

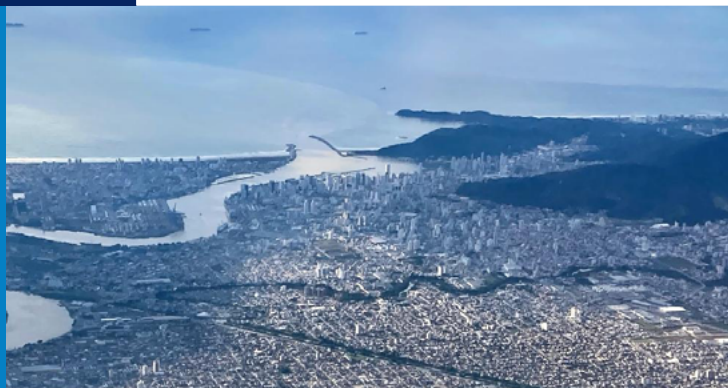


BPBES
Plataforma Brasileira
de Biodiversidade
e Serviços Ecossistêmicos



CÁTEDRA UNESCO
para a Sustentabilidade
do Oceano

1º Diagnóstico Brasileiro Marinho-Costeiro sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos







1º Diagnóstico Brasileiro Marinho-Costeiro sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos

.....

Editores: Cristiana Simão Seixas
Alexander Turra
Beatrice Padovani Ferreira

SUMÁRIO

SOBRE O 1º DIAGNÓSTICO MARINHO-COSTEIRO

INTRODUÇÃO

A importância do Oceano

A importância da conservação do Oceano

Conceitos e princípios que embasam o 1º Diagnóstico Brasileiro Marinho-Costeiro sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos

Objetivo e estrutura do 1º Diagnóstico Brasileiro Marinho-Costeiro sobre Biodiversidade e Serviços Ecossistêmicos

Recorte espacial e temporal

Estrutura lógica e abordagem analítica

Capítulos

Referências

Anexo I

CAPÍTULO 1: CONTRIBUIÇÕES DA BIODIVERSIDADE E DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DA ZONA MARINHA-COSTEIRA PARA A SOCIEDADE

Sumário Executivo

1.1. Introdução

1.2. Contribuições da natureza para as pessoas a partir da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos

1.2.1. Contribuições de regulação

1.2.2. Contribuições materiais

1.2.2.1. Energia

1.2.2.2. Alimentos e alimentação

1.2.2.3. Materiais e trabalho

1.2.2.4. Recursos medicinais, bioquímicos e genéticos

1.2.3. Contribuições imateriais

1.2.3.1. Aprendizado e inspiração

1.2.3.2. Experiências físicas e psicológicas

1.2.3.3. Sustentando identidades

1.2.4. Manutenção de opções

1.3. Lacunas de dados e conhecimento

Agradecimentos

Referências

CAPÍTULO 2: HISTÓRICO DE MUDANÇA E O ESTADO ATUAL DA BIODIVERSIDADE DA ZONA MARINHA-COSTEIRA

Sumário Executivo

2.1. Introdução

2.2. Estado atual da biodiversidade marinha-costeira e processos relacionados

2.2.1. Os ambientes físicos

2.2.2. Os habitats e a biota

2.2.2.1. Manguezais e marismas

2.2.2.2. Pradarias de gramas marinhas

2.2.2.3. Formações recifais

2.2.2.4. Costões e afloramentos rochosos

2.2.2.5. Ecossistemas pelágicos

2.2.2.6. Mar profundo

2.3. Indicadores de mudanças

2.3.1. Extensão de habitats costeiros terrestres e perda de cobertura vegetal

2.3.1.1. Praias e dunas

2.3.1.2. Manguezais e apicuns

2.3.1.3. Marismas

2.3.2. Perda de bancos de macroalgas

2.3.3. Cobertura e branqueamento de corais

2.3.4. Florações de macroalgas

2.3.5. Florações de microalgas nocivas

2.3.6. Explosões populacionais de animais gelatinosos

2.3.7. Alterações nas populações de espécies migratórias

2.3.8. Impactos do plástico na vida marinha

2.3.9. Poluentes orgânicos persistentes

2.3.10. Abundância de estoques pesqueiros

2.4. Lacunas de dados e conhecimento

Agradecimentos

Referências

CAPÍTULO 3: VETORES DE MUDANÇA DA BIODIVERSIDADE E SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DA ZONA MARINHA-COSTEIRA

Sumário Executivo

3.1. Introdução

3.2. Vetores de mudança indiretos

- 3.2.1. Sistemas de governança, gestão e instituições
- 3.2.2. Gestão coletiva da biodiversidade costeira
- 3.3. Vetores de mudança diretos antropogênicos
 - 3.3.1. Dinâmicas territoriais do litoral
 - 3.3.2. Infraestrutura
 - 3.3.3. Pesca e aquicultura
 - 3.3.4. Invasões biológicas
 - 3.3.5. Poluição e mudanças relacionadas aos ciclos biogeoquímicos
 - 3.3.6. Importação e exportação de impactos
- 3.4. Interações entre os vetores de mudança no bioma marinho e costeiro
- 3.5. Lacunas de dados e conhecimento
- Agradecimentos
- Referências

CAPÍTULO 4: CENÁRIOS DE TRANSFORMAÇÃO DA ZONA MARINHA-COSTEIRA

Sumário Executivo

- 4.1. Introdução
- 4.2. Cenários de transformação de áreas marinhas-costeiras no Brasil
 - 4.2.1. Vetores de mudanças sobre os ecossistemas marinhos-costeiros
 - 4.2.1.1. Mudanças climáticas: aspectos físicos e biogeoquímicos
 - 4.2.1.2. Pressões de uso/ocupação: urbanização e turismo
 - 4.2.1.3. Infraestrutura de transportes e energia
 - 4.2.1.4. Exploração de recursos pesqueiros
 - 4.2.1.5. Exploração de recursos minerais
 - 4.2.1.6. Poluição nos ecossistemas marinhos-costeiros
 - 4.2.2. Uma síntese de projeções e referências
- 4.3. Cenários possíveis: caminhos seguros para a sustentabilidade
 - 4.3.1. Caminhos socioeconômicos compartilhados e respostas possíveis (onde estamos e para onde vamos?)
 - 4.3.2. Relações socioeconômicas e cobenefícios entre múltiplos serviços ecossistêmicos
 - 4.3.3. Lacunas de conhecimento: o que é preciso saber e quais as fontes de conhecimento a explorar?
- 4.4. Considerações finais
- Referências
- Apêndice A.4

CAPÍTULO 5: OPORTUNIDADES E OPÇÕES DE GOVERNANÇA PARA CONSERVAR E RESTAURAR A BIODIVERSIDADE E OS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DA ZONA MARINHA-COSTEIRA

Sumário Executivo

5.1. Introdução

5.2. O estado da arte da governança da zona marinha-costeira

5.2.1. Políticas públicas

5.2.2. Atores da governança marinha-costeira

5.3. Oportunidades para a governança: estudos de caso

5.3.1. Áreas de Proteção Ambiental Marinhas do estado de São Paulo

5.3.2. Os Comitês de Gestão Pesqueira no contexto da pesca da tainha

5.3.3. Licenciamento ambiental do pré-sal

5.3.4. Zoneamento Ambiental e Territorial das Atividades Náuticas na região do estuário do Rio Formoso (PE)

5.3.5. O caso dos manguezais amazônicos

5.4. As estratégias e os instrumentos para a governança e o futuro da sustentabilidade do Oceano

5.5. Lacunas de dados e conhecimento

Referências

Apêndice A.5

CAPÍTULO 6: TECENDO SABERES: CONTRIBUIÇÕES DOS POVOS INDÍGENAS E DAS COMUNIDADES TRADICIONAIS PARA O 1º DIAGNÓSTICO MARINHO-COSTEIRO

Sumário Executivo

6.1. Introdução

6.1.1. Povos indígenas e comunidades tradicionais no Brasil

6.1.2. Os conhecimentos tradicionais no 1º Diagnóstico Marinho-Costeiro

6.2. Os ambientes marinhos-costeiros: fonte de vida e tradição

6.3. A zona marinha-costeira ao longo dos tempos: mudanças e suas consequências

6.4. Visões de futuro

6.5. Caminhos para um futuro melhor

Agradecimentos

Referências

Apêndice A.6

GLOSSÁRIO

LISTA DE SIGLAS

AGRADECIMENTOS

AUTORAS E AUTORES

SOBRE O DIAGNÓSTICO MARINHO-COSTEIRO

O 1º Diagnóstico Brasileiro Marinho-Costeiro sobre Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos foi elaborado pela Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos (BPBES) em parceria com a Cátedra Unesco para a Sustentabilidade do Oceano. O Diagnóstico foi coordenado por Cristiana Simão Seixas, Alexander Turra e Beatrice Padovani Ferreira, e escrito por 53 especialistas acadêmicos e governamentais, 12 jovens pesquisadores e 26 representantes de povos indígenas e populações tradicionais do Brasil, em diálogo com atores do poder público e da sociedade civil. Seu conteúdo é embasado em avaliações de informações disponíveis na literatura científica, em relatórios técnicos e em conhecimentos indígenas e tradicionais. O documento completo do Diagnóstico é composto por um Sumário para Tomadores de Decisão (avulso), uma introdução e seis capítulos, sendo o último produzido em um processo inovador a partir da síntese de saberes de povos indígenas e comunidades tradicionais. Cada capítulo inicia-se com um sumário executivo trazendo os principais resultados. Para todas as informações apresentadas nos sumários executivos é indicado o nível de confiança daquela avaliação (bem estabelecido; estabelecido, mas incompleto; inconclusivo; não resolvido – ver Anexo I)

A elaboração de cada capítulo contou com um conjunto de coordenadores, autores e jovens pesquisadores, além da revisão dos seguintes especialistas: A. Cecília Z. Amaral, José Henrique Muelbert (FURG), José Milton Andriguetto, Ronaldo Christofolletti, Segen Estefen, Sueli Furlan, Paulo Horta, Régis P. de Lima, Patrícia M. Menezes, Leonardo Messias, Carolina Minte-Vera, Victória J. Isaac Nahum, Marco Nalon, Isabel S. Pinto, Pedro Jacobi e Paulo Sinisgalli. Os capítulos foram organizados de acordo com a lógica do marco conceitual da Plataforma Intergovernamental sobre Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos (IPBES), conforme descrito na introdução abaixo. Os membros da coordenação executiva da BPBES que orientaram a construção do Diagnóstico foram: Carlos A. Joly, Cristiana S. Seixas e Paula F. Drummond de Castro.

A publicação contou com o suporte de uma Emenda Parlamentar do então deputado federal Rodrigo Agostinho (Presidente do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais), que financiou majoritariamente a sua elaboração. O Diagnóstico recebeu ainda o apoio da Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (SECIRM), da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp) e do Dr. Ronaldo Christofolletti, que viabilizaram a tramitação do recurso financeiro e a execução orçamentária para a sua realização. O Diagnóstico recebeu também o apoio da Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), da Universidade de São Paulo (USP), da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), do Instituto Serrapilheira e do Programa Biota/Fapesp.

Sugestão de citação: Seixas, C.S., Turra, A., Ferreira, B.P. (Eds.) (2024). 1º Diagnóstico Brasileiro Marinho-Costeiro sobre Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos. Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos (BPBES) e Cátedra Unesco para a Sustentabilidade do Oceano.

CAPÍTULO 4: CENÁRIOS DE TRANSFORMAÇÃO DA ZONA MARINHA-COSTEIRA

Coordenadores de capítulo: Wilson Cabral de Sousa Júnior, Adriana R. Carvalho, Regina R. Rodrigues

Autores líderes: Heloisa D. Brum, Leticia Cotrim da Cunha, Leopoldo C. Gerhardinger, Vanessa Hatje, Guilherme O. Longo, Martinez E. G. Scherer, Tatiana Walter

Jovens Pesquisadores: Stella Manes, Denilson da Silva Bezerra

Sugestão de citação: de Sousa Júnior, W.C., Carvalho, A.R., Rodrigues, R.R., Brum, H.D., da Cunha, L.C., Gerhardinger, L.C., Hatje, V., Longo, G.O., Scherer, M.E.G., Walter, T., Manes, S., Bezerra, D.S. (2024). Cenários de Transformação da Zona Marinha-Costeira. *Em*: Seixas, C.S., Turra, A., Ferreira, B.P. (Eds.) 1º Diagnóstico Brasileiro Marinho-Costeiro sobre Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos. Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos (BPBES) e Cátedra Unesco para a Sustentabilidade do Oceano. pp. 170-217. doi: 10.4322/978-65-01-27749-3.cap04

Sumário Executivo

Há uma multiplicidade de vetores diretos que promovem transformações nas áreas marinhas-costeiras, recebendo influências tanto do meio oceânico quanto do meio continental. Esses incluem as mudanças climáticas, a supressão de habitats naturais, a sobre-exploração de recursos, a poluição e as espécies exóticas invasoras.

Do ponto de vista das mudanças climáticas, os principais fatores físicos associados aos impactos sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos no meio marinho-costeiro são oriundos do Oceano, como a elevação do nível médio relativo do mar, o aumento do alcance de ressacas (*storm surges*), a salinização das águas superficiais e do lençol freático na zona costeira e a acidificação, a desoxigenação e o aumento da temperatura da água do mar (*bem estabelecido*) {4.2.1.1}. Variações de extremos climáticos e alterações físicas e biogeoquímicas são também elementos com potencial impacto à biodiversidade e aos serviços ecossistêmicos. Na região continental, os impactos envolvem eventos extremos de precipitação, com potencial para inundações e escorregamentos de encostas relacionados a movimentos de massa, além de alterações no aporte continental (água, sedimento e contaminantes) por eventos de secas prolongadas ou aumento da precipitação.

Resultados de projeções globais utilizando modelagem numérica preveem temperaturas da superfície do mar cerca de 2°C acima da média do período histórico no Oceano Atlântico, sobretudo em regiões próximas à costa, no Atlântico Norte (*estabelecido, mas incompleto*) {4.2.1.1}. Em comparação à situação presente, as projeções

futuras sugerem uma intensificação no volume de água transportado pela Corrente do Brasil, ampliando seus efeitos. O incremento de volume, calor e salinidade transportados pela Corrente do Brasil em direção ao sul poderá afetar o clima ao longo da costa no país, especialmente ao sul de 30°S, acarretando o fenômeno de tropicalização. Resultados de modelos regionalizados apontam para o aquecimento da superfície do mar na porção sudoeste do Oceano e mudanças na distribuição geográfica de espécies de peixes, com redução na abundância e na quantidade de pescado.

Estudos têm demonstrado tendência de aumento na ocorrência, intensidade e duração das ondas de calor marinhas – em determinadas localizações no Oceano, existem indicações de período prolongado com temperaturas altas – as quais podem prejudicar diversas espécies, gerando desequilíbrio ecossistêmico e perda de habitat. Há projeções de que essa tendência se mantenha, podendo atingir um estado quase permanente até o fim do século XXI, com as ondas de calor perdurando por todo o verão no Atlântico Sul. Estudos mostram declínio de 77% da biomassa de estoques pesqueiros na Zona Econômica Exclusiva, em resposta ao aumento de temperaturas extremas no Oceano. Sob o cenário mais severo previsto pelo IPCC (RCP8.5), espera-se uma redução de 3,6% por década entre 1986-2005 e 2041-2060. Embora haja estudos pontuais que sugerem aumento de produtividade de determinados estoques (ex.: algumas espécies de moluscos), as estimativas até 2050 são de uma queda global de até 30% na receita e uma diminuição de 30-50% dos empregos relacionados à pesca (*bem estabelecido*) {4.2.1.1}. Esses efeitos podem ser intensificados diante da baixa regulamentação da atividade pesqueira na América do Sul, que indica o declínio de vários estoques pesqueiros. Tal tendência se repete no território brasileiro como um todo, onde 25 espécies ou grupos de espécies responsáveis por 60% da produção marinha já se encontram totalmente exploradas ou sobre-exploradas (*bem estabelecido*) {4.2.1.4}.

Os usos e a ocupação da região marinha-costeira tendem a se expandir em cenário de baixa regulamentação, o que se traduziria em conversão de ambientes naturais, instalação e ampliação de infraestrutura (viária, energia, abastecimento de água), emissões atmosféricas, lançamento de efluentes, geração e deposição irregular de resíduos, dentre outros, com impactos na biodiversidade e nos serviços ecossistêmicos. Em termos de planejamento para a próxima década, as iniciativas e ações no âmbito do governo federal estão orientadas, desde 2020, pelo Decreto Federal 10.531 (Brasil, 2020), o qual instituiu a Estratégia Federal de Desenvolvimento para o Brasil no período de 2020 a 2031. O documento considera um crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) da ordem de 2,9% ao ano no cenário transformador, que supera em 82% a projeção para o cenário de referência. Acompanhando esse crescimento econômico, a razão entre investimentos em obras de infraestrutura e o PIB seria ampliada de 1,8% no cenário referencial para 3,4% no cenário transformador, um aumento de 88%. Tais projeções apontam para um significativo incremento do impacto ambiental, cuja mitigação exigiria uma expansão das metas na mesma proporção. No entanto, programas que poderiam estruturar a governança socioambiental da zona costeira – como o Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro (Gerco), o Programa Nacional para a

Conservação da Linha de Costa (Procosta) e outros instrumentos para a integração de políticas públicas – vêm sofrendo com falta de recursos e interrupções que comprometem boa parte de suas metas (*bem estabelecido*) {4.2.1.2, 4.3.3}.

A expansão das atividades de mineração e a ampliação da exploração de petróleo e gás, tanto em campos já consolidados quanto em novas frentes como a Margem Equatorial, que inclui a foz do Amazonas, colocam em risco ambientes cuja biodiversidade e serviços ecossistêmicos são pouco conhecidos (*bem estabelecido*) {4.2.1.5}. Um extenso e detalhado trabalho diagnosticou a sensibilidade ambiental da região da Margem Equatorial, dotada de peculiaridades como grande variação de ventos e marés e da influência de dois dos maiores sistemas deltaicos do mundo, dos rios Amazonas e Parnaíba. Ademais, o investimento em combustíveis fósseis caminha em direção oposta à preconizada pelos acordos internacionais dos quais o país é signatário, em especial o Acordo de Paris. Outro recurso mineral presente em larga escala na plataforma continental brasileira são os chamados granulados bioclásticos, compostos principalmente por algas calcárias em formas livres, rodolitos e demais fragmentos. No âmbito da política internacional, o país pleiteia uma ampliação da Plataforma Continental Jurídica, de modo a incorporar áreas de interesse mineral além das 200 milhas originalmente sob sua jurisdição, incluindo porções da Cadeia Vitória-Trindade, o Platô de Santa Catarina e a Elevação do Rio Grande. Há pouca informação relevante sobre essas áreas, assim como ocorre com os bancos de rodolitos, capaz de orientar o uso sustentável dos recursos, o que representa uma importante lacuna a se resolver.

No campo dos transportes e da logística, a expansão de ramais ferroviários e da atividade hidroviária na região marinha-costeira tendem a ser impulsionados a partir da adoção do Plano Nacional de Logística 2035 e de instrumentos como a Lei Federal 14.301/2022, a qual instituiu o Programa de Estímulo ao Transporte por Cabotagem (BR do Mar) (*bem estabelecido*) {4.2.1.3}. A movimentação de cargas para o transporte de cabotagem, bem como todo o investimento logístico em áreas de armazenagem, retroportos, terminais de transbordo e ramais de acesso são elementos importantes de potencial impacto para a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos na região costeira. Por outro lado, o trânsito de embarcações, as obras de dragagem, a infraestrutura oceânica e o consequente aumento do número de acidentes com derrame e vazamento de produtos para o ambiente marinho agravam a vulnerabilidade da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos no mar. A esses vetores se somam as projeções para o turismo marítimo, atividade que vem crescendo com um incremento médio de 10% ao ano no fluxo de cruzeiros.

Os impactos de todos esses vetores de mudança sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos nas regiões marinhas-costeiras tendem a ser exacerbados com as mudanças climáticas (*estabelecido, mas incompleto*) {4.2.1.5}. Como exemplo, o aumento da frequência de eventos extremos pode influenciar na ressuspensão de material contaminante acumulado em sedimentos em ambientes estuarinos e manguezais. De modo alternativo, pode levar à redução da diluição de muitos contaminantes, em função da intensificação da diminuição da descarga líquida continental em determinados períodos do ano. Já a elevação da temperatura da água pode influenciar diversos processos biogeoquímicos no meio marinho, com efeitos sinérgicos em diferentes escalas.

As projeções dos vetores de mudança sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos na região marinha-costeira brasileira indicam uma predominância de pesquisas em pequena escala (nível de espécie) com poucos parâmetros, como temperatura e variação de pH. Os principais resultados apontam perdas de habitats e de biodiversidade, além de possíveis deslocamentos de espécies com mobilidade para ambientes mais propícios (*estabelecido, mas incompleto*) {4.2.2}. Há necessidade de levantamento de dados sistemáticos e estudos mais abrangentes, tanto em termos geográficos quanto em termos das variáveis e parâmetros considerados.

A dependência dos serviços ecossistêmicos providos pelas áreas marinhas-costeiras, cujo estado atual já é preocupante, indica um grande potencial de perdas e danos futuros para a sociedade brasileira, em especial para a população que ocupa tais áreas, embora os efeitos não se restrinjam a essa parte do território (*bem estabelecido*) {4.3.2}. Há uma assimetria no acesso ao meio ambiente associado a um padrão, também assimétrico, entre os beneficiários e aqueles sobre os quais recaem os ônus da poluição e da degradação ambiental, tanto do ponto de vista social como territorial. Em especial, povos e comunidades tradicionais têm vivenciado uma série de impactos e conflitos que reverberam sobre seus modos de vida. Tal condição agrava o quadro de desigualdade da sociedade brasileira e a perda da sociobiodiversidade.

A manutenção dos habitats marinhos-costeiros é crucial para a provisão de diversos serviços ecossistêmicos, destacando-se a proteção costeira (*bem estabelecido*) {4.3.2}. Sabe-se que grande parte da costa brasileira está vulnerável aos impactos da elevação do nível do mar. São diversos os estudos que apontam que a presença de ambientes naturais pode reduzir essa vulnerabilidade. Por exemplo, a presença de recifes de corais ao longo da costa poderia amortecer em 46% os impactos de aumento de ondas em um cenário com subida de 1 metro no nível do mar, enquanto a sua ausência elevaria esse risco para 76%. Em outra análise, os manguezais poderiam diminuir em 20% os níveis de vulnerabilidade costeira, ao mesmo tempo que protegem uma quarta parte da população total exposta. Cenários de maior resiliência incluem o investimento em soluções baseadas na natureza.

Há diversas lacunas para uma razoável compreensão dos impactos das mudanças climáticas e outros vetores de mudança sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos de ambientes marinhos-costeiros no Brasil (*bem estabelecido*) {4.4}. A ausência de levantamento de dados sistemáticos (em campo e em laboratórios) e de estudos mais abrangentes – incluindo a elaboração de cenários –, a descontinuidade da coleta de dados para a estatística pesqueira no país, a falta de programas oficiais como elementos de política de estado para o monitoramento espacial contínuo de alterações em áreas de ecossistemas marinhos e costeiros e a ausência de uma série histórica de dados observados de elevação do nível do mar em toda a zona costeira brasileira se somam à escassez de dados abrangentes de poluição nos ambientes marinhos-costeiros. Ademais, precisamos compreender melhor os processos por meio dos quais os vetores de mudança afetam a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos – elemento central para melhorarmos nossa capacidade de previsão. Tais carências constituem fa-

tores prioritários a se investir para o subsídio e o desenvolvimento de políticas públicas assertivas visando a conservação, a adaptação e a resiliência desses ambientes frente aos vetores de mudança.

