

BRANQUEAMENTO DE CORAIS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS



**SIMA
CLIM**

A capa deste relatório foi criada por Joana Lira

Joana Lira é artista visual que valoriza e exalta com autenticidade as raízes culturais brasileiras, partindo de sua essência pernambucana de maneira contemporânea e autoral. Sua identidade se manifesta em uma produção multifacetada, capaz de criar e promover relações e experiências que provocam e envolvem o público. Muitas vezes trazendo a mulher como inspiração central, Joana transmite a força, a beleza e a diversidade do Brasil por meio de um estilo único e vibrante. Com um portfólio plural, assina projetos que atravessam fronteiras — de exposições em centros culturais no Brasil e no exterior a colaborações com marcas e instituições renomadas. Atua em áreas como cenografia, design gráfico, ilustração e intervenções urbanas, sempre com uma estética que pulsa identidade e emoção. Seus projetos ocupam espaços, reinventam paisagens e fomentam diálogos visuais que estimulam reflexões e conexões profundas.



**SIMA
CLIM**

BRANQUEAMENTO DE CORAIS E MUDANÇAS CLIMÁTICAS

2025



Relatório de Síntese

Branqueamento de corais e mudanças climáticas

Autores principais coordenadores:

Ana Paula Leite Prates (MMA)

Beatrice Padovani Ferreira (UFPE)

Autores principais:

Bárbara Segal (UFSC)

Camila Brasil (UFBA)

David Obura (CORDIO)

Derek Manzello (NOAA)

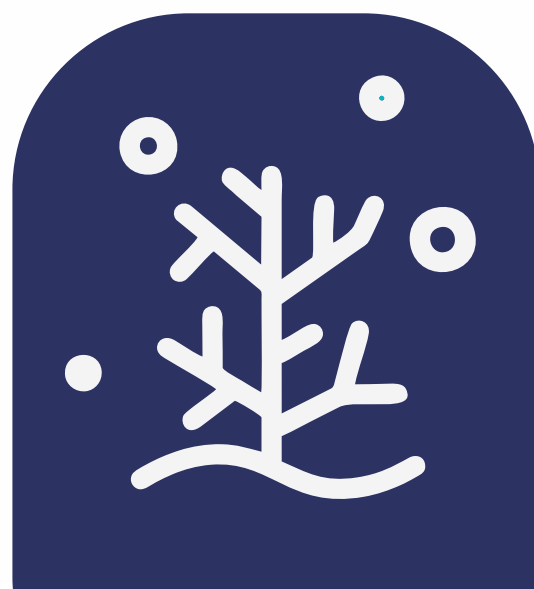
Letícia Cotrim da Cunha (UERJ)

Rodrigo Leão de Moura (UFRJ)

Autores revisores:

Moacyr Cunha de Araujo Filho (UFPE)

Zelinda Margarida de Andrade Nery Leão (UFBA)



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

Branqueamento de corais e mudanças climáticas / [autores principais coordenadores Beatrice PadovaniFerreira, Ana Paula Leite Prates]. -- 1. ed. -- Recife :: Edições Saint Exupery, 2025. -- (Relatórios de Síntese SIMACLIM ; 1)

Vários autores.
Bibliografia
ISBN 978-65-988223-6-1

1. Ecossistemas - Aspectos ambientais 2. Corais - Brasil 3. Mudanças climáticas - Aspectos socioambientais 4. Meio ambiente - Conservação 5. Meio ambiente - Proteção 6. Recursos marinhos - Brasil I. Ferreira, Beatrice Padovani. II. Prates, Ana Paula Leite. III Série.

25-290167

CDD-597.630981

Índices para catálogo sistemático:

1. Ecossistemas : Conservação e proteção : Ecologia marinha
597.630981 Maria Alice Ferreira - Bibliotecária - CRB-8/7964

SUMÁRIO

01. INTRODUÇÃO	5
02. SOBRE O STATUS ATUAL DA SAÚDE DOS RECIFES	18
03. CENÁRIOS SOCIAIS, ECONÔMICOS E AMBIENTAIS	32
04. INSTRUMENTOS POLÍTICOS EXISTENTES PARA PROTEGER OS AMBIENTES DOS RECIFES	38
05. O CAMINHO A SEGUIR	52
06. CONCLUSÕES	59
07. REFERÊNCIAS	64

1

INTRODUÇÃO



1. INTRODUÇÃO

A complexidade dos efeitos das mudanças ambientais globais, incluindo as projeções climáticas futuras, exige novas abordagens para combater o rápido declínio dos recifes de coral, um dos primeiros e mais impactados megadiversos ecossistemas que proporcionam benefícios essenciais à humanidade. Essas abordagens inter e transdisciplinares são essenciais para compreender as interações entre os sistemas sociais, biofísicos e ecológicos, caracterizando os riscos de impacto à vulnerabilidade e as soluções de adaptação.

O Centro de Síntese de Mudanças Ambientais e Climáticas - SIMACLIM (<https://simaclim.com.br/>) está alinhado com essa missão, utilizando a melhor Ciência para subsidiar Políticas Públicas. O SIMACLIM visa assim a integrar pesquisas acumuladas e em andamento em diversas redes e grupos de pesquisa nacionais e internacionais, organizando informações e auxiliando o planejamento do Estado para atingir os compromissos internos e as metas estabelecidas assumidas nos acordos de Mudanças Climáticas.

Os objetivos do SIMACLIM são:

(i) Integrar as pesquisas acumuladas e em andamento, com destaque daquelas que vêm sendo realizadas pela Rede Brasileira de Pesquisas sobre Mudanças Climáticas Globais – Rede Clima (<https://redeclima.cemaden.gov.br/>), com as experiências desenvolvidas por outras redes e grupos de pesquisa nacionais e internacionais de forma pioneira, organizando/sintetizando informações e auxiliando no planejamento do Estado brasileiro quanto ao cumprimento das metas assumidas nos acordos relacionados às mudanças climáticas e à biodiversidade, bem como nos processos de elaboração e revisão de documentos e tratados associados a esses temas.

(ii) Apoiar as estratégias e iniciativas do Ministério da Ciência, tecnologia e Inovação – MCTI relacionadas às metas descritas nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODSs) das Nações Unidas.

(iii) Identificar oportunidades para ações de adaptação às mudanças climáticas, para a valorização da transição ecológica e do potencial de energia renovável e para a biodiversidade brasileira como elemento central da bioeconomia, bem como estratégias para o

desenvolvimento sustentável do país, incluindo projeções futuras. Isso se justifica em razão da complexidade dos efeitos das mudanças climáticas e ambientais globais.

Dos 12 produtos de síntese planejados, os dois primeiros temas escolhidos para desenvolvimento foram a **Crise Climática dos Recifes de Coral** – caracterizada por eventos de branqueamento cada vez mais graves e prolongados – e o **Ponto de Inflexão da Floresta Amazônica**. Tanto os recifes de coral quanto a floresta amazônica são *hotspots* de biodiversidade, representando ecossistemas que são vulneráveis às mudanças climáticas e essenciais para a estabilidade ambiental do planeta.

Embora corais e outros organismos construtores de recifes existam há mais de 200 milhões de anos, as condições induzidas pelo homem agora ameaçam sua função e persistência. A perda potencial associada à destruição dos sistemas de recifes de coral é imensa para a maioria dos países tropicais que dependem deles para obter benefícios físicos, biológicos, econômicos e culturais (Good e Bahr, 2021; Putnam et al., 2017). Com recifes de coral distribuídos ao longo de uma vasta extensão de sua costa, o Brasil certamente está entre esses países.



1.1. Sobre o Workshop

O **Workshop sobre Branqueamento de Corais e Mudanças Climáticas** foi um dos dois primeiros workshops de síntese organizados pelo SIMACLIM. Foi realizado em Recife, Brasil, entre 6 e 8 de maio de 2024 e reuniu acadêmicos e formuladores de políticas de diferentes instituições e países, incluindo representantes dos ministérios do meio ambiente e das relações exteriores do Brasil e da ONU Habitat.

O local e o momento da reunião não poderiam ser mais emblemáticos. Recife, a capital do estado brasileiro de Pernambuco, cujo nome significa literalmente “recife” em português, é uma cidade batizada com o nome de uma de suas características mais proeminentes: os recifes que se alinham ao longo da costa protegeram sua costa baixa e impressionaram os viajantes com sua rica vida marinha (Callcott, 1824).

Recife, no entanto, está agora entre as regiões costeiras mais vulneráveis do país devido aos desafios persistentes com enchentes e erosão costeira (Costa et al., 2010). Situada na costa nordestina do Brasil, Recife tem uma baixa elevação, o que a torna altamente suscetível ao aumento do nível do mar. A cidade foi construída sobre uma rede de rios e cursos d'água, com grandes áreas construídas sobre a recuperação de terras, o que a torna propensa a inundações, especialmente durante eventos de chuvas fortes. Espera-se que a mudança climática aumente a frequência e a intensidade desses eventos. Recife tem uma população estimada de aproximadamente 1,6 milhão de pessoas, sendo uma das cidades brasileiras mais populosas e um importante centro cultural e econômico. O aumento da erosão costeira ameaça a infraestrutura, as casas e os habitats naturais, causando também o deslocamento de comunidades. Os recifes de coral que durante séculos forneceram proteção natural contra tempestades e erosão às ocupações costeiras, foram degradados pelo escoamento da terra, poluição e uso excessivo e, agora, estão sob ameaça do aquecimento global e da acidificação dos oceanos, que podem exacerbar drasticamente os impactos das tempestades e do aumento do nível do mar.

A reunião foi realizada enquanto um grande evento de branqueamento em massa de corais estava ocorrendo na maioria dos recifes exclusivos do Brasil. Em 2024, a NOAA (Administração Nacional Oceânica e Atmosférica dos Estados Unidos) declarou o quarto evento global de branqueamento em massa de corais desde 1998, após os de 2010 e 2014-2017. Esse evento foi desencadeado por temperaturas elevadas



da superfície do mar associadas à mudança climática e ao início de um El Niño. O evento afetou os recifes de coral em todo o mundo, com impactos significativos nos oceanos Pacífico, Índico e Atlântico. Enquanto cientistas e formuladores de políticas discutiam, o mar na janela do lado de fora ainda estava quente, agitando-se contra uma linha de grandes rochas colocadas como barreira para proteger a avenida à beira-mar na maré alta. Sob as ondas, grande parte dos corais remanescentes estava descolorida ou morta.

O workshop começou com apresentações sobre experiências regionais (Recife, Salvador e Abrolhos), bem como em nível nacional. Considerando o evento de aquecimento severo em andamento (nível de alerta 5¹ - mortalidade quase completa >80% de corais), foi apresentado e discutido um retrato da situação dos ambientes de recifes brasileiros e do Atlântico Sul. Os apresentadores também discutiram o panorama global que levou ao quarto evento de branqueamento em massa, a situação no Atlântico e o fenômeno de branqueamento generalizado na região. Dados atualizados do NOAA e do ICRI apontam que um ano após a declaração oficial do quarto evento global de branqueamento de corais, de janeiro de 2023 a março de 2025, o evento de branqueamento afetou 84% dos recifes do mundo, com 82 países e territórios relatando danos².

Os debates e os dados apresentados nesse workshop infelizmente mostraram o que parecem ser impactos irreversíveis de curto e médio prazo para os ambientes de recife, mesmo quando se consideram os melhores cenários.

Assim, é muito importante considerar questões como diferenças de resiliência entre as espécies de recifes de coral e regiões com variáveis físicas e químicas distintas, o que exige monitoramento constante e contínuo em uma variedade de localizações geográficas e em diferentes profundidades e condições climáticas. No caso específico do Brasil, com seu imenso litoral e ampla distribuição de recifes de coral (mais de 2.000 km considerando as principais formações de

¹ Em 15 de dezembro de 2023, o NOAA Coral Reef Watch implementou um sistema revisado de categorias de estresse térmico por branqueamento de corais para seu produto Área de Alerta de Branqueamento. Acúmulos extremos de estresse térmico por branqueamento de corais em 2023, em diversas regiões do mundo, especialmente no Oceano Pacífico tropical oriental e no Grande Caribe, confirmados por observações subaquáticas, exigiram a introdução de Níveis de Alerta de Branqueamento adicionais. Este desenvolvimento é um refinamento do sistema original, que utilizava apenas os Níveis de Alerta de Branqueamento 1 e 2.

² <https://gcrmn.net/2025/04/23/global-bleaching-anniversary/>



recife), são esperadas diferenças locais e os processos meteorológicos e oceanográficos variam de região para região. Também precisamos entender os impactos passados e suas repercussões socioeconômicas para podermos melhorar nossa capacidade de prever e nos preparar para novos desastres e seus impactos na biodiversidade e nas comunidades humanas. E, acima de tudo, podemos entender e fortalecer a resiliência humana, principalmente por meio da capacitação das comunidades locais.

Este relatório está estruturado da seguinte forma: O Capítulo 1 apresenta o tema, seus antecedentes e sua importância. O Capítulo 2 discute a situação atual dos recifes de coral e dos ambientes recifais, especialmente no Brasil, bem como as iniciativas de monitoramento existentes. O Capítulo 3 apresenta cenários para os ambientes de recifes no Brasil em termos de impactos socioeconômicos e ambientais. O Capítulo 4 apresenta os instrumentos políticos existentes que protegem direta e indiretamente os recifes de coral, em nível internacional e no Brasil. O Capítulo 5 sistematiza as propostas de políticas públicas discutidas durante o workshop para o contexto brasileiro, que incluem sugestões para o fortalecimento de instituições, instrumentos e mecanismos já existentes; caminhos para melhorar a participação e a representação da sociedade civil; temas e caminhos prioritários para o financiamento de iniciativas de pesquisa, comunicação e educação; e sugestões de novas políticas. O Capítulo 6 encerra o relatório com as principais conclusões.

1.2. Por que os Recifes de Coral?

Os recifes de coral ocorrem em mais de 100 países e territórios nos trópicos, cobrindo apenas 0,2% do fundo do oceano. Apesar de uma área relativamente pequena, os recifes de coral sustentam pelo menos 25% de todas as espécies marinhas e apresentam beleza e importância indiscutíveis.

Estimativas recentes destacam o imenso valor econômico dos recifes de coral, que são cruciais para os ecossistemas e economias globais. De acordo com um relatório de 2024 da Coral Restoration Foundation, os recifes de coral contribuem com aproximadamente US\$ 2,7 trilhões por ano para a economia global. Isso inclui US\$ 36 bilhões do turismo, US\$ 10 bilhões da pesca e mais de US\$ 2 bilhões da proteção da infraestrutura costeira (UNEP – UN Environment Programme) (UNEP – UN Environment Programme).



Entretanto, os recifes de coral estão entre os ecossistemas mais vulneráveis às pressões induzidas pelo homem. Historicamente, têm sido degradados por impactos locais de fontes terrestres de poluição, incluindo o escoamento de nutrientes e sedimentos da agricultura, poluição marinha e práticas de pesca prejudiciais, como a pesca excessiva e métodos destrutivos. A preocupação com o estado de conservação dos recifes levou à criação, em 1994, da Iniciativa Internacional dos Recifes de Coral (ICRI), uma parceria global entre nações e organizações que se esforçam para preservar os recifes de coral e os ecossistemas relacionados em todo o mundo. Em 1997, foi criada a Rede Global de Monitoramento de Recifes de Coral (GCRMN), para monitorar a saúde dos recifes e promover sua conservação. Desde então, relatórios globais têm sido publicados a cada dois anos, reunindo resultados de vários países, organizados em centros regionais (Wilkinson, 1998; 2000; 2002).

O ano de 1997 foi declarado o primeiro Ano Internacional dos Recifes (IYOR), em resposta às crescentes ameaças aos recifes de coral e ecossistemas associados, como manguezais e gramíneas marinhas em todo o mundo. O IYOR foi um esforço global para aumentar a conscientização e a compreensão dos valores e das ameaças aos recifes de coral e para apoiar os esforços de conservação, pesquisa e gerenciamento relacionados. No ano seguinte, ocorreu o primeiro evento global de branqueamento em massa, causado por temperaturas elevadas provocadas por um forte El Niño. Este ano de 2024 marcou o quarto evento global de branqueamento desde 1998 e o segundo na última década. O terceiro evento global de branqueamento foi o primeiro que se estendeu por vários anos, de 2014 a 2017, afetando 51% dos recifes de coral do mundo com branqueamento significativo e 15% com mortalidade significativa (Eakin et al., 2022). O branqueamento repetido contribuiu para uma tendência alarmante. O mundo perdeu 16% de sua cobertura de corais durante o primeiro evento de branqueamento global em 1998, depois 14% da cobertura de corais de 2009 a 2018 (Wilkinson et al. 2000; Souter et al., 2020). A perda pode ser ainda maior após o evento de 2023-2024, conforme relatório pendente do GCRMN atualmente em preparação.

Preservar a integridade e a resiliência dos ecossistemas de recifes de coral é vital para o bem-estar das comunidades costeiras tropicais em todo o mundo. A proteção desses ecossistemas é um componente essencial para atingir os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável descritos na Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável.



As previsões indicam que até 90% dos recifes de coral podem ser perdidos nos próximos 30 anos sem intervenção significativa (UNEP – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente), embora a variação local significativa no branqueamento, na mortalidade e na perda de longo prazo dificulte a aplicação de projeções abrangentes (McClanahan et al., 2025). Os esforços para proteger e restaurar os recifes de coral são essenciais para manter suas contribuições econômicas e ecológicas.

O Brasil abriga os únicos recifes de coral rasos do Atlântico Sul (Maida & Ferreira, 1997). Formações de recifes rasos (com profundidades inferiores a 20 metros) são encontradas em ilhas oceânicas e ao longo da costa brasileira, do Maranhão ao sul da Bahia, sendo a formação de Abrolhos a mais diversa e extensa do Brasil (Maida & Ferreira, 1997; Leão et al., 2016). Descobertas recentes estendem a ocorrência de formações rasas até o Espírito Santo (Mazzei et al., 2017). Recifes mesofóticos mais profundos, por outro lado, estão presentes nas plataformas continentais médias e externas da região Norte (Moura et al., 2016), no litoral do Nordeste (Camargo et al., 2015; Fontes et al., 2019; Soares et al., 2019) e no Leste (Leão et al., 2016). Essas formações, que se desenvolveram durante o último período glacial, não acompanharam o aumento do nível do mar no final do Pleistoceno e, por isso, são chamadas de recifes “afogados” (Maida & Ferreira, 1997; Camargo et al., 2015).

