interação entre os fatores correspondentes às letras a e b (contato direto com o óleo e alta salinidade), com valores de $F= 8,604$ e $P=0,000478$.

Foi possível observar aumento do rendimento fotossintético da espécie quando a água do mar com salinidade 37 foi introduzida.

Figura 4 - Rendimento quântico ótimo de *Lithothamnion crispatum* exposto a diferentes salinidades, em águas contaminadas ou ainda em contato direto com o contaminante. (onde: Barras de dispersão representam o erro padrão; letras diferentes representam diferenças estatisticamente significativas segundo o teste de Student Newman).



Fonte: Elaborada pela autora (2022).

3.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Tabela 1 - Resumo de medidas repetidas ANOVA comparando parâmetros fotossintéticos entre diferentes salinidades e concentrações de petróleo ($p < 0.05$).

| <i>Lithothamnium crispatum</i> | SS | Degr. of Freedom | MS | F | P |
|--------------------------------|---------|------------------|---------|----------|----------|
| Intercept | 6865365 | 1 | 6865365 | 3197,931 | 0,000000 |
| Contaminação | 364773 | 2 | 182387 | 84,957 | 0,000000 |
| Salinidade | 391760 | 1 | 391760 | 182,484 | 0,000000 |
| Contaminação*Salinidade | 36941 | 2 | 18471 | 8,604 | 0,000478 |
| Error | 141690 | 66 | 2147 | | |

Fonte: Elaborada pela autora (2022).

4 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho reforçam que, apesar de intemperizado, o petróleo bruto encontrado no litoral do Nordeste tem efeitos tóxicos sobre organismos fotossintetizantes representado pelas algas calcárias, corroborando resultados descritos para outros grupos de representantes da biodiversidade marinhas, como foi o caso em *Thalassia*

testudinum e *Dunaliella tertiolecta*. Não só no rendimento quântico, como também em aspectos morfológicos e de crescimento (ROOSEVELT, 2014). A interação sinérgica da toxicidade do petróleo com altas salinidades reforçam a importância de considerarmos cenários complexos que promovem a interação entre dois ou mais estressores, uma vez que a combinação de efeitos pode representar variações importantes de desempenho fisiológico, como observado em nosso caso. Pode-se observar, portanto, que o rendimento quântico foi comprometido em *L. crispatum* em solução com água contaminada (10.000 ppm) nas condições de elevada salinidade. Estas evidências reforçam que mesmo organismos morfológicamente mais complexos e de maiores dimensões podem sofrer os impactos de petróleo, assim como observado em algumas microalgas marinhas (*Dunaliella tertiolecta*) e espécies de água doce (*Scenedesmus intermedius* e *Microcystis aeruginosa*). Lopez *et. al.*, (2012), responsáveis pelos estudos descritos acima, observaram que concentrações de 0,45% (v/v) de petróleo e óleo diesel (Fluka Analytical Petroleum Special Standard e o Diesel Oil Standard) produziram uma considerável inibição da fotossíntese (PSII) em todas as espécies de microalgas testadas. Os efeitos negativos aumentaram drasticamente em concentrações de 1,50% (v/v).

Perdas significativas de macroalgas de habitats entre-marés após contato com petróleo foram relatadas por Smith (1973) em seu livro. Além disso, impactos pelo contato direto com o óleo sob certas condições ambientais também foram registrados. Leitões de gramas marinhas, de *Thalassia testudinum* foram dizimados após um vazamento de petróleo bruto em Porto Rico em 1973, onde houve dispersão do óleo sobre o banco de gramas marinhas (NADEAU; BERGQUIST, 1977).

Segundo Peter Ralph *et. al.*, (2006) em publicação no livro *Toxicological and Environmental Chemistry*, (Química toxicológica e ambiental), a membrana do tilacóide, onde ocorre o fotossistema II é suscetível ao acúmulo de óleo. Estes autores sugerem que os óleos expostos à luz impactam no fotossistema I. Contudo, o bloqueio no transporte de elétrons resulta em estresse foto-oxidativo no fotossistema II. Há relatos de Deysher e Stekoll (2000) sobre lesões físicas na macroalga *Fucus gardneri* após o derramamento de óleo do *Exxon Valdez* em 1989. Além disso, talos da espécie em locais oleosos tiveram capacidade reprodutiva comprometida, quanto aqueles em locais de referência. Para Dixon e O'Brien (1976), um aumento na distância entre as moléculas de clorofila, causado pelo comprometimento da membrana do tilacóide e outros distúrbios ultracelulares estruturais, são causados pelo contato com alguns hidrocarbonetos, que por fim prejudicam a capacidade fotossintética de algas.