O aumento da resiliência da sociedade a esses vetores de mudança depende de uma transformação rápida e consistente na forma que utilizamos e ocupamos as áreas marinhas-costeiras. Esse esforço envolve desde políticas públicas de mais longo prazo até iniciativas locais e regionais de conservação (*bem estabelecido*) {4.4}. A definição de escopos mínimos de integração entre políticas públicas em diversas escalas (geográfica, administrativa, de paisagem, biomas etc.) é essencial para a articulação de respostas ao estado atual de degradação, imposto pelo modo de vida e pelo modelo econômico, e às mudanças globais em curso, que colocam em risco os serviços ecossistêmicos e a biodiversidade dos ambientes marinhos-costeiros brasileiros.

4.1. Introdução

Este capítulo aborda as tendências futuras dos principais vetores de transformação e os elementos de impacto sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos no ambiente marinho-costeiro brasileiro. O texto discorre ainda sobre as principais lacunas de conhecimento acerca da temática e apresenta perspectivas para aprimorar a conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos nesses ambientes.

4.2. Cenários de transformação de áreas marinhas-costeiras no Brasil

As áreas marinhas-costeiras são uma interface entre o meio oceânico e o meio continental, recebendo influência de múltiplos fatores de uso e ocupação da zona costeira. Esses fatores levam à conversão de áreas naturais para expansão urbana e à instalação e ampliação de infraestrutura (viária, energia, abastecimento de água), resultando em aumento das emissões atmosféricas, lançamento de efluentes e deposição de resíduos, dentre outros. As mudanças climáticas agravam as transformações no Oceano, causando acidificação e desoxigenação das águas e aumento do nível do mar, da sua temperatura superficial e da frequência de fenômenos de ressacas, ciclones e tempestades tropicais. No continente, mudanças climáticas potencializam as consequências de eventos extremos de secas e precipitações e o aumento da temperatura do ar. Este tópico discute o impacto desses fatores sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos nas áreas marinhas-costeiras.

4.2.1. Vetores de mudanças sobre os ecossistemas marinhos-costeiros

Áreas marinhas-costeiras brasileiras compreendem ambientes de praias, restingas, costões rochosos, dunas, estuários, manguezais e ambientes recifais, além dos meios pelágicos, intermediários e profundos da plataforma continental e do Oceano aberto. Tal multiplicidade de ambientes abriga rica biodiversidade, fornecendo ampla gama de serviços ecossistêmicos de regulação, suporte, provisão e culturais, conforme classificação da Avaliação do Milênio (MEA, 2005).

Serviços ecossistêmicos de regulação do equilíbrio climático e biogeoquímico, e de balanços térmico e hidrológico são parte significativa desse leque. A oferta de habitat temporário ou permanente para diversas espécies e a produção primária compõem serviços de suporte das áreas marinhas-costeiras. Serviços de provisão permitem a oferta de alimentos e minerais, enquanto os serviços culturais envolvem atividades que vão desde o uso recreacional direto até o vínculo espiritual.

A biodiversidade e os serviços ecossistêmicos providos pelas áreas marinhas-costeiras estão sujeitos ao comportamento dos fatores de influência ao longo do tempo. Situações de degradação já vivenciadas podem ser potencializadas e ampliadas por efeitos sinérgicos às mudanças climáticas e seus desdobramentos. Por outro lado, uma mudança no padrão exploratório pode lograr uma manutenção do estado atual.

As mudanças climáticas representam um importante vetor de impactos sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos nas áreas marinhas e costeiras do país, intensificando efeitos de padrões de degradação e exploração preestabelecidos. Os principais fatores físicos associados ao impacto das mudanças climáticas no Oceano são a elevação do nível médio relativo do mar e o aumento da frequência de ressacas e erosão costeira. Na região continental, são as frentes de precipitação e suas consequências, como inundação e escorregamentos de encostas vinculados a movimentos de massa. Mudanças no regime de chuvas em bacias de grande contribuição do aporte continental (*runoff*) tendem a gerar impactos indiretos nas regiões estuarinas e proximidades. Outros elementos com potencial impacto são o aumento da temperatura do ar e da água, as variações de extremos climáticos e as alterações físicas e biogeoquímicas, como acidificação e desoxigenação.

Os efeitos dessas frentes podem ser alavancados por vetores de mudanças como atividades de uso e ocupação do território, incluindo a expansão de centros urbanos e infraestrutura de transportes na zona costeira, além da ampliação do turismo, da pesca, da aquicultura e da exploração mineral e energética. As frentes de influência têm efeitos cumulativos e sinérgicos entre si e com outros fatores, como as barragens para fins diversos que interrompem ciclos bióticos, biogeoquímicos e sedimentares dos rios. Todos esses fatores, de maneira direta ou indireta, se relacionam com a expropriação e o consequente prejuízo aos modos de vida de povos e comunidades tradicionais cujos territórios encontram-se na zona costeira e/ou marinha e conformam a sociobiodiversidade dessas regiões.

4.2.1.1. Mudanças climáticas: aspectos físicos e biogeoquímicos

O relatório do IPCC (Cooley *et al.*, 2022) e evidências científicas apontam que a mudança climática antropogênica expôs os ecossistemas marinhos-costeiros a ondas de calor marinhas (OCM) sem precedentes, com duração de semanas a vários meses. Oceanos cada vez mais quentes, ácidos e sem oxigênio afetam o metabolismo, o desenvolvimento e as interações dos organismos marinhos, expondo-os a condições ambientais além de seus limites de tolerância e aclimação. Local e regionalmente, as mudanças climáticas representam risco à biodiversidade, ao funcionamento dos ecossistemas

marinhos e aos benefícios que estes nos fornecem, ampliando os impactos de outros fatores, como degradação de habitat, poluição, sobre-exploração, eutrofização e introdução de espécies invasoras.

O documento do IPCC prevê aumento na intensidade, na recorrência e na duração das ondas de calor marinhas, podendo causar extirpação de espécies, colapso do habitat ou superação de pontos de inflexão ecológica. Os impactos crescentes poderão alterar a biomassa de animais marinhos, a sazonalidade e a geografia dos táxons, interrompendo ciclos de vida, teias alimentares e a conectividade ecológica ao longo da coluna de água.

Da mesma forma, a ausência de ações efetivas de mitigação e adaptação pode ampliar o risco de danos aos serviços ecossistêmicos marinhos-costeiros em mais de dez vezes, dependendo do contexto e dos caminhos de desenvolvimento local (Cooley *et al.*, 2022).

De 1982-2016 as ondas de calor marinhas no Atlântico Sul sudoeste (entre Cabo Frio e Argentina) aumentaram em frequência, duração e intensidade (Rodrigues *et al.*, 2019), reduzindo a quantidade de pescado na região ao largo do Uruguai (Franco *et al.*, 2020). A distribuição geográfica e a abundância de 47 espécies de peixes dessas regiões costeiras mudaram entre 1948 e 2016 (Araújo *et al.*, 2018), tendo havido o aumento da população de peixes pequenos e pelágicos e a diminuição ou o desaparecimento de outros grupos. Essa tendência continuará nos períodos de 2021-2050 e de 2071-2100 (Costa & Rodrigues, 2021), podendo atingir um estado quase permanente de ondas de calor marinhas durante todo o verão, até o fim do século XXI. As ondas de calor marinhas têm impacto devastador para ecossistemas marinhos, levando à proliferação de algas nocivas, à mortandade em massa e até a reconfigurações de ecossistemas inteiros, afetando o habitat e os serviços ecossistêmicos em âmbito global (Smale *et al.*, 2019). O recrutamento larval do caranguejo *Leptuca thayeri* (Marochi *et al.*, 2022) e a população de esponjas na região da Baía de Ilha Grande (RJ) (Fortunato *et al.*, 2022) em 2019 foram reduzidos por ondas de calor marinhas. Embora haja diversas lacunas sobre desdobramentos econômicos de ondas de calor marinhas, sabe-se que eventos de ondas de calor marinhas causaram perdas de serviços ecossistêmicos levando a custos anuais acima de US\$ 800 milhões em perdas diretas e US\$ 3,1 bilhões em perdas indiretas (Smith *et al.*, 2021).

O avanço da distribuição de espécies tropicais para áreas extratropicais aquecidas em razão das mudanças climáticas (a “tropicalização”) altera a biodiversidade extratropical, empobrecendo áreas tropicais e modificando o funcionamento dos ecossistemas em ambas as regiões. Desde 2013, tem ocorrido a tropicalização de peixes comerciais demersais na região sul da costa brasileira, devido ao aumento das ondas de calor marinhas e ao transporte da Corrente do Brasil (Perez & Sant’Ana, 2022). Espera-se que espécies tropicais como polvos (Lima *et al.*, 2020), peixes herbívoros (Inagaki *et al.*, 2020; Lima *et al.*, 2021) e corais (Bleuel *et al.*, 2021) encontrarão condições favoráveis à sua ocorrência em ecossistemas subtropicais até o final deste século. Tal alteração forçará a reorganização das teias alimentares e transformará o funcionamento dos ecossistemas, acarretando extinção e substituição de espécies. Em recifes tropicais brasileiros, o aquecimento do Oceano simplificará as teias alimentares e reduzirá a eficiência na

ciclagem de energia, nutrientes e matéria, levando à perda de biomassa de peixes e invertebrados (Capitani *et al.*, 2021) e causando a degradação geral dos ecossistemas.

A elevação da temperatura afeta também o metabolismo de peixes, acelerando seu crescimento, mas tornando-os menores e reduzindo sua capacidade reprodutiva, dado que peixes maiores são mais férteis.

Há no país uma lacuna de avaliações físicas e biogeoquímicas das mudanças climáticas nos ambientes marinhos. Simulações do sistema terrestre do início do século XX ao início do século XXI indicam aumento no volume de água e deslocamento da bifurcação da porção sul da corrente sul-equatorial (que origina a Corrente do Brasil) em direção ao sul (Marcello *et al.*, 2018).

A comparação de Toste *et al.* (2018) entre um cenário de 538 ppm de CO₂ atmosférico em 2100 com 2°C acima da média do período histórico (1850-1900) e um cenário “presente” sugere intensificação no volume de água transportado pela Corrente do Brasil e deslocamento de sua origem para o norte. O estudo preconiza ainda que no ano 2100, em regiões próximas à costa ao norte de 16°N de latitude, a temperatura média na superfície do mar (TSM) deve atingir valores até 2°C acima do cenário “padrão” e uma média de elevação do nível do mar de 7,3 mm/ano, sobretudo próximo à costa. Os resultados de Pontes *et al.* (2016) para 2100, usando a concentração atmosférica de 1.370 ppm de CO₂, apontam que o aumento do volume de calor e sal transportado pela Corrente do Brasil em direção ao sul poderá afetar o clima ao longo da costa nacional, especialmente ao sul de 30°S.

A elevação de temperatura e a acidificação do Oceano irão prejudicar a biodiversidade marinha-costeira em sinergia com impactos da poluição e do uso desordenado de seus recursos (ver Capítulo 1). Belarmino *et al.* (2021) mostraram que alterações climáticas reduziram gramas marinhas, gerando diminuição no estoque de peixe associado, destacando os ainda pouco estudados efeitos em cadeia de mudanças climáticas. No Brasil, dada sua extensão, respostas da biodiversidade marinha-costeira a essas alterações variarão geograficamente, desafiando nossa capacidade adaptativa.

Em ecossistemas de manguezais na região setentrional do país, espera-se maior entrada de água salina devido ao aumento do nível do mar e à diminuição no regime de chuvas, que reduziria a vazão de rios nesses ecossistemas de transição (Godoy & Lacerda, 2015). Em áreas subtropicais da costa nacional, as mudanças climáticas favorecem a expansão de manguezais (Cohen *et al.*, 2020), sujeitos ainda à erosão e ao assoreamento, tornando a resposta desses ecossistemas e sua biodiversidade heterogênea e contexto-dependente.

Embora áreas subtropicais fiquem mais apropriadas para algumas espécies, as áreas tropicais podem ser insustentáveis para a biodiversidade, causando extinções ou reduções drásticas em sua diversidade. Assim, peixes herbívoros e corais encontrarão ambientes adequados fora dos trópicos, mas serão prejudicados em regiões tropicais (Inagaki *et al.*, 2020; Bleuel *et al.*, 2021). Isso porque estas serão menos complexas e diversas, marcadas por alterações na paisagem dos recifes tropicais brasileiros que

colocam em risco benefícios importantes como pesca (Franco *et al.*, 2020; Lopes *et al.*, 2018) e turismo. No cenário atual de emissão de gases, estoques de lagostas da região Nordeste do país diminuirão drasticamente até 2100 (Boavida-Portugal *et al.*, 2018). No que diz respeito ao caranguejo-uçá, *Ucides cordatus*, ainda que a exploração pesqueira exerça baixa pressão sobre a espécie (Domingues, 2008; Furtado Jr. *et al.*, 2016; Diele, 2000), seu estoque tem reduzido graças à degradação dos manguezais e à inundação das marés (Wunderlich & Pinheiro, 2013; Duarte *et al.*, 2016), ameaçando a subsistência e a renda advinda da exploração deste recurso (Glaser *et al.*, 2010). Quanto ao poliqueta *Perinereis ponteni*, presente na costa brasileira, Mendes *et al.* (2022) descobriram que a temperatura impacta bastante o índice de isolamento da espécie.

A projeção de Principe *et al.* (2021) para a distribuição futura de três principais construtores de recifes de corais do Atlântico (*Mussismilia hispida*, *Montastraea cavernosa* e o complexo *Siderastrea*) em três cenários de concentração relativa de gases de efeito estufa (RCP2.6, 4.5 e 8.5) indica que as três espécies perderiam habitat no cenário mais pessimista, embora novas áreas possam se tornar adequadas (até 2100). A espécie *M. hispida* perderia habitats em todos os cenários futuros. Em algumas regiões as três espécies podem desaparecer, com consequências prejudiciais para as comunidades associadas. O aumento da temperatura pode acentuar a dominância e o espalhamento de espécies invasoras, como detectado por Barbosa *et al.* (2019) para a reprodução do invasor Coral-Sol (*Tubastraea tagusensis*) e por Madeira *et al.* (2019) para o camarão invasor *Lysmata lipkei*, cuja capacidade de aclimação e tolerância térmica podem favorecer sua invasão no Atlântico Sudoeste.

Projeções de mudanças climáticas sobre recursos hídricos continentais são um importante vetor de transformação do meio marinho-costeiro. Estudos encomendados pela Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (Brasil, 2015) apontam um aumento da precipitação na região Sul e tendências de redução de precipitação ao norte da região Sudeste, em toda a região Centro-Oeste, em boa parte do Nordeste e na margem direita da bacia Amazônica. As projeções indicam diminuição de vazão nas bacias do São Francisco e do Tocantins, reduzindo o transporte de sedimentos para a costa de Alagoas e Sergipe (identificado por Carreira *et al.* (2021) usando biomarcadores lipídicos no delta do São Francisco). A redução de aporte sedimentar e de nutrientes está prevista ainda na porção sul do sistema deltaico do Amazonas (em especial na baía de Marajó), onde se intensificaria a erosão costeira na região de influência dos estuários. A previsão de períodos de estiagem prolongada pode gerar em manguezais um acúmulo de metais pesados que podem ser liberados em eventos extremos de precipitação (Costa *et al.*, 2020). Ademais, a projeção de aumento de vazão na bacia do Prata afetaria todo o litoral sul brasileiro. Não há estudos consolidados sobre o impacto desses efeitos sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos na região marinha-costeira.

Compreender as diferentes respostas da biodiversidade em uma escala continental como a costa nacional permanece um grande desafio. Enfrentá-lo é fundamental para que estejamos preparados para as mudanças futuras.

4.2.1.2. Pressões de uso/ocupação: urbanização e turismo

A América Latina e o Caribe exibem alto nível de urbanização (80%). No Brasil, o desenvolvimento em seus 8.698 km de extensão da zona costeira levou ao surgimento de

463 municípios litorâneos. Neles residem cerca de 27% da população do país, ou seja, 50 milhões de habitantes (Brasil, 2011). Aproximadamente 45% desses municípios possuem entre 80% e 100% de urbanização. Quatro das 10 maiores áreas metropolitanas do Brasil localizam-se à beira-mar, atraindo grande parte da atividade turística. A região Nordeste abrange o maior número de municípios costeiros e a maior proporção da população residindo na zona costeira (Oliveira & Souza, 2013).

O monitoramento do MapBiomas registrou uma perda de 15% da superfície nas áreas de praias, dunas e areais (~70 mil ha) nos últimos 36 anos (de 1985 a 2020), em decorrência de empreendimentos aquícolas, salineiros e da pressão imobiliária. Essa expansão é favorecida pelo fato de que apenas 40% da superfície de praias e dunas está sob alguma modalidade de unidade de conservação. Na primeira metade desse período, o ecossistema manguezal manteve uma superfície de ocorrência praticamente estável, mas nos últimos 20 anos houve diminuição de 2% da área de manguezal no país, devido às atividades antrópicas em centros urbanos e regiões metropolitanas. Como exemplo, no município de Bragança (Norte do Brasil), onde a comunidade costeira coleta de 6 a 8 t/km²/ano de caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*), a construção de uma rodovia reduziu a área de manguezal e aumentou o uso de madeira, prejudicando a coleta da espécie (Diele *et al.*, 2010; Alves, 2014). Por outro lado, estudos mostram que é possível promover o repovoamento do estoque do caranguejo-uçá a partir da restauração das áreas de manguezal (Lopes *et al.*, 2013; Ferreira *et al.*, 2015; Costa *et al.*, 2016; Fernandes *et al.*, 2018).

Ações e iniciativas da Estratégia Federal de Desenvolvimento para o Brasil no período de 2020 a 2031 e o planejamento setorial de 2020, estabelecidos pelo Decreto Federal 10.531 (Brasil, 2020), possuem metas definidas em dois cenários para os próximos 10 anos: um “referencial”, em que elementos de reforma do estado não se concretizam; e outro “transformador”, no qual reformas estruturais do poder público federal são executadas. No cenário transformador haveria crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) da ordem de 2,9% ao ano, 82% superior à projeção para o cenário de referência. Nele, investimentos em obras de infraestrutura e o PIB seriam ampliados em 3,4% contra 1,8% no cenário referencial, o que significa um aumento de 88%. Tais projeções implicariam em um incremento considerável do impacto ambiental, cuja mitigação exigiria uma expansão das metas na mesma proporção. No entanto, os três indicadores de performance ambiental mais relevantes para os ambientes marinhos-costeiros contidos no documento da Estratégia Federal de Desenvolvimento para o Brasil (pegada ecológica, índice de performance ambiental e o percentual de esgoto tratado), apresentam um aumento bem menos expressivo do cenário transformador para o referencial: 15%, 4% e 20%, respectivamente.

Ocupações de áreas costeiras e a decorrente impermeabilização elevada do solo aumentam a vulnerabilidade a inundações e a riscos geotécnicos, agravada pela variação de marés e pela intensidade de chuvas orográficas (Boulomytis *et al.*, 2017). A vulnerabilidade socioambiental advém da expansão descontrolada da infraestrutura urbana, sendo os vetores muitas vezes determinados por decisões que privilegiam interesses desconectados das soluções mais efetivas (Inouye *et al.*, 2014). Mudanças no modo de

ocupação e uso das áreas costeiras voltadas para evitar degradação ambiental irreversível, inundações e perda de serviços ecossistêmicos com risco às pessoas teriam que envolver a remoção de habitações irregulares e a recuperação de áreas naturais e das características originais da paisagem (Oliveira & Souza, 2013). As mudanças climáticas adicionam sinergias críticas às pressões ambientais já existentes. Por exemplo, Manes e Pires (2022) indicam que eventos extremos de precipitação no estado do Rio de Janeiro trarão aumento significativo no risco de enchente e reduzirão a capacidade de retenção do escoamento superficial entre 34% e 55%. As autoras apontam que todos os cenários de área restaurada recuperaram a capacidade ecossistêmica de diminuir o risco de inundações. Ademais, os benefícios financeiros da prevenção de inundações superam os custos da restauração (Manes & Pires, 2022).

A despeito das evidências científicas, as ações para conter os danos se contrapõem ao plano diretor dos municípios. Manes *et al.* (2023) concluíram que, em regiões com maior adensamento urbano ao longo do litoral brasileiro, a perda dos ambientes naturais costeiros aumentaria em 2,5 vezes o risco de inundação e erosão frente à elevação do nível do mar. Por outro lado, o Zoneamento Ecológico-Econômico e o fortalecimento de áreas protegidas marinhas e costeiras podem favorecer o planejamento e o crescimento urbano, estabelecendo um modelo de governança e manejo baseado em ecossistemas. Desta forma, é possível aumentar a proteção costeira no litoral do país, como aparece de maneira ainda incipiente no Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima e no Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (Xavier *et al.*, 2022).

O turismo é um vetor de uso e ocupação do solo e de pressões de infraestrutura, mas que traz bem-estar socioeconômico. Conforme dados do Ministério do Turismo (Brasil, 2021a), cerca de 95% das movimentações turísticas no país são internas e, de 2015 a 2019, 70% delas ocorreram em áreas costeiras. A cidade do Rio de Janeiro, assolada por inundações e infraestrutura insuficiente, recebe um terço de todos os turistas internacionais que visitam o Brasil. O Plano Nacional de Turismo para o período de 2018 a 2022 previa o estímulo à adoção de práticas sustentáveis no setor, resguardando o patrimônio cultural e natural por meio da conservação da biodiversidade (Brasil, 2018). No entanto, esse instrumento ainda tímido enfrentou o desafio da sustentabilidade e da pandemia de Covid-19, que direcionou o Ministério do Turismo a priorizar ações de proteção às empresas e aos empregos do setor turístico (Brasil, 2021b), em detrimento das operações turísticas de menor impacto e alinhadas aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Um dos principais impactos da atividade turística nas zonas costeiras e marinhas é o acúmulo de resíduos, representados pela enorme quantidade de plásticos que são jogados ou carregados para as praias, até atingirem o Oceano. Microplástico vem sendo detectado em animais marinhos como bivalves (Bruzaca *et al.*, 2022), peixes mesopelágicos (Justino *et al.*, 2022) e cefalópodes (Ferreira *et al.*, 2022). Visando entender a magnitude do problema, o Instituto de Oceanografia da USP e a Organização Sea-Shepherd Brasil estão realizando o maior estudo do perfil do lixo marinho em 300 praias da costa nacional. Para tanto, conduzem análises detalhadas do perfil de microplásticos menores que 5 mm em sua maior dimensão, de acordo com a definição da European Marine Strategy Framework Directive (Galgani *et al.*, 2013) e da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) dos Estados Unidos. Também estão

sendo feitas análises de macrorresíduos (utilizando uma variante do método de Lippiat *et al.*, 2013) e coletas de areia para avaliar toxicidade. O objetivo final é conhecer o real impacto dos resíduos e influenciar políticas públicas urgentes de inibição de produção, uso e destinação de resíduos plásticos, dentre outros resíduos no Brasil.