Ao longo da costa brasileira, os recifes apresentam baixa diversidade, mas altos níveis de endemismo – até 50% – e formas únicas que foram extintas em outras partes do mundo, o que os torna “reliquias” (Leão et al., 2016; Leão & Kikuchi, 2005). Enquanto na maioria dos recifes modernos do Caribe e do Indo-Pacífico, os corais são as formas dominantes que contribuem para a estrutura rígida com seus esqueletos de carbonato de cálcio, a formação dos recifes brasileiros envolve significativamente outros organismos construtores de recifes, como as algas calcárias (Figueiredo et al., 2008). Estudos recentes também revelaram uma surpreendente predominância de briozoários na formação do Banco de Abrolhos, aumentando a singularidade das formações de recifes brasileiros (Bastos et al., 2018).

Os recifes de coral geram até R\$ 167 bilhões para o Brasil por meio de serviços de proteção costeira e turismo, conforme estimado por um estudo recente realizado pela Fundação Grupo Boticário de Proteção à

Natureza³. Foi calculado o valor dos serviços ecossistêmicos prestados pelos recifes de coral na mitigação dos danos causados por tempestades, inundações e erosão nas áreas costeiras, bem como o impacto econômico do turismo em destinos com recifes de coral no Nordeste, revelando que as receitas de atividades de lazer e recreação chegam a R\$ 7 bilhões por ano. Além disso, os recifes de coral são a principal fonte de segurança alimentar para a densa população costeira brasileira⁴. Os valores dos recifes de coral, entretanto, vão além dos valores monetários, proporcionando segurança alimentar e fazendo parte da história, da cultura e dos meios de subsistência tradicionais das comunidades costeiras. Estima-se que o Brasil tenha um milhão de pescadores artesanais que produzem metade da produção pesqueira do país, sendo os recifes de coral e os ambientes associados, como mangues e ervas marinhas, ecossistemas fundamentais para manter a produtividade em águas tropicais oligotróficas. A saúde dos recifes de coral afeta diretamente as populações de peixes, o que, por sua vez, afeta a segurança alimentar e a estabilidade econômica e cultural das comunidades costeiras tradicionais.

1.3. Acidificação, Desoxigenação, Aquecimento

O sexto relatório de avaliação climática do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC – AR6) enfatizou que é inequívoco que o aquecimento atual de cerca de 1,1°C acima da média do período pré-industrial foi causado pelo homem (IPCC, 2021). Os efeitos das mudanças climáticas também foram detectados no oceano e incluem o aumento do nível médio do mar, o aquecimento e as ondas de calor marinhas (MHWs), a acidificação e a desoxigenação (IPCC, 2021; Gruber, 2011).

Esses efeitos, presentes e futuros, documentados por séries históricas de observações e previsões por modelagem numérica, são irreversíveis na escala da vida humana (Abram et al., 2019). Isso também significa uma perda de biodiversidade marinha, insegurança alimentar e um custo de mais de 1 trilhão de dólares americanos até 2100, se os cenários de redução de emissões de gases de efeito estufa do Acordo de Paris não forem cumpridos (IPCC, 2019). No mesmo

³ [https://www.fundacaogrupoboticario.org.br/pt/Biblioteca/OsM_outubro-3_leve\(31-10-23\).pdf](https://www.fundacaogrupoboticario.org.br/pt/Biblioteca/OsM_outubro-3_leve(31-10-23).pdf).

⁴ Estima-se que 18% da população brasileira viva em metrópoles costeiras e 13 das 17 capitais estaduais (Seixas et al, 2023. Resumo do IPBES para tomadores de decisão – Região marinha e costeira. IPBES).

relatório do IPCC, a interdependência dos compartimentos do Sistema Terrestre com o oceano também foi mencionada, incluindo regiões distantes da costa, devido a mudanças no ciclo hidrológico global (IPCC, 2019).

Entre os efeitos das mudanças climáticas sobre os oceanos, o aquecimento e as MHWs, a acidificação e a desoxigenação têm sido objetos de estudos há mais de uma década (Riebesell, 2009; Keeling et al., 2010; Gruber, 2011; Gittings et al., 2018; Gruber et al., 2021; Arteaga & Rousseaux, 2023). Em escala global, os três impactos afetam a circulação geral do oceano, diminuem o sumidouro oceânico de CO₂ antropogênico e promovem a expansão de zonas mínimas de oxigênio no oceano, com graves consequências para a biodiversidade marinha e a segurança alimentar.

A mudança climática também está afetando os organismos na base da cadeia trófica e prevê-se que o aumento das temperaturas globais causará mudanças nos nichos térmicos das espécies, na disponibilidade de nutrientes e um declínio acentuado na diversidade do fitoplâncton tropical, comprometendo suas taxas de crescimento populacional e a produtividade primária, com a consequente redução do sequestro de carbono atmosférico (Cooley et al., 2022).

Da mesma forma que os eventos extremos de precipitação, temperatura e seca em áreas continentais estão diretamente relacionados à mudança climática (Stott et al. 2016), os eventos de MHW, acidificação e desoxigenação também foram detectadas no oceano e podem ocorrer simultaneamente (Frölicher et al., 2018; Gruber et al., 2021).

O que define um evento extremo no oceano?

a) Ondas de calor marinhas

As ondas de calor marinhas (MHWs) são caracterizadas como eventos em que há uma temperatura prolongada e anormalmente quente na superfície ou subsuperfície do oceano (Xu et al., 2022). Em geral, uma MHW é declarada quando o limite de temperatura excede o percentil 99th climatológico (Gruber, 2011; Abram, 2019).

Nas últimas décadas, a frequência, a duração e a extensão espacial da MHW estão aumentando (Gruber, 2011). A partir de observações e simulações de modelos, Frölicher et al. (2018) detectaram um

aumento de duas vezes na frequência de MHW entre 1982 e 2016 e os cenários de modelos preveem um aumento de 16 vezes em sua frequência para um aquecimento global dentro dos limites do Acordo de Paris, ou seja, 1,5°C acima do período pré-industrial, ou um aumento de 23 vezes para um aquecimento global de 2,0°C.

b) Acidificação dos oceanos

A acidificação dos oceanos resulta do aumento da concentração de íons de hidrogênio (H^+), impulsionado pela dissolução do CO_2 antropogênico atmosférico no oceano. Isso conduz a uma diminuição na disponibilidade de íons de carbonato na água do mar e, conseqüentemente, à diminuição da saturação da água do mar (Ω) de aragonita e calcita, dois minerais de carbonato de cálcio biologicamente essenciais (Feely et al., 2009), relevantes para a calcificação dos recifes de coral. A tendência de acidificação dos oceanos é agora detectada tanto na superfície quanto no interior dos oceanos e a última avaliação climática do IPCC (AR6) considerou que agora é praticamente certo que o pH das águas oceânicas superficiais diminuiu entre - 0,017 e - 0,027 unidades de pH/década nas últimas quatro décadas (Canadell et al., 2021).

Em contraste com a acidificação gradual do oceano, o oceano também pode passar por eventos extremos de acidificação, embora os mecanismos que desencadeiam o forte aumento de H^+ e a diminuição de Ω ainda não sejam totalmente compreendidos (Burger et al., 2020). Diferentemente da temperatura da superfície do oceano, não há medições diárias disponíveis da química do carbono no oceano global, portanto, esse tipo de avaliação é possível usando modelos e observações de biogeoquímica (Burger et al., 2020; Gruber et al., 2021). Portanto, os eventos extremos de acidificação são considerados quando a média de H^+ excede seu percentil 99th e quando Ω diminui abaixo do percentil 1 (Burger et al., 2020). Em uma avaliação com base em modelos, Gruber et al. (2021) sugerem que a forte ressurgência pode gerar um evento de acidez no oceano de superfície, pois traz para cima massas de água com altas concentrações de H^+ , embora todos os fatores ainda não sejam totalmente compreendidos. Os resultados de Burger et al. (2020) apontam que, nos cenários de baixa e alta emissão (RCP2.6 e RCP8.5), a superfície do oceano sofrerá um aumento de H^+ , levando a um “estado extremo de acidez quase permanente” em 2030.

c) Desoxigenação dos oceanos

A desoxigenação do oceano é causada pelo aquecimento do oceano: com o aumento da temperatura, o oxigênio dissolvido torna-se menos solúvel na água do mar (Gruber et al., 2011). Simultaneamente, o aquecimento do oceano também aumenta a estratificação do oceano superior, aumentando a desoxigenação (Keeling et al., 2010). Dependendo dos níveis de perda de oxigênio, a desnitrificação na coluna de água também está em risco (Keeling et al., 2010).

O oxigênio dissolvido é fundamental para todos os organismos aeróbicos no oceano, apesar de grupos diferentes terem níveis diferentes de sensibilidade à desoxigenação e os organismos bentônicos serem mais vulneráveis aos seus efeitos (Stramma et al., 2008; Keeling et al., 2010). Embora eventos de baixo oxigênio ou até mesmo anóxicos ocorram com relativa frequência em áreas costeiras (principalmente devido a processos de eutrofização), qualquer perda de O_2 no oceano pode afetar ainda mais esses ecossistemas, pois as trocas laterais com o oceano aberto são uma fonte de águas oxigenadas (Stramma et al., 2008; Gittings et al., 2018).

As observações são essenciais para entender os processos que controlam a perda, pois os modelos ainda não são totalmente capazes de reproduzir a variabilidade e as tendências temporais observadas (Oschlies et al., 2018). A tendência estimada na perda de oxigênio desde 1960 é de $-0,09$ a $-0,34 \mu\text{mol kgO}_2^{-1}$ por ano⁻¹. Stramma et al. (2008) e Schmidtke et al. (2017) estimaram que o conteúdo total de O_2 do oceano diminuiu em 2% desde a década de 1960.

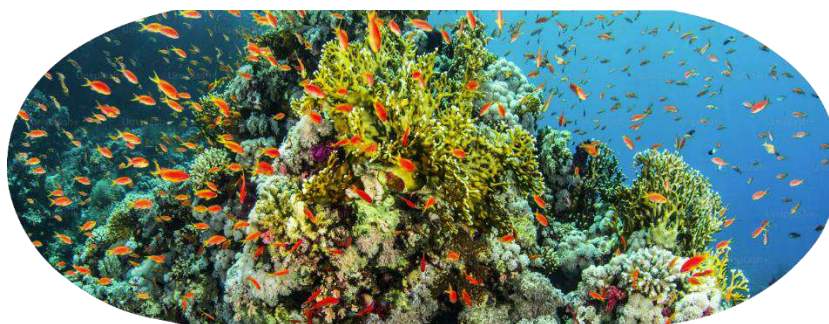
Os resultados de Gruber et al. (2021) sugerem que, em cenários de aquecimento futuro, os extremos de desoxigenação oceânica têm maior probabilidade de ocorrer no oceano tropical e abaixo da superfície, ligeiramente ao sul das áreas de MHW. Os eventos “compostos” (calor, acidez e baixo oxigênio) estudados por Gruber et al. (2021) podem durar, nessas áreas, mais de 200 dias.

d) Pontos de inflexão

Quando partes (ou elementos) do sistema climático da Terra atingem um limite que leva a um estado ou funcionamento completamente diferente, diz-se que um “ponto de inflexão” foi atingido (Lenton et al., 2008). Temperaturas extremas do oceano, mudanças na circulação ou estratificação da coluna de água são listadas como elementos de ruptura do oceano (Relatório Especial do IPCC sobre Oceanos e Criosfera, 2019), mas também estão previstas mudanças na biogeoquímica do oceano, como acidificação e desoxigenação (Heinze et al., 2021).

No oceano Atlântico, as mudanças climáticas e outras pressões antropogênicas estão empurrando os principais ecossistemas para “pontos de inflexão”. A degradação dos recifes de coral também é um deles.

Há uma confiança muito grande de que o aumento da temperatura do mar está levando a eventos de branqueamento de corais mais frequentes e graves no Atlântico, bem como em outras partes do oceano mundial (Cooley et al., 2022). Os recifes de coral, já estressados pela poluição e pela pesca excessiva, são altamente vulneráveis a pontos de inflexão, onde o branqueamento repetido pode levar à morte de grandes sistemas de recifes (Armstrong-McKay et al., 2023; Pearce-Kelly et al., 2024). Quando um recife entra em colapso, a biodiversidade e os serviços que ele oferece - como pesca e proteção costeira - podem não se recuperar. A abordagem desses pontos de inflexão exige uma ação global urgente para reduzir as emissões de gases de efeito estufa, gerenciar a pesca de forma sustentável e proteger os ecossistemas marinhos vitais (Armstrong-McKay et al., 2023; Pearce-Kelly et al., 2024).





2

SOBRE O STATUS ATUAL DA SAÚDE DOS RECIFES



**SOBRE O STATUS
ATUAL DA SAÚDE
DOS RECIFES**

2. SOBRE O STATUS ATUAL DA SAÚDE DOS RECIFES

2.1. A História dos Eventos de Branqueamento

O primeiro evento documentado de branqueamento em massa de corais em grande escala, impulsionado por temperaturas oceânicas elevadas, ocorreu há mais de 40 anos durante o El Niño de 1982-83 no Pacífico tropical oriental (Glynn, 1984). A mortalidade de corais causada por essa onda de calor marinha variou de 75-85% no Panamá a 95-99% nas Ilhas Galápagos (Glynn, 1994; Palacio-Castro et al., 2023). Esse único evento de branqueamento eliminou os recifes de coral do sul de Galápagos e apenas um recife de coral vivo permanece hoje na ilha de Darwin, no extremo norte, pois todos os outros recifes estruturais foram rapidamente bioerodidos em aproximadamente 10 anos após o El Niño de 1982-83 (Manzello et al., 2014; Glynn et al., 2018). Por outro lado, os recifes no Panamá mostraram uma recuperação notável da cobertura de coral pré-1982-83, bem como maior tolerância aos eventos subsequentes de aquecimento do El Niño em 1997-98 e 2015-16 e isso foi atribuído a uma maior dominância de simbiontes de algas tolerantes ao calor (Palacio-Castro et al., 2023).

Desde o primeiro evento de mortalidade em massa provocado pelo calor no Pacífico oriental, as ondas de calor marinhas e os eventos de branqueamento de corais resultantes aumentaram em frequência, gravidade e escala espacial (Baker et al., 2008; Skirving et al., 2019; Hoegh-Guldberg et al., 2023), poucos recifes de corais remanescentes no planeta Terra não sofreram um evento de branqueamento em massa (por exemplo, Rapa Ampat, Indonésia). Muitos locais que foram considerados refúgios, seja devido às grandes distâncias dos centros populacionais humanos (Grande Barreira de Corais do Norte, Dry Tortugas, Flórida) ou à oceanografia exclusiva (ou seja, Mar Vermelho) sofreram eventos de branqueamento graves e impulsionados pelo calor nos últimos 8 anos, com alguns locais apresentando mortalidade em massa (Hughes et al., 2017; Cardoso et al., 2024). A Grande Barreira de Corais passou por sete eventos de branqueamento em massa desde 1998, cinco dos quais ocorreram nos últimos 9 anos (Spady et al., em preparação).

Historicamente, ocorrências fortes de El Niño têm sido o prenúncio de eventos graves de branqueamento, mas recentemente também ocorreram eventos graves e em grande escala durante períodos de La Niña (Grande Barreira de Corais em 2022; Fiji e Vanuatu no início de

2023) (Spady et al., 2022). Isso sugere que as temperaturas do oceano podem ter aumentado até o ponto em que eventos de branqueamento em grande escala podem ocorrer durante qualquer fase do ENSO, o que está de acordo com o que se espera em um planeta que está se aquecendo rapidamente.

2.2. Monitoramento de SST do Coral Reef Watch, Incluindo as Atuais Estações Virtuais do Brasil

O monitoramento de anomalias térmicas nos oceanos usando temperaturas da superfície do mar (SSTs) derivadas de satélites pelo Coral Reef Watch (CRW) da NOAA tem sido muito bem sucedido na previsão de onde e quando o branqueamento de corais provavelmente ocorrerá (NOAA CRW 2024: <https://coralreefwatch.noaa.gov>). A NOAA CRW previu todos os eventos de branqueamento em grande escala desde o final da década de 1990. O CRW da NOAA pode prever o branqueamento de corais com alta confiança ao quantificar as anomalias térmicas no oceano durante a parte mais quente do ano. O algoritmo primário (Degree Heating Weeks, DHWs) que a NOAA CRW usa é baseado em: 1) observações de branqueamento e mortalidade em massa de corais em todo o Pacífico tropical oriental durante o El Niño de 1982/83; e 2) os experimentos de laboratório subsequentes que estabeleceram causa e efeito entre temperaturas elevadas e branqueamento (Glynn e D'Croz, 1990). As DHWs são a métrica padrão utilizada em todo o mundo para estimar o estresse térmico que está afetando os recifes de coral.

A CRW da NOAA atende a 214 Estações Virtuais Regionais que consolidam os principais produtos de dados para a previsão e o monitoramento do branqueamento de corais em regiões definidas ao redor do planeta (Estações Virtuais Regionais da NOAA CRW: <https://coralreefwatch.noaa.gov/product/vs/map.php>). Atualmente, a NOAA CRW atende a sete Estações Virtuais Regionais para os recifes de coral do Brasil, as quais incluem: Fernando de Noronha, Maracajaú, Costa dos Corais, Baía de Todos os Santos, Recifes de Abrolhos, Trindade e Martim Vaz e Búzios.

2.3. Branqueamento de Corais e Eventos Globais de Branqueamento e Previsões para o Futuro

Em 15 de abril de 2024, a NOAA dos Estados Unidos e a Iniciativa Internacional de Recifes de Coral anunciaram que o mundo estava

passando por seu 4º Evento Global de Branqueamento (GBE4). Desde fevereiro de 2023, o branqueamento em massa de corais foi documentado em pelo menos 75 países/territórios diferentes, abrangendo os hemisférios norte e sul de todas as bacias oceânicas (em 31 de dezembro de 2024). O GBE4 bateu um recorde, pois 79,7% da área de recifes do mundo sofreram estresse térmico de nível de branqueamento (BLHS) de 1º de janeiro de 2023 a 31 de dezembro de 2024 (BLHS são graus de aquecimento por semana - DHW > 4º C por semana), superando o recorde anterior estabelecido durante o 3º Evento Global de Branqueamento que se estendeu de 2014 a 2017 (GBE3, área cumulativa de recifes afetada = 65,7%). De fato, somente nos últimos 365 dias, mais de 75% da área de recifes do mundo sofreu BLHS, superando o recorde anterior durante o GBE3 em 18,9% e aumentando% (Tabela 1).