Estudos do impacto de petróleo sobre o rendimento fotossintético de espécies formadoras de bancos de rodolitos não foram encontrados na literatura. Sendo assim, acredito que este trabalho é um dos pioneiros sobre o assunto e seus resultados poderão colaborar com futuras pesquisas. Segundo Lewis e Pryor (2013), as concentrações de óleo com efeitos tóxicos observados em algas variam muito entre as espécies, poluentes e estudos, de 0,002 a 10.000 ppm. Sabe-se que a eficiência fotossintética está entre os índices fisiológicos mais utilizados em estudos sobre a toxicidade de petróleo em algas (LEWIS; PRYOR 2013). Nesse estudo, não temos as informações sobre as frações químicas do óleo, contudo, a diluição de óleo de 10.000 ppm já foi suficiente para observar diminuição do rendimento quântico no tratamento de *L. crispatum* sobre água contaminada com óleo.

Assim como destacado por nossos resultados, o contato direto com o petróleo produziu os maiores comprometimentos no rendimento quântico efetivo. O prejuízo observado, assim como destacado por Wilson *et al.* (2004), é resultado não só da toxicidade do contaminante, como também do soterramento e limitação da circulação de água, e de trocas de nutrientes e gases imposta pelo soterramento das algas.

Lewis e Pryor (2013) relatam que geralmente, petróleos brutos e frescos são mais tóxicos do que os óleos que passaram por meses ou anos por degradação biológica, ou mesmo por diluição ou volatilização das frações mais tóxicas, onde os óleos refinados são predominantemente mais tóxicos do que os óleos brutos. A amostra de óleo, o qual foi realizado o experimento desta pesquisa, foi coletada em 2020, contudo, mesmo após dois anos do acidente ocorrido na costa brasileira, evidencia-se toxicidade e impacto sobre rodolitos reforçando a necessidade de adequada gestão do vazamento ou desastre, com o mapeamento e coleta de todo o resíduo presente no ambiente natural.

A salinidade foi um fator importante a se avaliar no experimento, pois demonstrou que alta salinidade pode comprometer os processos fotoquímicos em algas calcárias potencializando os impactos resultado da poluição por petróleo. O fator de alta salinidade somado ao tratamento do organismo em contato direto com o óleo foi o resultado com mais prejuízo para os rodolitos. Entretanto, vale ressaltar que mesmo sob salinidade normal, houve prejuízo no rendimento quântico de *L. crispatum* em contato direto com o óleo. Com isso, é possível que apenas um fator estressante interfira na qualidade de vida desses organismos, e quando se une a outros fatores, o stress se torna mais intenso e comprometedor.

Efeitos de alta salinidade também ficam evidentes no trabalho de Luning (1990), onde as taxas fotossintéticas de duas espécies de algas calcárias (*Phymatolithon calcareum* e *Lithothamnion corallioides*) em mares da Europa caem em salinidades acima de 30 ups. Na

pesquisa de Roosevelt (2014), a alga vermelha *Pterocladia capilacea* quando cultivada a 45 ups obteve um comprometimento relativo do seu desempenho fisiológico em relação as suas taxas de crescimento. Mudanças na salinidade podem alterar a pressão de turgor e levar a gasto maior de energia para manter a osmolaridade, na tentativa de preservar a homeostase e a integridade celular (KIRST, 1989). Estudos mostram que não só algas calcárias, mas também espécies de ostras são sensíveis à alta salinidade. Em salinidade de 50, as taxas de sobrevivência após duas semanas foram significativamente menores ($P < 0,05$, Duncan) do que salinidades de 15 e 35. (FUNO *et al.*, 2015).

Além dos agravantes aqui avaliados, há outros fatores/estressores associados à exploração de petróleo (WILSON *et al.*, 2004) que podem ocorrer devido, ou serem agravados pelas mudanças climáticas. O agravamento destas condições ambientais influencia na sobrevivência de organismos formadores de bancos de rodolitos. Além disso, devemos considerar possíveis intoxicações causadas pelos hidrocarbonetos dissolvidos no mar e a introdução de dispersantes de óleo, com propriedades detergentes, podendo intoxicar os organismos afetados. Estudos feitos por Figueiredo *et al.* (2015) na costa do Brasil sobre impacto de cobertura de sedimentos evidenciaram que com 70% de cobertura de sedimento natural imitando cascalhos de perfuração, a eficiência fotossintética de algas calcárias foi reduzida em 50% após duas semanas de exposição.