4.2.1.3. Infraestrutura de transportes e energia

A já consolidada estrutura rodoviária ao longo da costa nacional tem sido direcionada para as extensões logísticas do transporte ferroviário e marítimo. Há um enorme potencial de danos à biodiversidade e aos serviços ecossistêmicos se considerarmos tanto os impactos diretos da implantação da infraestrutura (ex.: supressão de remanescentes de vegetação natural, fragmentação de habitats, deslocamento populacional) quanto os indiretos (ex.: perdas de biodiversidade, assoreamento de cursos d'água, efeitos da poluição operacional), além dos efeitos sinérgicos e da indução de novas atividades (Sánchez, 2013).

No modal ferroviário no Brasil, são previstas extensões da malha de trilhos conectada com as estruturas portuárias, em especial em trechos litorâneos das regiões Sul, Sudeste e Nordeste. Essas extensões abrangem a Ferrovia Transnordestina Logística, na porção norte do litoral nordestino; trechos da Ferrovia Centro Atlântica, na porção sul do litoral nordestino e na porção entre o litoral do Espírito Santo e do Rio de Janeiro; e trechos da Rumo, empresa de logística ferroviária, em suas malhas Sul e Paulista, além de extensões e ligações dessas malhas a pontos de logística estratégicos no continente, caso do projeto da Ferrovia de Integração Oeste-Leste (EPL, 2021).

A intensa movimentação para a liberação de novos portos e para a aceleração do licenciamento ambiental pode alavancar a navegação de cabotagem (entre portos nacionais) no país, com reflexos nos ambientes costeiros e marinhos. Atualmente a navegação de cabotagem, responsável por $\frac{3}{4}$ da carga, movimenta poucos itens relacionados à exploração de petróleo e ao transporte entre plataformas e continentes (Teixeira *et al.*, 2018). A Lei Federal 14.301, de 7 de janeiro de 2022 (Brasil, 2022a), instituiu o Programa de Estímulo ao Transporte por Cabotagem (BR do Mar) e incentiva a cabotagem e a entrada de novas empresas nesse mercado. Toda movimentação de embarcações e cargas para o transporte de cabotagem e todo investimento logístico em áreas de armazenagem, retroportos, terminais de transbordo e ramais de acesso representam potencial impacto para a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos na região costeira. Da mesma forma, obras de dragagem e infraestrutura oceânica, aliadas ao consequente incremento do número de acidentes com derrame e vazamento de produtos para o ambiente marinho, aumentam a vulnerabilidade da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos no mar. A esses vetores se somam as projeções para o turismo marítimo, atividade que vem se expandindo com crescimento médio de 10% ao ano no fluxo de cruzeiros. De acordo com a Embratur (2021), em 2019 os cruzeiros marítimos na costa brasileira atraíram mais de 500.000 passageiros.

A expansão da geração eólica *onshore* e *offshore*, sobretudo em partes da costa Sul e em praticamente toda a costa Nordeste do país, é outro vetor com potencial impacto sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos. A emissão de ruído pelas turbi-

nas afeta rotas de aves e altera a paisagem natural, podendo gerar conflitos socioambientais, especialmente expropriação de comunidades tradicionais e ameaças ao seu modo de vida. Há também impactos sobre sistemas de dunas relativos à remoção de vegetação natural e à modificação de mananciais e sistemas interdunares. Em sistemas *offshore*, a implantação das torres no meio marinho impacta de maneira direta a biota e o substrato, resultando em áreas de exclusão de pesca e navegação que podem afetar o modo de vida de povos e comunidades tradicionais (Quadro 4.1).

Quadro 4.1. Expansão da energia eólica e impactos

Se por um lado o avanço na implantação de usinas eólicas poderia configurar um cenário promissor de geração de energia de menor impacto socioambiental, por outro, a rápida expansão das áreas destinadas a esta atividade, sem critérios socioambientais rigorosos, evidencia as lacunas no planejamento energético e no licenciamento ambiental. Conforme Marinho *et al.* (2021), a expansão de usinas eólicas no Brasil atingiu número recorde em 2021 e as questões socioambientais ainda precisam ser consideradas com maior peso durante as decisões, especialmente na elaboração e avaliação dos estudos de impacto ambiental. Diferentemente do padrão observado em países da Europa, como Áustria e Dinamarca, no Brasil a instalação de usinas eólicas vem ocorrendo em áreas ambientalmente vulneráveis, como o ecossistema dunar. Esse aspecto somado à baixa proteção das áreas costeiras e à falta de controle com a ocupação e expansão urbana favorece a ocorrência cada vez mais frequente de erosão costeira, desmoronamentos de falésias e retração da linha da costa, ameaçando a economia local e a vida das pessoas. A instalação de usinas eólicas no ecossistema costeiro de dunas na região do litoral setentrional do Rio Grande do Norte, por exemplo, afetou negativamente comunidades locais de pescadores e operadores de turismo (Dantas *et al.*, 2019; Pontes e Azevedo, 2019). Os parques eólicos já se configuram uma das principais causas de conflitos socioambientais em comunidades pesqueiras artesanais ao longo de toda a costa brasileira, especialmente para os estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Piauí e Maranhão, onde estes empreendimentos chegam a ser umas das cinco principais causas de conflitos (Tomáz & Santos, 2016; Barros *et al.*, 2021). Além disso, há previsão de implantação de parques eólicos *offshore* na costa brasileira, em regiões de menor profundidade e maior incidência de ventos. Nestes casos, segundo Bailey *et al.*, (2014) os impactos são de ordem diversa e envolvem aumento dos níveis de ruído, risco de colisões, alterações nos habitats bentônicos e pelágicos, alterações nas cadeias alimentares e poluição causada pelo aumento do tráfego de embarcações ou liberação de contaminantes dos sedimentos do fundo do mar. Esses autores apontam também possíveis benefícios como a criação de uma zona tampão livre de trânsito de embarcações e suscetível à formação de uma comunidade ampla a partir das novas estruturas de substrato.

Os riscos ambientais da duplicação das usinas eólicas no Brasil até 2029 podem ser minimizados caso haja planejamento para a ocupação de áreas já antropizadas (Tur-

kovska *et al.*, 2021). Entretanto, a projeção de novos parques para o mar territorial vem sendo feita sem subsídio técnico, debate público ou consulta aos povos e comunidades tradicionais, contrariando o previsto nos dispositivos legais (Laboratório MARéSS¹; Observatório de Conflitos Ambientais do Extremo Sul, 2022²). Um exemplo é a Lagoa dos Patos (RS), que vivencia um processo acelerado de concessão para fins de energia eólica. Recentes mudanças acerca de marcos regulatórios – como o Decreto 10.946 de 25 de janeiro de 2022 (Brasil, 2022b) que permite a concessão de áreas e águas públicas para geração de energia eólica *offshore* – podem agravar esse cenário. O potencial eólico *offshore* é de até 2.366 TWh/ano, desconsiderando instalações de turbinas em áreas protegidas, áreas prioritárias para conservação e áreas propensas às rotas migratórias. Esse dado pode indicar caminhos para a regulação da atividade (Borba *et al.*, 2023).

O aproveitamento energético na interface marinha-costeira vem sendo estudado a partir da força maremotriz e da dinâmica de ondas. Foi apresentada uma proposta de geração maremotriz para implantação no Reservatório do Batatã, em São Luís (MA) (Saavedra *et al.*, 2015). Contudo, ela estaria sujeita à influência direta da operação no reservatório, que tem usos múltiplos – incluindo abastecimento doméstico –, o que impediu sua implantação. O aproveitamento da energia das ondas, testado em um experimento em escala real no município de Pecém (CE) (Estefen, 2014), mostrou-se ser ainda inviável em função do alto custo de implantação/operação e das condições operacionais que permitissem o máximo rendimento. Novos arranjos seguem sendo testados. De modo geral, as tecnologias para aproveitamento de energia de ondas e marés são peculiares de cada localidade e vêm sendo adotadas em locais onde a competitividade de outros modais é menor, ou sob forte subsídio governamental (Jahanshahi *et al.*, 2019).

O projeto e a construção de usinas termelétricas, a gás natural e nucleares preocupam devido à facilitação do trâmite de autorizações pelas agências reguladoras responsáveis, motivada por períodos de choques entre oferta e demanda de energia no país. Essas usinas têm alta demanda de água para sistemas de arrefecimento e, no caso das termelétricas a gás natural, emitem gases de efeito estufa e outros poluentes com impacto local. Usinas nucleares (previstas na região Nordeste) trazem o risco ligado à operação e à geração e a incerteza na destinação de resíduos. Associado a esses fatores, há ainda os riscos de quebra de contínuos de paisagem e de fragmentação de ecossistemas por conta da expansão das linhas de transmissão de energia ao longo da costa. Isso se dá pela necessidade de conectar localmente os parques geradores, de levar energia destes para o Sistema Interligado Nacional e de conectá-los a parques *offshore*.

1. <https://maress.furg.br/>

2. <https://observatorioconflitosextemosul.furg.br/>

4.2.1.4. Exploração de recursos pesqueiros

A exploração pesqueira ocorre desde a plataforma continental, seus estuários e manguezais até águas distantes, incluindo recifes costeiros e profundos (Blaber & Barletta, 2016). Na América do Sul, há tendência de declínio de vários estoques pesqueiros marinhos e mesmo de um colapso total de estoques (Barletta *et al.*, 2010). No território brasileiro, 25 espécies ou grupos de espécies responsáveis por 60% da produção marinha se encontram totalmente exploradas ou sobre-exploradas. Dentre elas estão sardinhas, lagostas, piramutabas, camarões e peixes demersais diversos (Dias-Neto & Dias, 2015). Somente a pesca de atuns é regulamentada por cotas, pela Comissão Internacional para a Conservação do Atum Atlântico (ICCAT, da sigla em inglês), para exploração em diferentes países. No Brasil, a gestão da exploração pesqueira consiste na proibição da pesca durante o período de reprodução de algumas espécies (defeso), na restrição de determinados petrechos e do tamanho de embarcações em certas localidades, e na proibição da pesca em áreas protegidas. Entretanto, a fragilidade da fiscalização da pesca e a ausência de programas confiáveis de estatísticas pesqueiras e de monitoramento de capturas em toda a costa (com exceção do estado de São Paulo, que tem o Instituto de Pesca) (Previero *et al.*, 2013) têm agravado a sobre-exploração dos recursos. Estabelecer um monitoramento contínuo é, portanto, uma ação fundamental para a conservação de recursos pesqueiros (Carvalho *et al.*, 2009; Isaac, 2006; Roos *et al.*, 2020). A exploração pesqueira é o principal vetor de mudança sobre 42% de 286 espécies de peixes marinhos, enquanto a poluição do Oceano explica mudanças em 21% das espécies. Expansão urbana, turismo, espécies exóticas e mineração respondem pela pressão sobre outras 37% das espécies marinhas exploradas (Brasil, 2018). Desde 2012, essas mudanças vêm reduzindo o Índice de Saúde do Oceano – Ocean Health Index (OHI) – relativo à exploração pesqueira em 138 dos 220 países avaliados (OHI, 2020). No Brasil, o Índice de Saúde do Oceano tem se mantido estável (~72). Entretanto, a avaliação da atividade de pesca pelo índice tem valor baixo (41) devido ao declínio dos estoques pesqueiros e à baixa expectativa de expansão da pesca, apontados no Revizee (Brasil, 2006), que indicava colapso em 23% e sobre-exploração em 33% dos estoques pesqueiros. Verba *et al.* (2020) revelaram que, entre 1950 e 2010, de 132 espécies comerciais 42% foram sobre-exploradas, 35% totalmente exploradas, 9% estavam em colapso e 14% em desenvolvimento. A queda na abundância de algumas espécies conduziu a pesca de pequena escala para águas profundas e distantes da costa, mascarando a sobrepesca e as perdas socioeconômicas (Damásio *et al.*, 2020). Em ambientes recifais, essa perda incide sobre espécies de grande porte dos extremos de categoria trófica (Frédou *et al.*, 2009; Bender *et al.*, 2013; Bender *et al.*, 2014; Giglio *et al.*, 2015).

Perez & Sant'Ana (2022) identificaram a tropicalização da megafauna (peixes demersais comerciais) na região Sul da costa Atlântica brasileira, devido ao aquecimento do Oceano que causa migração de espécies para águas de temperatura fisiologicamente adequada, afetando a pesca (Barange *et al.*, 2014; Guerra *et al.*, 2021). Isso inclui mi-

gração de sardinhas para águas mais frias e profundas (Gasalla *et al.*, 2017), expansão da distribuição do polvo *Octopus insularis* para o Atlântico norte, a América do Sul e a África do Sul (Lima *et al.*, 2020), e mudança na abundância de ovos e larvas de anchovas no sudoeste do Brasil (del Favero *et al.*, 2018; Araújo *et al.*, 2018). Esse estresse térmico afeta o comportamento natural das espécies recifais, alterando a competição interespecífica e o uso do seu habitat (Silva-Pinto *et al.*, 2020).

A mudança na temperatura e a redução de precipitação na porção equatorial do país causarão perdas entre 40 e 100% nas condições apropriadas para a sobrevivência de camarões e lagostas do gênero *Panulirus*, diminuindo sua produtividade na região marinha-costeira nacional (Boavida-Portugal *et al.*, 2018; Lopes *et al.*, 2018). A estimativa para os anos 2050 e 2100 é a de que temperaturas de 28 e 31°C devem ocasionar declínio alimentar e de abundância em peixes recifais herbívoros (Inagaki *et al.*, 2020), mantendo a dominância de macroalgas nos recifes (Dell *et al.*, 2016; Aued *et al.*, 2018). Essas temperaturas afetarão peixes da base da cadeia trófica e dos níveis tróficos superiores, reduzindo a complexidade e a resiliência da comunidade recifal, que ficará mais propensa a extinções locais (Inagaki *et al.*, 2020). Para os períodos entre 1986-2005 e 2041-2060 a previsão é de queda de 77% na biomassa de estoques pesqueiros na Zona Econômica Exclusiva brasileira, com uma taxa de 3,6% por década. Até 2050 isso resultará em uma baixa de até 30% na receita da pesca (em relação ao PIB), diminuindo a empregabilidade do setor em 30-50% (Cheung *et al.*, 2021).

Atividades humanas que acarretam degradação e perda de habitats podem acentuar o declínio da exploração pesqueira, agravando o impacto das mudanças climáticas (Vasconcelos Filho *et al.*, 2009; De Oliveira & Chellappa, 2014; Guerra *et al.*, 2021). A carcinicultura é um vetor de perda de habitats, acometendo em especial os manguezais (Sá *et al.*, 2013; Marins *et al.*, 2020; Lacerda *et al.*, 2021). A carcinicultura em manguezais amplia emissões de carbono do solo (Bernardino *et al.*, 2021; Kauffman *et al.*, 2018a). No Brasil, 98% da produção total de camarão por carcinicultura está na região Nordeste, onde lagoas ativas aumentaram de 19.845 ha em 2018 para 30.000 ha em 2020 (Freitas *et al.*, 2017; Rocha, 2019). Apesar de 8% a 10,5% da área de carcinicultura ser fruto de desmatamento de mangue (Maia *et al.*, 2006), o cenário é de incremento da atividade, inclusive com utilização de espécies exóticas.

Embora a maricultura em mar aberto modifique condições marinhas-costeiras (Brandini, 2013), cenários de mudança climática preveem aumento de 10%-60% na riqueza de espécies de moluscos na Zona Econômica Exclusiva (Oyinlola *et al.*, 2019). Para o cultivo de ostras, a elevação da temperatura tende a manter o desempenho da espécie nativa *Crassostrea brasiliana*, diminuindo a aptidão dos juvenis da espécie exótica cultivada (*Crassostrea gigas*) (Moreira *et al.*, 2017). No entanto, há ainda carência de estudos preditivos e quantitativos acerca da exploração pesqueira que considerem como vetores as atividades econômicas e de crescimento, de forma a apontar o efeito integrado sobre os estoques pesqueiros e sobre sua exploração.

4.2.1.5. Exploração de recursos minerais

Nas últimas décadas, a exploração de óleo e gás foi impulsionada nas áreas *offshore* e, atualmente, a mineração e a obtenção de energia por usinas eólicas marinhas destacam-se como atividades econômicas dependentes da área marinha e da zona costeira. Em 2021, por exemplo, foram a leilão novas áreas para mineração e exploração de óleo e gás no Nordeste e Sul do Brasil. Essa expansão da exploração ignorou os estudos de sensibilidade ambiental das áreas oceânicas do Ministério do Meio Ambiente (Brasil, 2016) e, acima de tudo, o potencial impacto de acidentes ou da própria atividade sobre os ecossistemas marinhos-costeiros.

A Petrobras tem priorizado a exploração de Búzios, na bacia de Campos (RJ), como “o maior campo de petróleo em águas profundas do mundo” e “um ativo de classe mundial, com reservas substanciais, baixo risco e baixo custo de extração” (Petrobras, 2022). Atualmente na região há quatro unidades em operação, responsáveis por mais de 20% da produção total da empresa e que devem chegar ao final da década (2030) com produção diária acima de 2 milhões de barris de óleo equivalente por dia. A produção total atual de petróleo, gás natural liquefeito (GNL) e gás natural no país é de 2.765 milhões de barris de óleo equivalente ao dia. A nova fronteira nacional de exploração de petróleo está em meio marinho, em latitudes das regiões Norte e Nordeste, na chamada Margem Equatorial brasileira. A área consiste em uma faixa no Oceano Atlântico com cerca de um milhão de km² divididos em cinco grandes bacias sedimentares – começa na divisa do Amapá com a Guiana Francesa e engloba o delta do Amazonas e os estratos marinhos ao longo dos estados do Pará, Maranhão, Ceará e Rio Grande do Norte (Pellegrini & Ribeiro, 2018).

Após o início da exploração em águas rasas nas bacias do Pará-Maranhão e de Barreirinhas, cujos estudos indicavam haver potencial de petróleo desde a década de 1990, novos focos vêm sendo explorados em águas profundas envolvendo toda a Margem Equatorial (Pellegrini & Ribeiro, 2018; d’Almeida *et al.*, 2019; Oliveira *et al.*, 2020). Um extenso e detalhado trabalho diagnosticou a sensibilidade ambiental da região (Brasil, 2016). Segundo Silva Júnior e Magrini (2014), ela é dotada de peculiaridades como grande variação de ventos e marés, além da influência de dois dos maiores sistemas deltaicos do mundo, dos rios Amazonas e Parnaíba.

Em 2013, a exploração petrolífera nessa área – caracterizada pela atividade de pesquisa sísmica e perfuração exploratória de poços – havia sido suspensa por indicação do Ibama, devido a falhas na documentação. A partir de 2015, as prospecções prosseguiram e novos blocos foram liberados, ainda que tenham tido pouco interesse do setor, em parte devido às tratativas ambientais. Investimentos da empresa petrolífera (Petrobras, 2022) revelam a inversão de mais de R\$ 2 bilhões nos próximos anos para a exploração dos campos profundos da Margem Equatorial brasileira.

A implantação de infraestrutura em plataformas e dutos e o trânsito de embarcações funcionam como substratos artificiais sujeitos à colonização por espécies invasoras.

Em recente pesquisa, Barreto (2022) identificou habitats adequados ao estabelecimento do coral-sol (*Tubastraea* spp.), uma espécie invasora que provoca desequilíbrios nos ecossistemas locais em toda a costa nacional, tendo a extração de óleo e gás como variável explicativa mais importante. Dentre as unidades de conservação que apresentam maior risco de invasão, o estudo apontou a Reserva Extrativista Arapiranga-Tromaí, o Monumento Natural das Ilhas de Trindade e Martim Vaz e a Área de Proteção Ambiental Costa dos Corais.

Outro recurso mineral presente em larga escala na plataforma continental brasileira são os chamados granulados bioclásticos, compostos principalmente por algas calcárias em formas livres (*free-living*), rodolitos e demais fragmentos (Pereira Filho *et al.*, 2012). Esse material forma depósitos não consolidados que podem ser explorados por dragagens de leito. O Oceano Atlântico Sudoeste tropical, em especial a Zona Econômica Exclusiva do Brasil, possui o maior depósito de calcário marinho do mundo. Com reservas avaliadas em mais de 1,3 bilhão de toneladas de carbonato de cálcio, é muito atrativo para a indústria global e de grande utilidade para a agricultura e a nutrição animal, conforme levantamento apresentado por Paiva *et al.* (2023). Embora o volume explorado hoje seja pequeno, com licenças localizadas de exploração, os autores mostram os riscos de uma possível escalada. Eles chamam a atenção para a carência de informações científicas de longo prazo sobre aspectos como os estoques de carbonato disponíveis, a capacidade de recuperação dos estoques, os riscos de conectividade com outros ecossistemas (por exemplo, recifes de coral) e a redução da provisão de serviços ecossistêmicos que pode afetar atividades como a pesca artesanal. Santos *et al.* (2023) salientam a necessidade de uma ampliação das áreas marinhas protegidas (AMPs) para incorporar importante parcela dos bancos de rodolitos do país, atualmente sem proteção e sujeitos a danos potenciais em função de empreendimentos de mineração.

De acordo com Santos *et al.* (2022), em esforço de consolidação de estudos e pesquisas sobre o tema da Economia Azul (que se poderia definir como o conjunto das potencialidades socioeconômicas da Zona Econômica Exclusiva), há um crescente registro de atividades de lavra *offshore* no Brasil. Existem hoje aproximadamente 765 atividades de mineração *offshore* homologadas na Agência Nacional de Mineração (com destaque para areia, calcário, carvão, fosfato, ilmenita, sais de potássio e sal-gema). Isso diante de uma reduzida prospecção pelos órgãos responsáveis: apenas 8% da chamada Plataforma Continental Jurídica Brasileira (PCJB) teria sido mapeada pelo Serviço Geológico do Brasil. Os autores vislumbram, portanto, uma grande expectativa de desenvolvimento das atividades de mineração na Zona Econômica Exclusiva e em suas extensões³ nas próximas décadas. Tal cenário envolveria a exploração da chamada Elevação do Rio Grande, uma elevação submarina com depósitos de cobalto e outros minerais de interesse econômico.

3. Em dezembro de 2018, o Brasil apresentou uma Proposta Parcial Revista da Margem Oriental e Meridional à Comissão de Limites da Plataforma Continental, no âmbito da Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar. A proposta tem como objetos a região da Cadeia Vitória-Trindade, o Platô de Santa Catarina e a Elevação do Rio Grande. Nesse contexto, e até decisão da Comissão, estas áreas passam a ter jurisdição e soberania do Brasil (Santos *et al.*, 2022).

Além dos impactos diretos, os ambientes marinhos-costeiros são influenciados por impactos indiretos oriundos do aporte continental, como apontam os exemplos apresentados no Quadro 4.2.