Tabela 1. Pico de % da área do recife de coral que sofreu estresse térmico de nível de branqueamento durante um período de 365 dias para cada Evento Global de Branqueamento de Coral (GBE). Índice GBE desenvolvido por Skirving et al. (2019) e fornece uma medida de % de pixels de recife que sofreram estresse térmico de nível de branqueamento nos últimos 365 dias.

Evento	Anos	Pico % Área do recife afetada
GBE1	1998	20%
GBE2	2010	35%
GBE3	2014-2017	56.1%
GBE4	2023-2025	84,0% (30/05/2025)

As áreas de recifes de coral no norte e no sul do oceano Atlântico sofreram os níveis mais extremos de estresse por calor durante esse evento, com valores de graus de aquecimento semanal (DHW, °C-semana) de 2 a 3 vezes maiores do que jamais ocorreu no registro de satélite. A maioria das áreas de recifes em todo o Caribe e no Atlântico Sul ultrapassou 16°C-semana, com algumas regiões ultrapassando 20°C-semana; esses níveis extremos de estresse térmico levaram à mortalidade de corais que variou de 60 a 99% durante eventos anteriores. Durante esse evento, 99,9% de todas as áreas de recifes no Oceano Atlântico sofreram estresse térmico de nível de branqueamento. O estresse térmico recorde também ocorreu no Pacífico tropical oriental, no Pacífico centro-sul (por exemplo, Samoa Ocidental e Americana), no sul da Grande Barreira de Corais e em

partes do Oceano Índico Ocidental. É importante observar que o GBE4 foi atualizado na revisão deste artigo com dados de março de 2025⁵.

Aproximadamente 8% dos corais do mundo morreram após o GBE1 em 1998, com uma perda adicional de 14% dos corais do mundo de 2009 a 2018, abrangendo o GBE2 e o GBE3 (Souter et al., 2021). Os impactos ecológicos totais do GBE4 não serão totalmente percebidos nos próximos meses a anos, mas os relatórios preliminares têm sido alarmantes e já demonstra que o atual evento de branqueamento impactou 84% dos recifes do mundo, atingindo 82 países e territórios. Os corais acroporídeos, que eram os corais dominantes, de águas rasas e construtores de recifes em todo o Caribe, pelo menos nos últimos 250.000 a 500.000 anos, foram gravemente afetados, com relatos de 90 a 100% de mortalidade na Flórida, no México e em Porto Rico após a fase 2023 desse evento (Manzello, em preparação).

Como os oceanos continuam a se aquecer rapidamente devido à mudança climática, estima-se que a maioria dos recifes de coral sofrerá branqueamento severo anual em algum momento entre 2040 e 2050 (van Hooidonk et al., 2014; 2015). Uma análise das tendências de temperatura *in situ* (versus derivadas de satélite) de Florida Keys previu que o branqueamento anual poderia ocorrer já no início da década de 2020 para esses recifes em perigo (Manzello, 2015). Isso indica que o futuro dos recifes de coral nos próximos 20 a 30 anos está seriamente ameaçado.

2.4. Estado da Arte

Recifes de corais brasileiros

Os recifes de coral brasileiros representam os mais diversos sistemas de recifes no sudoeste do Oceano Atlântico. Estendendo-se ao longo de aproximadamente 3.000 km de litoral, os recifes brasileiros apresentam uma notável variedade de formas e tamanhos, desde recifes de franja e barreiras lineares até formações de coral únicas conhecidas como “chapeirões” ou pináculos de coral (Leão et al., 2003; Ferreira & Maida, 2006; Rordriguez-Ramirez et al., 2008; Kikuchi et al., 2010; Bastos et al., 2018). Além de formar um continuum com manguezais e leitos de ervas marinhas (por exemplo, Moura et al., 2011; Bastos et al., 2022), os recifes de coral brasileiros estão intimamente

⁵ <https://gcrmn.net/2025/04/23/global-bleaching-anniversary/>

associados a leitos de rodolitos (por exemplo, Amado-Filho et al., 2012; Moura et al., 2021), bem como a vales incisos, sumidouros e outras características de fundo duro de mesoescala que ocorrem na plataforma continental (Camargo et al., 2015; Castro et al. 2023). Esses mosaicos formam grandes meta-ecossistemas recifais conectados pela troca de energia, materiais e organismos através de suas fronteiras (Loreau et al., 2003). Apesar de apresentarem uma cobertura de corais mais incipiente, os recifes afogados também são comuns ao longo da plataforma continental brasileira, tanto em águas rasas quanto em águas mais profundas e desempenham papéis ecológicos importantes em seus meta-ecossistemas recifais maiores (por exemplo, Moura et al., 2013).

No relatório Status of Coral Reefs of the World: 2008, Rodriguez-Ramirez et al. identificaram seis regiões principais de recifes de coral ao longo da costa brasileira e das ilhas oceânicas: 1) as ilhas e os bancos oceânicos da cadeia de Fernando de Noronha; 2) Touros-Natal; 3) Pirangi-Maceió; 4) Baía de Todos os Santos-Camamú; 5) Porto Seguro-Cabrália; e 6) Abrolhos. Com base nesse fundamento, Leão et al. (2016) ampliaram a divisão geográfica e a consolidaram em quatro regiões principais: 1) a Região Norte, incluindo o Parcel Manuel Luiz; 2) a Região Nordeste, englobando os recifes do litoral nordestino até o Rio São Francisco; 3) a Região Leste, que abrange a Bahia; e 4) a região das Ilhas Oceânicas. Uma tipologia atualizada dos recifes brasileiros, bem como suas faixas de distribuição, foi fornecida por Moura et al. (2021).

A Rede Global de Monitoramento de Recifes de Coral (GCRMN) adotou uma classificação baseada em Ecorregiões Marinhas (MEOW) (Spalding et al., 2007), que coloca os recifes de coral de águas rasas do Brasil em três Ecorregiões Marinhas: 74 - Ilhas Oceânicas, 75 - Nordeste e 76 - Leste.

Programas de monitoramento de recifes de coral e o núcleo Brasil da Rede Global de Monitoramento de Recifes de Coral (GCRMN)

O Brasil tem apresentado relatórios para o GCRMN desde 1998, participando dos Relatórios de “Status of Coral Reefs of the World” como parte do Nó da América Tropical do Sul, incluindo cinco relatórios globais entre 1998 e 2008 (Wilkinson, 1998; 2000; 2002; 2004; 2008), com esforço brasileiro liderado pela Dra. Zelinda Leão, da Universidade Federal da Bahia, até o relatório de 2008. As contribuições foram então baseadas em relatos coletados de



cientistas que lideraram esforços de monitoramento locais ou regionais, organizados para fornecer uma imagem do status da saúde dos recifes de coral, conforme indicado pelas tendências de cobertura de coral e abundância de peixes, principais impactos antropogênicos e iniciativas de conservação.

O GCRMN passou então por um período de transição do último relatório global em 2008 até o sexto relatório de 2020 (lançado em 2021), o primeiro que foi baseado na análise quantitativa de um conjunto de dados global compilado a partir de dados de monitoramento contribuídos por mais de 300 membros da rede. Em fevereiro de 2020, nos primeiros dias da pandemia de Covid-19, o Comitê Diretor da GCRMN convocou uma reunião de coleta de dados, quando foram apresentados os dados coletados durante o Programa Nacional de Monitoramento de Recifes de Coral/Reef Check Brasil de 2002 a 2018 e apoiou a redação do primeiro capítulo do Nó Brasil no relatório “Status of Coral Reefs of the World: 2020” (Ferreira et al., 2020).

A partir de 2023, o Brasil retomou sua participação ativa na ICRI (Iniciativa Internacional de Recifes de Coral) (consulte a seção 4.2). Para contribuir com a organização do 6º Relatório sobre a Situação dos Recifes do GCRMN, previsto para 2026, o Departamento de Gestão Oceânica e Costeira do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (MMA) realizou uma pesquisa sobre as iniciativas de monitoramento de recifes de coral existentes, com o objetivo de ampliar a incorporação de dados existentes não incluídos no quinto relatório e estabelecer uma rede para o nó Brasil do GCRMN. De acordo com essa pesquisa, nove projetos de monitoramento de recifes de coral estão em andamento no momento. Esses projetos abrangem 21 Áreas Marinhas protegidas (AMPs), distribuídas em sete estados, com uma contribuição notável do Programa de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (PELD), que é patrocinado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e afiliado à Rede Internacional de Pesquisas Ecológicas de Longa Duração (ILTER).

Os recifes costeiros e oceânicos são monitorados e os projetos têm cobertura nacional (Reef Check, Coral Vivo e Monitora), regional (PELD ILOC, PELD Abrolhos) e local (PELD TAMS, PELD UFAL, PELD Semiárido, Projeto Conservação Recifal). Em relação ao tempo de duração, dois projetos monitoram há mais de 20 anos (Reef Check 2002, PELD TAMS 2002), dois há mais de 10 anos (PELD Abrolhos 2006 e PELD ILOC 2012),



dois há cinco anos (PELD UFAL 2018) ou menos (Coral Vivo 2020), enquanto o Monitora, uma iniciativa liderada pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio) e voltada principalmente para as AMPs federais, ainda está sendo implementado.

São usados sete protocolos de monitoramento diferentes, sendo que quatro são adaptações do protocolo Reef Check, que inclui o envolvimento da ciência cidadã. O monitoramento é realizado principalmente anualmente, com descontinuidades ocasionais. Os projetos são financiados principalmente por agências governamentais (PELD, Monitora), Petrobras (por exemplo, Coral Vivo) e são executados/coordenados principalmente por Universidades com algumas iniciativas de ONGs.

Eventos de branqueamento no Brasil: um breve histórico

A história registrada do branqueamento no Brasil começou em 1993, com achados oportunistas dispersos. Os primeiros registros de branqueamento de corais na costa brasileira foram feitos no El Niño de 1993/1994, durante o verão do Hemisfério Sul. O branqueamento foi registrado nos recifes rochosos de São Paulo (Migotto, 1997), nos recifes de Abrolhos (Castro & Pires, 1999) e nos recifes de Tamandaré (Ferreira & Maida, 2006). Ainda durante a década de 1990, outros eventos foram registrados nos recifes de Pernambuco (Costa et al., 2001) e da Bahia, em Abrolhos (Leão et al., 2003) e nos recifes costeiros do norte da Bahia (Kikuchi et al., 2003, Kelmo et al., 2003), novamente relacionados ao El Niño de 1997/1998. Durante esses eventos, a maioria das colônias teve uma frequência de branqueamento inferior a 60%, com algumas espécies como *Agaricia humilis* e *Porites branneri* apresentando mais de 90% de colônias branqueadas (Leão et al., 2003).

Durante essa mesma fase do El Niño, um episódio de branqueamento em massa foi observado no Parcel Manuel Luís, um recife localizado a 86 milhas da costa no estado do Maranhão, norte do Brasil (Moura et al., 1999). Quase todos os escleractinianos e hidrocorais *Milleporidae* foram branqueados, com várias colônias apresentando mortalidade grave (Amaral et al., 2006).

A partir dessa década, houve um aumento significativo nos registros de branqueamento ao longo da costa e das ilhas oceânicas. Em 2003,



2005 e 2010, os eventos de branqueamento coincidiram com anomalias na temperatura da superfície do mar devido ao El Niño (Ferreira et. al., 2006; Leão et al., 2008; Miranda et al., 2013; Teixeira et. al. 2019).

Nos recifes costeiros do norte da Bahia, um esforço de monitoramento entre 1998 e 2005 indicou uma prevalência de branqueamento mais grave para algumas espécies, como *Favia gravida*, *Millepora nitida* (com 100% de colônias branqueadas), *Agaricia humilis* e *Siderastrea stellata* (cerca de 80% de colônias branqueadas), enquanto as prevalências para as outras espécies monitoradas variaram de 1 a 65% (Leão et. al., 2008).

A partir de 2010, os registros de branqueamento aumentaram em frequência e escala espacial, incluindo outros relatos para o litoral norte (estado do Ceará) (Soares & Rabelo, 2014), mas nenhum episódio de mortalidade em massa foi registrado até o momento na costa brasileira (Leão et al., 2008, 2010; Kikuchi et al., 2010; Krug et al., 2012; Miranda et al., 2013; Kikuchi et al., 2013; Ferreira et al., 2013). Durante o Terceiro Evento Global de Branqueamento (TGBE), entre 2016–2017, foi observado um branqueamento extenso e prolongado nos recifes de Abrolhos (Teixeira et al., 2019), mas a mortalidade foi relativamente baixa, semelhante às taxas registradas em recifes oligotróficos do oceano Pacífico (Eakin et al., 2019).

Essas tendências de prazo relativamente curto levaram à interpretação de que os recifes brasileiros de baixa riqueza, dominados por formas maciças e que prosperam em grande parte em águas turvas, poderiam apresentar maior resistência ao estresse climático do que os recifes oligotróficos de alta diversidade e, portanto, o Atlântico Sul Ocidental funcionaria como um refúgio para as mudanças climáticas (Mies et. al., 2020).

No entanto, entre 2019 e 2020, os eventos de branqueamento mais dramáticos – possivelmente ainda mais fortes do que os eventos globais anteriores de 2010 e 2014–2017 – foram registrados na costa brasileira e nas ilhas oceânicas (Teixeira et al., 2019; Gaspar et. al., 2019; Banha et al., 2020; Gomes et al., 2021), desta vez com extensa mortalidade registrada em diferentes recifes (Duarte et al., 2020; Ferreira et al., 2021; Pereira et al., 2022; Cardoso et al., 2024; Vidal et al., 2025). Duas mensagens ficaram muito claras: 1) os recifes brasileiros não são refúgios climáticos, nem resistentes ao branqueamento; e 2)



há grandes diferenças no momento, na intensidade e na duração dos eventos de branqueamento entre as regiões.

Desde então, as anomalias térmicas se intensificaram e 2024 foi um ano especialmente crítico, de acordo com o Programa Coral Watch da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA). Em abril de 2024, a NOAA e o ICRI declararam o Quarto Evento Global de Branqueamento de Recifes de Coral. Durante a coletiva de imprensa do ICRI, foi apresentada uma atualização sobre a situação atual do branqueamento no Brasil, com base nos resultados preliminares dos principais programas de monitoramento de recifes de coral em todo o país. Em toda a Região Nordeste (Ecorregião 75) e nas Ilhas Oceânicas (Ecorregião 74), a intensidade e a persistência da anomalia, conforme indicado pelo índice DHW (*Degree Heating Weeks*) ultrapassaram 18 semanas. O branqueamento foi relatado em taxas próximas ou superiores a 90% em ambas as regiões. A região leste (Ecorregião 76) que inclui Abrolhos, apresentou anomalias e persistência significativas, embora em níveis mais baixos do que as outras regiões. Avaliações preliminares indicam taxas de mortalidade extremamente altas nas áreas costeiras do Nordeste, onde as principais espécies construtoras de recifes, como os hidrocorais *Millepora* spp. e a endêmica *Mussismilia harttii* estão entre as mais vulneráveis e sofreram as maiores perdas.

Em contrapartida, a região de Abrolhos foi amplamente poupada de um episódio de branqueamento em massa em 2024, apresentando uma grande diferença em relação a 2019, quando foi a mais afetada (Teixeira et al., 2019; Duarte et al., 2020). Esse cenário preliminar ainda está em revisão, pois as equipes de monitoramento continuam a analisar os dados para os próximos relatórios e publicações. Há evidências crescentes de que as taxas de mortalidade aumentam após ondas de calor ao longo de vários meses ou até anos, mesmo quando as colônias de corais não branqueiam (Cardoso et al., 2024). No entanto, o evento de 2024 já está sendo considerado o branqueamento mais grave já registrado para a Região Nordeste e possivelmente também para as Ilhas Oceânicas.

Em relação às taxas de mortalidade, o papel de outros fatores pode variar em escala local. Cardoso et al. (2024) mostraram que os níveis de branqueamento e mortalidade não estão relacionados ao regime de proteção e à distância da costa nos recifes de Abrolhos. De fato, os níveis de mortalidade do icônico coral-cérebro *Mussismillia*



brasiliensis, endêmico da Bahia, têm sido mais altos nos recifes protegidos em alto-mar do que nos recifes desprotegidos próximos à costa, onde a maior cobertura de macroalgas impede contatos alelopáticos com cianobactérias filamentosas que se beneficiam das temperaturas mais altas da água do mar e provocam necrose do tecido coralino (Ribeiro et al., 2018; 2022). Em uma escala mais fina, variáveis espaciais como a distância da costa e a profundidade moldaram os padrões de mortalidade nos recifes costeiros de Tamandaré, bem como as taxas de herbivoria, inferidas pelos níveis de proteção, parecem ter favorecido a recuperação do hidrocoral *Millepora alcicornis* após eventos de branqueamento (Vidal et al., 2025). Infelizmente, há evidências crescentes de que os impactos registrados até agora nos ecossistemas de recifes brasileiros podem ser irreversíveis, mesmo sob as projeções mais otimistas, com cenários de aquecimento projetados que exigem ações globais e locais urgentes para evitar perdas extremas e manter alguns dos serviços essenciais derivados dos recifes de coral.

É igualmente importante abordar as variações na resiliência entre espécies e regiões com condições físicas e químicas distintas. Por exemplo, na última década, a cobertura de coral dos recifes submetidos a plumas de sedimentos de operações de dragagem na região de Abrolhos diminuiu mais rapidamente do que a dos recifes próximos, mesmo aqueles sujeitos a intensa pressão de pesca (Teixeira et al., 2021). Isso destaca a necessidade de monitoramento contínuo e sistemático em uma variedade de localizações geográficas, profundidades e condições climáticas e uma atenção especial dos órgãos de licenciamento (por exemplo, IBAMA, ICMBio) ao lidar com a implementação de negócios perto de áreas de recifes de coral. No Brasil, com seu vasto litoral, ainda há lacunas significativas – mesmo para variáveis oceânicas fundamentais, como cobertura de corais e algas.

O branqueamento de corais ocorre principalmente sob estresse térmico e luminoso durante períodos anômalos que desencadeiam a quebra da simbiose entre hospedeiros cnidários e fotossintetizadores dinoflagelados microscópicos. Esse processo intracelular resulta na redução dos pigmentos e no estresse fisiológico geral devido à menor translocação de carbono autotrófico para o hospedeiro coral, aumentando a degradação e as lesões do tecido, bem como a suscetibilidade dos holobiontes de coral a doenças microbianas (Cardoso et al., 2024). Apesar dessa relevância, as respostas dos



microbiomas de corais às mudanças nas condições da água do mar no Atlântico Sudoeste tropical, incluindo a acidificação dos oceanos (por exemplo, Hill et al., 2019), continuam sendo uma lacuna de conhecimento significativa que impede o desenvolvimento de programas de restauração direcionados (Peixoto & Voolstra, 2023; Peixoto et al., 2024). As assembleias microbianas associadas aos corais mudam à medida que as condições da água e a saúde dos corais mudam (por exemplo, Garcia et al., 2013; Fernando et al., 2015), mas as doenças dos corais continuam entre os fatores mais graves e ainda mal compreendidos do declínio dos corais no Atlântico Sudoeste (Francini-Filho et al., 2008).