Mesmo com novas tecnologias sendo implementadas a fim de utilizar outros meios de geração de energia e produtos indispensáveis atualmente, com o intuito de diminuir a emissão de CO₂ e tornar nossas ações um pouco mais “sustentáveis”, ao que tudo indica, a realidade de parar de utilizar petróleo, e conseqüentemente, parar com os acidentes de vazamento de óleo no mar é utópica. Mesmo que leis sobre acidentes de petróleo existam, muitos deles ocorrem sem encontrar um responsável. Desde agosto de 2019, considerando o vazamento que vitimou a costa do Nordeste do Brasil, ainda não se tem certeza de qual navio/empresa vazaram os milhares de litros. Parte do petróleo ainda pode estar presente em áreas costeiras rasas e sedimentos, ou então no fundo do mar, sobre recifes de coral e algas calcárias. Sendo assim, há grande possibilidade de ressuspenderem novamente à coluna d’água. Tal situação pode persistir por um longo período e, conforme mostrado nos resultados deste trabalho, manter efeitos latentes sobre os organismos, tornando-os mais vulneráveis quando expostos a outros fatores estressantes no ambiente (LOURENÇO *et al.*, 2020).

Enquanto isso, vazamentos não param de acontecer. Em outubro de 2021, 474 mil litros de petróleo foram lançados no mar da Califórnia devido ao rompimento de um oleoduto, segundo autoridades do local (AMBIENTEBRASIL, 2021). O caso mais recente ocorreu na

costa da Nigéria em fevereiro de 2022, devido à explosão do navio Trinity Spirit, que carregava 50.000 barris de petróleo (MARINHO, 2022). Não se pode banalizar acidentes e permitir que se torne algo comum. Não é sobre o ambiente se adaptar ao longo dos anos e se renovar, nem sobre os processos físico-químicos e biológicos que estão sendo estudados e utilizados para ajudar a mitigar a toxicidade de hidrocarbonetos e removê-los do ambiente marinho. É sobre o impacto gerado nas espécies que estão presentes ali, naquele momento, sofrendo com as seguidas interferências antrópicas. É sobre o desequilíbrio nas comunidades bênticas e possíveis mortes e extinções de espécies no local. É também, sobre nossa qualidade de vida social e econômica, pois, além de muitas pessoas se alimentarem de animais marinhos e possivelmente se contaminarem, muitas comunidades têm como fonte de renda a pesca e o turismo e foram direta ou indiretamente prejudicados pelo referido vazamento, gerando impactos que transcendem a economia local, atingindo a economia do nosso país.

Em 2020 houve a desmobilização das ações emergenciais unificadas conduzidas pelo grupo de Acompanhamento e Avaliação (GAA) do Plano Nacional de Contingência para Incidentes de Poluição por Óleo (PNC) composto pelo Ibama, pela Marinha e pela ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis). Com isso, a eficiência de remediação dos impactos pode diminuir. Blocos de petróleo estão sendo leiloados em bacias sedimentares marítimas do Sul e Sudeste do Brasil, com a intenção de explorar novos locais de extração de petróleo. Em Santa Catarina temos a Reserva Biológica Marinha do Arvoredo, onde habitam grandes bancos de rodólitos e comunidades de organismos bentônicos. Todo litoral pode ser afetado caso ocorram acidentes envolvendo petróleo. Considerando o avanço das mudanças climáticas devemos rediscutir a exploração de óleo em nosso litoral, pois as interações entre estressores locais e globais podem agravar o cenário já bastante preocupante.

A interação que existe entre os fatores ambientais que muitas vezes potencializam estresses e a interdependência entre indivíduos, intensifica a necessidade de preservar o meio ambiente, a fim de continuar observando e sentindo o que faz o mundo ser possível de vivenciar. Vale destacar que entre os resultados obtidos neste trabalho, os efeitos menos tóxicos foram apresentados em salinidade normal, podendo ser um indicativo de recuperação dos organismos.

Portanto, este trabalho poderá contribuir com informações sobre o impacto desses estressores em relação ao rendimento fotossintético da alga calcária *L. crispatum*, bem como, a possível recuperação da espécie quando a salinidade do ambiente se encontra na média de 37 ups. Além disso, permite constatar que a interação entre contaminação do ambiente

marinho por vazamentos de petróleo e alta salinidade, são mais comprometedores do que quando se avalia os dois fatores separadamente.