Quadro 4.2. Impactos indiretos e riscos associados à mineração

O ambiente marinho-costeiro, além de abrigar atividades de mineração, como é o caso da exploração de petróleo e gás, também recebe impactos de atividades minerárias à montante do sistema de drenagem dos rios conectados. Neste sentido, Silvestrini e D'Aquino (2020) analisaram o impacto da atividade de mineração de carvão, a partir da drenagem ácida carregada pelo rio Araranguá até seu estuário, em Santa Catarina. No período avaliado, o estuário operou predominantemente em modo “marinho”, quando desempenhou um importante papel filtrante, recebendo águas de baixo pH e entregando água com pH neutro à zona costeira adjacente. No entanto, quando operando em modo “fluvial”, foram encontrados flocos em suspensão dispersos por todo o estuário, os quais, em eventos extremos são exportados para a zona de praia, sendo percebidos na areia e zona de arrebentação junto à foz. O impacto das atividades de mineração sobre o meio marinho pode estar associado também a falhas operacionais e acidentes, como o ocorrido em 2015, a partir do rompimento de uma barragem de rejeitos da mineração de ferro em Minas Gerais. A lama contendo uma diversidade de minerais e compostos residuais da mineração foi lixiviada ao longo da bacia do rio Doce até atingir o Oceano, dias depois do rompimento. Evangelista *et al.* (2022) identificaram a contaminação de corais no Parque Nacional Marinho dos Abrolhos, um complexo de recifes de corais e um santuário protegido da fauna marinha localizada a aproximadamente 250 km NE da foz do Rio Doce. A equipe analisou coletas de sedimentos realizadas antes e depois do rompimento da barragem de Fundão nas águas da foz do rio Doce e em áreas de recife de Abrolhos. Nas espécies de corais estudadas, os resultados constataram incorporação anômala de zinco e cobre no esqueleto coralino após a chegada da pluma de sedimentos, assim como a presença significativa de outros metais, como fósforo, arsênio e bário. Um dos corais analisados, *Siderastrea siderea*, apresentou redução na taxa de crescimento a partir do final de 2015, o que pode estar relacionado com a carga de sedimentos recebida.

Com a expansão das atividades geradoras, e diante de um cenário de precarização da regulação ambiental, a expectativa é que haja um aumento de impactos dessa natureza. As mudanças climáticas também tendem a exacerbar os efeitos desses impactos, seja pelo aumento da frequência de eventos extremos (ex.: na ressuspensão de material contaminante acumulado em sedimentos nos ambientes estuarinos e manguezais, na redução da diluição de contaminantes, em função de menor descarga líquida continental em determinados períodos do ano), seja por efeitos relacionados à elevação da

temperatura – e a outros parâmetros – da água, com influência nos diversos processos biogeoquímicos no meio marinho, dentre outros.

Assim, a fronteira marítima se expande para atividades novas, com pouco conhecimento sobre suas consequências socioambientais, e a tendência é que cresça a pressão sobre os ecossistemas marinhos e costeiros. Além dos potenciais impactos nas áreas marinhas, é preciso sempre considerar que todos os usos e as atividades que ocorrem no ambiente marinho necessitam de infraestrutura terrestre, podendo causar pressões nos ambientes costeiros. Essas pressões têm o potencial de se agravar devido às consequências das mudanças do clima que têm efeitos diretos sobre as zonas costeiras e marinhas, afetando os ecossistemas e as comunidades costeiras.

4.2.1.6. Poluição nos ecossistemas marinhos-costeiros

As projeções de crescimento populacional, a demanda progressiva por recursos alimentares e minerais e as intensas atividades humanas na zona costeira representam um sério risco aos ecossistemas marinhos. A ampla gama de atividades que promovem a expansão do uso/ocupação da zona costeira pode afetar os ecossistemas marinhos por meio da poluição. Cerca de 80% da poluição do Oceano advém de fontes continentais, como efluentes domésticos e industriais, mineração, atividades portuárias, agricultura etc. A estas, se somam as fontes oceânicas (ex. navegação, pesca, aquicultura, exploração de óleo e gás) e as fontes atmosféricas, importantes sobretudo para o Oceano aberto e as áreas remotas (Hatje *et al.*, 2021a).

A magnitude dos impactos tem sido maior nas zonas costeiras do que nas áreas *offshore*, sendo a poluição uma das pressões mais proeminentes (Halpern *et al.*, 2012). Embora tenha havido esforços bem-sucedidos para reduzir alguns poluentes (ex. Miller *et al.*, 2013), na maioria dos ecossistemas costeiros – englobando habitats-chave como manguezais e recifes de coral – o aumento da poluição continua a causar degradação, com impactos negativos na segurança alimentar, na pesca e na biodiversidade marinha (Hatje *et al.*, 2021a; WOA II, 2021). Além disso, as indústrias de alta tecnologia estão promovendo a introdução no ambiente de uma série de novos contaminantes, como elementos de terras raras, elementos do grupo da platina e nanopartículas, com toxicidade e destino desconhecidos no meio ambiente.

Em geral, ao longo da costa brasileira e entre os diferentes ecossistemas costeiros, o grau de poluição está associado à proximidade de grandes centros urbanos e/ ou de complexos industriais. A diversidade de poluentes que chega à zona costeira e ao Oceano é enorme e inclui contaminantes orgânicos (HPAs, POPs etc.) (ver Capítulos 2 [2.3.9] e 3 [3.3.5]) e inorgânicos (metais e nutrientes), fármacos, produtos de cuidados pessoais, novos praguicidas, plásticos, patógenos, genes de resistência microbiana, som, luz, espécies invasoras, entre outros. A importância de cada tipo de poluente é bastante variável em termos geográficos e de magnitude. Ainda existem muitas lacunas na literatura quanto à toxicidade e ao destino de vários deles no ambiente. A potencial sinergia entre esses poluentes faz com que seus efeitos adversos no ambiente sejam maiores do que a soma de seus efeitos individuais.

A onipresença de metais, plásticos e poluentes orgânicos persistentes nos ecossistemas marinhos significa que é improvável que a meta 14.1 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável seja alcançada até 2025. No que se refere ao tipo de contaminante e aos impactos nas funções e nos serviços do ecossistema, a poluição do Oceano está mudando não apenas em função de fatores como magnitude, transporte, vias de exposição e proximidade de fontes; ela também decorre dos diferentes efeitos da mudança climática no mundo todo.

As pressões das mudanças climáticas são complexas e dinâmicas, com interligações que levam a interações cumulativas. A acidificação do Oceano, resultante do aumento de CO_2 , tem um efeito adverso em organismos calcificadores, como corais e fitoplâncton, além da diminuição potencial na exportação de carbono (Martin *et al.*, 2020). Como consequência da acidificação do Oceano, espera-se que a fixação de nitrogênio aumente em ~30% ao passo que os processos de nitrificação possam ser reduzidos em um fator de ~30% (Wannicke *et al.*, 2018). Há projeções de comprometimento da oxigenação e uma subsequente expansão das zonas mínimas de oxigênio sob as condições de aquecimento e mudanças na estratificação do Oceano (Stramma *et al.*, 2008; Keeling *et al.*, 2010). O volume crescente de águas anóxicas previsto até 2100 possivelmente resultará em mudanças substanciais não somente na química da água, mas também no *feedback* Oceano-clima, por meio da produção de N_2O (Schmidtke *et al.*, 2017) e de mudanças na eficiência da bomba biológica.

A constatação de que impactos da poluição mundial e das mudanças climáticas nos ecossistemas marinhos têm atingido localidades bem distantes de suas fontes geradoras – o chamado “Paradoxo do Ártico” – amplifica a importância da compreensão das tendências do ciclo do mercúrio (Hg) em mudanças globais com efeitos locais. As concentrações de Hg podem subir até seis vezes nas áreas costeiras, seguindo cenários que projetam um escoamento terrestre até 30% acima do nível atual (Jonsson *et al.*, 2017). Os estudos de Lacerda *et al.* (2020) apontam incremento de duas ordens de grandeza na biodisponibilização de mercúrio dissolvido em estuários e regiões costeiras em períodos de estiagem prolongada, especialmente em rios do semiárido brasileiro. Galvão *et al.* (2021) encontraram mercúrio em tecidos musculares de peixes demersais em região de ressurgência no Atlântico Sudeste, sugerindo um potencial de aumento da biomagnificação do mercúrio em cenários de mudanças climáticas nessas áreas.

Vários serviços ecossistêmicos podem ser afetados de forma negativa pela poluição, gerando danos potenciais à segurança alimentar (ex.: contaminação de frutos do mar), redução da biodiversidade e diminuição na capacidade de regulação do clima (ex.: aumento da concentração de CO_2 dissolvido no Oceano) e de proteção da linha de costa.

É esperado que a elevação da temperatura da água do mar e a desoxigenação do Oceano promovam mudanças na especiação química dos contaminantes e em sua reatividade. E isso pode alterar significativamente a biodisponibilidade de elementos nutrientes e poluentes para a biota (Millero *et al.*, 2015; Sheperd *et al.*, 2017). Eventos

extremos e aumento do nível do mar deverão também provocar erosão da linha de costa e destruição da cobertura vegetal de ecossistemas costeiros, causando a remobilização de solos e sedimentos que hoje atuam como importantes reservatórios de carbono e contaminantes.

Ecossistemas intermareais, como manguezais e pântanos salgados, serão expostos a eventos extremos como tempestades e ondas de calor, o que provavelmente elevará o estresse térmico nesses sistemas. Esses processos podem também modificar o ciclo da água e acarretar a remobilização de contaminantes do solo.

4.2.2. Uma síntese de projeções e referências

Embora ainda faltem informações em diversas frentes – desde a carência de dados até a ausência de estudos locais/regionais que possam subsidiar modelos mais abrangentes e políticas públicas –, várias pesquisas vêm sendo desenvolvidas no Brasil para simular as consequências das atividades humanas e das mudanças climáticas nos ambientes marinho e costeiro para as próximas décadas. Sem a pretensão de exaurir o levantamento, o Apêndice [A4.1](#) apresenta uma síntese dessas pesquisas e previsões, com suas respectivas referências.

O Apêndice [A4.1](#) indica alguns resultados agregados dos estudos conduzidos no país acerca das mudanças climáticas e de outros vetores de transformação e seus impactos sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos. A maior parte dos trabalhos se refere a análises em pequena escala (nível de espécie), assumindo um ou dois parâmetros, geralmente os mais destacados nos modelos climáticos: temperatura e variação de pH. Os principais resultados apontam perdas de habitats e redução de indicadores de biodiversidade, além de possíveis migrações para ambientes mais propícios (espécies com mobilidade). Alguns poucos trabalhos revelam ampliação de habitats com tendências de alteração da ocupação rumo a águas mais frias. Outros mostram potencial tropicalização de parâmetros em ambientes subtropicais, com consequências em termos de rearranjos tróficos. Existem estudos que apontam perdas atribuíveis às mudanças climáticas e que impactam a resiliência de comunidades diretamente dependentes de serviços ecossistêmicos; e também alguns que indicam caminhos e soluções adaptativas. Há unanimidade quanto à necessidade de levantamento de dados sistemáticos e estudos mais abrangentes em termos geográficos e em termos de variáveis e contextos analíticos. Além disso, é importante destacar as ressalvas mencionadas em relação à apropriação dos resultados, devido aos aspectos limitados de boa parte das pesquisas.

De modo a ilustrar a recente produção científica nessa temática, foi realizada uma pesquisa junto à base principal da Web of Science com os termos '*urbanization coast Brazil*', '*land use coast Brazil*', '*urban expansion coast Brazil*', '*climate change ocean Brazil*', separados por booleano "OR". A busca inicial resultou em 732 artigos, os quais passaram por dois filtros: i) anos de publicação 2015-2023. Esse período compreende as publicações científicas após o lançamento em 2014 do Relatório AR5 do IPCC, que

apresentou as principais projeções climáticas consolidadas até então. O documento gerou desdobramentos em pesquisas sobre os impactos e as medidas mitigadoras e adaptativas a respeito de tópicos diversos, incluindo biodiversidade e serviços ecossistêmicos; ii) expurgo de publicações com foco em aspectos históricos de clima e oceanografia (ex.: exclusão de tópicos como 'paleoceanografia', dentre outros) e sem aderência com o tema (ex.: '*dentistry and oral medicine*'). Com isso, restaram 115 artigos completos cuja distribuição temática pode ser visualizada na Figura 4.1.

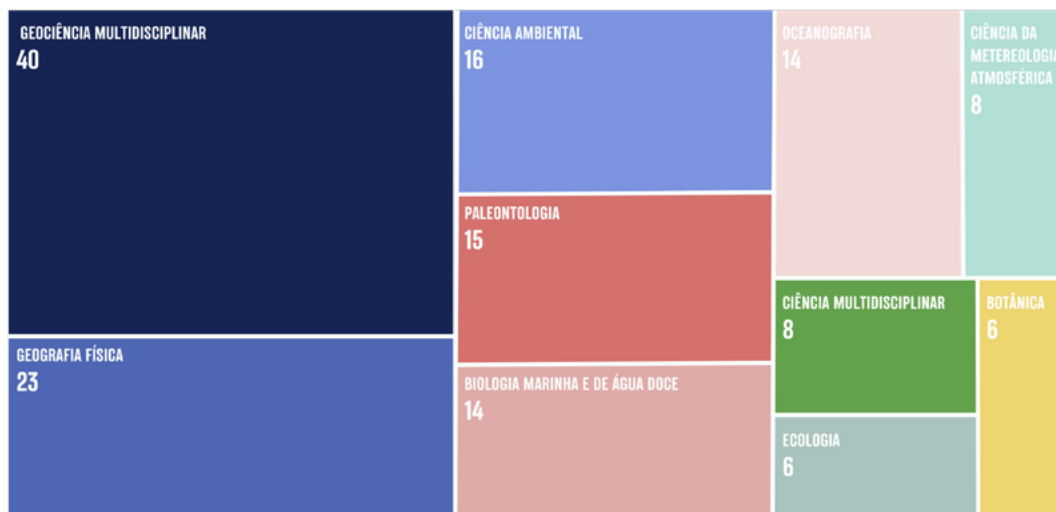


Figura 4.1. Distribuição temática das principais áreas de contribuição dos artigos selecionados.

A leitura dos resumos permitiu realizar novo filtro, desta vez para eliminação de artigos que, ainda que contivessem em suas seções algum dos termos pesquisados, não tinham foco no tema de interesse: mudanças climáticas e atividades antrópicas e seus impactos sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos na região marinha-costeira brasileira. Após essa seleção, sobraram 73 artigos que foram referenciados neste capítulo, junto a outras fontes específicas.

Nos artigos analisados, foram identificados os seguintes vetores de transformação:

- Mudanças climáticas: aspectos gerais;
- Mudanças climáticas: temperatura;
- Mudanças climáticas: acidificação;
- Mudanças climáticas: aumento do nível do mar (ANM);
- Mudanças climáticas: mitigação;
- Mudanças climáticas: adaptação;

- Mudanças climáticas: precipitação;
- Mudanças climáticas: *runoff* continental;
- Uso e ocupação do solo;
- Infraestrutura e mineração;
- Pesca e turismo.

A seguir, os serviços ecossistêmicos que tiveram aspectos retratados nesses trabalhos:

- Biodiversidade;
- Proteção costeira;
- Qualidade do habitat;
- Carbono;
- Qualidade ambiental;
- Provisão (Pesca);
- Fluxo de sedimentos;
- Sociobiodiversidade;
- Fotossíntese;
- Prevenção de enchentes;
- Biomassa.

A Figura 4.2 identifica a distribuição dos serviços ecossistêmicos a partir de cada vetor de transformação abordado nos artigos.

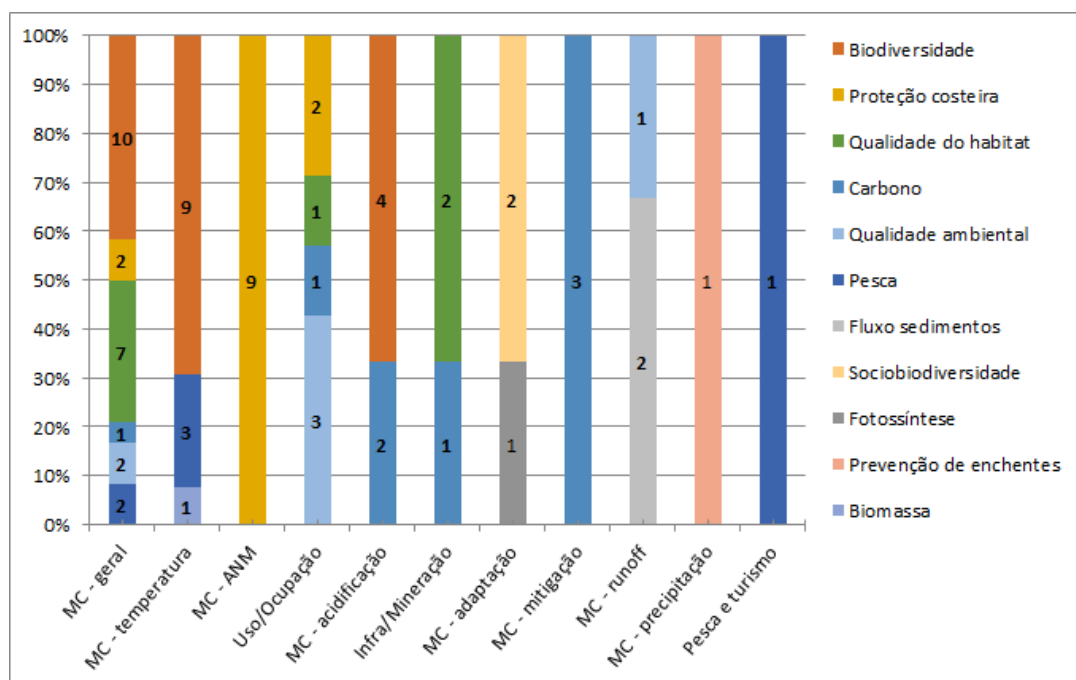


Figura 4.2. Distribuição dos artigos sobre serviços ecossistêmicos associados aos vetores de transformação.

Apesar de haver uma razoável diversidade de serviços ecossistêmicos abordados, nota-se uma concentração de estudos sobre os quatro serviços mais citados: 74% dos artigos tratam dos serviços de biodiversidade, proteção costeira, qualidade do habitat e fluxos de carbono.

Em geral, os artigos que versam sobre aspectos da biodiversidade (23) foram oriundos de ensaios (43%) ou modelos computacionais (39%) e se concentram em uma única espécie (52%). Apenas dois dos artigos trazem experimentos ou observações a partir de interações interespecíficas e somente três lidaram com dados observados ou coletados *in situ*.

A proteção costeira é analisada em 13 dos artigos selecionados, exercida especialmente por manguezais e ambientes recifais ou ameaçada em função da degradação desses ambientes naturais. Já os fluxos de carbono – incluindo absorção, armazenamento e/ou liberação – têm nas áreas úmidas costeiras, sobretudo manguezais, o principal foco. Dos artigos que abordam os fluxos de carbono, $\frac{1}{3}$ tem o carbono azul como objeto de análise.

Os principais vetores de transformação citados são mudanças climáticas (aspectos gerais, temperatura e aumento do nível do mar) e uso/ocupação do solo. Nos artigos selecionados existe uma preponderância de menções a impactos negativos a partir dos vetores de transformação (75%). Impactos positivos são mencionados por 14% dos artigos e 10% dos textos indicam tendências à neutralidade em relação aos impactos (Figura 4.3). Ademais, há uma concentração de estudos sobre aspectos gerais, temperatura e aumento do nível médio do mar e é menor a quantidade de trabalhos que lidam com variações na precipitação e no *runoff* continental e suas consequências.

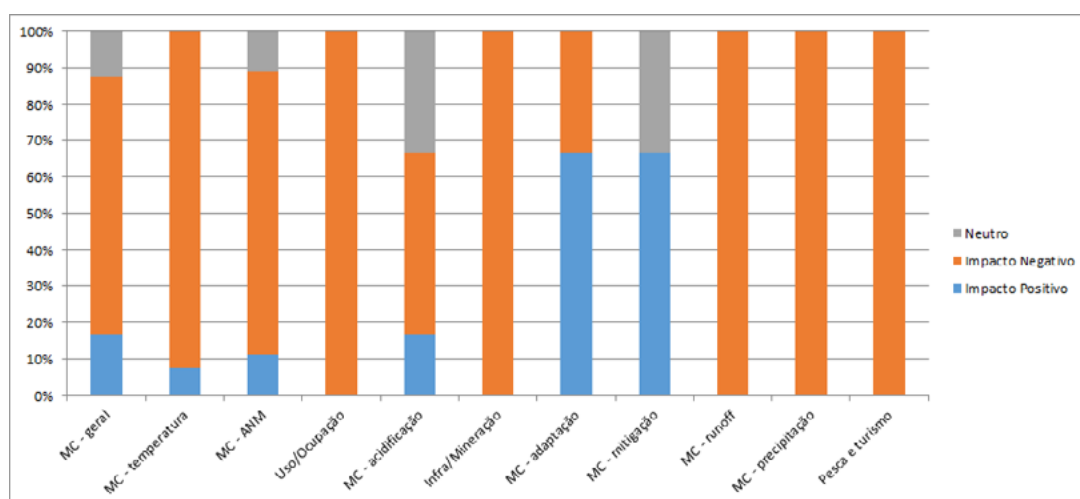


Figura 4.3. Enquadramento dos impactos a partir dos vetores de transformação.

Com relação aos serviços ecossistêmicos, são poucos os artigos que tratam de provisão (pesca); fluxo de sedimentos associados às alterações no *runoff* continental e suas consequências; sociobiodiversidade, em especial a partir da interação de comu-

nidades locais e sua dependência de serviços ecossistêmicos diversos; e aspectos da interface superfície-atmosfera. Nota-se ainda uma carência de estudos que discutem a interface infraestrutura/mineração com as áreas marinhas-costeiras, sob a ótica da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos.

4.3. Cenários possíveis: caminhos seguros para a sustentabilidade

Nesta seção, trazemos um panorama sobre a utilização de metodologias de 'Cenários' costeiros e marinhos no Brasil. Para tanto, incluímos diversas iniciativas que, em certa medida, buscam olhar para o futuro para nos ajudar a traçar medidas mitigadoras e adaptativas a partir de dados ecológicos científicos, tradicionais e/ou locais. O conjunto de informações aqui analisadas visam, de modo geral, entender a influência dos diferentes vetores de mudança e o efeito de políticas públicas alternativas sobre os futuros 'prováveis' (ou tendenciais) e 'possíveis' (caminhos alternativos) para os sistemas socioecológicos costeiros e marinhos do país.

Uma recente avaliação da IPBES (2016) sobre as distintas aplicações e abordagens dos cenários atesta que estas vêm oferecendo suporte significativo à implantação de políticas públicas em âmbito mundial. Isso engloba aqueles cenários que: (i) apoiam a 'determinação de agendas' (exploração de possíveis caminhos alternativos para a sustentabilidade); (ii) facilitam o delineamento de políticas públicas (visualização dos caminhos alternativos para resultados específicos ou investigação das implicações de políticas alternativas); e (iii) permitem a avaliação retrospectiva de caminhos tomados. Embora não raro se reconheça esse potencial de fomentar caminhos sustentáveis para o Oceano brasileiro, e tenhamos encontrado um conjunto razoável de publicações atuais sobre o tema, o desenvolvimento de cenários ainda não é uma área de pesquisa amplamente difundida para a zona costeira e marinha do país.

Esta análise se concentra nos cenários ligados às mudanças climáticas, buscando na literatura correspondente um foco nas estratégias de mitigação e adaptação reportadas. A ciência nacional tem apontado os problemas que as mudanças climáticas causam à biodiversidade e aos serviços ecossistêmicos no Oceano brasileiro. Tais impactos já afetam a estrutura e o funcionamento dos ecossistemas marinhos e aumentam a vulnerabilidade de algumas populações humanas e não humanas na zona costeira (Horta *et al.*, 2020).

Apresentamos a seguir um panorama geral das estratégias (soluções) do país para mitigação e adaptação diante dos futuros prováveis e possíveis.