Além disso, até mesmo a estrutura e a dinâmica das elusivas assembleias de endossimbiontes zooxantelas (*Symbiodinacea*) permanecem mal avaliadas nos corais do Atlântico Sudoeste (note-se o progresso recente nos relatórios de Garrido et al. 2022; 2024; Amario et al., 2023; Cardoso et al., 2024; Villela et al., 2024, e referências a eles). Essas lacunas, junto com a mudança das linhas de base ecológicas, devem ser abordadas e os microbiomas precisam ser explicitamente incorporados em, pelo menos, algumas iniciativas de monitoramento de recifes de coral. O mesmo pode ser dito sobre diversas variáveis de fotofisiologia dos corais, que podem ser rapidamente avaliadas in situ e sem prejudicá-los, com o uso de fluorimetria com modulação de amplitude de pulso (PAM) (por exemplo, Cardoso et al., 2024).

Entender os impactos cumulativos e suas consequências socioeconômicas também é fundamental. Esse conhecimento pode aumentar nossa capacidade de prever e nos preparar para futuros desastres e mitigar seus efeitos sobre a biodiversidade e as comunidades humanas que dependem desses ecossistemas.

Não há dúvida de que os recifes brasileiros entraram no mapa global dos eventos de branqueamento em massa dos recifes de coral. Há uma necessidade urgente de unificação de esforços para ações locais e globais de mitigação do problema. Desde esse último evento sem precedentes, é imperativo estabelecer uma rede ampla e conectada, capaz não apenas de avaliar os impactos, mas também de indicar e monitorar respostas eficazes.

2.5. Projeções para a Situação dos Recifes de Coral no Brasil

Projeções de temperatura nos recifes brasileiros

Apesar de estarem espalhados por mais de 15 graus de latitude, de 1°S perto da foz do rio Amazonas a 18°S nas ilhas de Abrolhos, toda a extensão dos recifes de coral brasileiros sofreu branqueamento severo e alta mortalidade, conforme descrito nos parágrafos anteriores. Assim, embora as localidades mais ao sul apresentem temperaturas gerais mais baixas, os corais nessas localidades também sofrem estresse severo com o aquecimento devido à sua adaptação aos contextos locais. As projeções do início de condições severas de branqueamento (NOAA CRW⁶) não mostram nenhum início mais tardio de branqueamento catastrófico para as localidades do sul. Pelo contrário, o início mais precoce do branqueamento duas vezes por década de acordo com o RCP4.5 (um cenário de aquecimento médio) é mostrado para os recifes de Abrolhos no Sul. Por outro lado, os recifes costeiros que se estendem de Natal (5°S) a Salvador (13°S) mostram o início mais recente do branqueamento duas vezes por década, indicando uma influência maior da turbidez costeira do que da latitude no que diz respeito à suscetibilidade dos recifes ao branqueamento.

Os altos níveis de branqueamento e mortalidade já mostrados indicam um prognóstico muito grave para os corais do Brasil. As projeções do modelo climático (CMIP6) do início do branqueamento catastrófico (seja classificado como branqueamento severo anual ou duas vezes por década, que são diferenciados apenas por alguns anos a até dez anos) foram usadas pelo IPCC para declarar que 70-90% dos recifes globais devem ser perdidos com o aquecimento de 1,5° C e 90-99% perdidos com o aquecimento de 2° C (Frieler et al., 2013; Relatório IPCC 1.5 2018; Cooley et al., 2022). Uma série de trabalhos de pesquisa elaborou essas projeções, por exemplo, no contexto da perda de refúgios térmicos (Dixon et al., 2022) e de vários estressores que interagem (Setter et al., 2022), reafirmando as descobertas de que o branqueamento severo deverá afetar todos os recifes de coral globalmente dentro de algumas décadas.

Isso é particularmente verdade, pois muitas regiões de recifes podem já ter experimentado o equivalente a 1,5°C de aquecimento nas últimas temporadas de verão ou em um ano e globalmente, as temperaturas

⁶ https://coralreefwatch.noaa.gov/climate/projections/downscaled_bleaching_4km/

são projetadas para ultrapassar o limite de 1,5°C (calculado em um período de 20 anos) até 2034 (consulte a projeção do Copernicus⁷). As temperaturas atuais comprometidas são projetadas em um aquecimento de >2,7°C, muito acima dos limites de tolerância térmica dos corais. No entanto, esses cenários são atenuados pela advertência de que o alto grau de média dos Modelos Climáticos Globais (GCMs) não leva em conta as nuances locais e regionais na exposição térmica dos recifes, a variabilidade nas condições ambientais e nas respostas bióticas dos corais (McClanahan et al., 2025), o que pode ser particularmente relevante para os recifes brasileiros, devido à sua localização costeira e exposição a condições turvas e águas oceânicas mais frias do Atlântico Sul. Isso pode significar que, embora toda a extensão dos recifes de coral possa ser severamente afetada em toda a costa brasileira, pode haver vários locais de refúgio com corais saudáveis remanescentes – embora dependa muito da ausência de fatores de estresse locais.

Ponto de inflexão para os recifes de coral

Os recifes de coral são identificados entre os primeiros ecossistemas globais a cruzar um limiar de inclinação climática, junto com os sistemas dominados pelo gelo na região do Ártico (Armstrong-McKay et al., 2022), adotando a faixa de 1,5 °–2°C identificada pelo IPCC (veja acima). No entanto, a gama global de impactos sobre os recifes de coral já documentada resultou em uma redução da faixa esperada para o tombamento para 1,0°–1,5°C (com uma mediana de 1,2°C, ultrapassada durante o terceiro evento global de branqueamento em 2014–2017) (Lenton et al., 2023).

Esse intervalo revisado para a queda dos ecossistemas de recifes de coral e as observações de branqueamento generalizado nos recifes brasileiros nas últimas duas décadas sugerem que o limite provavelmente foi ultrapassado, pelo menos em parte de sua distribuição. A baixa diversidade de espécies dos recifes de coral brasileiros e a alta vulnerabilidade dos construtores de recifes dominantes e sua endemividade indicam que é muito importante enfrentar essa ameaça climática e investir em pesquisa e gestão (consulte a seção 5.2).

⁷ <https://climate.copernicus.eu/how-close-are-we-reaching-global-warming-15degc>

3

CENÁRIOS SOCIAIS, ECONÔMICOS E AMBIENTAIS

**CENÁRIOS
SOCIAIS,
ECONÔMICOS E
AMBIENTAIS**

3. SOCIAIS, ECONÔMICOS E AMBIENTAIS

A humanidade enfrenta o que tem sido chamado de “crise planetária tripla”, três desafios ambientais globais interconectados: mudança climática, perda de biodiversidade e poluição. Essas questões estão profundamente interligadas e representam ameaças significativas aos ecossistemas do planeta e ao bem-estar humano. Os custos das perdas induzidas pelas mudanças climáticas são enormes, e ultimamente tem ficado claro que elas podem ser mais rápidas e graves do que o previsto.

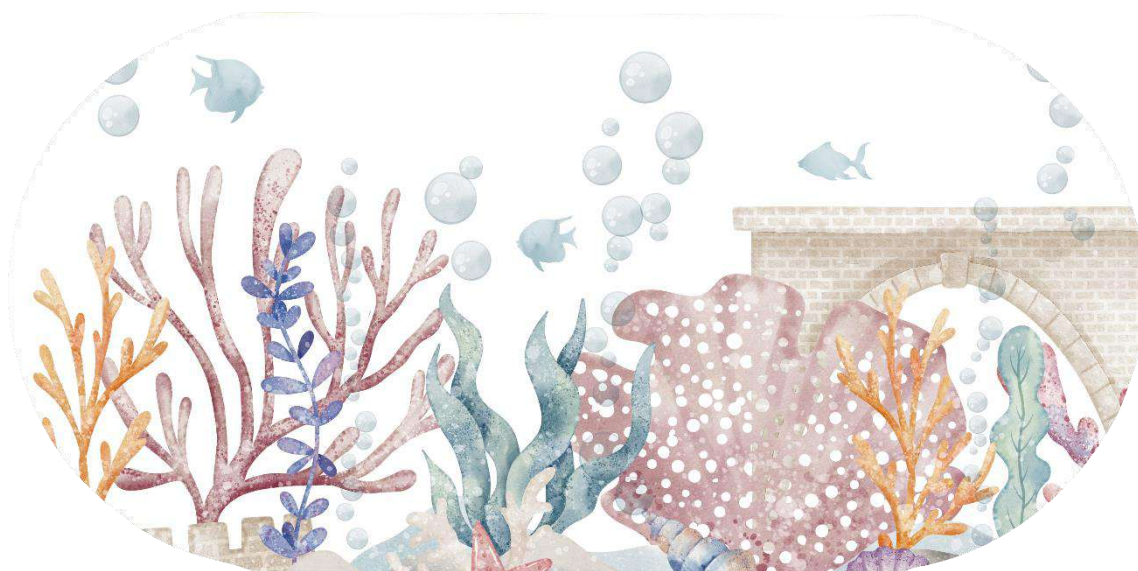
Embora a escala de tempo de resposta às ações de mitigação do oceano seja maior do que a média da vida humana e a escala de tempo do oceano profundo abranja milhares de anos, o Sexto Relatório de Avaliação do IPCC (Grupo 2 - 2022), Heinze et al. (2021) e Muelbert et al (2021) destacam que: i) a identificação de *hotspots* para mudanças abruptas; ii) o conhecimento das metas de mitigação, com base em cenários de emissão de gases de efeito estufa; iii) a consideração de estratégias de remoção de dióxido de carbono eficientes e seguras para o oceano; e iv) a interação e a comunicação entre várias partes interessadas, incluindo comunidades indígenas e tradicionais, são fundamentais para serem aplicadas concomitantemente às estratégias de adaptação.

Esse cenário aponta para a urgência de políticas que aumentem a resiliência dos corais e o caminho político para proteger os ambientes dos recifes inclui a implementação total das políticas ambientais existentes. Na prática, isso significa a redução das atividades humanas que afetam diretamente os recifes de coral, bem como o financiamento de novas pesquisas, monitoramento e soluções de curto e longo prazo.

3.1. Resiliência dos Sistemas Socioecológicos de Recifes de Coral

A resiliência socioecológica nos sistemas de recifes de coral refere-se à capacidade desses sistemas humanos e naturais interconectados de absorver distúrbios, como o branqueamento de corais induzido pelo clima ou a pesca excessiva, mantendo as funções e estruturas essenciais. Os recifes de coral oferecem serviços essenciais ao ecossistema, incluindo proteção costeira, pesca e turismo que, por sua vez, sustentam os meios de subsistência humanos. A resiliência desses sistemas não depende apenas da capacidade ecológica dos recifes de

coral de se regenerarem após o estresse, mas também da capacidade das comunidades humanas de se adaptarem por meio de práticas de gestão sustentável, governança e intervenções políticas. Quando a resiliência é fortalecida, os sistemas de recifes de coral têm mais condições de tolerar os fatores de estresse sem passar para um estado degradado, marcado pela perda de biodiversidade e pelo declínio econômico. Além disso, a dimensão humana da resiliência traz a capacidade de prever e influenciar caminhos futuros, promovendo medidas proativas para mitigar impactos futuros e promover a sustentabilidade de longo prazo (Holling, 1973; Gunderson & Holling, 2002; Walker et al., 2004). A integração do monitoramento contínuo, do gerenciamento adaptativo e do envolvimento da comunidade local é fundamental para aumentar a resiliência nos ecossistemas de recifes de coral, garantindo que os componentes ecológicos e sociais do sistema permaneçam intactos.



Em suma, a questão principal que se coloca é: considerando a situação e as tendências atuais e a extrema importância dos recifes de coral para as sociedades humanas no litoral brasileiro densamente povoado, o governo e a sociedade estão preparados e conscientes dos riscos e das perdas que estão por vir?

3.2. Impactos Locais e Regionais

Um dos maiores desafios para a resiliência dos recifes de coral em relação às mudanças globais em andamento está no gerenciamento dos impactos locais que corroem continuamente a resiliência social e do ecossistema. Entre essas influências, é importante destacar:

- Impactos terrestres em suas diversas fontes, como escoamento agrícola poluído, tratamento de esgoto incipiente, resíduos industriais, derramamentos de óleo e resíduos plásticos que entram na cadeia alimentar marinha, entre várias outras fontes costeiras de contaminação;
- Destruição do habitat e sedimentação decorrentes da construção de portos marítimos e da dragagem de canais de navegação;
- Pesca excessiva com impactos sobre os principais processos do ecossistema, como herbivoria e controle de populações oportunistas; atividades de pesca ilegal; equipamentos de pesca abandonados, perdidos ou descartados que capturam espécies não-alvo e afetam os recifes de coral com redes de pesca perdidas;
- Espécies exóticas invasoras que afetam negativamente as interações ecológicas locais e os processos do ecossistema;
- Turismo descontrolado, que também promove a demanda por recursos pesqueiros de recifes locais;
- Recifes artificiais que funcionam apenas como atrativos para peixes de recife e vetores para espécies invasoras prejudiciais, como corais-sol e peixes-leão;
- Falta ou inadequação de políticas públicas e retrocessos legais, como a ausência de um programa sólido para a transição energética nacional e a recente proposta de emenda constitucional para permitir a privatização de áreas públicas costeiras, a chamada faixa marítima (PEC 03/2022), respectivamente; e
- Interação com outros eventos climáticos, como o aumento de ciclones e chuvas acima da média, que aumentam a poluição nos recifes costeiros devido ao aumento do escoamento de sedimentos terrígenos.

3.3. Impactos na Biodiversidade

Estudos com peixes de recife em áreas costeiras do sudoeste do Atlântico mostraram mudanças na distribuição e na intensidade das interações tróficas dos recifes em cenários projetados para o futuro próximo (2050 e 2100), o que indica desequilíbrio nas funções do ecossistema. A previsão é de que o importante papel dos herbívoros nos recifes tropicais rasos diminua. É mais provável que a tropicalização de latitudes mais altas ocorra nos recifes do hemisfério norte, mas não ao longo da costa brasileira. Portanto, no hemisfério sul, prevê-se uma perda de ligações tróficas importantes como herbivoria e invertivoria, levando a uma mudança nas ligações tróficas que podem

afetar criticamente os recifes e promover novos tipos de ambientes com estrutura e funcionamento diferentes (Inagaki et al, 2020).

Prevê-se que o aumento da temperatura nos recifes tropicais tenha um impacto negativo sobre a biomassa de peixes, com mudanças no papel dos peixes no sistema. Essas mudanças previstas favorecem o aumento da biomassa de peixes invertívoros, zooplâncton que se alimenta de suspensão e algas de grama, enquanto os corais tendem a entrar em colapso (Capitani et. al., 2022).

Martello et al (2023), com base em um estudo de modelagem, previram o aumento das perdas de espécies de corais endêmicas, como os construtores de recifes *Mussismilia braziliensis* e *M. harttii*, enquanto outras espécies de corais amplamente distribuídas tenderiam a expandir sua área de distribuição para latitudes mais altas. Essas previsões indicam a necessidade de estratégias de conservação, como corredores ecológicos, mas a velocidade das perdas versus ganhos em novos ecossistemas é uma grande preocupação, juntamente com o status de conservação das áreas costeiras que acomodariam os supostos processos de migração associados às mudanças climáticas. Outro aspecto que deve ser considerado para obter mais previsibilidade nos cenários projetados seria a disponibilidade de variáveis ambientais atualizadas, especialmente mapas precisos e abrangentes de habitats de recifes sobre os quais as possíveis distribuições futuras possam ser projetadas de forma mais confiável. Além disso, como as mudanças climáticas estão ocorrendo de forma extremamente rápida, é notável que alguns desses estudos de modelagem tenham usado preditores oceanográficos que vão de 2000 a 2014, um período de tempo que não inclui mudanças recentes nos parâmetros climáticos e oceanográficos.





Portanto, precisamos lidar com essas incertezas com conjuntos de dados bem estruturados e monitoramento contínuo das principais características bióticas e abióticas em grandes escalas geográficas e com resolução espaço-temporal adequada. O mapeamento do habitat, que é um impedimento de longa data para o planejamento espacial, representa outra advertência adicional relevante para os estudos de modelagem, uma vez que as mudanças de distribuição previstas devem ser combinadas com as faixas reais e a natureza irregular das estruturas dos recifes.

A plataforma de Abrolhos é um exemplo notável da importância de esforços contínuos para o mapeamento de recifes de coral com uma combinação de diferentes abordagens. Após pesquisas acústicas *in situ* e validação, Moura et al. (2013) aumentaram a área de recife conhecida do maior e mais biodiverso complexo de recifes do Atlântico Sul de 500 km² (Prates, 2006, com base em sensoriamento remoto) para 8800 km².

Apesar do progresso recente com o mapeamento de recifes de coral por meio de sensoriamento remoto (por exemplo, Silveira et al., 2021; Zoffolli et al., 2022), as águas turvas do Atlântico Sudoeste frequentemente impedem a detecção de recifes de coral em larga escala, rápida e relativamente barata por meio de sensoriamento remoto, mesmo para grandes estruturas de recife que podem se estender por centenas de quilômetros (por exemplo, Moura et al., 2016).

Além disso, os princípios de precaução podem orientar as iniciativas locais de conservação para evitar impactos que reduzam a resiliência dos sistemas de recifes e a capacidade de lidar com as mudanças e de se adaptar em um prazo razoável.

4

INSTRUMENTOS POLÍTICOS EXISTENTES PARA PROTEGER OS AMBIENTES DOS RECIFES

**INSTRUMENTOS
POLÍTICOS EXISTENTES
PARA PROTEGER OS
AMBIENTES DOS
RECIFES**

4. INSTRUMENTOS POLÍTICOS EXISTENTES PARA PROTEGER OS AMBIENTES DOS RECIFES

O cenário atual aponta para a urgência de políticas que aumentem a resiliência dos recifes de coral e o caminho político para proteger os ambientes dos recifes inclui a implementação total das políticas ambientais existentes. Na prática, isso significa a redução das atividades humanas que afetam diretamente os recifes de coral, bem como o financiamento de novas pesquisas e soluções de curto e longo prazo.