REFERÊNCIAS

- ARIAS-ORTIZ, A. *et al.* A marine heatwave drives massive losses from the world's largest seagrass carbon stocks. *Nat. Clim. Chang.* 8, 338–344, 2018. doi: 10.1038/s41558-018-0096y.
- BAKER, N. R. Chlorophyll fluorescence: A probe of photosynthesis in vivo. In: (Ed.). *Annual Review of Plant Biology*, v.59, p. 89-113, 2008.
- BASSO, D. Carbonate production by calcareous red algae and global change. *Geodiversitas*, v. 34, n. 1, p. 13-33, 2012.
- BOYD, W. *et al.* Experimental strategies to assess the biological ramifications of multiple drivers of global ocean change—A review. *Global Change Biology*, v. 24, n. 6, p. 2239–2261, 2018.
- BROOM, J. *et al.* Utility of psbA and nSSU for phylogenetic reconstruction in the Corallinales based on New Zealand taxa. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 46:958-973, 2008.
- BRUM, H. D.; CAMPO-SILVA, J.V.; OLIVEIRA, E.G. **Brazil oil spill response: government inaction.** *Science* 367, 155–156 (2020). Disponível em: <<https://doi.org/10.1126/science.aba0369>>. Acesso em: 20 de nov. de 2020.
- BURWOOD, R; SPEERS, G. C. Photo-oxidation as a factor in the Environmental Dispersal of Crude Oil. *Estuarine and Coastal Marine Science*, 2, 1 17-135, 1974.
- CAPRILES, R. **Severas mudanças na salinidade dos oceanos.** Ambiente Brasil, 2004. Disponível em: <https://ambientes.ambientebrasil.com.br/agua/artigos_agua_salgada/severas_mudancas_na_salinidade_dos_oceanos.html#:~:text=O%20estudo%2C%20que%20foi%20realizado,nas%20reservas%20mundiais%20de%20C3%A1gua.>. Acesso em: 20 de jan. de 2022.
- DA ROCHA, G. *et al.* Contaminação na Baía de Todos os Santos. *Revista Virtual de Química*, v. 4, p.583-610, 2012.
- DAVIES, A. J.; ROBERTS, J. M.; HALL-SPENCER, J. **Preserving deepsea natural heritage: Emerging issues in offshore conservation and management.** *Biological Conservation*, 138:299-312, 2007.
- DE GRAVE, S.; WHITAKER, A. **Benthic community re-adjustment following dredging of a muddy maerl matrix.** *Mar. Pollut. Bull.*, 38(2):102-108., 1999.
- DERRAMAMENTO de óleo Exxon Valdez. **Britannica, 2021.** Disponível em: <<https://www.britannica.com/event/Exxon-Valdez-oil-spill>>. Acesso em: 14 de dez. de 2021.
- DUTRA, L.X.C.; KIKUCHI, R.K.P.; LEÃO, Z.M.A.N. **Effects of sediment accumulation on reef corals from Abrolhos, Bahia, Brazil.** *Journal of Coastal Research*, 39, 2004.

ESTADO da Arte sobre Estudos de Rodolitos no Brasil - Relatório Final. INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS (IBP). Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <ibp.org.br>. Acesso em: 25 de nov. de 2020.

FERNANDES, M. C. Z. **Efeito da 9,10 fenantrenoquinona na fotodegradação do petróleo.** Dissertação de mestrado, Instituto de Química da UFRJ – Rio de Janeiro, 1994.

FIGUEIREDO, M., *et al.* **The effect of sediment mimicking drill cuttings on deep water rhodoliths in a flow-through system: experimental work and modeling.** Mar. Pollut. Bull., 95 (2015), pp. 81-88, 2015.

FINGAS, M. F.; CHARLES, J. **The basics of Oil Spill Cleanup.** CRC Press, 2nd edition, cap. 4, p. 39-60, 2001.

FOSTER, M.S. Rhodoliths: Between rocks and soft places. *J. Phycol.* 37: 659–667, 2001.

FREIRE, V. **BANCOS DE RODOLITOS DO ATLÂNTICO SUL: ESTRUTURA DE COMUNIDADE E ASPECTOS FISIOLÓGICOS.** Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

FRAGKOPOULOU, E.; SERRÃO, E. A.; HORTA, P. A.; KOERICH, G.; ASSIS, J. Bottom trawling threatens future climate refugia of rhodoliths globally. *Frontiers in Marine Science*, 7, 1246., 2021.

FUNO, I.C.; ANTONIO, Í.G; MARINHO, Y.F; GÁLVEZ, A.O. Influência da salinidade sobre a sobrevivência e crescimento de *Crassostrea gasar*. Boletim do Instituto de Pesca. 2015. 41(4): 837-47. Disponível em: <https://www.pesca.sp.gov.br/41_4_837-847.pdf>. Acesso em: 13 de mar. de 2021.

GEFFARD, O.; BUDZINSKI, H.; MENACH, K. **Chemical and ecotoxicological characterization on the “Erika” petroleum: Bio test applied to petroleum water–accommodated fractions and natural contaminated samples.** Aquat Living Resour 17: 289–296, 2004.

HALL-SPENCER, J.M. **Conservation issues relating to maerl beds as habitats for molluscs.** Journal of Conchology Special Publ. 2: 271-286, 1998.

HALL-SPENCER, J.M.; MORE, P. G. **Scallop dredging has profound, long-term impacts on maerl habitats.** ICES Journal of Marine Science 57: 1407–1415, 2000.

HALL, L. W.; ANDERSON, R. D. The influence of salinity on the toxicity of various classes of chemicals to aquatic biota. *Critical Reviews in Toxicology*, 25(4), 281-346, 1995.