4.3.1. Caminhos socioeconômicos compartilhados e respostas possíveis (onde estamos e para onde vamos?)

Diante dos riscos associados às mudanças globais e às pressões de transformação dos ambientes marinhos-costeiros brasileiros, traçar caminhos futuros em prol da biodiversidade é essencial (BPBES, 2018). Neste sentido, as 'soluções baseadas na natureza' constituem caminhos para a sustentabilidade capazes de combater o risco

de ameaças emergentes por meio de mitigação e adaptação, promovendo benefícios socioeconômicos e mirando o bem-estar humano (Pörtner *et al.*, 2021). Dentre as soluções baseadas na natureza, salientamos a importância histórica das áreas marinhas protegidas (AMPs) como instrumentos de governança que permitem ações *in situ*. Um estudo recente identificou que 25% das áreas protegidas do país são vulneráveis e requerem o manejo focado em adaptação. As áreas protegidas marinhas-costeiras foram, contudo, uma exceção: o artigo indica baixa vulnerabilidade climática para 50 áreas protegidas costeiras e marinhas federais, devido à sua alta resiliência e ao reduzido 'perigo' climático regional futuro em relação aos níveis globais, o que lhes confere posição de destaque como refúgio para a biodiversidade (Lapola *et al.*, 2019). Vale ressaltar que o estudo preliminar considerou parâmetros de vulnerabilidade e risco mais aderentes a áreas protegidas no continente e, portanto, o resultado para as AMPs deve ser analisado com cuidado. A variação espacial do aumento da temperatura da água do mar deverá afetar aspectos essenciais para a efetividade das AMPs, comprometendo, por exemplo, sua conectividade (Lima *et al.*, 2021). Por essa razão, urgem esforços concomitantes que consigam promover a mitigação climática.

Cenários que visam atenuar as mudanças climáticas em consonância com as metas do Acordo de Paris apontam clara redução do risco sobre o capital natural no contexto marinho-costeiro brasileiro (Anderson *et al.*, 2021; Inague *et al.*, 2021; Durante *et al.*, 2018). Por exemplo, previsões sugerem que a mitigação seja capaz de reduzir os riscos à distribuição espacial de espécies (Oliveira *et al.*, 2019; Guerra *et al.*, 2021; Durante *et al.*, 2018), bem como as alterações nas densidades de suas comunidades de meiofauna bêntica (Sarmiento *et al.*, 2017). De forma similar, o cumprimento do Acordo de Paris pode diminuir consideravelmente os riscos para diversos habitats marinhos importantes para a biodiversidade nacional – recifes de corais (Capitani *et al.*, 2021; Oliveira *et al.*, 2019), kelps (Anderson *et al.*, 2021) e florestas submersas de *Sargassum* sp. (Horta *et al.*, 2020). Na zona costeira, a variação climática ameaça a diversidade taxonômica e funcional de plantas lenhosas das restingas brasileiras, onde a ausência de estratégias mitigadoras triplica os riscos (Inague *et al.*, 2021).

A manutenção dos habitats marinhos-costeiros é crucial para a provisão de vários outros serviços ecossistêmicos, com ênfase na proteção costeira. Inúmeros estudos mostram que a presença de ambientes naturais pode reduzir a vulnerabilidade e os riscos decorrentes da elevação do nível do mar (Santos, 2017; Alfredini & Arasaki, 2018; Siegle & Costa, 2017). A presença de recifes de corais ao longo da costa é capaz de amortecer em 46% os impactos da maior incidência de ondas associada ao aumento de um metro no nível do mar, ao passo que, em sua ausência, esse risco subiria para 76% (Osorio-Cano *et al.*, 2019). Um estudo recente no Sul do país revela que as áreas urbanas sofrem ~50% a mais com a erosão do que os ambientes naturais adjacentes (Forgiarini *et al.*, 2019). No entanto, a pressão de ampliação da urbanização na costa é contínua e dificilmente será arrefecida, sobretudo na região Sudeste, resultando em maior supressão da vegetação em ambientes costeiros (Pavani *et al.*, 2018; Daunt & Silva, 2019; Inouye *et al.*, 2015). Em curtas escalas temporais, esse processo levaria a

perdas econômicas na faixa de milhões de reais, considerando somente o sequestro de carbono (Pavani *et al.*, 2018).

A política de AMPs também precisará passar por ajustes para evitar prejuízos aos modos de vida e à capacidade adaptativa dos pescadores de pequena escala, como ocorre por exemplo quando há alocação de áreas de exclusão pesqueira (Faraco *et al.*, 2016). Essa é uma preocupação que cresce conforme metas ambiciosas de avanço na cobertura de AMPs vão sendo discutidas no âmbito do novo enfoque-quadro da Convenção da Diversidade Biológica (horizontes 2030–2050).

O Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima delineia 11 estratégias relevantes para os ecossistemas marinhos, sendo uma delas específica: “estratégia de zonas costeiras”. Estratégias de adaptação abrangem proteção, recuo/retirada ou acomodação das infraestruturas costeiras frente aos impactos previstos. Dentre as ações adaptativas na zona costeira, destacamos algumas que já foram definidas em iniciativas de planejamento territorial específicas. A elaboração dos instrumentos estaduais de gestão costeira, como o ‘Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro’ (ZEEC), precisa levar em conta as condicionantes derivadas das mudanças climáticas (Pernambuco é um exemplo).

Municípios costeiros têm a responsabilidade de criar estratégias adaptativas e mitigatórias. Grandes cidades como Rio de Janeiro, Florianópolis, João Pessoa, Santos e Vitória têm sido pioneiras no desenvolvimento de estudos (mapas) de vulnerabilidade, aperfeiçoando o diagnóstico de riscos e demandas de adaptação (Margulis, 2017; Zanetti *et al.*, 2016), por meio de estratégias e políticas públicas que visam aumentar a resiliência urbana (Resilient Cities Network⁴). Sensibilizar, mobilizar e estimular a coesão social dos cidadãos em prol da resiliência urbana é essencial para implementar estratégias de mitigação e adaptação. Caminhos possíveis nessa direção incluem a elaboração de planos de recuperação de desastres, a realização de simulações de resposta à crise, o diagnóstico da situação atual do saneamento ambiental, a conscientização da população, o desenvolvimento de indicadores de resiliência urbana, a utilização sustentável das contribuições da natureza para as pessoas e a oferta de serviços básicos de alta qualidade para todos os cidadãos. O incentivo a uma economia inclusiva, equitativa, ambientalmente sustentável, circular e de baixo carbono está também na alçada dos municípios. A criação de agências municipais para a promoção da economia circular é um caminho possível, bem como a valorização dos resíduos sólidos e orgânicos, o estímulo ao empreendedorismo e a avaliação dos impactos socioambientais dos investimentos feitos no município.

A capacidade adaptativa é fruto da habilidade dos agentes públicos na execução de ações integradas na zona costeira. Tal gama de ações engloba a elaboração e a implementação de planos de gestão integrados dos riscos; o monitoramento contínuo e integrado voltado à prevenção dos riscos; e as definições legais sobre as diferenças

4. <https://resilientcitiesnetwork.org/>

nas linhas de preamar máxima histórica e atual. Estas são condicionantes para o estabelecimento de áreas edificáveis, intervenções adaptativas de desassoreamento e/ou alargamento de calhas de rios na zona costeira. Iniciativas com o intuito de proteção e restauração de ecossistemas que oferecem proteção costeira, como manguezais e recifes costeiros, exaltam o potencial dessas estratégias adaptativas no contexto brasileiro.

Em nível nacional, a abordagem transdisciplinar no trabalho em redes é promissora na aplicação de metodologias de futuro e de experimentação na aprendizagem social (Dalton *et al.*, 2020). Citamos como exemplo os ‘experimentos de transição para a sustentabilidade’, que conseguem reunir uma diversidade de redes costeiras e marinhas para a construção de cenários e narrativas transformativas, bem como o monitoramento da caminhada rumo à sustentabilidade da economia do mar no país (Horizonte Oceânico Brasileiro, 2020, 2021; Gerhardinger *et al.*, 2020).

Estudos de percepção oferecem pontes importantes para combinar a diversidade de conhecimentos ecológicos sobre as mudanças ambientais e as ações mitigadoras/adaptativas necessárias. Um levantamento acerca da percepção da sociedade sobre as medidas mais eficazes para reduzir os impactos das atividades humanas no Oceano (Faroni-Perez *et al.*, 2020) identificou as seguintes medidas: mudança de comportamento da população, diminuição da poluição, ações impulsionadas por políticas, cultura oceânica, eficácia das áreas de proteção marinha, fim da sobre-exploração de recursos naturais e restauração de áreas degradadas.

A conservação da biodiversidade das áreas marinhas-costeiras é fundamental para a manutenção dos serviços ecossistêmicos que garantem bem-estar aos moradores e atrativos turísticos aos visitantes. A implantação e o fortalecimento de áreas protegidas marinhas e costeiras – mesmo compreendendo interesses conflitantes entre pescadores, mergulhadores e conservacionistas – podem representar uma estratégia valorosa para a conservação e o manejo dos recursos naturais marinhos e costeiros (Fabinyi, 2008). O robustecimento da legislação ambiental também pode aumentar a proteção de áreas costeiras e estuarinas que ainda carecem de regulação específica para salvaguardá-las (Aguiar *et al.*, 2018). O entendimento de aspectos socioecológicos, como o grau de dependência das pessoas em relação aos recursos naturais marinhos e costeiros, pode indicar maior ou menor flexibilidade e capacidade adaptativa do público frente às mudanças, favorecendo o planejamento futuro (Marshall *et al.*, 2017).

4.3.2. Relações socioeconômicas e cobenefícios entre múltiplos serviços ecossistêmicos

Todos os usos e as atividades costeiras e marinhas dependem direta ou indiretamente dos benefícios dos serviços ecossistêmicos e da saúde dos ecossistemas costeiros e marinhos. A conservação de estruturas, processos biofísicos e funções dos ecossistemas assegura o fornecimento dos serviços ecossistêmicos, que se tornam benefícios para o bem-estar humano (Constanza *et al.*, 2017; Haines-Young & Potschin, 2009; Groot *et al.*, 2002).

Esses usos e atividades não apenas interagem com o meio natural, mas podem gerar impactos e perda de serviços ecossistêmicos. Por sua vez, tais impactos interagem de modo direto com a própria atividade ou com outros setores socioeconômicos, criando sinergias e/ou incompatibilidades. Assim, determinada atividade pode ter impactos diretos nos serviços ecossistêmicos indispensáveis que acabam afetando outras atividades, ocasionando uma relação de incompatibilidade entre elas (ex.: contaminação das águas e turismo, destruição de habitats e pesca; alteração da linha de costa e assentamentos humanos etc.). Por outro lado, existem interações positivas trazidas por multiusos – atividades desenvolvidas no mesmo espaço e tempo, a partir de sinergias – como, por exemplo, turismo e pesca, conservação e turismo, energia eólica e maricultura etc.

As alterações e os impactos nos ecossistemas costeiros e marinhos se traduzem diretamente em perda de benefícios à sociedade, o que inclui prejuízos econômicos (Silva & Scherer, 2021; Sinisgalli & Sousa Júnior, 2020). Há uma forte conexão socioeconômica entre usos e atividades marinhas-costeiras e os benefícios dos serviços ecossistêmicos. O entendimento dessas relações facilita a discussão com os diferentes atores, o planejamento e a tomada de decisões. O vínculo entre o ordenamento territorial e os diferentes cenários biofísicos é um tema importante e recorrente na literatura (Oliveira & Souza, 2013; Mota & Souza, 2021; ambos no litoral sul de Sergipe) (Inouye *et al.*, 2015; no litoral norte paulista).

De acordo com Ferreira e Lacerda (2016), nas últimas décadas no Brasil, a supressão de manguezais para atividades como aquicultura e expansão urbana atingiu mais de 50.000 ha, o que representa cerca de 4% da área total de manguezais no país. De maneira complementar, estudos já apontam as cifras dessa perda para a sociedade. Uma pesquisa em escala global sobre o valor de ecossistemas de manguezais (Atkinson *et al.*, 2016) indicou o montante de US\$ 32 bilhões em serviços ecossistêmicos. O trabalho destacou também a importância das áreas de manguezais para questões estéticas, recreativas e espirituais. Kauffman *et al.* (2018b) analisaram os estoques de carbono acima do solo em manguezais (*blue carbon*) amazônicos, tendo encontrado valores até duas vezes maiores que os de áreas de floresta. Neste sentido, Hatje *et al.* (2021b) chamam a atenção para a necessidade urgente de medidas efetivas para a valorização dos manguezais nas políticas climáticas. Seus estudos mostram que o carbono orgânico armazenado nos solos de manguezais brasileiros representa entre 3% e 8% do estoque mundial de carbono orgânico em manguezais.

Os resultados obtidos por Zamboni (2020) revelam que um terço da linha de costa da região Nordeste do país sofre processos erosivos, com previsão de perda de aproximadamente 630.000 m² de linha de costa até 2026. Os manguezais poderiam reduzir em 20% os níveis de vulnerabilidade costeira, enquanto protegem uma quarta parte da população exposta. A perda da área total de manguezais da região implicaria em custos de mais de US\$ 6,1 bilhões, associados à perda da proteção costeira. Em um cenário de perdas de áreas de manguezal de 0,1% ao ano, as emissões fruto da conversão e das novas atividades seriam próximas a 1,6 Tg CO₂/ano, o que equivaleria a

0,01% das emissões do desmatamento na Amazônia ao longo de uma área 1.500 vezes menor. Os valores vinculados à perda de carbono variaram de US\$ 40 milhões a US\$ 75 milhões entre os cenários projetados para o litoral norte do estado de São Paulo, devido à mudança de uso do solo em projeções preditivas (Pavani *et al.*, 2018).

Os estudos acima estabelecem uma clara associação entre perdas de serviços ecossistêmicos e prejuízos econômicos, ainda que haja uma carência no Brasil de análises sistemáticas acerca do quadro econômico local e regional decorrente dessas perdas. Tais dificuldades estão relacionadas à ausência de dados para valoração de muitos serviços ecossistêmicos, o que torna as avaliações parciais e subestimadas. Faltam também métodos consolidados para determinar valores tradicionalmente não monetizáveis (serviços socioculturais, por exemplo). É preciso avançar mais nesses estudos, de forma a salientar o valor da natureza para a sociedade e, com isso, corrigir distorções do sistema atual de valores e investimentos.

Conforme Sinisgalli e Sousa Júnior (2020), o conceito de serviços ecossistêmicos vem sendo empregado em programas de pagamento por serviços ambientais, que atuam como um instrumento de conservação ambiental, ou mesmo de recuperação de paisagens naturais. Tal ferramental foi recentemente efetivado na Lei Federal 14.119/2021 (Brasil, 2021b). Sob esse aspecto, há uma proposta de integração entre as visões econômicas e conservacionistas. As soluções baseadas na natureza – ou simplesmente contribuições da natureza para as pessoas – são parte desse escopo e podem garantir aumento da resiliência e geração de cobenefícios na forma de outros serviços ecossistêmicos. Trata-se de uma abordagem capaz de propiciar subsídios para a restauração ecológica de ambientes costeiros, inclusive como resposta para mitigação e adaptação climática.

4.3.3. Lacunas de conhecimento: o que é preciso saber e quais as fontes de conhecimento a explorar?

Dentre as diversas lacunas de conhecimento relacionadas às análises sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos nas regiões marinhas-costeiras do país, estão aquelas que se referem ao suprimento de dados e informações de base. Merece atenção a carência de séries históricas de dados observados quanto à elevação do nível do mar e ao regime de ventos e ondas em toda a zona costeira brasileira. No momento, há levantamentos pontuais e cujos dados, na maioria das vezes, são adquiridos com métodos distintos, o que pode dificultar a comparação. O projeto Simcosta é uma iniciativa importante nesse contexto e deveria ser ampliado. A integração com outras bases de levantamento de dados e de monitoramento é elemento crítico para expandir o alcance da sua cobertura. De maneira complementar, mas não menos relevante, é essencial que se defina a integração dos níveis de referência terrestre (altimetria) e marítimo (batimetria), de forma a estabelecer com precisão a linha de costa e permitir projeções resolutas acerca dos impactos do aumento do nível do mar na zona costeira do país. Esse assunto já vem sendo tratado pela Comissão Nacional de Cartografia (Concar) e é objeto de projeto específico no âmbito do Programa Nacional para a Conservação da Linha de Costa (Procosta), lançado em 2018.

Desde os anos 2000, os estudos de projeções climáticas originados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe) – que culminaram com a criação do Modelo Brasileiro do Sistema Terrestre (BESM, na sigla em inglês) – geraram uma série de aplicações e projeções em diversos campos e áreas de interesse. No entanto, ainda há lacunas a explorar quando se trata dos impactos à biodiversidade e aos serviços ecossistêmicos marinhos, sobretudo os efeitos indiretos a partir de cenários climáticos.

Uma análise dos estudos de projeções dos impactos sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos na região marinha-costeira brasileira indica uma predominância de pesquisas em pequena escala (nível de espécie), assumindo um ou dois parâmetros, geralmente os mais destacados nos modelos climáticos: aumento da temperatura e acidificação. Existem lacunas importantes de estudos que abordem serviços ecossistêmicos relacionados a: provisão (pesca); fluxo de sedimentos, alterações no *runoff* continental e suas consequências; sociobiodiversidade, em especial a interação de comunidades locais e sua dependência de serviços ecossistêmicos diversos; e aspectos da interface superfície-atmosfera. Nota-se ainda uma carência de estudos que tratem da conexão entre a expansão de infraestrutura (transportes, energia, saneamento) e as áreas marinhas-costeiras, sob a ótica da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos. Há unanimidade quanto à necessidade de levantamento de dados sistemáticos e estudos mais abrangentes, tanto em termos geográficos e temporais quanto em variáveis consideradas. Além disso, cabe salientar as ressalvas referentes à apropriação dos resultados, em função dos aspectos limitados de boa parte das pesquisas.

Outra lacuna a ser endereçada é a de programas oficiais que constituam elementos de política de estado focados no monitoramento espacial contínuo de alterações em áreas de ecossistemas marinhos e costeiros. Diferentemente dos biomas e ecossistemas terrestres, que contam com programas oficiais para monitoramento contínuo de aspectos como eventos de queimadas e desmatamentos, são escassos os dados oriundos de monitoramento sistemático dos ecossistemas marinhos e costeiros. Um dos poucos programas disponíveis consiste em uma série histórica no escopo do Projeto MapBiomas, com dados das alterações de áreas de mangues e apicuns desde 1985. Ainda nessa temática, vale ressaltar a relevância de dados e informações populacionais públicas para balizar projeções e cenários associados às atividades antrópicas nos ambientes marinhos-costeiros. O atraso e a simplificação dos dados populacionais obtidos no Censo Oficial impactam sobremaneira as projeções no que tange às expectativas de dinâmica demográfica e socioeconômica.

No que concerne ao efeito da poluição sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos, a compreensão da resposta dos poluentes às pressões das mudanças climáticas e o conhecimento sobre sua prevenção ajudarão os gestores a tomar decisões. Importa saber, por exemplo, se o consumo de peixes e crustáceos é seguro ou em quais áreas a restauração e a proteção de ecossistemas costeiros vegetados devem ser priorizadas para evitar a exposição das comunidades costeiras aos poluentes. Por enquanto, a escassez de dados da poluição global e no Brasil em particular, a falta de compreensão dos efeitos das mudanças climáticas sobre os poluentes e o restrito

uso de modelagem limitam as possibilidades de projeção dos contaminantes. Para aumentar nosso conhecimento serão necessários desde estudos de laboratório até pesquisas de campo manipulativas. Há urgência em compreender como a distribuição dos contaminantes está sendo afetada por eventos extremos e outros efeitos cascata associados às mudanças climáticas e em prever os impactos dessas mudanças nos sistemas costeiros e oceânicos. Sabe-se que as enchentes e as ilhas de calor já vêm sendo documentadas ao longo do litoral nacional, mas há carência de dados e de literatura científica que subsidiem a elaboração de cenários de tais riscos para o país. Essas mudanças podem alterar fatores como transporte, destino, especiação, biodisponibilidade e toxicidade de contaminantes. Embora a distribuição destes e seu ciclo no Oceano ainda sejam mal compreendidos, existem consequências potencialmente negativas para a sociedade humana e o meio ambiente, o que leva a uma maior incapacidade dos organismos para lidar com as transformações ambientais decorrentes das mudanças climáticas.

No Brasil, são raros os projetos com múltiplos níveis de intervenção geográfica (ex., municipais, intermunicipais, estaduais, interestaduais e nacional) e com ampla participação de atores sociais na construção de políticas públicas de governança do Oceano a partir de bases ecossistêmicas (Gerhardinger *et al.*, 2018). Um exemplo é a adoção de 'Regiões Laboratório' que reúnem universidades e usuários dos recursos em torno de processos de pesquisa-ação-formação rumo ao desenvolvimento territorial sustentável (Vieira *et al.*, 2010). O cenário tendencial indica prejuízos contínuos ao aporte de serviços ecossistêmicos para a população, recomendando cenários alternativos alicerçados em instrumentos de gestão territorial e políticas de gerenciamento costeiro, de recursos hídricos e de áreas protegidas, além de mecanismos financeiros e demais medidas efetivas de conservação baseadas em áreas. Esses formatos e abordagens podem ser adaptados e replicados em outros contextos administrativos na costa nacional.

No que concerne à exploração pesqueira, há estímulos advindos de políticas governamentais, sobretudo no caso da pesca industrial oceânica, que se expandiu após os cerca de 10 subsídios criados no Decreto-Lei de 1967 (Elfes *et al.*, 2014; Rodrigues *et al.*, 2018). Estes incluem apoio para instalações portuárias, aumento de capacidade, acesso a crédito, previdência social e subsídio de combustível e marketing. Devido à ausência de estatística pesqueira e de informação científica de captura e estoques ocorrida desde 2009, aproximadamente 25% dos subsídios são propensos a contribuir com a sobrepesca (Abdallah & Sumaila, 2007; Política por Inteiro, 2021), em particular na modalidade industrial oceânica (Sumaila *et al.*, 2021). A edição 2020 do Estado Mundial da Pesca e da Aquicultura (Sofia, na sigla em inglês), divulgada pela Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação (FAO), reforça que o Brasil "não sabe o que pesca" (FAO, 2020). Há, portanto, uma demanda imediata pela retomada da estatística pesqueira no país, de forma a embasar a tomada de decisões pertinentes ao setor. Tais dados são importantes também para auxiliar estudos preditivos e quantitativos da pesca aliada a outras atividades econômicas. Assim, será possível apontar

o efeito integrado desses vetores sobre os estoques pesqueiros e suas interfaces relacionadas à conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos.

A Zona Econômica Exclusiva (ZEE) brasileira possui o maior depósito de calcário marinho do mundo, sobre o qual incide grande interesse de mineração. Além disso, há o pleito do país pela ampliação da sua Zona Econômica Exclusiva, de modo a incorporar áreas com fins minerários. Entretanto, a falta de fiscalização e de monitoramento contínuo das atividades minerárias fragiliza a proteção e a conservação dos ambientes na região marinha-costeira (Magalhães *et al.*, 2022). Por outro lado, a ausência de informações científicas sobre espécies, populações e comunidades, sobre sua conectividade com outros ecossistemas e acerca dos serviços ecossistêmicos existentes nessas áreas é uma lacuna importante a ser resolvida antes da instalação e/ou ampliação de quaisquer atividades de exploração mineral.