4.1. Participação Nacional em Instrumentos Internacionais

O Brasil é signatário de mais de 35 Convenções e Acordos Internacionais e Regionais e de 28 Acordos Bilaterais, além de ter sediado ativamente a elaboração da Agenda 21 durante a Rio 92. Entre essas convenções, as relacionadas a áreas protegidas e à flora e fauna selvagens na zona costeira e marinha se destacam como as mais diretamente ligadas à conservação dos recifes de coral. A tabela a seguir mostra esses destaques.



Tabela 2. Convenções e Tratados Internacionais dos quais o Brasil é signatário, com interface com o ambiente costeiro e marinho. Fonte: Atualizado de Prates (2003).

Lei	Local	Entrada em vigor	Entrada em vigor Brasil
Convenção do Patrimônio Natural Mundial	Paris	1972	1972
Tratado sobre a proibição da colocação de armas nucleares e outras armas de destruição em massa no leito do mar e no fundo do oceano e em seu subsolo	Londres	1972	1988
Convenção sobre o Comércio Internacional de Espécies Ameaçadas de Fauna e Flora Selvagens - CITES	Washington	1973	1975
Convenção sobre Zonas Úmidas de Importância Internacional - Convenção de Ramsar	Ramsar	1975	1993
Convenção sobre Responsabilidade Civil por Danos Causados por Poluição por Óleo	Bruxelas	1975	1977
Convenção de Londres sobre a Prevenção da Poluição Marinha por Despejo de Resíduos e Outros Materiais	Londres	1975	1982
Convenção sobre a Conservação de Espécies Migratórias de Animais Silvestres - CMS	Bonn	1983	2013
Convenção sobre Diversidade Biológica - CBD	Rio de Janeiro	1993	1994
Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima - UNFCCC	Rio de Janeiro	1994	1994
Acordo de Paris (tratado internacional juridicamente vinculativo sobre mudanças climáticas no âmbito da UNFCCC)	Paris	2015	2016
Convenção das Nações Unidas sobre o Direito do Mar - UNCLOS	Montego Bay	1994	1994
Autoridade Internacional dos Fundos Marinhos (Acordo de 1994 sobre a Parte XI da UNCLOS)	Montego Bay	1994	2008
Acordo das Nações Unidas sobre Biodiversidade Além da Jurisdição Nacional (Acordo BBNJ)	Nova York	2023	Em andamento

Em 2006, durante a 8ª Conferência das Partes da Convenção sobre Diversidade Biológica, o Brasil aderiu oficialmente à Iniciativa Internacional dos Recifes de Coral (ICRI), dando atenção aos seus ambientes de recifes em fóruns internacionais. Desde então, o Brasil também faz parte da Rede Global de Monitoramento de Recifes de



Coral (GCRMN) e tem contribuído para publicações periódicas como o “Status of Coral Reefs of the World”. Em 2017, o Brasil participou do Comitê Consultivo Internacional de Políticas de Recifes de Coral, convidado pelo PNUMA para elaborar o documento “The Analysis of Global and Regional Policy Instruments and Governance Mechanisms Related to the Protection and Sustainable Management of Coral Reefs”. O documento foi aprovado durante a UNEA-4, em março de 2019.

A Rio 92, conhecida como a Cúpula da Terra, marcou a origem das convenções: a Convenção sobre Diversidade Biológica (CDB), a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC) e a Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação (UNCCD). Considerando que estamos vivendo as piores crises da humanidade: poluição, perda de biodiversidade e emergência climática, recentemente, uma decisão da sexta sessão da Assembleia Ambiental da ONU (UNEA-6), em 2024, registrou a iniciativa “Rio Trio” para promover a colaboração entre as Presidências das próximas Conferências das Partes da CBD, da UNFCCC e do Acordo de Paris e da UNCCD.

Vale a pena destacar o oceano pois 2017, com a realização da primeira Conferência do Oceano das Nações Unidas, apresenta uma oportunidade única e inestimável para o mundo reverter o declínio precipitado da saúde dos oceanos e mares com soluções concretas. A Conferência também promoverá o progresso na implementação do Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 14, que faz parte da Agenda 2030 adotada por todos os 193 Estados Membros da ONU em 2015. O objetivo exige esforços para conservar e usar de forma sustentável os oceanos, mares e recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável. A Terceira Conferência das Nações Unidas sobre os Oceanos (UNOC3), que será realizada em Nice em junho de 2025, tem como objetivo apoiar ações adicionais e urgentes para conservar e usar de forma sustentável os oceanos, os mares e os recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável.

Em setembro de 2019, o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), subsidiário do Painel Científico da UNFCCC, publicou um relatório especial sobre a relação entre o oceano e as mudanças climáticas (IPCC, 2019⁸), que apresentou dados alarmantes sobre a saúde dos ecossistemas marinhos devido ao aquecimento,

⁸ <https://www.ipcc.ch/srocc/>.



acidificação, desoxigenação e aumento do nível do mar e sobre os riscos ao seu potencial de continuar a agir de forma decisiva na regulação do clima. O relatório destaca que, desde 1993, a taxa de aquecimento dos oceanos mais do que dobrou. Os ambientes dos recifes de coral se destacam por serem os principais afetados diretamente pelas mudanças climáticas globais. Os recifes de coral podem ser o primeiro ecossistema a se tornar funcionalmente extinto. Algumas dessas áreas estão fadadas a desaparecer. As previsões do IPCC mostram que, com um aumento de 1,5°C na temperatura, 70-90% dos corais desaparecerão (50% desses ambientes já foram perdidos em todo o mundo) e, se o aumento médio da temperatura for de 2,0°C, espera-se que até 99% desses ambientes sejam perdidos.

Em 2018, foi lançado um Painel de Alto Nível para uma Economia Sustentável do Oceano, composto por 14 chefes de Estado, apresentando um compromisso para os próximos dez anos⁹. Hoje, são 19 líderes mundiais que se uniram para cumprir a missão de gerenciar de forma sustentável a área oceânica sob jurisdições nacionais. O compromisso abrange cinco áreas que visam proteger o oceano (e o planeta) e, ao mesmo tempo, aproveitar seu potencial para lidar com desafios globais, como mudanças climáticas, segurança alimentar e manutenção da biodiversidade. O Brasil ainda não faz parte desse Painel.

Em janeiro de 2021 foi lançada a Década das Nações Unidas da Ciência dos Oceanos para o Desenvolvimento Sustentável (2021-2030), a “Década dos Oceanos”, que fornece uma estrutura de convocação para que uma ampla gama de partes interessadas em todo o mundo se envolva e colabore fora de suas comunidades tradicionais para desencadear nada menos que uma revolução na ciência dos oceanos.

Em 2022, Chefes de Estado, Ministros do Meio Ambiente e outros representantes dos Estados Membros da ONU endossaram uma resolução histórica na Assembleia Ambiental da ONU (UNEA-5), em Nairóbi, para acabar com a poluição plástica e forjar um acordo internacional juridicamente vinculativo até 2024. A resolução convoca um Comitê de Negociação Intergovernamental (INC) para desenvolver "o instrumento", que deve ser baseado em uma abordagem abrangente que aborde o ciclo de vida completo do plástico, incluindo sua produção, design e descarte. O INC iniciou seus trabalhos no segundo semestre de 2022, com a ambição de concluir as negociações até o

⁹ <https://oceanpanel.org/about-ocean-panel/>.



final de 2024. No entanto, as negociações de um tratado vinculante vêm acontecendo entre os países, sem avanços significativos até agora, e sendo postergado a cada reunião do Comitê Intergovernamental de Negociação sobre Poluição Plástica (INC).

Em 2024, o Brasil assumiu a presidência do G20 e o Ministério do Meio Ambiente e Mudanças Climáticas coordenou o Grupo de Trabalho de Meio Ambiente e Sustentabilidade Climática (ECSWG). No contexto das questões ambientais e climáticas, o Brasil se destacou em diversas áreas: Oceanos, Pagamento por Serviços Ecossistêmicos, Melhoria das Ações de Adaptação e Financiamento no contexto das Mudanças Climáticas e Resíduos e Economia Circular. Reconhecendo a necessidade urgente de abordar a conservação e o uso sustentável da biodiversidade marinha, bem como o papel fundamental que os oceanos desempenham para garantir a estabilidade climática e mitigar os efeitos adversos das mudanças climáticas, os países do G20 concordaram com a importância de incluir ações baseadas nos oceanos em suas metas climáticas determinadas nacionalmente (NDCs) e planos de biodiversidade (NBSAPs).

A declaração final adotada durante a Cúpula do G20 também se comprometeu com metas robustas de conservação marinha e gestão sustentável de recursos, que formarão uma base para as discussões na COP30¹⁰ E durante a cúpula do G20 no Rio de Janeiro, os presidentes Lula e Macron, da França, comprometeram-se a tornar a proteção dos oceanos e dos ecossistemas marinhos e costeiros uma prioridade estratégica em seu compromisso bilateral e multilateral de proteger a biodiversidade e combater as mudanças climáticas. A declaração conjunta destaca 20 pontos de convergência, entre eles o fortalecimento da cooperação em questões oceânicas, estabelecendo espaços de debate sobre temas de interesse mútuo durante a UNOC3, a ser realizada em Nice e sua continuação durante a COP30 da UNFCCC, a ser realizada em Belém em novembro de 2025.

Em outubro de 2024, na COP16 da CDB, foram aprovadas 3 resoluções importantes para a biodiversidade marinha, com destaque para a resolução 16/22 - Biodiversidade e Mudanças Climáticas que se expressa como “*profundamente preocupado* com o fato de que as crescentes emissões antropogênicas de dióxido de carbono que

¹⁰ <https://www.gov.br/planalto/pt-br/media/18-11-2024-declaracao-de-lideres-g20.pdf>.

levam ao aumento das concentrações de dióxido de carbono na atmosfera estão causando acidificação dos oceanos e temperaturas elevadas, incluindo ondas de calor marinhas e desoxigenação, com graves consequências para a vida marinha, em particular os recifes de coral e outros ecossistemas marinhos sensíveis, espécies e histórias de vida” e *reconhecendo* o papel crucial e a capacidade do oceano na regulação do clima¹¹.

Também houve um progresso considerável na questão da participação de povos e comunidades tradicionais nas COPs e no acordo sobre uma taxa global sobre produtos fabricados com dados genéticos da natureza, criando potencialmente um dos maiores fundos de conservação da biodiversidade do mundo.

Apesar dessas resoluções, a COP16 da Biodiversidade não conseguiu chegar a uma conclusão. Não houve acordo ou quórum sobre o financiamento necessário para cumprir as metas da Estrutura Global de Biodiversidade de Kunming-Montreal até 2030, a fim de interromper a destruição da biodiversidade causada pelo homem, o que gera o temor de que essa falta de progresso no financiamento atrase os esforços para deter e reverter as perdas da natureza.

Também em 2024, na COP29 da UNFCCC, realizada em Baku, Azerbaijão, o Brasil lançou a versão atualizada de sua Contribuição Nacionalmente Determinada (NDC), ambiciosa e alinhada a meta de 1,5°C e, pela primeira vez, incluiu medidas baseadas no oceano como um componente central. Essas ações estão alinhadas com o Plano Nacional do Clima e integradas a Estratégia e Plano de Ação Nacional para a Biodiversidade (NBSAP). Isso garante a sinergia entre os esforços de adaptação e mitigação do clima e as metas de biodiversidade. Ainda na COP29, o Brasil foi indicado como o próximo copresidente do Diálogo sobre os Oceanos em preparação para a COP30. Essa será uma oportunidade de aumentar a urgência da questão dos oceanos nas negociações para as próximas COPs da UNFCCC.

As ações baseadas no oceano inseridas na NDC brasileira incluem estratégias específicas para mitigação e adaptação, como o Planejamento Espacial Marinho, (PEM) destacado como uma ferramenta importante para a descarbonização, juntamente com

¹¹ <https://www.cbd.int/conferences/2024/cop-16/documents>.

iniciativas como a criação de novas Áreas Marinhas Protegidas (AMPs), e os programas de conservação e a restauração de ecossistemas vulneráveis ao clima, como manguezais e recifes de coral.

Entretanto, a COP29 terminou com resultados e progressos mistos. A Nova Meta Coletiva Quantificada (NCQG), a peça central das negociações, foi formalmente estabelecida, marcando um progresso, embora limitado, com vistas a garantir o financiamento climático necessário para os países em desenvolvimento. Apesar disso, a promessa de compromissos financeiros continua insuficiente para enfrentar a emergência climática¹². E não houve nenhuma decisão sobre uma transição energética ou o esperado fim dos combustíveis fósseis.

Portanto, caberá ao Brasil, o presidente da COP30, resolver uma série de questões pendentes no multilateralismo. Já se sabe que a COP30 será uma das reuniões mais importantes da UNFCCC, por um lado porque marca os 10 anos do Acordo de Paris e quando todos os países terão que apresentar suas novas NDCs com metas ambiciosas que demonstrem sua real intenção de manter o aumento médio da temperatura global em 1,5°C, por outro lado porque o financiamento climático, a justiça climática e a transição energética ainda precisam ser abordados.

4.2. Instrumentos Nacionais

Principais políticas de conservação para ambientes de recifes

As políticas públicas brasileiras voltadas para os recifes de coral remontam ao final da década de 1970, quando algumas AMPs de proibição de captura foram declaradas em alguns dos locais mais emblemáticos de recifes do país. Essa fase teve início em 1979, com a declaração da Reserva Biológica do Atol das Rocas, no único atol do Atlântico Sul e foi seguida pela declaração do Parque Nacional Marinho dos Abrolhos em 1983, abrangendo parte de um dos ecossistemas marinhos de maior diversidade biológica do Atlântico Sul, que abriga a maioria de suas espécies de corais. Cinco anos depois, em 1988, o Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha foi declarado, abrangendo parte do Arquipélago de Fernando de Noronha. Após essa fase inicial de declaração de AMPs de não captura, com níveis de

¹² <https://politicaporinteiro.org/2024/11/24/resultado-final-da-cop-29-incrementalismo-versus-urgencia/>

implementação muito baixos, praticamente não havia políticas públicas voltadas para os recifes de coral até o final da década de 1990.

Em 1997, durante o primeiro Ano Internacional dos Recifes (AIOR), cientistas brasileiros organizaram o “Workshop sobre os Recifes de Coral Brasileiros: Pesquisa, Gestão Integrada e Conservação” (que ocorreu de 9 a 15 de março) e reuniu pesquisadores e gestores ambientais do Brasil e de todo o mundo. Tal workshop destacou a importância dos recifes de coral e forneceu várias recomendações para políticas públicas. Seis meses depois, esses esforços resultaram na declaração da maior área protegida costeiro-marinha do país na época, a Área de Proteção Ambiental (APA) Costa dos Corais, ao longo das costas dos estados de Pernambuco e Alagoas. Essa MPA de uso múltiplo – onde certos usos extrativistas são permitidos – foi criada para regular o uso e proteger as formações de recifes, bem como espécies ameaçadas de extinção, como o peixe-boi *Trichechus manatus* e o mero *Epinephelus itajara*.

O workshop foi realizado no Centro de Pesquisa e Conservação da Biodiversidade Marinha do Nordeste (CEPENE), então vinculado ao Ibama e atualmente ao ICMBio. Em parceria com a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), o CEPENE continua sendo líder em ações para os recifes de coral. Os resultados do encontro lançaram as bases para a formulação de políticas públicas e a definição de prioridades em pesquisa, gestão e conservação dos recifes de coral brasileiros. Ademais, também foram fundamentais para organizar o uso sustentável e os esforços de conservação desses ecossistemas.

As discussões realizadas na ocasião histórica foram registradas em um relatório de quase 100 páginas que ainda é uma referência na área. O documento adverte sobre as ameaças atuais aos recifes de coral: “Vários fatores são responsáveis pela degradação desses ambientes, incluindo a remoção direta dos corais, a pesca excessiva, o turismo não regulamentado, a sedimentação da erosão do solo devido ao desmatamento para agricultura e construção e a poluição doméstica e química. Essa degradação compromete a produtividade e a biodiversidade desses ecossistemas, ameaçando a segurança alimentar e o bem-estar das populações que dependem dos recifes”, pontua-se no referido documento.

Outra recomendação do workshop contribuiu para a Lei de Crimes Ambientais de 1998 que tratou dos bancos de corais. O artigo 33 da Lei nº 9.605 impõe penalidades e/ou multas para aqueles que "explorarem campos naturais de invertebrados aquáticos e algas sem licença, permissão ou autorização da autoridade competente" ou para aqueles que "ancorarem embarcações ou descartarem detritos de qualquer espécie em bancos de moluscos ou corais marcados em cartas náuticas". Em 1999, o Decreto Estadual nº 21.972 proibiu a extração de corais no litoral sul de Pernambuco. Em 7 de fevereiro de 2002, o Decreto Estadual nº 24.017 estendeu essa regra para o litoral norte de Pernambuco. Em 1999, a APA Costa dos Corais também foi pioneira no estabelecimento da primeira "zona de exclusão" dentro de uma unidade de conservação de uso sustentável no Brasil. Uma Área de Recuperação de Recifes foi estabelecida por meio de uma portaria do IBAMA, limitando as atividades de turismo e pesca para criar um refúgio para a vida marinha, permitindo que as espécies se desenvolvessem sem interferência humana. Essa área permanece fechada até hoje e inspirou medidas semelhantes em outros municípios da APA Costa dos Corais, conforme descrito em seu Plano de Manejo.

Em 1999, a questão foi incorporada pela Secretaria de Biodiversidade e Florestas do Ministério do Meio Ambiente, que trabalhou no estabelecimento de uma Rede de Proteção aos Recifes de Coral. As principais ações incluem (Prates et al., 2003):

- O mapeamento de recifes de coral rasos, que resultou no primeiro Atlas de Recifes de Coral em Áreas Marinhas Protegidas no Brasil. O projeto “Estudos sobre os Recifes de Coral Brasileiros: Treinamento e Aplicação de Técnicas de Mapeamento por Sensoriamento Remoto”, em parceria com o INPE e o Projeto Recifes Costeiros (UFPE/BID/IBAMA), teve como objetivo mapear os recifes dentro das AMPs do Brasil. A primeira edição do atlas foi publicada em 2001, com uma versão revisada em 2006 durante a COP8, abrangendo nove Unidades de Conservação;
- A campanha “Conduta Consciente em Ambientes de Recifes” que foi lançada em 2002 para conscientizar os turistas sobre a conservação dos recifes de coral. Essa campanha foi relançada em 2018 com o apoio do Projeto Terramar (Cooperação Brasil/Alemanha, GIZ);
- O Programa Nacional de Monitoramento de Recifes de Coral no Brasil que teve início com o Projeto Piloto de Monitoramento de Recifes de Coral, coordenado pela UFPE e apoiado financeiramente pelo



Ministério do Meio Ambiente. O programa Reef Check Brasil vem monitorando recifes de coral representativos desde 2002, utilizando uma metodologia participativa para monitorar de quatro a doze Unidades de Conservação.