HARRINGTON, L.; FABRICIUS, K.; EAGLESHAM, G; NEGRI. **Synergistic effects of diuron and sedimentation on photosynthesis and survival of crustose coralline algae.** Marine Pollution Bulletin, 51: 415–427, 2005.

HORTA, P. A.; SCHERNER, F.; BOUZOUN, Z. L.; RIOSMENA, R.; OLIVEIRA, E. Morphology and reproduction of *Mesophyllum erubescens* (Foslie) Me. Lenoime (Corallinales, Rhodophyta) of Southern Brazil. *Revista Brasileira de Botânica* 34: 125- 134, 2011.

IBAMA. Manchas de óleo - litoral brasileiro. 2019. Disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/manchasdeoleo>>. Acesso em: 20 de dez. de 2020.

IBAMA. Brazilian Institute of the Environment and of Renewable Natural Resources, 2020. Disponível em: <<https://www.ibama.gov.br>>. Acesso em: 18 de out. De 2021.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2001: Impacts, Schubert et. Al. Rhodolith primary and carbonate production in a changing ocean: The interplay of warming and nutrients**, 2001.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Special Report: The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate**, 2019.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, 2021.

JANONE, L. Petrobrás registra 23 acidentes de óleo em dois anos. **CNN Brasil**. Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/petrobras-registra-23-vazamentos-de-oleo-em-dois-anos/>. Acesso em: 23 de fev. de 2022.

KAO, W.; TSAI, T. **Tropic leaf movements, photosynthetic gas exchange, leaf delta C-13 and chlorophyll a fluorescence of three soybean species in response to water availability**. *Plant Cell and Environment*, v. 21, n. 10, p. 1055-1062, 1998.

KERR, R. A. **Fugitive carbon dioxide: it's not hiding in the ocean**. *Science* 256: 35, 1995.

KIRST, G. O. Salinity Tolerance of Eukaryotic Marine Algae. *Annual review of plant physiology and plant molecular biology*, v. 40, p. 21– 53, 1989.

LEÃO, Z. M.; KIKUCHI, R.; TESTA, V. **Corals and coral reefs of Brazil**. In: Cortés J (ed.), **Latin America Coral Reefs**. Elsevier Science, Amsterdam, pp. 9–52, 2003.

LEMONS, C. **DETERMINAÇÃO DE HIDROCARBONETOS POLICÍCLICOS AROMÁTICOS EM ÁGUA E MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO NA BAÍA DE TODOS OS SANTOS E ARATU**. Dissertação (Mestre em Geoquímica do Petróleo e Ambiental) - Pós Graduação em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente, Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2016.

LEWIS, M.; PRYOR, R. **Toxicities of oils, dispersants and dispersed oils to algae and aquatic plants: review and database value to resource sustainability**. *Environmental Pollution* 180, 3 45 –367, 2013.

LICHTENTHALER, H. K. *et al.* How to correctly determine the different chlorophyll fluorescence parameters and the chlorophyll fluorescence decrease ratio R Fd of leaves with the PAM fluorometer. *Photosynthetica*, v. 43, n. 03, p. 379- 393, 2005.

LOURENÇO, R.A., *et al.* **Mysterious oil spill along Brazil's northeast and southeast seaboard (2019–2020): trying to find answers and filling data gap.** Mar. Pollut. Bull. 156, 111219, 2020.

LUNING, K. **Seaweeds. Their Environment, Biogeography and Ecophysiology.** Wiley Interscience, London, 1990.

MARENGO, J. A. **Mudanças Climáticas Globais e seus efeitos sobre a Biodiversidade.** IN: Biodiversidade 26. Ministério do Meio Ambiente, 2006. 201 pág. 2006.

MARINHO, F. Navio petroleiro Trinity Spirit, carregado com 50.000 barris de petróleo, explodiu com 10 tripulantes a bordo na última quarta-feira (02/02). **Click Petróleo e Gás**, 2022. Disponível em: <<https://clickpetroleoegas.com.br/navio-petroleiro-trinity-spirit-carregado-com-500000-mil-barris-de-petroleo-explodiu-com-100-tripulantes-a-bordo-na-quarta-feira-02-02-trinity-spirit-fpso-explosion-nigerian-oil-production-ship/>>. Acesso em: 20 de fev. de 2022.

MCCONNICO, A. *et al.* Temporal variation in seaweed and invertebrate assemblages in shallow rhodolith beds of Baja California Sur, México. **Aquatic Botany**, v. 139, p. 37-47, 2017.

MEDEIROS, P.M.; BICEGO, M. C.; CASTELAO, R. M.; ROSSO, C. D.; FILLMANN G.; ZAMBONI, A. J.; Environment International, 31, 77, 2005.

MUSCHENHEIM, D. K.; LEE, K. Removal of Oil from the Sea Surface through Particulate Interactions: Review and Prospectus. *Spill Science & Technology Bulletin*, 8,9-18, 2002.