Por fim, há muito a se conhecer sobre os ambientes marinhos-costeiros e é necessário reforçar as demandas por investimentos em pesquisa básica e aplicada com foco nesses ambientes. É preciso incrementar o conhecimento sobre a biodiversidade, a partir de levantamentos específicos e sistemáticos, tanto no que diz respeito à matriz genética quanto aos aspectos funcionais e aos serviços ecossistêmicos. Sem esse fundamento, qualquer expansão de atividades socioeconômicas na região marinha-costeira se torna temerária e foco potencial de danos e riscos, com impactos até mesmo na atual resiliência frente aos desafios das mudanças climáticas.

4.4. Considerações finais

A biodiversidade e os serviços ecossistêmicos providos pelas áreas marinhas-costeiras estão sujeitos à evolução dos fatores de influência ao longo do tempo. Por um lado, situações de degradação já vivenciadas podem ser potencializadas por efeitos sinérgicos às mudanças climáticas e seus desdobramentos e, por outro, pode haver uma mudança no padrão exploratório, de forma a que se logre uma manutenção ou a melhoria do estado atual. As mudanças climáticas são um vetor crítico de impacto sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos nas áreas marinhas e costeiras brasileiras. Seus principais fatores físicos são as pressões oriundas do Oceano – como elevação do nível médio relativo do mar e ressacas (*storm surges*) – e da região continental, em especial as frentes de precipitação e a consequente inundação e os escorregamentos de encostas associados a movimentos de massa. O aumento da temperatura do ar e da água, as variações de extremos climáticos e as alterações físicas e biogeoquímicas são também elementos com relevante impacto.

Os principais estudos relacionados aos impactos desses vetores de transformação nos ecossistemas marinhos-costeiros do país apontam perdas de habitats e redução de indicadores de biodiversidade, migrações para ambientes mais propícios (espécies com mobilidade), ampliação de habitats com tendências de alteração da ocupação rumo a águas mais frias e ainda possível tropicalização de parâmetros em ambientes subtropicais, com consequências em termos de rearranjos tróficos. Há ainda trabalhos que

vinculam impactos socioambientais às mudanças climáticas, com consequência para a resiliência de comunidades diretamente dependentes de serviços ecossistêmicos. E outros que indicam caminhos e soluções adaptativas.

Está clara a forte relação socioeconômica entre os usos e as atividades marinhas e costeiras associada aos benefícios dos serviços ecossistêmicos e a interação entre eles. O entendimento dessas relações é fundamental para a conservação e facilita a discussão com os diferentes atores, o planejamento e a tomada de decisões. A relação entre o ordenamento territorial e os diferentes cenários biofísicos é um tema importante e que precisa ser bem encaminhado.

Há inúmeras lacunas para uma razoável compreensão dos impactos das mudanças climáticas e de outros vetores de transformação sobre a biodiversidade e os serviços ecossistêmicos em ambientes marinhos-costeiros no Brasil. A ausência de levantamento de dados sistemáticos e de estudos mais abrangentes, a descontinuidade da coleta de dados para a estatística pesqueira no país, a falta de programas oficiais como elementos de política de estado para monitoramento espacial contínuo das alterações em áreas de ecossistemas marinhos e costeiros e a inexistência de uma série histórica de dados sobre elevação do nível do mar em toda a zona costeira nacional se somam à escassez de dados acerca da poluição nos ambientes marinhos-costeiros. Tais carências constituem fatores prioritários a se investir para o subsídio e o desenvolvimento de políticas públicas assertivas visando a conservação, a adaptação e a resiliência desses ambientes frente aos vetores de transformação.

Por fim, a definição de escopos mínimos de integração entre políticas públicas em diversas escalas (geográfica, administrativa, de paisagem, biomas etc.) é essencial para a articulação de respostas às mudanças globais em curso, que colocam em risco os serviços ecossistêmicos e a biodiversidade dos ambientes marinhos-costeiros brasileiros.

REFERÊNCIAS

- Abdallah, P. R. & Sumaila, U. R. (2007). A historical account of Brazilian policy on fisheries subsidies. *Marine Policy*, 31, 444-450. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2007.01.002>
- Aguiar, L. S., Amaro, V. E., & Araújo, P. V. N. (2018). Meio Século de Código Florestal e Implacções nas Áreas de Preservação Permanente de um Estuário Hipersalino no Semiárido Brasileiro. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 41 - 2, 191-210.
- Alfredini, P. & Arasaki, E. (2018). Estimation and Impacts of Sea Level Rise in Santos Port and Adjacent Areas (Brazil). *Transnav-international journal on marine navigation and safety of sea transport*, 12, 739-744. <https://doi.org/10.12716/1001.12.04.13>
- Alves, A. B. (2014). Estrada Bragança-Ajuruteua e a percepção dos trabalhadores do manguezal Paraense (1975-1991). *A Palavrada*, 5:26-38.
- Anderson, A. B., Assis, J., Batista, M. B., Serrão, E. A., Guabiroba, H. C., Delfino, S. D. T., Pinheiro, H. T., Pimentel, C. R., Gomes, L. E. O., Vilar, C. C., Bernardino, A. F., Horta, P., Ghisolfi, R. D., & Joyeux, J. C. (2021). Global warming assessment suggests the endemic Brazilian kelp beds to be an endangered ecosystem. *Marine environmental research*, 168, 105307, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.105307>
- Araújo, F. G., Teixeira, T. P., Guedes, A. P. P., de Azevedo, M. C. C., & Pessanha, A. L. M. (2018). Shifts in the abundance and distribution of shallow water fish fauna on the southeastern Brazilian coast: a response to climate change. *Hydrobiologia* 814, 205-218. <https://doi.org/10.1007/s10750-018-3537-8>
- Atkinson, S. C.; Jupiter, S. D.; Adams, V. M.; Ingram, J. C.; Narayan, S.; Klein, C. J., & Posingham, H. P. (2016). Prioritising mangrove ecosystem services results in spatially variable management priorities. *PLoS ONE*, v. 11, n. 3, p. 1-21.
- Aued, A. W., Smith, F., Quimbayo, J. P., Cândido, D. V., Longo, G. O., Ferreira, C. E. L., Witman, J. D., Floeter, S. R., & Segal, B. (2018). Large-scale patterns of benthic marine communities in the Brazilian province. *PLoS ONE*, 13(6), 1-15. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0198452>
- Bailey, H., Brookes, K. L. & Thompson, P. M. (2014). Assessing environmental impacts of offshore wind farms: lessons learned and recommendations for the future. *Aquat. Biosyst.* 10, 8. <https://doi.org/10.1186/2046-9063-10-8>.
- Barange, M., Merino, G., Blanchard, J. L., Scholten, J., Harle, J., Allison, E. H., Allen, J. I., Holt, J., & Jennings S. (2014). Impacts of climate change on marine ecosystem production in societies dependent on fisheries. *Nature Climate Change*, 4, 211-216. <https://doi.org/10.1038/nclimate2119>
- Barbosa, A. C. C., Vinagre, C., Mizrahi, D., Duarte, R. C., & Flores, A. A. V. (2019). Invasive sun corals and warming pose independent threats to the brain coral *Mussismilia hispida* in the Southwestern Atlantic. *Marine ecology progress series*, 629, 43-54. <https://doi.org/10.3354/meps13110>
- Barletta, M., Jaureguizar, A. J., Baigun, C., Fontoura, N. F., Agostinho, A. A., Almeida-Val, V., Val, A., Torres, R. A., Jimenes, L. F., Giarrizzo, T., Fabré, N. N., Batista, V., Lasso, C., Taphorn, D. C., Costa, M. F., Chaves, P. T., Vieira, J. P., & Corrêa, M. F. M. (2010). Fish and aquatic habitat conservation in South America: a continental overview with emphasis on Neotropical systems. *Journal of Fish Biology*, 76, 2118-2176.
- Barreto, M. O. S. M. S. (2022). *Modelagem da distribuição potencial do coral invasor Tubastraea spp. (coral-sol) na costa brasileira considerando preditores ambientais e antrópicos: subsídios para o plano de controle nas Unidades de Conservação*. Trabalho de Graduação em Oceanografia. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis: UFSC.
- Belarmino, E., de Nobrega, M. F., Grimm, A. M., Copertino, M. D., Vieira, J. P., & Garcia, A. M. (2021). Long-term trends in the abundance of an estuarine fish and relationships with El

- Nino climatic impacts and seagrass meadows reduction. *Est Coastal Shelf Science*. v. 261. doi: 10.1016/j.ecss.2021.107565.
- Bender, M. G., Floeter, S. R., Mayer, F. P., Vila-Nova, D. A., Longo, G. O., Hanazaki, N., Carvalho-Filho, A., & Ferreira, C. E. L. (2013). Biological attributes and major threats as predictors of the vulnerability of species: a case study with Brazilian reef fishes. *Oryx*, 47(2), 259–265. <https://doi.org/10.1017/S003060531100144X>
- Bender, M. G., Machado, G. R., Silva, P. J. A., Floeter, S. R., Monteiro-Netto, C., Luiz, O. J., & Ferreira, C. E. L. (2014). Local ecological knowledge and scientific data reveal overexploitation by multigear artisanal fisheries in the southwestern Atlantic. *PLoS ONE*, 9, e110332. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110332>
- Bernardino, A. G., Nóbrega, G. N., & Ferreira, T. O. (2021). Consequences of terminating mangrove's protection in Brazil. *Marine Policy*, v. 125, 104389. doi: 10.1016/j.marpol.2020.104389.
- Bezerra D. S., Amaral, S., Kampel, M., & De Andrade, P. R. (2014) Simulating Sea-Level Rise Impacts on Mangrove Ecosystem adjacent to Anthropic Areas: the case of Maranhão Island, Brazilian Northeast. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, 9(3), 188-198.
- Blaber, S. J. M., & Barletta, M. (2016). A review of estuarine fish research in South America: what has been achieved and what is the future for sustainability and conservation? *Journal of Fish Biology*, 89, 537–568.
- Bleuel, J., Pennino, M. G., & Longo, G. O. (2021). Coral distribution and bleaching vulnerability areas in Southwestern Atlantic under ocean warming. *Scientific Reports*, 11(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92202-2>
- Boavida-Portugal, J., Rosa, R., Calado, R., Pinto, M., Boavida-Portugal, I., Araújo, M. B., & Guilhaumon, F. (2018). Climate change impacts on the distribution of coastal lobsters. *Marine Biology*, 165(12), 1-7. <https://doi.org/10.1007/s00227-018-3441-9>
- Borba, P. C. S., Sousa Júnior, W. C., Shadman, M., & Pfenninger, S. (2023) Enhancing drought resilience and energy security through complementing hydro by offshore wind power—The case of Brazil. *Energy Conversion and Management*, v 277, 116616, DOI: 10.1016/j.enconman.2022.116616.
- Boulomytis, V. T. G., Zuffo, A. C., & Gireli, T. Z. (2017). Watershed spatial discretization for the analysis of land use change in coastal regions. *BCG - Boletim de Ciências Geodésicas*, 23(1): 101-114. <https://doi.org/10.1590/S1982-21702017000100007>
- BPBES. Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos. (2018). *Sumário para tomadores de decisão: 1º diagnóstico brasileiro de biodiversidade e serviços ecosistêmicos*. Joly, C. A. et al. Campinas, SP: BPBES.
- Brandini, F. (2013). Marine biodiversity and sustainability of fishing resources in Brazil: a case study of the coast of Paraná state. *Regional Environmental Change*, 14, 2127–2137. <https://doi.org/10.1007/s10113-013-0458-y>
- Brasil. (2006). Ministério do Meio Ambiente, MMA. *Relatório Executivo Programa REVIZEE: avaliação do potencial sustentável de recursos vivos na Zona Econômica Exclusiva*. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasília.
- Brasil. (2011). *Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil*. IBGE, Diretoria de Geociências, Rio de Janeiro. 176p.
- Brasil. (2015). Secretaria de Assuntos Estratégicos, SAE-PR. *Brasil 2040: Resumo Executivo*. Brasília: SAE-PR.
- Brasil. (2016). Ministério do Meio Ambiente, MMA. *Atlas de sensibilidade ambiental ao óleo das Bacias Marítimas do Pará-Maranhão e Barreirinhas*. Souza Filho, P. W. M. (org). Brasília: MMA, SMCQ.
- Brasil. (2018). ICMBio. *Livro Vermelho da Fauna Brasileira Ameaçada de Extinção: Volume I*. Brasília, DF: ICMBio/ MMA, 2018. 492p.
- Brasil. (2020). Diário Oficial da União, DOU. *Decreto Federal nº 10.531 de 2020*. Disponível em:

- <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.531-de-26-de-outubro-de-2020-285019495> Acesso em: 15 de março de 2022.
- Brasil. (2021a). Ministério do Turismo. *Relatório Retomada do Turismo: resultados do esforço coletivo de uma aliança nacional reunindo poder público, iniciativa privada, terceiro setor e sistema S*. Ministério do Turismo, Brasília.
- Brasil. (2021b). Diário Oficial da União, DOU. *Lei Federal nº 14.119 de 2021*. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.119-de-13-de-janeiro-de-2021-298899394>. Acesso em: 18 de agosto de 2021.
- Brasil (2022a). Diário Oficial da União, DOU. *Lei Federal nº 14.301 de 2022*. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.301-de-7-de-janeiro-de-2022-372761122>. Acesso em: 15 de março de 2022.
- Brasil (2022b). Diário Oficial da União, DOU. *Decreto Federal nº 10.946 de 2022*. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.946-de-25-de-janeiro-de-2022-376016988>. Acesso em: 15 de março de 2022.
- Bruzaca, D. N. A., Justino, A. K. S., Mota, G. C. P., Costa, G. A., Lucena-Fredóu, F., & Gálvez, A. O. (2022). Occurrence of microplastics in bivalve molluscs *Anomalocardia flexuosa* captured in Pernambuco, Northeast Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 179. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2022.113659>
- Capitani, L., de Araujo, J. N., Vieira, E. A., Angelini, R., & Longo, G. O. (2021). Ocean warming will reduce standing biomass in a tropical Western Atlantic reef ecosystem. *Ecosystems*. <https://doi.org/10.1007/s10021-021-00691-z>
- Carreira, R. S., Albergaria-Barbosa, A. C. R., Arguelho, M. D. P. M., & Garcia, C. A. B. (2021). A lipid biomarker investigation of the sources and distribution of organic matter in river-influenced shelf sediments of NE Brazil. *Organic Geochemistry*, v. 151. doi: 10.1016/j.orggeochem.2020.104162.
- Carvalho, A. R., Williams, S., January, M., & So- wman, M. (2009). Reliability of community-ba- sed data monitoring in the Olifants River estuary (South Africa). *Fish Res.*, 96: 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2008.08.017>
- Cheung, W. W., Frölicher, T. L., Lam, V. W., Oyini- lola, M. A., Reygondeau, G., Sumaila, U. R., Tai, T. C., Teh, L. C. & Wabnitz, C. C. (2021). Marine high temperature extremes amplify the im- pacts of climate change on fish and fisheries. *Science Advances*, 7(40), eabh0895. <http://doi.org/10.1126/sciadv.abh0895>
- Cohen, M. C. L., Rodrigues, E., Rocha, D. O. S., Freitas, J., Fontes, N. A., Pessenda, L. C. R., Souza, A. V. de, Gomes, V. L. P., França, M. C., Bonotto, D. M., & Bendassolli, J. A. (2020). Southward migration of the austral limit of mangro- ves in South America. *CATENA*, v 195,104775. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104775>.
- Cooley, S., Schoeman, D., Bopp, L., Boyd, P., Donner, S., Ghebrehwet, D. Y., Ito, S. I., Kiess- ling, W., Martinetto, P., Ojea, E., Racault, M. F., Rost, B., & Skern-Mauritzen, M. (2022). Ocean and Coastal Ecosystems and their Services. Em: Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Tignor, M., Poloc- zanska, E. S., Mintenbeck, K., Alegria, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., Okem, A., & Rama, B. (Eds.). *Climate Change 2022: Im- pacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Re- port of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambrid- ge, UK and New York, NY, USA, pp. 379-550. doi:10.1017/9781009325844.005.
- Costa, E. S., Sa, F., Gomes, L. E. O., Silva, C. A., Lima, A. T., Lehrback, B. D., & Neto, R. R. (2020). Can severe drought periods increase metal concentrations in mangrove sediments? A case study in eastern Brazil. *Science of the total environment*, v. 748. doi: 10.1016/j.scito- tenv.2020.142443.
- Costa, M. B. S. F., Araújo, M., Araújo, T. C. M., & Siegle, E. (2016). Influence of reef geometry on wave attenuation on a Brazilian coral reef. *Geo- morphology* 253:318-327.
- Costa, N. V., & Rodrigues, R. R. (2021). Futu- re summer marine heatwaves in the western

- South Atlantic. *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL094509.
- Costanza, R., De Groot, R., Braat, L., Kubiszewski, I., Fioramonti, L., Sutton, P., Farber, S., & Grasso, M. (2017). Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, 28, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>
- d'Almeida, K. S., Farias, M. F., Castro, N. O., Vilela, P. C., Leggieri, R. F., Fernandes, R. F., & Cardoso, R. A. (2019). Exploratory Potential of the Brazilian Equatorial Margin. *Offshore Technology Conference Brasil. Anais*. Rio de Janeiro, Brazil. doi: 10.4043/29689-MS.
- Dalton, K., Skrobe, M., Bell, H., Kantner, B., Berndtson, D., Gerhardinger, L. C., & Christie, P. (2020). Marine-Related Learning Networks: Shifting the Paradigm Toward Collaborative Ocean Governance. *Frontiers in Marine Science* 7. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.595054>.
- Damásio, L., Pennino, M. G., & Lopes, P. F. M. (2020). Small changes, big impacts: Geographic expansion in small-scale fisheries. *Fisheries Research* 226. <http://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105533>
- Dantas, E. J., A., Rosa, L. P., Silva, N. F., & Pereira, M. G. (2019). Wind Power on the Brazilian Northeast Coast, from the Whiff of Hope to Turbulent Convergence: The Case of the Galinhos Wind Farms. *Sustainability*, 11, 3802, 1–24. <http://doi.org/10.3390/su11143802>
- Daunt, A. B. P. & Silva, T. S. F. (2019). Beyond the park and city dichotomy: Land use and land cover change in the northern coast of São Paulo (Brazil). *Landscape and urban planning*, 189, 352–361. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.05.003>
- del Favero, J. M., Katsuragawa, M., Zani-Teixeira, M. D. L., & Turner, J. T. (2018). Modeling long-term fluctuations in the distribution and abundance of *Engraulis anchoita* eggs and larvae in the southeastern Brazilian bight. *Marine Ecology Progress Series*, 587, 159–173. <https://doi.org/10.3354/meps12375>
- Dell, C. L. A., Longo, G. O., & Hay, M. E. (2016). Positive feedbacks enhance macroalgal resilience on degraded coral reefs. *PLoS ONE*, 11(5), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155049>
- Dias-Neto, J. & Dias, J. F. O. (2015). *O uso da biodiversidade aquática no Brasil: uma avaliação com foco na pesca*. Brasília: IBAMA, 290p.
- Diele, K. (2000). *Life history and populations structure of the exploited mangrove crab U. cordatus (L.) (Decapoda:Brachyura) in the Caete Estuary, North Brazil*. Tese de Doutorado. Universidade de Bremen.
- Diele, K., Araújo, A. R. R., Glaser, M., & Salzmann, U. (2010). Artisanal fishery of the mangrove crab *Ucides cordatus* (Ucididae) and first steps toward a successful co-management in Bragança, North Brazil. Em: Saint-Paul, U., & Schneider, H. (Eds.) *Mangrove dynamics and Management in North Brazil, Ecological Studies*, Vol. 211. Springer, Berlin, Heidelberg, pp 287–297.
- Domingues, D. (2008). *Análise do conhecimento ecológico local e do sistema produtivo como subsídio para gerar instrumentos de gestão da atividade de exploração do caranguejo-uçá (Ucides cordatus Linnaeus, 1793) nos manguezais da Reserva Extrativista Marinha Caeté-Taperaçu, Bragança – PA*. Dissertação de Mestrado em Biologia Animal. Universidade Federal do Pará, Bragança.
- Duarte, L. F. A., Souza, C. A., Nobre, C. R., Pereira, C. D. S., & Pinheiro, M. A. A. (2016). Multi-level biological responses in *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) (Brachyura, Ucididae) as indicators of conservation status in mangrove areas from the western atlantic. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol. 133, p. 176–187. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2016.07.018.
- Durante, L. M., Cruz, I. C. S., & Lotufo, T. M. C. (2018). The effect of climate change on the distribution of a tropical zoanthid (*Palythoa caribaeorum*) and its ecological implications. *PEERJ*, 6, e4777. <http://doi.org/10.7717/peerj.4777>
- Elfes, C. T., Longo, C., Halpern, B. S., Hardy, D., Scarborough, C., Best, B. D., Pinheiro, T., & Du-

- tra, G. F. A. (2014). Regional-Scale Ocean Health Index for Brazil. *PLoS ONE*, 9 (4): 1-11. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092589>
- Embratur. (2021). Empresa Brasileira de Turismo. *Anuário Estatístico de Turismo 2020 - Ano Base 2019*, 2ª Edição. Disponível em: www.dadosefatos.turismo.gov.br. Acesso em: 20 de setembro de 2021.
- EPL. (2021). Empresa de Planejamento e Logística S. A. Plano Nacional de Logística 2035, Relatório Executivo. Brasília: EPL. Disponível em: <https://www.epl.gov.br/plano-nacional-de-logistica-pnl>. Acesso em: 22 de novembro de 2021.
- Estefen, S. F., Garcia-Rosa, P. B., Cunha, J. P. V. S., Lizarralde, F., Machado, I. R., & Watanabe, E. H. (2014). Waretowire model end energy storage analysis or an oceanwave energy hyperbaric converter. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, v. 39, p. 386-397.
- Evangelista, H., Valeriano, C. M., Paravidini, G., Gonçalves Junior, S. J., Sodré, E. D., Neto, C. C. A., Santos, E. A., Neto, N. de M., Peixoto, C., Licínio, M. V. V. J., Ribeiro, J. N., Flores, A. V., Pereira, M. G., Barbosa, C. F., de Barcellos, J. R. C., de Oliveira, B. V. X., Guebert, F., Negrão, F., dos Anjos, M. J., Santos, R. S., Seoane, J. C., Cordeiro, R. C., & Heilbron, M. (2022). Using NdSr isotopes in suspended sediments in the Abrolhos coral-reef (SW Atlantic, Brazil) to assess potential contamination from the 2015 Fundão dam collapse. *Science of the Total Environment*, Vol. 807 (2). Doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.151231.
- Fabinyi, M. (2008). Dive tourism, fishing and marine protected areas in the Calamianes Islands, Philippines. *Marine Policy*, 32, 898-904. <http://doi.org/10.1016/j.marpol.2008.01.004>
- FAO. (2020). Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. *Sustainability in action*. Rome. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- Faraco L. F. D., Andriguetto Filho, J. M., Daw, T., Lana, P. C., & Teixeira, C. F. (2016). Vulnerability Among Fishers in Southern Brazil and its Relation to Marine Protected Areas in a Scenario of Declining Fisheries. *Desenvolvimento e Meio Ambiente* 38, 51-76. <http://doi.org/10.5380/dma.v38i0.45850>
- Faroni-Perez, L., Freitas, M., Wrublewski Aued, A., Kostrzewycz, G.; Domit, C. (2020). Saúde do Oceano e serviços ecossistêmicos: Integração entre Ciência, Sociedade, Política e Governança. Em: *I Volume horizonte oceânico brasileiro: Ampliando o horizonte da governança inclusiva para o desenvolvimento sustentável do oceano brasileiro*, p.165-198.
- Fernandes, M. E. B., Oliveira, F. P., & Eyzaguirre, I. A. L. (2018). Mangroves on the Brazilian Amazon coast: uses and rehabilitation. Em: Makowski, C., Finkl, C. (Eds.) *Threats to mangrove forests: hazards, vulnerability, and management*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp 621-635.
- Ferreira, A. C., Ganade, G., & Attayde, J. L. (2015). Restoration versus natural regeneration in a neotropical mangrove: effects on plant biomass and crab communities. *Ocean & Coastal Management* 110:38-45.
- Ferreira, A. C., & Lacerda, L. D. (2016). Degradation and conservation of Brazilian mangroves, status and perspectives. *Ocean and Coastal Management*, v. 125, p. 38-46.
- Ferreira, G. V. B., Justino, A. K. S., Eduardo, L. N., Lonoble, V., Fauvelle, V., Schmidt, N., Vaske Júnior, T., Fredou, T., & Lucena-Frédou, F. (2022). Plastic in the inferno: Microplastic contamination in deep-sea cephalopods (*Vampyroteuthis infernalis* and *Abralia veranyi*) from the southwestern Atlantic. *Marine Pollution Bulletin*, 174. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113309>
- Forgiarini, A. P. P., Figueiredo, S. A. de, Calliari, L. J., Goulart, E. S., Marques, W., Trombetta, T. B., Oleinik, P. H., Guimarães, R. C., Arigony-Neto, J., & Salame, C. C. (2019). Quantifying the geomorphologic and urbanization influence on coastal retreat under sea level rise. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 230, 106437. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106437>
- Fortunato, H. F. D, da Silva, A. G., Teixeira, R. P. A., Carvalho, B. C., & Fleury, B. G. (2022) Abnor-

