



## ECOSSISTEMAS RECIFIAIS DO PARANÁ E AS AMEAÇAS A SUA PRESERVAÇÃO

Franciane Pellizzari<sup>1</sup> , Maria Angélica Haddad<sup>2</sup> , Rafael Metri<sup>3</sup> ,  
Jonathan Rene Arzão Molina<sup>4</sup> , Eliel Alves<sup>5</sup>  & Rosana Moreira da Rocha<sup>6\*</sup> 

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Paraná, *Campus* Paranaguá, Laboratório de Ficologia e Qualidade de Água Marinha, Programa de Pós-Graduação Ambientes Litorâneos e Insulares, Rua Comendador Correa Junior, 117, 83203-560, Paranaguá, Paraná, Brazil.

<sup>2</sup> Universidade Federal do Paraná, Departamento de Zoologia, Programa de Pós-Graduação em Zoologia, CP 19020, 81531-980, Curitiba, Paraná, Brazil.

<sup>3</sup> Universidade Estadual do Paraná, *Campus* Paranaguá, Laboratório de Ecologia e Conservação, Programa de Pós-Graduação Ambientes Litorâneos e Insulares, Rua Comendador Correa Junior, 117, 83203-560, Paranaguá, Paraná, Brazil.

<sup>4</sup> Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, CP 19031, 81531-980, Curitiba, Paraná, Brazil.

<sup>5</sup> Universidade Estadual do Paraná, *Campus* Paranaguá, Laboratório de Ecologia e Conservação, Programa de Pós-Graduação Ambientes Litorâneos e Insulares, Rua Comendador Correa Junior, 117, 83203-560, Paranaguá, Paraná, Brazil.

<sup>6</sup> Universidade Federal do Paraná, Departamento de Zoologia, CP 19020, 81531-980, Curitiba, Paraná, Brazil.

E-mails: franciane.pellizzari@unespar.edu.br; mahaddad@ufpr.br; rmetri@gmail.com; jonathanrene.m7@gmail.com; eliel.c.alves01@gmail.com; rmrocha@ufpr.br (\*corresponding author)

**Resumo:** Os ecossistemas recifais compreendem os ambientes naturais e artificiais nos quais prevalecem substratos consolidados, que fornecem habitat para uma rica comunidade de organismos marinhos sésseis, incluindo macroalgas e invertebrados, além de servir como abrigo para invertebrados vígeis e de local de alimentação e reprodução para diversas espécies de megafauna. No litoral do Paraná, entre os ambientes naturais destacam-se lages, recifes submersos e os costões rochosos em diversas áreas, como na Ilha do Mel e em outras ilhas, tanto costeiras e como dentro das baías estuarinas. Entre os ambientes artificiais, destacam-se os portos e trapiches dentro das baías, bem como os recifes artificiais e as obras de construção civil na plataforma rasa. A presente revisão aborda, além de descrições desses ambientes, os impactos ambientais sobre os mesmos, sendo que entre os mais estudados estão a contaminação da água por efluentes industriais, orgânicos e plástico, a bioinvasão por espécies exóticas e a pesca. Esta revisão, realizada a partir de pesquisa em literatura especializada e da experiência dos autores na região, evidencia a importância de monitorar e proteger os costões rochosos do Paraná frente a essas ameaças. Há uma lacuna significativa na pesquisa sobre os impactos em médio e longo prazo da poluição e das alterações climáticas nas comunidades dos costões da região, o que ressalta a necessidade urgente de estudos adicionais para garantir a conservação e a gestão sustentável desses ecossistemas marinhos.