NADEAU, R.; BERQUIST, E. Effects of the March 18, 1973, oil spill near Cabo Rojo, Puerto Rico on tropical marine communities. *Proceedings. Oil Spill Conference*, New Orleans, LA, USA, March 8–10, pp. 535– 538, 1977.

NASA investiga como a salinidade do oceano afeta as mudanças climáticas. **Hippiepro**, 2022. Disponível em: <[NASA investiga como a salinidade do oceano afeta as mudanças climáticas - Ambiente - 2022 \(hippiepro.com\)](https://hippiepro.com/nasa-investiga-como-a-salinidade-do-oceano-afeta-as-mudancas-climaticas-ambiente-2022)>. Acesso em: 10 de fev. de 2022.

OIL in the Sea, Inputs, Fates and Effects. *National Academy Press*, Washington, 2002.

NDAO, A. S. *et al.* Analysis of chlorophyll fluorescence spectra in some tropical plants. *Journal of Fluorescence*, v. 15, n. 2, p. 123-129, 2005.

O'BRIEN, P.; DIXON, P. The effects of oils and oil components on algae: a review. *British Phycological Journal* 11, 115 –141, 1976.

OIL in the Sea, Inputs, Fates and Effects. *National Academy Press*, Washington, 1985.

OIL in the Sea - Inputs, Fates, and Effects. **National Academies**, 2002. Disponível em: <Oil in the Sea - Inputs, Fates, and Effects | National Academies>. Acesso em: 15 de fev. de 2022.

OLIVEIRA, E.C. **Is there a relation among the global warming, the missing carbon and the calcareous algae?** *An. Acad. Bras. Ci.* 68: 17-21., 1996.

OLIVER, E. C. *et al.* **Projected marine heatwaves in the 21st century and the potential for ecological impact.** *Front. Mar. Sci.* 6:734, 2019. doi: 10.3389/fmars.2019.00734

O'REILLY, K.; THORSEN, W. Impact of Crude Oil Weathering on the Calculated Effective Solubility of Aromatic Compounds: Evaluation of Soils from Ecuadorian Oil Fields. *Soil & Sediment Contamination*, 19, 391-404, 2010.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). **Mudanças Climáticas e Cidades: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas**, 2017.

PASCELLI, Cecília *et al.* Seasonal and depth-driven changes in rhodolith bed structure and associated macroalgae off Arvoredo island (southeastern Brazil). *Aquatic botany*, v. 111, p. 62- 65, 2013.

PEREIRA-FILHO, G. *et al.* **Extensive rhodolith beds cover the summits of southwestern Atlantic Ocean seamounts.** *Journal of Coastal Research* 28: 261-269, 2012.

RALPH, P. *et al.* **Human impacts on seagrasses: eutrophication, sedimentation, and Contamination.** A.W.D. Larkum, R.J. Orth, C.M. Duarte (Eds.), *Seagrasses: Biology, Ecology and Conservation*, Springer, Netherlands, pp. 567-593, 2006.

RETROSPECTIVA 2019: Alerta no litoral nordestino. **Cfq.org.br**, 2019. Disponível em: <<http://cfq.org.br/noticia/retrospectiva-2019-alerta-no-litoral-nordestino/>>. Acesso em: 18 de fev. de 2022.

RIUL, P., *et al.* **Rhodolith beds at the easternmost extreme of South America: Community structure of an endangered environment.** *Aquatic Botany*, 90(4), 315-320, 2009.

ROMERO, *et al.* **Estimating the capability of microalgae to physiological acclimatization and genetic adaptation to petroleum and diesel oil contamination.** *Aquat. Toxicol.*, 124 (2012), pp. 227-237, 2012.

ROOSEVELT, M. **ANÁLISE DO PERFIL METABÓLICO E DE PARÂMETROS FISIOLÓGICOS E ULTRAESTRUTURAIS DE *Pterocliadiella capillacea* (RHODOPHYTA, GELIDIALES) SOB CONDIÇÕES DE ESTRESSE POR CÁDMIO E GRADIENTES DE SALINIDADE.** Dissertação (Mestre em Biologia de Fungos, Algas e Plantas) - Pós-graduação em Biologia de Fungos, Algas e Plantas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014.

RUTHROF, K. *et al.* Subcontinental heat wave triggers terrestrial and marine, multi-taxa responses. *Sci. Rep.* 8:13094. doi: 10.1038/s41598-018-31236-5, 2018.

SANTOS, D. Vazamento do petróleo completa um ano sem solução. **Wwf.org.br**, 2020. Disponível em: <<https://www.wwf.org.br/?76948/Vazamento-de-petroleo-completa-um-ano-sem-solucao>>. Acesso em: 15 de fev. de 2022.