- mal average increase in sea surface temperature may promote the first documented mortality event of a marine sponge in the Southeastern Brazil. *Biota Neotropica*. doi: 10.1590/1676-0611-BN-2021-1298.
- Franco, B. C., Defeo, O., Piola, A. R., Barreiro, M., Yang, H., Ortega, L., Gianelli, I., Castello, J. P., Vera, C., Buratti, C., Pájaro, M., Pezzi, L. P., & Möller, O. O. (2020). Climate change impacts on the atmospheric circulation, ocean, and fisheries in the southwest South Atlantic Ocean: a review. *Climatic Change* 162, 2359–2377. <http://doi.org/10.1007/s10584-020-02783-6>
- Frédou, T., Ferreira, B. P., & Letourneur, Y. (2009). Assessing the stocks of the primary snappers caught in Northeastern Brazilian reef systems. 1: traditional modelling approaches. *Fisheries Research* 99, 90–96. <http://doi.org/10.1016/j.fishres.2009.05.008>
- Freitas, D. M., Ramos, A. L. A., Sano, E. E., Resende, K. B., Fumi, M., & Oliveira, F. F. G. (2017). Mapeamento de manguezais e carcinicultura do Brasil com base em imagens dos satélites Landsat-8 OLI e RapidEye (ano-base: 2013), *Anais do 18º Congr. Bras. Sens. Remoto*, 28-31, 1–4.
- Furtado-Jr., I., Abrunhosa, F. A., Holanda, F. C. A. F., & Tavares, M. C. S. (2016). Selectivity curves of the capture of mangroves crab (*Ucides cordatus*) on the northern coast of Brazil using bayesian inference. *Braz. J. Biol.* 76 (2) 412–419. <http://dx.doi.org/10.1590/1519-6984.17714>.
- Galgani, F., Hanke, G., Werner, S., & De Vrees, L. (2013). Marine litter within the European Marine Strategy Framework Directive. *ICES Journal of Marine Science*, 70 (6): 1055–1064. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fst122>
- Galvão, P., Sus, B., Lailson-Brito, J., Azevedo, A., Malm, O., & Bisi, T. (2021). An upwelling area as a hot spot for mercury biomonitoring in a climate change scenario: A case study with large demersal fishes from Southeast Atlantic (SE-Brazil). *Chemosphere*, v. 269. doi: 10.1016/j.chemosphere.2020.128718.
- Gasalla, M. A., Abdallah, P. R., & Lemos, D. (2017). Potential impacts of climate change in Brazilian marine fisheries and aquaculture. Em: Phillips, B. F., & Pérez-Ramírez, M. (Eds.) *Climate change impacts on fisheries and aquaculture: a global analysis*, John Wiley & Sons, p 455–477.
- Gerhardinger, L. C., de Andrade, M. M., Corrêa, M. R., & Turra, A. (2020). Crafting a Sustainability Transition Experiment for the Brazilian Blue Economy. *Marine Policy* 120 (October): 104157. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2020.104157>.
- Gerhardinger, L. C., Gorris, P., Gonçalves, L. R., Herbst, D. F., Vila-Nova, D. A., De Carvalho, F. G., Glaser, M., Zondervan, R. & Glavovic, B. C. (2018). Healing Brazil's Blue Amazon: The Role of Knowledge Networks in Nurturing Cross-Scale Transformations at the Frontlines of Ocean Sustainability. *Frontiers in Marine Science* 4 (January). <https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00395>.
- Giglio, V. J., Luiz, O. J., & Gerhardinger, L. C. (2015). Depletion of marine megafauna and shifting baselines among artisanal fishers in eastern Brazil. *Animal Conservation*, 18, 348–358. <http://doi.org/10.1111/acv.12178>
- Glaser, M., Krause, G., Oliveira, R. S., & Fontalvo-Herazo, M. (2010). Mangroves and people: a social-ecological system. Em: Saint-Paul, U., Schneider, H. (Eds.) *Mangrove dynamics and Management in North Brazil, Ecological Studies*, vol 211. Springer, Berlin, Heidelberg, pp 307– 351.
- Godoy, M. D., & Lacerda, L. D. D. (2015). Mangroves response to climate change: a review of recent findings on mangrove extension and distribution. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 87, 651–667. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201520150055>
- Groot, R. S., Wilson, M. A., & Boumans, R. M. J. (2002). A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. *Ecological Economics*, Vol. 41, Issue 3, Pages 393–408. DOI: 10.1016/S0921-8009(02)00089-7.
- Guerra, T. P., Santos, J. M. F. F., Pennino, M. G., & Lopes, P. F. M. (2021). Damage or benefit? How future scenarios of climate change may affect the distribution of small pelagic fishes in

- the coastal seas of the Americas. *Fisheries Research*, 234, 105815. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2020.105815>
- Haines-Young, R. H., & Potschin, M. B. (2009). *Methodologies for Defining and Assessing Ecosystem Services*. Final Report, JNCC, Project Code C08-0170-0062, 69 p.
- Halpern, B. S., Longo, C., Hardy, D., McLeod, K. L., Samhouri, J. F., Katona, S. K., Kleisner, K., Lester, S. E., O'Leary, J., Ranelletti, M., Rosenberg, A., Scarborough, C., Selig, E. R., Best, B. D., Brumbaugh, D. R., Chapin, F. S., Crowder, L. B., Daly, K. L., Doney, S. C., Elfes, C., Fogarty, M. J., Gaines, S. D., Jacobsen, K. I., Karrer, L. B., Leslie, H. M., Neeley, E., Pauly, D., Polasky, S., Ris, B., St Martin, K., Stone, G. S., Sumaila, U. R., & Zeller, D. (2012). An index to assess the health and benefits of the global ocean. *Nature*, 488, 615–620. <https://doi.org/10.1038/nature11397>
- Hatje, V., Andrade, R. L. B., Oliveira, C. C. de, Polejack, A., & Gxaba, T. (2021a). Pollutants in the South Atlantic Ocean: Sources, Knowledge Gaps and Perspectives for the Decade of Ocean Science. *Frontiers in Marine Science*, 8, 1–17. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.644569>
- Hatje, V., Masqué, P., Patire, V. F., Dórea, A. & Barros, F. (2021b). Blue carbon stocks, accumulation rates, and associated spatial variability in Brazilian mangroves. *Limnol Oceanogr*, 66: 321–334. <https://doi.org/10.1002/lno.11607>
- Horizonte Oceânico Brasileiro. (2020). *I VOLUME - Horizonte Oceânico Brasileiro: Ampliando o Horizonte da Governança Inclusiva para o Desenvolvimento Sustentável do Oceano Brasileiro*. (Vol. 3., p. 266). Disponível em: https://painelmar.com.br/wp-content/uploads/2020/08/I-VOLUME-HOB__compressed-1.pdf
- Horizonte Oceânico Brasileiro. (2021). *II VOLUME HORIZONTE OCEÂNICO BRASILEIRO: EDUCOMUNICANDO EM REDES*. 1. Ed. Brasília: PainelMar, 2021. v. 1. 33p. Disponível em: <https://painelmar.com.br/wp-content/uploads/2020/01/II-VOLUME-HOB-1.pdf>
- Horta, P. A., Pinho, P. F., Gouvêa, L., Grimaldi, G., Destri, G., Mueller, C. M., Rocha, L., Barufi, J. B., Rorig, L., Assis, J., & Cunha, L. C. (2020). Climate change and Brazil's coastal zone: socio-environmental vulnerabilities and action strategies. *Sustainability in Debate*, 11(3), 405–444. <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v11n3.2020.33845>
- Inagaki, K. Y., Pennino, M. G., Floeter, S. R., Hay, M. E., & Longo, G. O. (2020). Trophic interactions will expand geographically but be less intense as oceans warm. *Global Change Biology*, 26(12), 6805–6812. <https://doi.org/10.1111/gcb.15346>
- Inague, G. M., Zwiener, V. P., & Marques, M. C. M. (2021). Climate change threatens the woody plant taxonomic and functional diversities of the Restinga vegetation in Brazil. *Perspectives in Ecology and Evolution*, 19, 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.pecon.2020.12.006>
- Inouye, C. E. N., Sousa, Jr., W. C., Freitas, D. M. & Simões, E. (2015). Modelling the spatial dynamics of urban growth and land use changes in the north coast of São Paulo, Brazil. *Ocean & Coastal Management*, 108, 147–157. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.12.016>
- IPBES. (2016). Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. *The methodological assessment report on scenarios and models of biodiversity and ecosystem services*. Em: S. Ferrier, K. N. Ninan, P. Leadley, R. Alkemade, L. A. Acosta, H. R. Akçakaya, L. Brotons, W. W. L. Cheung, V. Christensen, K. A. Harhash, J. Kabubo-Mariara, C. Lundquist, M. Obersteiner, H. M. Pereira, G. Peterson, R. Pichs-Madruga, N. Ravindranath, C. Rondinini and B. A. Wintle (Eds.). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany. 348 pages.
- Isaac, M. (2006). Small-scale fisheries reform: expectations, hopes and dreams of “a better life for all”. *Mar. Policy* 30, 51–59.
- Jahanshahi, A.; Kamali, M.; Khalaj, M.; Khodaparast, Z. (2019). Delphi-based prioritization of economic criteria for development of wave and tidal energy technologies. *Energy*, v. 167, p. 819–827. doi: 10.1016/j.energy.2018.11.040.
- Jonsson, S., Andersson, A., Nilsson, M. B.,

- Skyllberg, U., Lundberg, E., Schaefer, J. K., Åkerblom, S., & Björn, E. (2017). Terrestrial discharges mediate trophic shifts and enhance methylmercury accumulation in estuarine biota. *Science Advances*, 3, 1–10. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1601239>
- Justino, A. K. S., Ferreira, G. V. B., Schmidt, N., Eduardo, L. N., Fauvelle, V. Lenoble, V., Sempéré, R., Panagiotopoulos, C., Mincarone, M. M., Frédou, T., & Lucena-Frédou, F. (2022). The role of mesopelagic fishes as microplastics vectors across the deep-sea layers from the Southwestern Tropical Atlantic. *Environmental Pollution*, 300. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.118988>
- Kauffman, J. B., Bernardino, A. F., Ferreira, T. O., Bolton, N. W., Gomes, L. E. O., & Nóbrega, G. N. (2018a). Shrimp ponds lead to massive loss of soil carbon and greenhouse gas emissions in Northeastern Brazilian mangroves. *Ecol. Evol.*, 8, pp. 1-11, 10.1002/ece3.4079.
- Kauffman, J. B., Bernardino, A. F., Ferreira, T. O., Giovannoni, L. E., Gomes, L. E., Romero, D. J., Jimenez, L. C. Z., & Ruiz, F. (2018b). Carbon stocks of mangroves and salt marshes of the Amazon region, Brazil. *Biol. Lett.*, 14, 20180208, 10.1098/rsbl.2018.0208.
- Keeling, R. F., Körtzinger, A., & Gruber, N. (2010). Ocean Deoxygenation in a Warming World. *Annual Review of Marine Science*, 2, 199–229. <https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163855>
- Lacerda, L. D., Marins, R. V., & Dias, F. J. D. (2020). An Arctic Paradox: Response of fluvial Hg inputs and bioavailability to Global Climate Change in an extreme coastal environment. *Frontiers in Earth Science*, v. 8. doi: 10.3389/feart.2020.00093.
- Lacerda, L. D., Raymond, D. W., Godoy, M. D. P., Meireles, A. J. A., Borges, R., & Ferreira, A. (2021). C. 20-Years Cumulative Impact From Shrimp Farming on Mangroves of Northeast Brazil. *Frontiers in Forest and Global Change*, 4, 653096. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.653096>
- Lapola, D. M., Silva, J. M. C., Braga, D. R., Carpigiani, L., Ogawa, F., Torres, R. R., Barbosa, L. C. F. Ometto, J. P. H. B., & Joly, C. A. (2019). A climate-change vulnerability and adaptation assessment for Brazil's protected areas. *Conservation Biology*, 34, 427-437. <http://doi.org/10.1111/cobi.13405>
- Lima, F. D., Angeles-Gonzales, L. E., Leite, T., & Lima, S. M. Q. (2020). Global climate changes over time shaping the ecological niche of *Octopus insularis* (Cephalopoda: Octopodidae) in the Atlantic Ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 1, 111-121. <http://doi.org/10.3354/meps13486>
- Lima, L. S., Gherardi, D. F. M., Pezzi, L. P., Passos, L. G., Endo, C. A. K., & Quimbayo, J. P. (2021). Potential changes in the connectivity of marine protected areas driven by extreme ocean warming. *Scientific Reports*, 11, 10339. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89192-6>
- Lippiatt, S., Opfer, S., & Arthur, C. (2013). Marine Debris Monitoring and Assessment: Recommendations for Monitoring Debris Trends in the Marine Environment. *NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-46*.
- Lopes, E. C., Araujo, E. C., Costa, R. S., Daher, R. F., & Fernandes, M. E. B. (2013). Crescimento de mudas de mangue sob diferentes níveis de sombreamento na península de Ajuruteua, Bragança, Pará. *Acta Amazonica* 43:291–296.
- Lopes, P. F. M., Penino, M. G., & Freire, F. A. M. (2018). Climate change can reduce shrimp catches in equatorial Brazil. *Regional Environmental Change*, 18, 223-234. <http://doi.org/10.1007/s10113-017-1203-8>
- Madeira, C., Mendonça, V., Leal, M. C., Diniz, M. S., Cabral, H. N., Flores, A. A. V., & Vinagre, C. (2019). Present and future invasion perspectives of an alien shrimp in South Atlantic coastal waters: an experimental assessment of functional biomarkers and thermal tolerance. *Biological Invasions*, 21, 1567-1584. <http://doi.org/10.1007/s10530-019-01921-1>
- Magalhães, K. M., Rosa, J. S. R., Teixeira, C. E. P., Coelho-Jr, C., Lima, M. C. S., Souza, A. M. C., & Soares, M. O. (2022). Oil and plastic spill: 2021

- as another challenging year for marine conservation in the South Atlantic Ocean. *Marine Policy*, v. 140. doi: 10.1016/j.marpol.2022.105076.
- Maia, L. P., Lacerda, L. D., Monteiro, L. H. U., & Souza, G. M. (2006). *Atlas dos Manguezais do Nordeste do Brasil: Avaliação das Áreas de Manguezais dos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco*. Fortaleza: Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Ceará.
- Manes, S., Gama-Maia, D., Vaz, S., Pires, A. P. F., Tardin, R. H., Maricato, G., Bezerra, D. S., & Vale, M. M. (2023). Nature as a solution for shoreline protection against coastal risks associated with ongoing sea-level rise. *Ocean Coast Manag* 235: 106487. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106487>.
- Manes, S., & Pires, A. P. F. (2022). Prevenção de enchentes no Rio de Janeiro: As Soluções Baseadas na Natureza como adaptação à eventos climáticos extremos. *Revista INEANA*, Instituto Estadual do Ambiente do Rio de Janeiro, ed. Especial, p. 28-45.
- Marcello, F., Wainer, I., & Rodrigues, R. R. (2018). South Atlantic Subtropical Gyre Late Twentieth Century Changes. *Journal of Geophysical Research*, 123, 5194–5209. <https://doi.org/10.1029/2018JC013815>
- Margulis, S. (2017). *Guia de adaptação às mudanças do clima para entes federativos*. Brasília: WWF, 72 p.
- Marinho, P. H., Mena, J. C. V., Fonseca, M., A., Pichorim, M., Venticinque, E. M., Paixão, V., & Oliveira, D. V. (2021). O vento levará a nossa biodiversidade? Parques eólicos ameaçam áreas prioritárias para a conservação da Caatinga no Rio Grande do Norte. *O Eco: análises*.
- Marins, R. V., Lacerda, L. D., Araújo, I. C. S., Fonseca, L. V., & Silva, A. T. F. (2020). Phosphorus and suspended matter retention in mangroves affected by shrimp farm effluents in NE Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 92, e20200758. <http://doi.org/10.1590/0001-3765202020200758>
- Marochi, M. Z., De Grande, F. R., Pardo, J. C. F., Montenegro, Á. & Costa, T. M., (2022). Marine heatwave impacts on newly-hatched planktonic larvae of an estuarine crab. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 278, p.108122. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.108122>
- Marshall, N., Curnock, M. I., Goldberg, J., Gooch, M., Marshall, P. A., Pert, P. L. & Tobin, R. C. (2017). The dependency of people on the Great Barrier Reef, Australia. *Coastal Management*. <http://doi.org/10.1080/08920753.1373454>.
- Martin, A., Boyd, P., Buesseler, K., Cetinic, I., Claustre, H., Giering, S., Henson, S., Irigoien, X., Kriest, I., Memery, L., Robinson, C., Saba, G., Sanders, R., Siegel, D., Villa-Alfageme, M., & Guilde, L. (2020). Study the twilight zone before it is too late. *Nature* 580, 26–28.
- Mendes, C. B., Cortez, T., Santos, C. S. G., Sobral-Souza, T., Santos, A.D., Sasaki, D.K., Silva, D. A., Dottori, M., & Andrade, S. C. S. (2022). Seascape genetics in a polychaete worm: Disentangling the roles of a biogeographic barrier and environmental factors. *Journal of Biogeography*, v. 49(12). doi: 10.1111/jbi.14504.
- MEA. (2005). Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and human well-being: current state and trends*. Washington, DC: Island Press, pp. 137.
- Miller, A., Hedman, J. E., Nyberg, E., Haglund, P., Cousins, I. T., Wiberg, K., & Bignert, A. (2013). Temporal trends in dioxins (polychlorinated dibenzo-p-dioxin and dibenzofurans) and dioxin-like polychlorinated biphenyls in Baltic herring (*Clupea harengus*). *Mar. Pollut. Bull.* 73, 220–230. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.05.015>
- Millero, F. J., Woosley, R., DiTrollo, B., & Water, J. (2015). Effect of Ocean Acidification on the Speciation of Metals in Seawater. *Oceanography*, v. 22, n. 4, p. 72-85. <https://doi.org/10.5670/oceanog.2009.98>
- Moreira A., Figueira E., Pecora I. L., Soares A. M. V. M., & Freitas, R. (2017). Biochemical alterations in native and exotic oyster species in Brazil in response to increasing temperature. *Comparative Biochemistry and Physiology C-Toxicology & Pharmacology* 191:183-193.