A declaração de uma Reserva Extrativista Marinha (RESEX) de uso múltiplo e cogerenciada em Corumbau, em 2000, foi um marco adicional na conservação dos recifes de coral no Brasil. Nascidas na Amazônia, as Reservas Extrativistas são áreas onde os direitos de acesso e uso, incluindo a extração de recursos naturais, são alocados a grupos ou comunidades locais. Elas são um divisor de águas na arena das AMPs e visam a integração da conservação e dos meios de subsistência, capacitando as comunidades tradicionais nos complexos processos de tomada de decisão e nas disputas desequilibradas sobre territórios costeiros e marinhos. Nessa época, teve início a primeira iniciativa de monitoramento de longo prazo nos recifes de Abrolhos (2000), seguindo o RAP - Conservation International e parceiros e a Reserva Extrativista de Corumbau também foi declarada área de exclusão, com uma avaliação do BACI dos efeitos da reserva sobre os recursos pesqueiros (Prates & Blanc, 2007).

Além da criação e do estabelecimento de unidades de conservação, o Brasil também desenvolveu Planos de Ação Nacionais para a Conservação de Espécies Ameaçadas de Extinção (PAN). Esses planos, desenvolvidos com a contribuição da sociedade, identificam e orientam ações prioritárias para combater as ameaças que colocam em risco as espécies e seus ambientes. Por exemplo, o Plano de Ação Nacional para Ambientes de Recifes de Coral (PAN Corais), lançado em 2014, abordou 52 espécies ameaçadas de extinção. O plano concluiu sua implementação em 2021 e os preparativos começaram para o segundo ciclo em 2024.

Em 2023, no âmbito do Ministério do Meio Ambiente e Mudanças Climáticas (Decreto nº 11.349/2023), foi criado o Departamento de Gestão Oceânica e Costeira. Suas responsabilidades incluem a coordenação de planos e projetos para a conservação de ambientes marinhos, a mitigação de impactos ambientais e a implementação de acordos internacionais como ICRI, UNCLOS e BBNJ. Desde então, o departamento tem trabalhado para dar continuidade às políticas anteriores e promover ações de conservação para ecossistemas vulneráveis às mudanças climáticas, como recifes de coral e manguezais.



Em 2024, foi criado o Programa ProManguezal (Decreto nº 12.045, de 5 de junho de 2024) e o Brasil retomou a participação no ICRI. Uma estratégia nacional de conservação de recifes de coral também foi desenvolvida, e assinada recentemente como um Decreto estabelecendo a ProCoral (Decreto n.12.486, de 3 de junho de 2025) e lançada internacionalmente durante a 3ª. Conferência das Nações Unidas para o Oceano, UNOC3, realizada em Nice, França em junho de 2025.

Além disso, foi aberta uma chamada para projetos de conservação de recifes de coral com o BNDES, o Banco Nacional de Desenvolvimento do Brasil, com financiamento total de 90 milhões de reais. Está em andamento a atualização do Atlas de Recifes de Coral, por meio de um acordo de cooperação técnica entre Ministério do Meio Ambiente e MapBiomias.

O novo Plano Climático do país está nos estágios finais de consulta pública e é o principal instrumento da Política Nacional sobre Mudança do Clima (Lei nº 12.187/2009), objetivando construir uma trajetória de desenvolvimento sustentável de longo prazo. Em desenvolvimento desde 2023, será o guia de ações para o enfrentamento das mudanças climáticas no Brasil até 2035. Em seu componente de adaptação, o principal desafio do Plano Clima é aumentar a resiliência do país às mudanças climáticas e, ao mesmo tempo, combater as desigualdades em busca da justiça climática. O plano conta com uma Estratégia Nacional de Adaptação, que define diretrizes para a elaboração de planos de adaptação setoriais e temáticos em nível nacional, bem como planos de adaptação estaduais e municipais. No componente de adaptação, o plano é composto por 16 planos setoriais e temáticos, incluindo “Oceano e Zona Costeira”, em que uma das metas inclui a recém publicada Estratégia Nacional para a conservação dos recifes de coral ProCoral.

A ProCoral tem como objetivo promover a resiliência desses ecossistemas e a manutenção de suas funções ecológicas e de seus benefícios às populações humanas diante das pressões a que estão submetidos, sobretudo no que se refere à mudança do clima. o Decreto estabelece diretrizes e traz eixos de implementação com respectivas linhas de ação sendo a primeira vez que o país possui uma política pública específica para os recifes de coral.



No âmbito do Congresso Nacional, foi recentemente aprovada, na Câmara dos Deputados, a Lei do Mar (PL 6969/2013), após 13 anos de discussão como uma pequena gota no oceano de esperança de avanços ambientais em meio a diversas propostas que ameaçam , conquistas ambientais históricas, como a Proposta de Lei do Licenciamento, chamada de PL da Devastação, que acabaria com os atuais procedimentos de licenciamento ambiental e a PEC 3, que visa alterar a Constituição Federal para extinguir os “terrenos de marinha”, transferindo essas áreas para estados, municípios e particulares.

4.3. Desafios Políticos e Institucionais

O Governo Federal vem trabalhando em políticas públicas para a conservação dos recifes de coral desde a década de 1990, mas de forma descontínua e com lacunas em suas ações.

No Brasil, os altos e baixos do governo trazem desafios de continuidade e integração de políticas, pois a proteção dos ambientes de recifes envolve várias escalas, partes interessadas e instituições. Por exemplo, nos últimos anos, houve muitas tentativas, no Brasil e em outros países, de dismantelar as políticas ambientais existentes e, infelizmente, muitas delas foram bem-sucedidas. No entanto, a multiplicidade de atores pode ser exatamente o que possibilita a continuidade, pois há mais participantes para preencher as lacunas deixadas.

O branqueamento de corais também traz oportunidades devido à sua orientação para desastres e aos diferentes setores afetados e também porque exige ações de pequeno e grande porte. Os recifes de coral também oferecem a oportunidade de reunir vários interesses por meio de metas comuns de conservação do oceano. Talvez, exatamente pela emergência climática que estamos vivendo, seja importante reconhecer que pela primeira vez vemos uma política pública voltada a esses ambientes. Cabe como desafio a implementação da política bem como a continuidade dessas ações.

Paralelamente a essas questões, também precisamos lidar com os desafios socioambientais mais amplos e concorrentes trazidos pelas mudanças climáticas, entre os quais como mitigar os impactos e adaptar-se a novos cenários, como um oceano mais quente e suas consequências. Um caminho para isso pode ser o uso de soluções baseadas na natureza, embora com o cuidado de questões conceituais

complexas em que esse termo pode, às vezes, ser usado como uma forma de lavagem verde. O desenvolvimento de tais soluções devem ser buscado nos territórios costeiros por meio do aprendizado com o conhecimento ecológico local. Iniciativas bem-sucedidas de territórios de povos tradicionais devem ser promovidas e divulgadas.





5

O CAMINHO A SEGUIR



O CAMINHO
A SEGUIR

5. O CAMINHO A SEGUIR

5.1. Necessidade de Conhecimento

As discussões durante o Workshop promovido pelo SIMACLIM destacaram a gravidade crescente dos eventos de branqueamento de corais e o aumento das taxas de mortalidade nos ecossistemas de corais, com um forte consenso sobre o impacto das mudanças climáticas, mas, além disso, sobre as incertezas derivadas de cenários novos e muitas vezes imprevisíveis. Os participantes enfatizaram a necessidade de pesquisas mais abrangentes e de longo prazo para abordar as lacunas de conhecimento. A complexidade da resiliência dos corais, influenciada por variáveis como acidificação dos oceanos, desoxigenação e diferenças regionais na adaptação das espécies, foi um ponto importante. Os programas de monitoramento precisam ser expandidos geograficamente e temporalmente para preencher as lacunas significativas que ainda persistem no Brasil. Os pesquisadores também discutiram a necessidade de integrar os impactos socioeconômicos ao estudo do declínio dos recifes de coral, concentrando-se em como as comunidades locais e os ecossistemas são afetados e respondem às mudanças de adaptação.

Também houve um apelo por sistemas de monitoramento aprimorados, estudos de longo prazo mais organizados e consistentes e uma mudança para abordagens interdisciplinares que incluam aspectos legais, econômicos e ecológicos. As propostas incluíram o uso de variáveis oceânicas essenciais para o desenvolvimento de políticas, a realização de experimentos laboratoriais plurianuais e o fortalecimento da cultura de rede existente no Brasil para melhorar a integração de dados e os esforços de pesquisa. Em conclusão, as discussões apontaram para a urgência de abordar as lacunas no monitoramento e a necessidade de uma abordagem mais holística para compreender e mitigar os impactos do branqueamento de corais no sistema socioecológico costeiro.

Um dos temas recorrentes na discussão foi a percepção crescente de que a gravidade dos eventos de branqueamento de corais excedeu as expectativas. Os participantes destacaram que o conhecimento atual não leva totalmente em conta os novos cenários que surgem desses distúrbios cada vez mais intensos. Houve um consenso de que a frequência, a intensidade e a persistência desses eventos aumentaram

mais rapidamente do que o previsto, criando incertezas sobre o que está por vir para os sistemas de recifes de coral.

A imprevisibilidade dos impactos futuros, combinada com a falta de estudos abrangentes de longo prazo, deixa lacunas significativas na compreensão de como os ecossistemas e as comunidades humanas associadas se adaptarão. Isso destaca a necessidade de uma modelagem de cenário mais robusta, monitoramento integrado e pesquisa multidisciplinar para prever e gerenciar melhor os desafios que os recifes de coral e seus sistemas dependentes enfrentarão nos próximos anos.



O envolvimento da comunidade e da sociedade é essencial para o sucesso, especialmente em escala local. As parcerias com pescadores artesanais, que geralmente estão na linha de frente das interações com os recifes de coral, podem resgatar tradições e conhecimentos, aprimorar práticas de pesca sustentáveis e contribuir para os esforços de proteção do habitat. O envolvimento de jovens na administração ambiental e na restauração de corais pode capacitar futuros líderes a assumir papéis ativos na conservação. Os programas de envolvimento dos jovens são essenciais para garantir que a próxima geração esteja equipada para enfrentar os desafios que os recifes enfrentam.

5.2. Temas Prioritários de Pesquisa para a Conservação dos Recifes de Coral

No contexto dos desafios contínuos enfrentados pelos recifes de coral, existem temas prioritários de pesquisa que se mostram cruciais para aumentar a compreensão e desenvolver estratégias para o

gerenciamento e a conservação sustentáveis dos recifes de coral (Tabela 3). Esses temas porque abordam, tanto as complexidades ecológicas, quanto as realidades socioeconômicas que moldam o futuro dos ecossistemas de coral.

Tabela 3. Temas prioritários de pesquisa para o gerenciamento e a conservação sustentáveis dos recifes de coral.

Técnicas de restauração	Os esforços de restauração de corais ganharam impulso em todo o mundo. A pesquisa de técnicas eficazes de restauração, como jardinagem de corais e recifes artificiais, é essencial para reabilitar ecossistemas danificados. A identificação de espécies e métodos que geram as maiores taxas de sucesso é fundamental para a conservação em longo prazo
Eventos de branqueamento em diferentes profundidades: Montanhas submarinas e cânions oceânicos	O estudo do branqueamento de corais em diferentes profundidades fornece informações valiosas sobre como várias zonas de recifes são afetadas pelo estresse térmico. Essa pesquisa pode revelar a resiliência relacionada à profundidade e informar estratégias de mitigação direcionadas para áreas vulneráveis
Percepção da comunidade, arranjos de governança e adaptação socioecológica	Entender como as populações locais percebem os recifes de coral e os impactos climáticos e respondem às mudanças é essencial para promover o envolvimento da comunidade na conservação. As pesquisas nessa área podem orientar o desenvolvimento de políticas e melhorar as estratégias de comunicação para a proteção dos corais
Envolvimento de turistas e do setor hoteleiro (Educação para Turistas e Setor Hoteleiro/Ciência Cidadã)	Fortalecer os programas de ciência cidadã para alavancar o envolvimento local e dos turistas nos esforços de monitoramento. O envolvimento de turistas e trabalhadores do setor de hospitalidade na observação e conservação de corais pode promover comportamentos mais responsáveis, reduzindo os impactos humanos negativos sobre os recifes.

Priorização de áreas para conservação	Identificar e priorizar as principais áreas para conservação com base na importância ecológica e na vulnerabilidade é essencial para maximizar os esforços de conservação. As pesquisas nessa área ajudam a concentrar os recursos limitados nos habitats mais críticos
Impacto dos detritos marinhos	A pesquisa sobre os impactos dos detritos marinhos, especialmente plásticos, nos recifes de coral é cada vez mais importante. Estudos nessa área podem ajudar a identificar fontes de poluição e desenvolver estratégias eficazes de mitigação
Destroços artificiais	Entender os impactos do afundamento de estruturas artificiais do tipo FAD para atrair peixes e, assim, melhorar a capacidade de captura, e como isso difere das iniciativas para fornecer substrato para o crescimento de corais e recifes, é um aspecto crucial, mas muitas vezes negligenciado e não regulamentado, da conservação dos corais.
Melhorar a previsibilidade dos eventos de estresse dos corais (Melhorar Previsibilidade)	As pesquisas que visam melhorar a previsibilidade dos eventos de estresse dos corais, como o branqueamento, são fundamentais para as estratégias proativas de conservação. O desenvolvimento de modelos preditivos mais precisos pode ajudar a informar as decisões de gerenciamento em tempo real
Estudos de pós-branqueamento e transição ecológica	As pesquisas sobre as consequências dos eventos de branqueamento de corais, incluindo as taxas de recuperação e os impactos de longo prazo sobre o ecossistema, e as transições para ecossistemas não dominados por corais, são essenciais para a compreensão da resistência dos recifes a distúrbios sucessivos
Foco em eventos de branqueamento - Estratégias de mitigação	É essencial desenvolver estratégias de mitigação direcionadas para lidar com os impactos do branqueamento de corais. A pesquisa deve se concentrar na identificação de espécies adaptáveis, no aumento da resiliência dos corais e na redução da gravidade de futuros eventos de branqueamento

5.3. Elementos de Políticas Públicas

Os impactos das mudanças climáticas no oceano são esperados em muitas regiões geográficas. No entanto, ainda há uma assimetria quando se comparam os fundos para pesquisa climática, marinha e ecológica no Norte e no Sul Global (Pettorelli et al, Rodrigues, 2021). Isso também se reflete nas avaliações atuais dos recifes de coral ameaçados de extinção, onde, em uma revisão recente, Klein et al (2024) apontaram a falta de modelos em escala regional para os recifes tropicais do Atlântico ocidental. Apesar disso, há estudos que já preveem uma “tropicalização” das latitudes meridionais com colonização de corais até 27oS no Atlântico, uma diminuição da temperatura-refúgio, e as áreas de vulnerabilidades detectadas correspondem à área de alta biodiversidade de Abrolhos.

Além disso, os recifes de coral são parte integrante da paisagem marinha e, particularmente, os recifes costeiros são severamente impactados por atividades terrestres. Assim, **em primeiro lugar**, as políticas públicas voltadas para os ambientes dos recifes dependem diretamente da implementação de instrumentos mais amplos, como o Código Florestal Brasileiro, que protege a vegetação nativa de práticas agrícolas prejudiciais, e o Plano Nacional de Saneamento Básico, para diminuir a poluição e outras pressões antrópicas.

Em segundo lugar, o governo deve agir estrategicamente para descarbonizar a economia e reduzir as pressões relacionadas ao carbono sobre o oceano. **Em terceiro lugar**, devido às complexas ligações dos ambientes recifais com outros ecossistemas, biomas importantes como a Mata Atlântica e ecossistemas relacionados (manguezais, *restinga*, bancos de fanerógamas, etc.) devem ser restaurados. Isso pode ser feito dentro de uma estrutura de áreas protegidas, mas outras áreas também devem ser observadas. **Em quarto lugar**, a sociedade deve compreender a estreita ligação entre clima e oceano saudável e a necessidade de pressionar os governos e, ao mesmo tempo, implementar as mudanças necessárias nas atitudes e no comportamento, o que exige um esforço conjunto entre os cientistas sociais e comportamentais e o setor educacional.



Nesse caso, é fundamental que os cidadãos também entendam que a proteção do meio ambiente e a promoção do desenvolvimento humano não precisam ser uma situação de um ou outro. Em **quinto lugar**, como uma ação prioritária, a participação de diferentes setores da sociedade, incluindo as populações costeiras tradicionais, deve ser assegurada e equalizada nos processos de tomada de decisão. **Por fim**, o oceano deve ser totalmente integrado ao planejamento espacial costeiro e marinho e à política climática e, para isso, é urgente explorar maneiras de integrar as atividades baseadas no oceano aos esforços de mitigação e adaptação, bem como às metas e políticas climáticas.



6

CONCLUSÕES



CONCLUSÕES

6. CONCLUSÕES

Há muito se sabe que os recifes de coral são afetados pelas mudanças climáticas, pois os corais reagem às anomalias de temperatura expulsando suas algas simbiotes. O efeito dramático, conhecido como branqueamento de corais, vem ocorrendo, em escala global, com mais frequência e intensidade do que o previsto para esta década. As projeções indicam que, até 2040-2050, as ondas de calor marinhas anuais se tornarão a norma, com efeitos letais sobre a biodiversidade e a estrutura dos recifes de coral. As soluções incluem a obtenção de emissões líquidas zero de gases de efeito estufa e a promoção do sequestro de carbono por meio da restauração do ecossistema, para melhorar as condições locais, minimizando os impactos deletérios crônicos das pressões locais; criar e manter leis ambientais responsáveis e implementar iniciativas de restauração destinadas a melhorar a função e a resiliência dos recifes e das comunidades locais.

Houve um consenso compartilhado de que, mesmo com medidas rigorosas de mitigação, o oceano não pode voltar ao seu estado pré-industrial. O foco deve mudar para a compreensão das diversas vulnerabilidades de diferentes regiões e a aplicação de estratégias adaptativas específicas para cada local. Essas adaptações também devem incorporar o conhecimento e as práticas das comunidades indígenas, cujas interações com a natureza oferecem percepções valiosas para os esforços de conservação.