SARTI, F., SEGAL, B. Subsurface temperature time series at REBIO Arvoredo, a marine insular MPA, and surroundings, at Southern Brazil. *Pangaea*, 2018. Disponível em: <<https://doi.pangaea.de/10.1594/PANGAEA.896398>>. Acesso em: 7 de jan. de 2022.

SCHUBERT, N. *et al.* **Rhodolith primary and carbonate production in a changing ocean: The interplay of warming and nutrients.** *Science of The Total Environment*, v. 676, p. 455–468, ago. 2019.

SCHERNER, F.; HORTA, P. *et al.* **Coastal urbanization leads to remarkable seaweed species loss and community shifts along the SW Atlantic.** *Mar. Pollut. Bull.* 76 (1–2), 106–115, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2012.05.007>>. Acesso em: 17 de fev. de 2022.

SCHREIBER, U; SCHLIWA, U; BILGER, W. **Continuous recording of photochemical and non-photochemical chlorophyll fluorescence quenching with a new type of modulation fluorometer.** *Photosynth Res* 10:51-62, 1986.

SEVERAS mudanças na salinidade dos oceanos. *Revista Eco 21*, Ano XIV, Edição 86, Janeiro, 2004. Disponível em: <www.eco21.com.br>. Acesso em: 08 de fev. de 2022.

SEVERINO, D. **Rendimento quântico de formação de oxigênio singlete por diferentes tipos de petróleo e óleo diesel.** Dissertação de Mestrado, Instituto de Química da UFRJ – Rio de Janeiro, 1997.

SISSINI, M. N. **ASPECTOS TAXONÔMICOS E MOLECULARES DE HAPALIDIACEAE (CORALLINALES, RHODOPHYTA) PARA ILHAS COSTEIRAS DO SUL E SUDESTE DO BRASIL.** 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

SISSINI, M.N. *et al.* **Brazil oil spill response: Protect rhodolith beds.** *Science* 367, 156, 2020.

SMALE, D. *et al.* Marine heatwaves threaten global biodiversity and the provision of ecosystem services. *Nat. Clim. Chang.* 9, 306–312. doi: 10.1038/s41558-019-0412-1, 2019.

SOARES, M.O., *et al.* **Oil spill in South Atlantic (Brazil): environmental and governmental disaster.** *Mar. Policy* 115, 103879, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.103879>>. Acesso em: 11 de jun. de 2021.

SORDO, L. *et al.* Temperature amplifies the effect of high CO₂ on the photosynthesis, respiration, and calcification of the coralline algae *Phymatolithon lusitanicum*. **Ecology and Evolution**, n. September 2018, p. ece3.5560, 2019.

SPEIGHT, J.G. **The Chemistry and Technology of Petroleum.** Marcel Dekker, Inc.; 3rd ed., New York, p. 215-216, 1999.

STEKOLL, M.; DEYSHER, L. **Response of the dominant alga *Fucus gardneri* (Silva) (Phaeophyceae) to the Exxon Valdez oil spill and clean-up.** *Marine Pollution Bulletin* 40, 1028–1041, 2000.

STENECK, S. The ecology of coralline algal crusts: convergent patterns and adaptive strategies. **Annual review of ecology and systematics**, v. 17, n. 1, p. 273-303, 1986. STRUB, P. Ted et al. Altimeter-derived seasonal circulation on the southwest Atlantic shelf: 27°– 43° S. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 120, n. 5, p. 3391-3418, 2015.

STRAUB, S. C. *et al.* **Resistance, extinction, and everything in between – the diverse responses of seaweeds to marine heatwaves.** *Front. Mar. Sci.* 6, 763, 2019.

TRANNUM, H. *et al.* **Effects of sedimentation from water-based drill cuttings and natural sediment on benthic macrofaunal community structure and ecosystem processes.** *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, 383: 111–121, 2010.

VAZAMENTO jogou 474 mil litros de petróleo na costa da Califórnia, estimam autoridades. *Ambientebrasil*, 2021. Disponível em: <<https://noticias.ambientebrasil.com.br/clipping/2021/10/04/173962-vazamento-jogou-474-mil-litros-de-petroleo-na-costa-da-california-estimam-autoridades.html>>. Acesso em: 18 de jan. de 2022.

VERGES *et al.* **The tropicalization of temperate marine ecosystems: climate-mediated changes in herbivory and community phase shifts.** *Proc. R. Soc. Lond. B* 281, 20140846. doi: 10.1098/rspb.2014.0846, 2014.

WILSON, S. *et al.* Environmental tolerances of free-living coralline algae (maerl): implications for European marine conservation. **Biological Conservation**, v. 120, n. 2, p. 279-289, 2004.

ZHAO, C. *et al.* **Effects of groundwater depth variation on photosynthesis and photoprotection of *Elaeagnus angustifolia* L.** *Trees-Structure and Function*, v. 21, n. 1, p. 55-63, 2007.