- Mota, L. S. O., & Souza, R. M. (2021). Cenários ambientais prospectivos para a gestão da paisagem costeira urbana em Aracaju/SE. *Sociedade e Natureza*, Vol.33, e56305. doi: 10.14393/SN-v33-2021-56305
- OHI. Global Ocean Health Index. (2020). Disponível em: https://ohi-science.org/news/global_scores_announced, 2020. Acesso em: 03 de fevereiro de 2022.
- Oliveira, A. C. C. A., & Souza, R. M. (2013). Cenários biofísicos e ordenamento territorial no litoral sul de Sergipe-Brasil. *Revista Equador*, 2 (2): 62-83.
- Oliveira, U. D. R. de, Gomes, P. B., Cordeiro, R. T. S., Lima, G. V. de, & Pérez, C. D. (2019). Modeling impacts of climate change on the potential habitat of an endangered Brazilian endemic coral: Discussion about deep sea refugia. *PLoS ONE* 14(5): e0211171.
- Oliveira, K. M. L., Heather Bedle, R., Castelo Branco, M. G., Souza, A. B. C., Nepomuceno Filho, F., Normando, M. N., Almeida, N. M., & Silva Barbosa, T. H. (2020). Seismic stratigraphic patterns and characterization of deepwater reservoirs of the Mundaú sub-basin, Brazilian Equatorial Margin. *Marine and Petroleum Geology*, v. 116. doi: 10.1016/j.marpetgeo.2020.104310.
- Oliveira, M. R. & Chellappa, S. (2014). Temporal dynamics of reproduction in *Hemiramphus brasiliensis* (Osteichthyes: Hemiramphidae). *Transfus. Apher. Sci.* <https://doi.org/10.1155/2014/837151>
- Osorio-Cano, J. D., Alcerreca-Huerta, J. C., Marino-Tapia, I., Osorio, A. F., Acevedo-Ramirez, C., Enriquez, C., Costa, M., Pereira, P., Mendoza, E., Escudero, M., Astorga-Moar, A., Lopez-Gonzalez, J., Appendini, C. M., Silva, R., & Oumeraci, H. (2019). Effects of Roughness Loss on Reef Hydrodynamics and Coastal Protection: Approaches in Latin America. *Estuaries and Coasts* 42:1742-1760.
- Oyinlola, M. A., Reygondeau, G., Wabnitz, C. C. C., & Cheung, W. W. L. (2019). Projecting global mariculture diversity under climate change. *Global Change Biol.* v 26:2134-2148. <http://doi.org/10.1111/gcb.14974>
- Paiva, S. V., Carneiro, P. B. M., Garcia, T. M., Tavares, T. C. L., Pinheiro, L. S., Ximenes Neto, A. R., Montalverne, T. C., & Soares, M. O. (2023). Marine carbonate mining in the Southwestern Atlantic: current status, potential impacts, and conservation actions. *Marine Policy*, v. 148, 105435. DOI: 10.1016/j.marpol.2022.105435.
- Pavani, B. F., Sousa Júnior, W. C., Inouye, C. E. N., Vieira, S. A., & Mello, A. Y. I. (2018). Estimating and valuing the carbon release in scenarios of land-use and climate changes in a Brazilian coastal area. *Journal of Environmental Management* 226:416-427.
- Pellegrini, B. S., & Ribeiro, H. J. P. S. (2018). Exploratory plays of Pará-Maranhão and Barreirinhas basins in deep and ultra-deep waters, Brazilian Equatorial Margin. *Braz. J. Geol.*, v. 48 (03). doi: 10.1590/2317-4889201820180146
- Pereira Filho, G. H., Amado Filho, G. M., Moura, R. L., Bastos, A. C., Guimarães, S. M. P. B., Salgado, L. T., Francini Filho, R. B., Bahia, R. G., Abrantes, D. P., Guth, A. Z., & Brasileiro, P. S. (2012). Extensive rhodolith beds cover the summits of southwestern Atlantic Ocean seamounts. *Journal of Coastal Research*, v. 28(1), p. 261-269.
- Perez, J. A. A., & Sant'Ana, R. (2022). Tropicalization of demersal megafauna in the western South Atlantic since 2013. *Commun Earth Environ* 3, 227. <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00553-z>
- Petrobras SA. (2022). *Cenários estratégicos 2040*. Disponível em: https://petrobras.com.br/site-petrobras/public/documento_cenarios-estrategicos_petrobras.pdf. Acesso em: 25 de março de 2022.
- Política por Inteiro. (2021). *Histórico, Panorama e Análise das Políticas Públicas Federais*. 140p. Disponível em: https://www.politicaporinteiro.org/wpcontent/uploads/2021/06/Pesca-Por-Inteiro_VF12.pdf. Acesso em: 18 de fevereiro de 2022.
- Pontes, G. M., Sen Gupta, A., & Taschetto, A. S. (2016). Projected changes to South Atlantic boundary currents and confluence region in

- the CMIP5 models: the role of wind and deep ocean changes. *Environ. Res. Lett.* 11, 094013. doi:10.1088/1748-9326/11/9/094013
- Pontes, O. de M., & Azevedo, P. V. (2019). Consequências socioeconômicas e ambiental dos parques eólicos para comunidades da Reserva de Desenvolvimento Sustentável Estadual Ponta do Tubarão. Em: Santos, F. (org.). *Meio Ambiente em Foco*. Editora Poisson. Belo Horizonte, MG.
- Pörtner, H.O., Scholes, R.J., Agard, J., Archer, E., Arneth, A., Bai, X., Barnes, D., Burrows, M., Chan, L., Cheung, W.L., Diamond, S., Donatti, C., Duarte, C., Eisenhauer, N., Foden, W., Gasalla, M. A., Handa, C., Hickler, T., Hoegh-Guldberg, O., Ichii, K., Jacob, U., Insarov, G., Kiessling, W., Leadley, P., Leemans, R., Levin, L., Lim, M., Maharaj, S., Managi, S., Marquet, P. A., McElwee, P., Midgley, G., Oberdorff, T., Obura, D., Osman, E., Pandit, R., Pascual, U., Pires, A. P. F., Popp, A., ReyesGarcía, V., Sankaran, M., Settele, J., Shin, Y. J., Sintayehu, D. W., Smith, P., Steiner, N., Strassburg, B., Sukumar, R., Trisos, C., Val, A.L., Wu, J., Aldrian, E., Parmesan, C., Pichs-Madruga, R., Roberts, D.C., Rogers, A.D., Díaz, S., Fischer, M., Hashimoto, S., Lavorel, S., Wu, N., Ngo, H.T. (2021). *IPBES-IPCC co-sponsored workshop report on biodiversity and climate change*. doi:10.5281/zenodo.4782538.
- Previero, M., Mente-Vera C. V., & Moura, R.L. (2013). Fisheries monitoring in Babel: fish ethnotaxonomy in a hotspot of common names. *Neotropical Ichthyology*, 11(2):467-476.
- Principe, S. C., Acosta, A. L., Andrade, J. E., & Lotufo, T. M. C. (2021). Predicted shifts in the distributions of Atlantic reef-building corals in the face of Climate Change. *Front. Mar. Sci.* doi: 10.3389/fmars.2021.673086.
- Rocha, I. (2019). Análise da Produção aquícola mundial e das oportunidades para o Brasil. *Rev. da ABCC* 2, 8–13.
- Rodrigues, A. R., Abdallah, P. R., & Gasalla, M. A. (2018). Harvesting costs and revenues: Implication of the performance of open-access industrial fishing fleets off Rio Grande, Brazil. *Marine Policy*, 93: 104–112. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2018.04.008>
- Rodrigues, R. R., Taschetto, A. S., Sen Gupta, A., & Foltz, G. (2019). Common cause for severe droughts in South America and marine heatwaves in the South Atlantic. *Nature Geoscience*. doi: 10.1038/s41561-019-0393-8.
- Roos, N. C., Longo, O. L., Pennino, M. G., Francini-Filho, R. B., & Carvalho, A. R. (2020) Protecting nursery areas without fisheries management is not enough to conserve the most endangered parrotfish of the Atlantic Ocean. *Scientific Reports*, 10:19143. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76207-x>
- Sá, T. D., Sousa, R. R., Rocha, I. R. C. B., Lima, G. C., & Costa, F. H. F. (2013). Brackish shrimp farming in Northeastern Brazil: the environmental and socio-economic impacts and sustainability. *Nat. Resour.* 4, 538–550. doi: 10.4236/nr.2013.48065
- Saavedra, O. R., Leite Neto, P. B., & Ribeiro, L. A. S. (2015). Optimization of electricity generation of a tidal power plant with reservoir constraints. *Renewable Energy*, Vol. 81, p. 11-20.
- Sánchez, L. E. (2013). *Avaliação de impacto ambiental: conceitos e métodos*. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos. 583 p.
- Santos, R. T. F. (2017). *Efeitos da subida do nível do mar na inundação costeira na Costa Leste do Brasil devido às mudanças climáticas*. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro/COPPE. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 184 p.
- Santos, T., Beirão, A. P., Araujo Filho, M. C., & Carvalho, A. B. (Orgs.). (2022). *Economia azul: vetor para o desenvolvimento do Brasil*. São Paulo: Essential Idea Editora.
- Santos, V. S., Moura, R. L., Magdalena, U. R., Hovey, R., Kendrick, G., Bahia, R. G., Amado, G. M., & Siqueira, M. F. (2023). Spatial modeling reveals a growing threat to the world's largest rhodolith beds. *Ocean & Coastal Management*, v. 232. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2022.106441.
- Sarmiento, V. C., Pinheiro, B. R., Montes, M. de J. F., & Santos, P. J. P. (2017). Impact of predicted climate change scenarios on a coral reef meio-

- fauna community. *ICES Journal of Marine Science* 74:1170–1179.
- Schmidtko, S., Stramma, L., & Visbeck, M. (2017). Decline in global oceanic oxygen content during the past five decades. *Nature* 542, 335–339. <https://doi.org/10.1038/nature21399>
- Shepherd, J. G., Brewer, P. G., Oschlies, A., & Watson, A. (2017). Ocean ventilation and deoxygenation in a warming world: introduction and overview. *Phil. Trans. R. Soc. A* 375:2017024020170240. <http://doi.org/10.1098/rsta.2017.0240>
- Siegle, E., & Costa, M. B. (2017). Nearshore Wave Power Increase on Reef-Shaped Coasts Due to Sea-Level Rise. *Earth's Future* 5:1054–1065.
- Silva Júnior, O. M., & Magrini, A. (2014). Exploração de hidrocarbonetos na foz do rio Amazonas: perspectivas de impactos ambientais no âmbito das áreas ofertadas na 11o rodada de licitações da Agência Nacional do Petróleo. *Geoamazonia*, v. 2, n. 04.
- Silva, O., & Scherer, M. (2021). Valoração Econômica dos Serviços Ecosistêmicos da Zona Costeira - o Caso do PNMLJ pelo Método do Custo de Viagem. *Geosul*, Florianópolis, v. 36, n. 79, p.431-456, mai./ago. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2021.e63297>
- Silva-Pinto, T., Silveira, M. M., Souza, J. F., Moreira, A. L. P., Vieira, E. A., Longo, G. O., & Luchiari, A. C. (2020). Damsel-like face climate change: Impact of temperature and habitat structure on agonistic behavior. *PLoS ONE* 15(6): e0235389. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235389>
- Silvestrini, T., & D'Aquino, C. (2020). Dinâmica dos parâmetros oceanográficos em um estuário impactado por atividades de mineração de carvão. *Pesquisas em Geociências*, v. 47, e103404. doi: 1807-9806.109992.
- Sinigalli, P. A. A., & Sousa Júnior, W. C. (2020). Serviços Ecosistêmicos. *Diálogos Socioambientais da Macrometrópole Paulista*, Vol. 7, p. 5-8.
- Smale, D. A., Wernberg, T., Oliver, E. C., Thomsen, M., Harvey, B. P., Straub, S. C., Burrows, M. T., Alexander, L. V., Benthuyzen, J. A., Donat, M. G., & Feng, M. (2019). Marine heatwaves threaten global biodiversity and the provision of ecosystem services. *Nature Climate Change*, 9, 306.
- Smith, K. E., Burrows, M. T., Hobday, A. J., Sen Gupta, A., Moore, P. J., Thomsen, M., Wernberg, T., & Smale, D. A. (2021). Socioeconomic impacts of marine heatwaves: Global issues and opportunities. *Science*, 374, eabj3593.
- Stramma, L., Johnson, G., Sprintall, J., & Mohrholz, V. (2008). Expanding Oxygen-Minimum Zones in the Tropical Oceans. *Science* (80), 655–658.
- Sumaila, R. U., Skerrett, D., Schuhbauer, A., Villasante, S., Cisneros-Montemayor, A. M., Sinan, H., Burnside, D., ... & Zeller, D. (2021). WTO must ban harmful fisheries subsidies. *Science*, 374(6567), 544. <http://doi.org/10.1126/science.abm1680>
- Teixeira, C. A. N., Rocio, M. A. R., Mendes, A. P. A., & d'Oliveira, L. A. S. (2018). Navegação de cabotagem. BNDES Setorial, 47, p. 391-436.
- Tomáz, A. de F., & Santos, G. (Orgs.). (2016). *Conflitos Socioambientais e Violações de Direitos Humanos em Comunidades Tradicionais Pesqueiras no Brasil*. Brasília/DF: Conselho Pastoral dos Pescadores. 104p.
- Toste, R., Assad, L. P. de F., & Landau, L. (2018). Downscaling of the global HadGEM2-ES results to model the future and present-day ocean conditions of the southeastern Brazilian continental shelf. *Clim. Dyn.* 51, 143–159. doi:10.1007/s00382-017-3911-7.
- Turkovska, O., Castro, G., Klinger, M., Nitsch, F., Regner, P., Soterroni, A. C., & Schmidt, J. (2021). Land-use impacts of Brazilian wind power expansion. *Environmental Research Letters*, 16. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abd12f>.
- Vasconcelos Filho, A. L., Neumann-Leitão, S., Eskinazi-Leça, E., & Porto-Neto, F. F. (2009). Hábitos alimentares de consumidores primários da ictiofauna do sistema estuarino de Itamaracá (Pernambuco - Brasil). *Rev. Bras. Eng. Pesca* 4, 21–31.

Verba, J. T., Pennino, M. G., Coll, M., & Lopes, P. F. M. (2020). Assessing drivers of tropical and subtropical marine fish collapses of Brazilian Exclusive Economic Zone. *Science of the Total Environment*, 702:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134940>

Vieira, P. F., Cazella, A., Cerdan, C., & Carrière, J. P. (Orgs.). (2010). *Desenvolvimento Territorial Sustentável no Brasil: subsídios para uma política de fomento*. Florianópolis: APED: SECCO.

Wannicke, N., Frey, C., Law, C.S., & Voss, M. (2018). The response of the marine nitrogen cycle to ocean acidification. *Glob. Chang. Biol.*. <https://doi.org/10.1111/gcb.14424>

WOA II. (2021). *The Second World Ocean Assessment: World Ocean Assessment II*. United Nations, New York: UN Press.

Wunderlich, A. C., & Pinheiro, M. A. A. (2013). Mangrove habitat partitioning by *Ucides cordatus* (Ucidae): effects of the degree of tidal flooding and tree-species composition during its life cycle. *Helgoland Marine Research* 67:279-289.

Xavier L. Y., Guilhon, M., Gonçalves, L. R., Corrêa, M. R., & Turra, A. (2022). Waves of Change: Towards Ecosystem-Based Management to Climate Change Adaptation. *Sustainability* 14:1317.

Zamboni, N. S. (2020). *Valoração de serviços ecossistêmicos costeiros em cenários de mudanças climáticas*. Tese de Doutorado em Ecologia. Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 147p.

Zanetti, V. B., De Sousa Junior, W. C., & De Freitas, D. M. (2016). A Climate Change Vulnerability Index and Case Study in a Brazilian Coastal City. *Sustainability*, 8(8), 811. <https://doi.org/10.3390/su8080811>

1º DIAGNÓSTICO BRASILEIRO MARINHO-COSTEIRO SOBRE BIODIVERSIDADE E SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS

AUTORAS E AUTORES (POR ORDEM ALFABÉTICA)

Adriana Lima

Coordenação Nacional de Comunidades Tradicionais Caiçaras (CNCTC)

Adriana R. Carvalho

Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

Alexander Turra

Universidade de São Paulo (USP) & Cátedra Unesco para Sustentabilidade do Oceano

Ana Carolina de Azevedo Mazzuco

Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Anaíde Wrublevski Aued

Memorial University of Newfoundland

Ana Paula L. Prates

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA)

Andrea Olinto

Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade de Pernambuco (SEMAS-PE)

Antonio Vieira (Sr. Mancha)

Movimento de Pescadores e Pescadoras Artesanais (MPP)

Áurea Maria Ciotti

Universidade de São Paulo (USP)

Beatrice Padovani Ferreira

Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Bianca Bentes

Universidade Federal do Pará (UFPA)

Bruno Abe Saber

Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA)

Carina Costa de Oliveira

Universidade de Brasília (UnB)

Carla Elliff

Universidade de São Paulo (USP)

Célia das Neves

Comissão Nacional de Fortalecimento das Reservas Extrativistas Costeiras e Marinhas (CONFREM)

Cida Ferreira
Comissão Nacional de Fortalecimento das Reservas Extrativistas Costeiras e Marinhas (CONFREM)

Cláudio de Araújo Nunes
Movimento dos Pescadores Artesanais do Litoral do Paraná (MOPEAR) & Coordenação Nacional de Comunidades Tradicionais Caiçaras (CNCTC)

Claudio Egler
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Cleiton Jardeweski
Universidade do Vale do Itajaí (Univali)

Clemente Coelho Junior
Universidade de Pernambuco (UPE)

Comissão Guarani Yvyrupa¹ (CGY)

Cristiana Simão Seixas
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Denilson da Silva Bezerra
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

Eduardo Siegle
Universidade de São Paulo (USP)

Eliete Paraguassu
Movimento de Pescadores e Pescadoras Artesanais (MPP)

Ezequiel Tremembé
Povo Tremembé, Terra Indígena Tremembé da Barra do Mundaú

Fernanda de Oliveira Lana
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Flávia Lucena Frédou
Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE)

Florivaldo Mota Rocha (Filico)
Movimento de Pescadores e Pescadoras Artesanais (MPP)

Gabriel Barros Gonçalves de Souza
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Gleyci Moser
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

1. A contribuição da Comissão Guarani Yvyrupa foi encaminhada de forma coletiva em um diálogo intermediado por Eunice Kerexu Yxapyry.

Guilherme Abuchahla
Tropical Marine Ecology - Leibniz Center

Guilherme O. Longo
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN)

Heloisa D. Brum
Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente do Rio Grande do Norte (IDEMA-RN)

Iara Vasco
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio)

Isabel Tukano
Levante pela Terra

João Luiz Nicolodi
Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

Jurandir Cesário
Quilombo Caçandoca

Larisse Faroni-Perez
Instituto Geração Oceano X (GOX) & Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)

Leandra R. Gonçalves
Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)

Leopoldo C. Gerhardinger
Universidade de São Paulo (USP)

Leticia Cotrim da Cunha
Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ)

Leticia Moraes
Conselho Nacional das Populações Extrativistas (CNS)

Letícia Veras Costa Lotufo
Universidade de São Paulo (USP)

Luciana R. F. C. Travassos
Universidade Federal do ABC (UFABC)

Lucia Sousa e Silva
Secretaria de Meio Ambiente, Infraestrutura e Logística do Estado de São Paulo (SEMIL-SP)

Luciana Yokoyama Xavier
Universidade de São Paulo (USP) & Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)

Lucila Pinsard
Fundação Florestal (FF-SP)

Luis Gustavo Cardoso
Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

Luiz Paulo Assad
Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe/UFRJ)

Manoel Bueno dos Santos (Nego da Pesca)
Federação das Associações de Pescadores Profissionais e Aquicultores do Espírito Santo

Marcus Polette
Universidade do Vale do Itajaí (Univali)

Margareth S. Copertino
Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

Maria Ariã Pataxó
Povo Pataxó, Terra Indígena Comexatibá

Maria Cristine Lançoni
Araquari, Baía da Babitonga

Maria do Ramos
Articulação Nacional das Pescadoras (ANP)

Maria Fernanda Arentz
Marinha do Brasil

Maria José Pacheco
Conselho Pastoral dos Pescadores e Pescadoras (CPP)

Marilda de Souza
Quilombo do Bracuí

Marianna Lanari
Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

Marina A. R. de Mattos Vieira
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Marina Vieitas Dale
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Marinez E. G. Scherer
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Miguel da Costa Accioly
Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Natalia Hanazaki
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Neimar Lourenço
Coordenação Nacional de Articulação de Quilombos (CONAQ)

Nilmar Conceição
Fórum da Lagoa dos Patos

Patrícia de Menezes Cardoso
Centro de Estudos Sociais da Universidade de Coimbra (CES-UC) & Universidade Federal Fluminense (UFF)

Patrícia Raggi Abdallah
Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

Pedro Ribeiro
Conselho Pastoral dos Pescadores e Pescadoras (CPP)

Rafael A. Magris
Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio)

Raquel Lima
Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) & Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Regina R. Rodrigues
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Renato Caiçara
Coordenação Nacional de Comunidades Tradicionais Caiçaras (CNCTC)

Renato Rodrigues Neto
Universidade Federal do Espírito Santo (UFES)

Robson Possidônio
Fórum de Comunidades Tradicionais Angra-Paraty-Ubatuba (FCT)

Rodrigo Rodrigues de Freitas
Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL)

Rodrigo Tardin
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Ruy Kenji Papa de Kikuchi
Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Samuel Rocha
Grupo Pró-Babitonga (GPB)

Santiago Bernardes
Fórum de Comunidades Tradicionais Angra-Paraty-Ubatuba (FCT) & Coordenação
Nacional de Comunidades Tradicionais Caiçaras (CNCTC)

Silvina Botta
Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

Stella Manes
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)

Tatiana Walter
Universidade Federal do Rio Grande (FURG)

Tatiane Medeiros
Universidade Federal do Pará (UFPA)

Tommaso Giarizzo
Universidade Federal do Pará (UFPA)

Valmira João Gonçalves
Conselho Pastoral dos Pescadores e Pescadoras (CPP)

Vanessa Hatje
Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Vinicius Giglio
Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP)

Vinicius Scofield
Ministério da Educação (MEC)

Wilson Cabral de Sousa Júnior
Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)

AGRADECIMENTOS

Ao Sr. Rodrigo Agostinho (ex-deputado federal e Presidente do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais) pela Emenda Parlamentar que financiou a elaboração desse Diagnóstico. À Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (SECIRM), à Universidade Federal de São Paulo (Unifesp) e ao Dr. Ronaldo Christofolletti por viabilizar a tramitação do recurso financeiro e a execução orçamentária para a realização desse Diagnóstico.

Aos revisores dos capítulos deste Diagnóstico: A. Cecília Z. Amaral, José Milton Andriguetto, Ronaldo Christofolletti, Segen Estefen, Sueli Furlan, Paulo Horta, Régis P. de Lima, Patrícia M. Menezes, Leonardo Messias, Carolina Minte-Vera, Victória J. Isaac Nahum, Marco Nalon, Isabel S. Pinto, Pedro Jacobi e Paulo Sinisgalli.

COORDENAÇÃO EXECUTIVA BPBES

Carlos Alfredo Joly
Aliny P.F. Pires
Cristiana Simão Seixas
Leandra R. Gonçalves
Paula Drummond de Castro
Rafael Loyola

COORDENAÇÃO EDITORIAL

Cristiana Simão Seixas
Marina Vieitas Dale

EDIÇÃO E REVISÃO DE TEXTO

Isabela de Lima Santos

PROJETO GRÁFICO

Lúcia Nemer, Martuse Fornaciari

FOTOGRAFIAS

Beatrice Padovani Ferreira
Enrico Marone
Gabriel Barros G. de Souza
Guilherme Abuchahla
José Sabino (Natureza em Foco)
Letícia Cotrim da Cunha
Marcus Polette
Marina A. R. de Mattos Vieira
Marínez E. G. Scherer

Copyright © 2024 Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos (BPBES). Todos os direitos desta obra são reservados e protegidos pela Lei 9.610, de 19/02/1998. É permitida a reprodução total ou parcial desta publicação, para fins educacionais e sem finalidade lucrativa, desde que a fonte seja devidamente mencionada.

SUGESTÃO DE CITAÇÃO:

Seixas, C.S., Turra, A., Ferreira, B.P (Eds.) (2024). 1º Diagnóstico Brasileiro Marinho-Costeiro sobre Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos. Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos (BPBES) e Cátedra Unesco para a Sustentabilidade do Oceano. 322 pp. <https://doi.org/10.4322/978-65-01-27749-3>

MEMBROS DO COMITÊ GESTOR DA BPBES QUE ORIENTARAM A CONSTRUÇÃO DO DIAGNÓSTICO

Carlos A. Joly | Cristiana S. Seixas | Paula F. Drummond de Castro

PARA MAIS INFORMAÇÕES, FAVOR CONTATAR: Plataforma Brasileira de Biodiversidade e Serviços Ecosistêmicos (contato@bpb.es.net.br) e/ou Cristiana S. Seixas (csseixas@unicamp.br)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

1º diagnóstico brasileiro marinho-costeiro sobre biodiversidade e serviços ecossistêmicos [livro eletrônico] / [editores] Cristiana Simão Seixas, Alexander Turra, Beatrice Padovani Ferreira. -- Campinas, SP : Ed. dos Autores, 2024.
PDF

Vários autores.
Bibliografia.
ISBN 978-65-01-27749-3

1. Biodiversidade marinha - Conservação - Brasil
2. Biodiversidade marinha - Preservação 3. Biologia marinha 4. Desenvolvimento sustentável - Aspectos ambientais 5. Ecossistemas - Aspectos ambientais
6. Oceanos 7. Zonas costeiras e marinhas - Gestão
I. Seixas, Cristiana Simão. II. Turra, Alexander.
III. Ferreira, Beatrice Padovani.

24-245361

CDD-363.7

Índices para catálogo sistemático:

1. Biodiversidade marinha : Diagnósticos : Gestão ambiental 363.7

Aline Graziele Benitez - Bibliotecária - CRB-1/3129



BPBES
Plataforma Brasileira
de Biodiversidade
e Serviços Ecosistêmicos

www.bpb.es.net.br



CÁTEDRA UNESCO
para a Sustentabilidade
do Oceano

PARCEIROS



APOIO