Surgiram vários temas importantes relacionados ao branqueamento de corais, seus impactos e estratégias de adaptação. Os padrões de branqueamento de corais são altamente variáveis, com algumas espécies branqueando instantaneamente, enquanto outras demoram mais. Os esforços de restauração precisam ser cuidadosamente mapeados para garantir que as práticas sejam aplicadas de forma eficiente nas áreas mais afetadas pela perda de corais e em áreas de pesca populares. As técnicas locais para mitigar os impactos ambientais foram enfatizadas.

Em termos de impactos socioeconômicos, os custos de lidar com a degradação dos corais, junto com questões como a pesca excessiva, invasões biológicas e medidas de proteção ambiental insuficientes são críticos. A conclusão foi clara: a situação já pode ser irreversível em algumas regiões e é fundamental compreender os ecossistemas mais amplos – além dos corais e das algas – para avaliar todas as



consequências socioeconômicas para as comunidades costeiras, como os pescadores, cuja subsistência está intimamente ligada a esses ecossistemas, e as implicações das transições para ecossistemas não corais.

Visão geral: Integração de Tópicos sobre Corais e Oceanos nas Políticas do Governo Federal Brasileiro e nas Discussões Multilaterais Globais

Os ecossistemas de recifes de coral, vitais tanto para a biodiversidade quanto para a subsistência humana, estão sob pressão crescente devido às mudanças climáticas, à pesca excessiva e ao desenvolvimento costeiro, o que torna sua preservação um aspecto crucial de metas de sustentabilidade mais amplas. Redução de emissões de carbono é o desafio maior e mais urgente a ser enfrentado nesta crise que é climática, de biodiversidade e humanitária. Ações locais também são urgentes de forma a manter ou aumentar a resiliência dos recifes de coral. No Brasil, embora tenham havido muitos ganhos locais de conservação, com a criação de Áreas Marinhas Protegidas (AMPs) e leis de proteção específicas, perdas em outras áreas também têm ocorrido, com uma clara tendência de flexibilização de licenciamentos ambientais de forma a possibilitar a ocupação acelerada de áreas costeiras estratégicas. Impactos locais e recorrentes como a poluição oriunda de esgoto, amplamente reconhecida como extremamente impactante para recifes de coral, permanece sendo um dos maiores desafios para a resiliência e sobrevivência, especialmente no pós-branqueamento.

O aumento da temperatura dos oceanos e a recente alta mortalidade de corais destacam a necessidade de fortalecer a resiliência em ambientes marinhos por meio de ações globais, assim como ações locais eficazes, urgentemente necessárias. Esforços ambientais federais, por si só, não são suficientes para estabelecer novas AMPs, pois isso requer o consentimento dos governos estaduais, que juntamente com os municípios precisam cooperar para o gerenciamento efetivos das AMPs ao longo da costa. Portanto, são necessárias estratégias de comunicação e cooperação entre autoridades federais, estaduais e municipais ou locais, fortalecendo seu envolvimento em iniciativas de conservação e de diminuição de pressões e impactos.



Destaca-se a necessidade de viabilizar a participação das comunidades locais e indígenas nos processos decisórios, reconhecendo seus saberes, direitos e permitindo seu envolvimento ativo nos esforços de conservação. O reconhecimento da necessidade da criação e implementação de AMPs (incluindo reservas extrativistas) e territórios tradicionais, como a delimitação de terras indígenas, é urgente.

Outro ponto de destaque é a importância da educação ambiental, principalmente para a geração mais jovem. Isso é visto como uma medida crucial para lidar com a urgência das mudanças climáticas, com um reconhecimento crescente da necessidade de integrar a educação ambiental aos currículos escolares para promover a conscientização e a ação desde cedo. A recente assinatura pelo país de um Protocolo de Intenções junto à UNESCO para que a cultura oceânica seja matéria escolar elevou o tema da inclusão da educação sobre os oceanos como parte do currículo escolar no Brasil a um patamar internacional. A inclusão da alfabetização climática no currículo escolar, por meio de ferramentas de aprendizagem científica, é de extrema importância, estando de acordo com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável 4 (Educação de Qualidade) e 13 (Ação Climática).

Os recifes de coral, como indicadores primordiais de impactos climáticos e da urgência da crise que afeta a saúde do Oceano, ganharam espaço nas discussões ambientais do governo federal brasileiro, que liderou importantes iniciativas durante as últimas Conferências das Partes das Convenções da Biodiversidade e do Clima e na UNOC3, com o destaque para compromissos voluntários apresentados e o lançamento de importantes políticas públicas como a ProCoral. A emergência climática tem um peso significativo nos fóruns e plataformas internacionais, como nas Convenções e na recente presidência do Brasil no G20, onde a comunidade global busca soluções para os desafios ambientais urgentes do século XXI. Durante a oficina para a elaboração desta síntese, foi discutido e apresentado o recente esforço do governo brasileiro em colocar o oceano na agenda global, principalmente a importância da relação oceano-clima, papel que se espera seja consolidado em ações concretas na COP30.

Os eventos de branqueamento entre 2014/2020 (global e regional) e os subsequentes eventos globais de branqueamento de 2023/2025 trouxeram, juntos, impactos sem precedentes que afetaram todos os



recifes de coral brasileiros. O branqueamento e a morte dos corais são impactos evidentes e prontamente mensuráveis, mas também são um indicador de muitos impactos, tanto para a biodiversidade quanto para os seres humanos, como consequências das mudanças climáticas e uma possível mudança no estado do oceano e da vida humana na Terra.

O Governo Federal brasileiro bem como os governos estaduais e municipais, junto com os esforços globais, tem a responsabilidade de assumir um papel de liderança na proteção desses ecossistemas. Isso envolve não apenas o desenvolvimento de políticas e pesquisas científicas, mas também o envolvimento ativo da comunidade e a educação para garantir a adaptação e a sustentabilidade ecológica e socioeconômica de longo prazo.

O fortalecimento nacional das políticas de conservação e o desenvolvimento de pesquisas científicas concomitantemente à educação em diferentes níveis e ao envolvimento ativo da comunidade é mandatório. **Estamos num momento decisivo, onde a crise já é presente e as previsões deixam claro que estamos diante de uma última janela de oportunidade.**

7

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS

- ABRAM, N.; GATTUSO, J.-P.; PRAKASH, A.; CHENG, L.; CHIDICHIMO, M. P.; CRATE, S.; ENOMOTO, H.; GARSCHAGEN, M.; GRUBER, N.; HARPER, S.; HOLLAND, E.; KUDELA, R. M.; RICE, J.; STEFFEN, K.; SCHUCKMANN, K. von. Framing and context of the report. In: PÖRTNER, H.-O.; ROBERTS, D. C.; MASSON-DELMOTTE, V.; ZHAI, P.; TIGNOR, M.; POLOCZANSKA, E.; MINTENBECK, K.; ALEGRÍA, A.; NICOLAI, M.; OKEM, A.; PETZOLD, J.; RAMA, B.; WEYER, N. M. (eds.). *IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate*. Cambridge: Cambridge University Press, 2019. p. 73-129. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157964.003>.
- AMADO-FILHO, G. M. et al. Rhodolith beds are major CaCO₃ bio-factories in the tropical South West Atlantic. *PLoS One*, v. 7, n. 4, e35171, 2012.
- AMARAL, F. M. D.; HUDSON, M.; STEINER, A. Nota sobre o branqueamento generalizado observado no Parque Estadual Marinho dos Bancos de Corais Manuel Luiz, Estado do Maranhão, Brasil. *Arquivos de Ciências do Mar*, v. 39, p. 138-141, 2006.
- AMARIO, M. et al. Physiological response of Symbiodiniaceae to thermal stress: Reactive oxygen species, photosynthesis, and relative cell size. *PLoS One*, v. 18, n. 8, e0284717, 2023.
- ARMSTRONG MCKAY, D. I. et al. Earth system tipping points.. In: LENTON, T. M. et al. (eds.). *Global Tipping Points Report*. Exeter: University of Exeter, 2023. p. 78-121. Disponível em: <https://edepot.wur.nl/644766>.
- ARTEAGA, L. A.; ROUSSEAU, C. S. Impact of Pacific Ocean heatwaves on phytoplankton community composition. *Communications Biology*, v. 6, n. 1, p. 1-13, 2023.
- BAILEY, E.; LAYBOURN, L.; GHADIALI, A.; DYKE, J. G. (eds.). *The Global Tipping Points Report 2023*. Exeter: University of Exeter, 2023.
- BAKER, A. C.; GLYNN, P. W.; RIEGL, B. Climate change and coral reef bleaching: An ecological assessment of long-term impacts, recovery trends and future outlook. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 80, p. 435-471, 2008.
- BANHA, T. N. S. et al. Low coral mortality during the most intense bleaching event ever recorded in subtropical Southwestern Atlantic reefs. *Coral Reefs*, v. 39, n. 3, p. 515-521, 2020.
- BASTOS, A. C. et al. Bryozoans are major modern builders of South Atlantic oddly shaped reefs. *Scientific Reports*, v. 8, n. 1, 9638, 2018.
- BASTOS, R. F. et al. Ontogeny drives allochthonous trophic support of snappers: Seascape connectivity along the mangrove-seagrass-coral reef continuum of a tropical marine protected area. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 264, p. 107591, 2021.
- BLEUEL, J.; PENNINO, M. G.; LONGO, G. O. Coral distribution and bleaching vulnerability areas in Southwestern Atlantic under ocean warming. *Scientific Reports*, v. 11, n. 1, p. 1-12, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-92202-2>.
- BRUCE, T. et al. Abrolhos Bank Reef Health Evaluated by Means of Water Quality, Microbial Diversity, Benthic Cover, and Fish Biomass Data. *PLoS One*, v. 7, n. 6, p. e36687, 2012.
- BURGER, F. A.; JOHN, J. G.; FRÖLICHER, T. L. Increased variability and extremes of ocean acidity under high atmospheric CO₂. *Biogeosciences*. *Biogeosciences*, v. 17, n. 18, p. 4633-4662, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5194/BG-17-4633-2020>.
- CALLCOTT, M. *Journal of a voyage to Brazil, and residence there, during part of the years 1821, 1822, 1823*. Londres: Longman, Hurst, Rees, Orme, Brown, and Green, 1824.
- CANADELL, J. G. et al. Global Carbon and other Biogeochemical Cycles and Feedbacks. In: MASSON-DELMOTTE, V. et al. (eds.). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. p. 673-816. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157896.007>.
- CARDOSO, F. C. et al. Nowhere to hide: massive corals' mortality after cumulative heat stress in a putative climate change refugium. *Coral Reefs*, p. 1-17, 2024.
- CASTRO, C. B.; PIRES, D. O. Um evento de branqueamento em um recife de coral brasileiro. *Revista Brasileira de Oceanografia*, v. 47, p. 87-90, 1999.
- CASTRO, G. M. et al. Incised valleys drive distinctive oceanographic processes and biological assemblages within rhodolith beds. *PLoS One*, v. 18, n. 11, p. e0293259, 2023.

COOLEY, S. et al. Oceans and Coastal Ecosystems and Their Services. In: PÖRTNER, H. O. et al. (eds.). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge: Cambridge University Press, 2022. p. 379-550. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009325844.005>.

COOLEY, S. et al. Chapter 3: Oceans and Coastal Ecosystems and their Services. In: PÖRTNER, H. O. et al. (eds.). *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, 2023. p. 379-550. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009325844.005>.

COSTA, C. F.; AMARAL, F. D.; SASSI, R. Branqueamento em *Siderastrea stellata* (Cnidaria, Scleractinia) da praia de Gaibu, Pernambuco, Brasil. *Revista Nordestina de Biologia*, p. 15-22, 2001.

DIXON, A. M. et al. Future loss of local-scale thermal refugia in coral reef ecosystems. *PLOS Climate*, v. 1, n. 2, e0000004, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pclm.0000004>.

DUARTE, G. A. et al. Heat Waves Are a Major Threat to Turbid Coral Reefs in Brazil. *Frontiers in Marine Science*, v. 7, 515393, 2020.

EAKIN, C. M.; SWEATMAN, H. P.; BRAINARD, R. E. O evento de branqueamento de corais em escala global de 2014-2017: percepções e impactos. *Coral Reefs*, v. 38, n. 4, p. 539-545, 2019.

ESTEVO MO, L. P. M. F. et al. Immediate social and economic impacts of a major oil spill on Brazilian coastal fishing communities. *Marine Pollution Bulletin*, v. 164, 111984, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.111984>

FEELY, R. A.; DONEY, S. C.; COOLEY, S. R. Ocean acidification: Present conditions and future changes in a high-CO₂ world. *Oceanography*, v. 22, n. 4, p. 36-47, 2009. DOI: <https://doi.org/10.5670/OCEANOGRAPHY.2009.95>.

FERNANDO, S. C. et al. Microbiota of the major South Atlantic reef building coral *Mussismilia*. *Microbial Ecology*, v. 69, p. 267-280, 2015.

FERREIRA, B. P.; MAIDA, M. *Monitoramento dos Recifes de Coral do Brasil: Status e perspectivas*. Brasília: MMA, 2006. 250 p. (Série Biodiversidade, 18). ISBN 85-87166-86-7.

FERREIRA, B. P. et al. The status of coral reefs in Brazil. In: *Proceedings of the 10th International Coral Reef Symposium*, v. 1, p. 1011-1015, 2006.

FERREIRA, B. P. et al. The effects of sea surface temperature anomalies on oceanic coral reef systems in the southwestern tropical Atlantic. *Coral Reefs*, v. 32, n. 2, p. 441-454, 2013.

FERREIRA, L. C. L. et al. Different responses of massive and branching corals to a major heatwave at the largest and richest reef complex in South Atlantic. *Marine Biology*, v. 168, n. 5, p. 1-8, 2021.

FRANCINI-FILHO, R. B. et al. Diseases leading to accelerated decline of reef corals in the largest South Atlantic reef complex (Abrolhos Bank, eastern Brazil). *Marine Pollution Bulletin*, v. 56, n. 5, p. 1008-1014, 2008.

FRIELER, K. et al. Limiting global warming to 2 °C is unlikely to save most coral reefs. *Nature Climate Change*, v. 3, n. 2, p. 165-170, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1038/nclimate1674>.

FRÖLICHER, T. L.; FISCHER, E. M.; GRUBER, N. Marine heatwaves under global warming. *Nature*, v. 560, p. 360-364, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0383-9>.

GARCIA, G. D. et al. Metagenomic Analysis of Healthy and White Plague-Affected *Mussismilia braziliensis* Corals. *Microbial Ecology*, v. 65, n. 4, p. 1076-1086, 2013.

GASPAR, T. L. et al. Severe coral bleaching of *Siderastrea stellata* at the only atoll in the South Atlantic driven by sequential Marine Heatwaves. *Biota Neotropica*, v. 21, 2019.

GITTINGS, J. A.; RAITOSOS, D. E.; KROKOS, G.; HOTEIT, I. Impacts of warming on phytoplankton abundance and phenology in a typical tropical marine ecosystem. *Scientific Reports*, v. 8, n. 1, p. 1-12, 2018.

GLYNN, P. W. Widespread coral mortality and the 1982-83 El Niño warming event. *Environmental Conservation*, v. 11, p. 133-146, 1984.

GLYNN, P. W.; D'CROZ, L. Experimental evidence for high temperature stress as the cause of El Niño coincident coral mortality. *Coral Reefs*, v. 8, p. 181-191, 1990.

GLYNN, P. W. et al. State of corals and coral reefs of the Galápagos Islands (Ecuador): past, present and future. *Marine Pollution Bulletin*, v. 133, p. 717-733, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.054>

GLYNN, P. W. State of coral reefs in the Galápagos Islands: Natural vs anthropogenic impacts. *Marine Pollution Bulletin*, v. 29, p. 131-

140, 1994. DOI: [https://doi.org/10.1016/0025-326X\(94\)90437-5](https://doi.org/10.1016/0025-326X(94)90437-5).

GOMES, M. S.; CAVALCANTI, I. F. de A.; MÜLLER, G. V. 2019/2020 drought impacts on South America and atmospheric and oceanic influences. *Weather and Climate Extremes*, v. 34, p. 100404, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2021.100404>.

GOOD, A. M.; BAHR, K. D. The coral conservation crisis: interacting local and global stressors reduce reef resiliency and create challenges for conservation solutions. *SN Applied Sciences*, v. 3, n. 3, p. 312, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04336-w>.

GRUBER, N. Warming up, turning sour, losing breath: ocean biogeochemistry under global change. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, v. 369, n. 1943, p. 1980-1996, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1098/rsta.2011.0003>.

GRUBER, N.; BOYD, P. W.; FRÖLICHER, T. L.; VOGT, M. Biogeochemical extremes and compound events in the ocean. *Nature*, v. 600, p. 395-407, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03981-7>.

HEINZE, C. et al. The quiet crossing of ocean tipping points. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, v. 118, n. 9, p. e2008478118, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.2008478118>.

HILL, L. J. et al. Acidification-induced cellular changes in *Symbiodinium* isolated from *Mussismilia braziliensis*. *PLoS One*, v. 14, n. 8, p. e0220130, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0220130>

HOEGH-GULDBERG, O. et al. Coral reefs in peril in a record-breaking year. *Science*, v. 382, p. 1238-1240, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.adk4532>.

HUGHES, T. P. et al. Global warming transforms coral reef assemblages. *Nature*, v. 556, p. 492-496, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0041-2>.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157964>.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). Summary for Policymakers. In: CLIMATE CHANGE 2021: The Physical Science

Basis. Cambridge: Cambridge University Press, 2021. p. 3-32. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781009157896.001>.

KEELING, R. F.; KÖRTZINGER, A.; GRUBER, N. Ocean deoxygenation in a warming world. *Annual Review of Marine Science*, v. 2, n. 1, p. 199-229, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.marine.010908.163855>.

KELMO, F.; ATTRILL, M. J.; JONES, M. B. Effects of the 1997-1998 El Niño on the cnidarian community of a high turbidity coral reef system (northern Bahia, Brazil). *Coral Reefs*, v. 22, p. 541-550, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00338-003-0342-2>.

KIKUCHI, R. K.; LEÃO, Z. M.; OLIVEIRA, M. D. Estado de conservação e padrões espaciais dos índices de vitalidade AGRRA nos recifes do sudoeste do Atlântico. *Revista de Biologia Tropical*, v. 58, p. 10-32, 2010.

KIKUCHI, R. K.; LEÃO, Z. M.; TESTA, V.; DUTRA, L. X.; SPANO, S. Rapid assessment of the Abrolhos reefs, Eastern Brazil (Part 1: Stony corals and algae). *Atoll Research Bulletin*, 2003.

KIKUCHI, R. K.; OLIVEIRA, M. D.; LEÃO, Z. M. Density banding pattern of the south western Atlantic coral *Mussismilia braziliensis*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, v. 449, p. 207-214, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2013.09.006>.