APÊNDICE A - Tipos de tratamentos e respectivos valores do rendimento quântico efetivo (Y):

| Tratamentos | Salinidade | Rendimento Quântico Efetivo (Y) |
|---------------------------|--------------------|--|
| Tratamento Controle | Salinidade elevada | 352 |
| Tratamento Controle | Salinidade elevada | 330 |
| Tratamento Controle | Salinidade elevada | 395 |
| Tratamento Controle | Salinidade elevada | 343 |
| Tratamento Controle | Salinidade elevada | 388 |
| Tratamento Controle | Salinidade elevada | 253 |
| Tratamento Controle | Salinidade elevada | 287 |
| Tratamento Controle | Salinidade elevada | 351 |
| Tratamento Controle | Salinidade elevada | 335 |
| Tratamento Controle | Salinidade elevada | 229 |
| Tratamento Controle | Salinidade elevada | 397 |
| Tratamento Controle | Salinidade elevada | 254 |
| Água contaminada | Salinidade elevada | 260 |
| Água contaminada | Salinidade elevada | 222 |
| Água contaminada | Salinidade elevada | 265 |
| Água contaminada | Salinidade elevada | 223 |
| Água contaminada | Salinidade elevada | 305 |
| Água contaminada | Salinidade elevada | 183 |
| Água contaminada | Salinidade elevada | 284 |
| Água contaminada | Salinidade elevada | 205 |
| Água contaminada | Salinidade elevada | 159 |
| Água contaminada | Salinidade elevada | 171 |
| Água contaminada | Salinidade elevada | 167 |
| Água contaminada | Salinidade elevada | 169 |
| Contato direto com o Óleo | Salinidade elevada | 136 |
| Contato direto com o Óleo | Salinidade elevada | 128 |
| Contato direto com o Óleo | Salinidade elevada | 78 |
| Contato direto com o Óleo | Salinidade elevada | 140 |
| Contato direto com o Óleo | Salinidade elevada | 146 |
| Contato direto com o Óleo | Salinidade elevada | 185 |
| Contato direto com o Óleo | Salinidade elevada | 169 |
| Contato direto com o Óleo | Salinidade elevada | 141 |
| Contato direto com o Óleo | Salinidade elevada | 223 |
| Contato direto com o Óleo | Salinidade elevada | 175 |
| Contato direto com o Óleo | Salinidade elevada | 219 |
| Contato direto com o Óleo | Salinidade elevada | 194 |
| Tratamento Controle | Salinidade Normal | 441 |
| Tratamento Controle | Salinidade Normal | 439 |
| Tratamento Controle | Salinidade Normal | 414 |
| Tratamento Controle | Salinidade Normal | 476 |
| Tratamento Controle | Salinidade Normal | 432 |

| | | |
|---------------------------|-------------------|-----|
| Tratamento Controle | Salinidade Normal | 408 |
| Tratamento Controle | Salinidade Normal | 481 |
| Tratamento Controle | Salinidade Normal | 527 |
| Tratamento Controle | Salinidade Normal | 442 |
| Tratamento Controle | Salinidade Normal | 465 |
| Tratamento Controle | Salinidade Normal | 430 |
| Tratamento Controle | Salinidade Normal | 439 |
| Água contaminada | Salinidade Normal | 409 |
| Água contaminada | Salinidade Normal | 489 |
| Água contaminada | Salinidade Normal | 535 |
| Água contaminada | Salinidade Normal | 383 |
| Água contaminada | Salinidade Normal | 415 |
| Água contaminada | Salinidade Normal | 384 |
| Água contaminada | Salinidade Normal | 433 |
| Água contaminada | Salinidade Normal | 404 |
| Água contaminada | Salinidade Normal | 391 |
| Água contaminada | Salinidade Normal | 406 |
| Água contaminada | Salinidade Normal | 403 |
| Água contaminada | Salinidade Normal | 493 |
| Contato direto com o Óleo | Salinidade Normal | 268 |
| Contato direto com o Óleo | Salinidade Normal | 303 |
| Contato direto com o Óleo | Salinidade Normal | 311 |
| Contato direto com o Óleo | Salinidade Normal | 307 |
| Contato direto com o Óleo | Salinidade Normal | 267 |
| Contato direto com o Óleo | Salinidade Normal | 220 |
| Contato direto com o Óleo | Salinidade Normal | 260 |
| Contato direto com o Óleo | Salinidade Normal | 331 |
| Contato direto com o Óleo | Salinidade Normal | 243 |
| Contato direto com o Óleo | Salinidade Normal | 266 |
| Contato direto com o Óleo | Salinidade Normal | 181 |
| Contato direto com o Óleo | Salinidade Normal | 276 |

Fonte: Elaborada pela autora (2022).