KLEIN, S. G.; ROCH, C.; DUARTE, C. M. Systematic review of the uncertainty of coral reef futures under climate change. *Nature Communications*, v. 15, n. 1, p. 2224, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-46255-2>.

KRUG, L. A.; GHERARDI, D. F. M.; STECH, J. L.; LEÃO, Z. M. A. N.; KIKUCHI, R. K. P. Caracterização dos ambientes de branqueamento de corais e sua variação ao longo da costa do estado da Bahia, Brasil. *Revista Internacional de Sensoriamento Remoto*, v. 33, n. 13, p. 4059-4074, 2012.

KRUG, L. A.; GHERARDI, D. F. M.; STECH, J. L.; LEÃO, Z. M. A. N.; KIKUCHI, R. K. P.; HORTA JÚNIOR, E. R.; SUGGETT, D. J. The construction of causal networks to estimate coral bleaching intensity. *Environmental Modelling & Software*, v. 42, p. 157-167, 2013.

LEÃO, Z. M. A. N.; KIKUCHI, R. K. P.; TESTA, V. Corals and coral reefs of Brazil. In: JORGE, C. (ed.). *Latin American Coral Reefs*. Amsterdam: Elsevier Science, 2003. p. 9-52.

- LEÃO, Z. M. A. N.; OLIVEIRA, M. D. M.; KIKUCHI, R. K. P. Os recifes de coral da APA Ponta da Baleia, Bahia. *OLAM: Ciência & Tecnologia*, v. 8, n. 1, 2008.
- LOREAU, M.; MOUQUET, N.; HOLT, R. D. Meta-ecosystems: a theoretical framework for a spatial ecosystem ecology. *Ecology Letters*, v. 6, n. 8, p. 673-679, 2003.
- MANZELLO, D. P. Rapid recent warming of coral reefs in the Florida Keys. *Scientific Reports*, v. 5, p. 16762, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep16762>.
- MANZELLO, D. P.; ENOCHS, I. C.; BRUCKNER, A.; RENAUD, P.; KOLODZIEJ, G.; BUDD, D.; CARLTON, R.; GLYNN, P. W. Galápagos coral reef persistence after ENSO warming across an acidification gradient. *Geophysical Research Letters*, v. 41, n. 24, p. 9001-9008, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1002/2014GL062501>.
- MCCLANAHAN, T. R. Reconsidering and rescaling climate change predictions for coral reefs. *Nature Climate Change*, v. 14, p. 779-781, 2024.
- MCKAY, D. A.; STAAL, A.; ABRAMS, J. F. et al. Exceeding 1.5°C global warming could trigger multiple climate tipping points. *Science*, v. 377, eabn7950, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.abn7950>.
- MIES, M.; FRANCINI-FILHO, R. B.; ZILBERBERG, C.; GARRIDO, A. G.; LONGO, G. O.; LAURENTINO, E.; BANHA, T. N. et al. Os recifes de coral do Atlântico Sul são importantes refúgios do aquecimento global e menos suscetíveis ao branqueamento. *Fronteiras em Ciências Marinhas*, v. 7, p. 514, 2020.
- MIGOTTO, A. E. Branqueamento de antozoários na costa sudeste do Brasil no verão de 1994. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE BIOLOGIA COELENTERATIVA, 6., 1995, Leeuwenhorst. *Anais... Leeuwenhorst: ICCB*, 1997. p. 329-335.
- MIRANDA, R. J.; CRUZ, I. C.; LEÃO, Z. M. Coral bleaching in the Caramuanas reef (Todos os Santos Bay, Brazil) during the 2010 El Niño event. *Latin American Journal of Aquatic Research*, v. 41, n. 2, p. 351-360, 2013.
- MÖLLER, T.; HÖGNER, A. E.; SCHLEUSSNER, C. F. et al. Achieving net zero greenhouse gas emissions critical to limit climate tipping risks. *Nature Communications*, v. 15, p. 6192, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-024-49863-0>.
- MOURA, R. L.; RODRIGUES, M. C. M.; FRANCINI-FILHO, R. B.; SAZIMA, I. Riqueza inesperada de corais de recife perto da foz do rio Amazonas. *Coral Reefs*, v. 18, p. 170, 1999.
- MOURA, R. L.; FRANCINI-FILHO, R. B.; CHAVES, E. M.; MINTE-VERA, C. V.; LINDEMAN, K. C. Use of riverine through reef habitat systems by dog snapper (*Lutjanus jocu*) in eastern Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 95, n. 1, p. 274-278, 2011.
- MOURA, R. L.; SECCHIN, N. A.; AMADO-FILHO, G. M.; FRANCINI-FILHO, R. B.; FREITAS, M. O.; MINTE-VERA, C. V.; BASTOS, A. C. Padrões espaciais de megahabitats bentônicos e planejamento de conservação no Banco de Abrolhos. *Continental Shelf Research*, v. 70, p. 109-117, 2013.
- MOURA, R. L.; AMADO-FILHO, G. M.; MORAES, F. C.; BRASILEIRO, P. S.; SALOMON, P. S.; MAHIQUES, M. M.; THOMPSON, F. L. An extensive reef system at the Amazon River mouth. *Science Advances*, v. 2, n. 4, e1501252, 2016.
- MOURA, R. L.; ABIERI, M. L.; CASTRO, G. M.; CARLOS-JÚNIOR, L. A.; CHIROQUE-SOLANO, P. M.; FERNANDES, N. C.; BASTOS, A. C. Tropical rhodolith beds are a major and belittled reef fish habitat. *Scientific Reports*, v. 11, n. 1, p. 794, 2021.
- MOURA, R. L.; MORAES, F. C.; BASTOS, A. C.; AMADO-FILHO, G. A. Recifes biogênicos. In: PEREIRA, R. C.; GOMES, A. S. (eds.). *Ecologia marinha*. Rio de Janeiro: Interciência, 2021. p. 299-335.
- MUELBERT, M. M. C.; COPERTINO, M.; COTRIM DA CUNHA, L.; LEWIS, M. N.; POLEJACK, A.; PEÑA-PUCH, A. del C.; RIVERA-ARRIAGA, E. The Ocean and Cryosphere in a Changing Climate in Latin America: Knowledge Gaps and the Urgency to Translate Science Into Action. *Frontiers in Climate*, v. 3, p. 133, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3389/fclim.2021.748344>.
- OSCHLIES, A.; BRANDT, P.; STRAMMA, L.; SCHMIDTKO, S. Drivers and mechanisms of ocean deoxygenation. *Nature Geoscience*, v. 11, n. 7, p. 467-473, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41561-018-0152-2>.
- PALACIO-CASTRO, A.; ENOCHS, I.; BESEMER, N.; BOYD, A.; JANKULAK, M.; KOLODZIEJ, G.; HIRSH, H.; WEBB, A. E.; TOWLE, E.; KELBLE, C.; SMITH, I.; MANZELLO, D. P. Coral reef carbonate chemistry reveals interannual, seasonal, and spatial impacts on ocean acidification off Florida. *Global Biogeochemical Cycles*, v. 37, n. 12, p. e2023GB007789, 2023.
- PEARCE-KELLY, P.; ALTIER, A. H.; BRUNO, J. F. et al. Assessment of warm-water coral reef tipping point thresholds. *Pré-impressão*, 2024.

Disponível em:
<https://esd.copernicus.org/preprints/esd-2023-35/>.

PEARCE-KELLY, P.; ALTIER, A. H.; BRUNO, J. F.; CORNWALL, C. E.; MCFIELD, M.; MUÑIZ-CASTILLO, A. I.; ROCHA, J.; SETTER, R. O.; SHEPPARD, C.; ROMAN-CUESTA, R. M.; YESSON, C. Considerations for determining warm-water coral reef tipping points. *Earth System Dynamics Discussions*, p. 1–31, 2024. DOI: <https://doi.org/10.5194/esd-2023-35>.

PEIXOTO, R. S.; VOOLSTRA, C. R. The baseline is already shifted: marine microbiome restoration and rehabilitation as essential tools to mitigate ecosystem decline. *Frontiers in Marine Science*, v. 10, n. 1218531, 2023.

PEIXOTO, R. S.; VOOLSTRA, C. R.; BAUMS, I. B.; CAMP, E. F.; GUEST, J.; HARRISON, P. L.; MONTOYA-MAYA, P. H.; POLLOCK, F. J.; SMITH, D. J.; WANGPRASEURT, D.; BANASZAK, A. T. The critical role of coral reef restoration in a changing world. *Nature Climate Change*, v. 29, n. 1, p. 1–4, 2024.

PEREIRA, P. H.; LIMA, G. V.; PONTES, A. V.; CÔRTEZ, L. G.; GOMES, E.; SAMPAIO, C. L.; SEOANE, J. C. S. Unprecedented Coral Mortality on Southwestern Atlantic Coral Reefs Following Major Thermal Stress. *Frontiers in Marine Science*, v. 9, n. 725778, 2022.

PETTORELLI, N.; BARLOW, J.; NUÑEZ, M. A.; RADER, R.; STEPHENS, P. A.; PINFIELD, T.; NEWTON, E. How international journals can support ecology from the Global South. *Journal of Applied Ecology*, v. 58, n. 1, p. 4–8, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13815>.

PRATES, A. P. (ed.). Atlas dos Recifes de Coral nas Unidades de Conservação Brasileiras. Brasília: MMA, 2003; 2006 (1ª e 2ª ed.). 177 p.

PRATES, A. P. Recifes de Coral e Unidades de Conservação Costeiras e Marinhas no Brasil: uma análise da representatividade e eficiência na conservação da biodiversidade. 2003. Tese (Doutorado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2003.

PRATES, A. P.; BLANC, D. (org.). Áreas aquáticas protegidas como instrumento de gestão pesqueira. Brasília: MMA, 2007. (Série Áreas Protegidas do Brasil, v. 4).

PUTNAM, H. M.; BAROTT, K. L.; AINSWORTH, T. D.; GATES, R. D. The vulnerability and resilience of reef-building corals. *Current Biology*, v. 27, n. 11, p. R528–R540, 2017.

RIBEIRO, F. V.; SÁ, J. A.; FISTAROL, G. O.; SALOMON, P. S.; PEREIRA, R. C.; SOUZA, M. L. A.; MOURA, R. L. Long-term effects of competition and environmental drivers on the growth of the endangered coral *Mussismilia braziliensis*. *PeerJ*, v. 6, p. e5419, 2018.

RIBEIRO, F. D. V.; CAIRES, T. A.; SIMÕES, M. A. D. A.; HARGREAVES, P. I.; VILLELA, L. B.; FISTAROL, G. D. O.; MOURA, R. L.; SALOMON, P. S. Benthic Cyanobacterial Diversity and Antagonistic Interactions in Abrolhos Bank: Allelopathy, Susceptibility to Herbivory, and Toxicity. *Frontiers in Marine Science*, v. 8, n. 790277, 2022.

RIEBESSELL, U.; KÖRTZINGER, A.; OSCHLIES, A. Sensitivities of marine carbon fluxes to ocean change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 106, p. 20602–20609, 2009.

RODRIGUES, R. R. Downside up: Science matters equally to the Global South. *Communications Earth & Environment*, v. 2, n. 100, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00171-1>.

SCHMIDTKO, S.; STRAMMA, L.; VISBECK, M. Decline in global oceanic oxygen content during the past five decades. *Nature*, v. 542, n. 7641, p. 335–339, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature21399>.

SILVEIRA, C. B. L.; STRENZEL, G. M. R.; MAIDA, M.; GASPAR, A. L. B.; FERREIRA, B. P. Coral Reef Mapping with Remote Sensing and Machine Learning: A Nurture and Nature Analysis in Marine Protected Areas. *Remote Sensing*, v. 13, n. 15, 2907, 2021.

SKIRVING, W. J.; HERON, S. F.; MARSH, B. L. et al. The relentless march of mass coral bleaching: a global perspective of changing heat stress. *Coral Reefs*, v. 38, p. 547–557, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00338-019-01799-4>.

SOARES, M.; RABELO, E. F. Primeiro registro de branqueamento de corais no litoral do Ceará (NE, Brasil): indicador das mudanças climáticas? *Geociências*, v. 33, n. 1, p. 1–10, 2014.

SOUTER, D.; PLANES, S.; WICQUART, J.; LOGAN, M.; OBURA, D.; STAUB, F. (eds.). *Status of coral reefs of the world: 2020 report*. Global Coral Reef Monitoring Network (GCRMN) & International Coral Reef Initiative (ICRI), 2021. DOI: <https://doi.org/10.59387/WOTJ9184>.

SPADY, B.; SKIRVING, W.; DE LA COUR, J.; MCDONALD, C. J.; MANZELLO, D. P. Unprecedented early-summer heat stress and forecast of coral bleaching on the Great Barrier Reef, 2021–2022. *F1000 Research*, v. 11, p. 127, 2022. DOI:

<https://doi.org/10.12688/f1000research.108724.1>.

STOTT, P. A.; CHRISTIDIS, N.; OTTO, F. E. L.; SUN, Y.; VANDERLINDEN, J.; VAN OLDENBORGH, G. J.; VAUTARD, R.; VON STORCH, H.; WALTON, P.; YIOU, P.; ZWIERS, F. W. Attribution of extreme weather and climate-related events. *WIREs Climate Change*, v. 7, n. 1, p. 23-41, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1002/wcc.380>.

TEIXEIRA, C. D.; LEITAO, R. L.; RIBEIRO, F. V.; MORAES, F. C.; NEVES, L. M.; BASTOS, A. C.; MOURA, R. L. Sustained mass coral bleaching (2016-2017) in Brazilian turbid-zone reefs: taxonomic, cross-shelf and habitat-related trends. *Coral Reefs*, v. 38, n. 4, p. 801-813, 2019.

TEIXEIRA, C. D.; CHIROQUE-SOLANO, P. M.; RIBEIRO, F. V.; CARLOS-JÚNIOR, L. A.; NEVES, L. M.; SALOMON, P. S.; MOURA, R. L. Decadal (2006-2018) dynamics of Southwestern Atlantic's largest turbid zone reefs. *PLoS One*, v. 16, n. 2, p. e0247111, 2021.

VAN HOOIDONK, R.; MAYNARD, J.; MANZELLO, D. P.; PLANES, S. Opposite latitudinal gradients in projected ocean acidification and bleaching impacts on coral reefs. *Global Change Biology*, v. 20, n. 1, p. 103-112, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.12394>.

VAN HOOIDONK, R.; MAYNARD, J. A.; LIU, Y.; LEE, S. Downscaled projections of Caribbean coral bleaching that can inform conservation planning. *Global Change Biology*, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.12901>.

VIDAL, T. J. et al. Mortality patterns and recovery challenges in *Millepora alcicornis* after mass bleaching event on Northeast Brazilian reefs. *Marine Environmental Research*, v. 204, p. 106864, 2025.

VILLELA, L. B.; DA SILVA-LIMA, A. W.; MOREIRA, A. P. B.; AIUBE, Y. R. A.; RIBEIRO, F. D. V.; VILLELA, H. D. M.; MAJZOUB, M. E.; AMARIO, M.; MOURA, R. L.; TORSTEN, T.; PEIXOTO, R. S.; SALOMON, P. S. Bacterial and Symbiodiniaceae communities' variation in corals with distinct traits and geographical distribution. *Scientific Reports*, v. 14, n. 1, p. 24319, 2024.

VOOLSTRA, C. R.; RAINA, J. B.; DÖRR, M.; CÁRDENAS, A.; POGOREUTZ, C.; SILVEIRA, C. B.; MOHAMED, A. R.; BOURNE, D. G.; LUO, H.; AMIN, S. A.; PEIXOTO, R. S. The coral microbiome in sickness, in health and in a changing world. *Nature Reviews Microbiology*, v. 4, p. 1-6, 2024.

XU, T.; NEWMAN, M.; CAPOTONDI, A.; STEVENSON, S.; DI LORENZO, E.; ALEXANDER, M. A. An increase in marine heatwaves without

significant changes in surface ocean temperature variability. *Nature Communications*, v. 13, n. 1, p. 7396, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-022-34934-x>.

ZOFFOLI, M. L.; FROUIN, R.; MOURA, R. L.; MEDEIROS, T. A. G.; BASTOS, A. C.; KAMPEL, M. Spatial distribution patterns of coral reefs in the Abrolhos region (Brazil, South Atlantic ocean). *Continental Shelf Research*, v. 246, 104808, 2022.



A complexidade dos efeitos das mudanças ambientais e climáticas globais, incluindo suas projeções futuras, demanda abordagens inter e transdisciplinares. Essas abordagens são essenciais para compreender as interações entre os sistemas sociais, biofísicos e ecológicos, caracterizando os riscos de impacto, a vulnerabilidade, as possibilidades de mitigação de suas causas, e as soluções de adaptação. O Centro de Síntese em Mudanças Ambientais e Climáticas – SIMACLIM tem como principal missão integrar pesquisas acumuladas e em curso de várias redes e grupos de pesquisa nacionais e internacionais, organizando informações e auxiliando no planejamento do Estado brasileiro para alcançar metas estabelecidas em acordos sobre Mudanças Climáticas. O SIMACLIM está sendo financiado pelo MCTI através do Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – FNDCT, Processo FINEP 01.22.0584.00.

<https://simacлим.com.br/>

@simacлим

Coordenação Geral:

Moacyr Cunha de Araujo Filho

Conselho Consultivo:

Aloísio Lopes de Melo (MMA)

Ana Paula Leite Prates (MMA)

Jean Pierre Henry Balbaud Ometto (Rede Clima)

Líliam Beatris Chagas de Moura (MRE)

Márcio Rojas da Cruz (MCTI)

Moacyr Cunha de Araujo Filho (Rede Clima)

Oswaldo Luiz Leal de Moraes (MCTI)

Pedro Ivo Ferraz da Silva (MRE)

Gestão Administrativa:

Leonardo Bruto Vieira da Costa

Secretaria Executiva:

Claudia von Sohsten Cavalcanti

Érica Menero

Izabelle Lima Cabral

Assessoria de Comunicação:

Pedro Zanforlin Marcondes de Carvalho

REALIZAÇÃO:



SIMACLIM

Centro de Síntese em Mudanças Ambientais e Climáticas

APOIO:



Rede Clima
Mudanças Climáticas
Globais no Brasil



Conselho Nacional de Desenvolvimento
Científico e Tecnológico



UFPE



Finep
INOVAÇÃO E PESQUISA

MINISTÉRIO DA
CIÊNCIA, TECNOLOGIA
E INOVAÇÃO



GOVERNO FEDERAL

UNIÃO E RECONSTRUÇÃO