**Palavras-chave:** bioinvasão; conservação ambiental; contaminação ambiental; costão rochoso; mudanças climáticas.

**PARANÁ REEF ECOSYSTEMS AND THE THREATS TO THEIR PRESERVATION:** Reef ecosystems comprise natural and artificial environments in which consolidated substrates prevail, providing habitat for a rich community of sessile marine organisms, including macroalgae and invertebrates, in addition to serving as shelter for vagile invertebrates and as a feeding and breeding site for several species of megafauna. On the coast of Paraná, natural environments include slabs, submerged reefs and rocky shores in several areas, such as Ilha do Mel and other islands, both coastal and within estuarine bays. Artificial environments include ports and piers within bays, as well as artificial reefs and construction works on the shallow platform. In addition to describing these ecosystems, this review addresses their environmental threats, with the most studied being water contamination by industrial effluents, organic waste and plastic, bioinvasion by exotic species and fishing. This review, based on research in specialized literature and the authors' experience in the region, highlights the importance of monitoring and protecting the rocky coasts of Paraná from these threats. There is a significant gap in research on the medium- and long-term impacts of pollution and climate change on coastal communities in the region, which highlights the urgent need for additional studies to ensure the conservation and sustainable management of these marine ecosystems.

**Keywords:** bioinvasion; environmental conservation; environmental contamination; rocky coast; climate change.

---

## INTRODUÇÃO

Os ecossistemas recifais, formados pelos substratos marinhos consolidados (“marine hard substrata” em inglês) podem ser classificados em abiogênicos – as formações rochosas de diferentes constituições minerais e conhecidas como costões rochosos, biogênicos – formações de invertebrados ou algas com esqueletos mineralizados conhecidas como recifes naturais, e antropogênicos – os recifes artificiais (Coutinho & Zalmon 2009, Coutinho *et al.* 2016).

Total ou parcialmente imersos nas águas do mar, os ecossistemas recifais constituem o habitat de uma comunidade de organismos marinhos de alta diversidade, em que a principal adaptação é a capacidade de se fixar ou aderir fortemente ao substrato, seja diretamente ou a outros organismos já fixos, na condição de epibiose. Desde cianobactérias, quase todos os grupos taxonômicos marinhos têm representantes nessa comunidade: macroalgas, Porifera, Cnidaria, Bryozoa, Polychaeta tubícolas, Bivalvia, Cirripedia e Ascidiacea compõem a comunidade fixa (= incrustante) desse ecossistema. A esta comunidade, juntam-se centenas de espécies móveis que aderem fortemente ao substrato, como Echinodermata, muitos caramujos (Gastropoda) e polvos (Cephalopoda), ou que se escondem nas reentrâncias, grutas e fendas das rochas, como caranguejos e lagostas (Crustacea-Decapoda). Esse

ambiente propicia alimentação, abrigo e local de reprodução para a megafauna. Daros *et al.* (2012) apresenta a lista mais recente de peixes recifais da costa paranaense, com 66 espécies observadas em 2008 e 2009, nas Ilhas do Parque Marinho de Currais e na Ilha de Itacolomis, incluindo seis categorias tróficas distintas. Os grandes meros *Epinephelus itajara*, que atraem mergulhadores e estão sob proteção contra a pesca no Brasil, usam a região para a reprodução (Bueno *et al.* 2016).

A zona entremarés dos costões rochosos é a parte sujeita às variações de altura das marés e ao batimento das ondas, portanto um ambiente desafiador (Figura 1). Devido à fácil acessibilidade, é o ambiente marinho mais estudado e mais sujeito à degradação antropogênica (Thompson *et al.* 2002, Coutinho & Zalmon 2009). A alta diversidade da comunidade de costões rochosos resulta em uma rede trófica complexa, mas um estudo mais detalhado destas redes tróficas em costões rochosos do Paraná não foi ainda realizado. A biodiversidade do litoral paranaense já foi registrada desde a década de 1940 por Marcus (1941, Bryozoa) e Vannucci (1951, Hydrozoa). Após um período quase destituído de estudos, a pesquisa em costões rochosos do Paraná foi retomada na década 1990 e segue progredindo até o presente, com abordagens de taxonomia (Rocha & Nasser 1998, Rocha & Faria 2005, Lacerda & Masunari 2011, Van Ofwegen & Haddad 2011, Haddad *et al.* 2014, Ajala-Batista *et al.* 2020), de



**Figura 1.** Ecossistemas recifais entremarés: a) Poça de maré na Ilha da Galheta, Paranaguá, b) Ilha da Banana, Baía de Paranaguá, C) Morro do Cristo, Guaratuba, d) Ilha do Farol, Matinhos, e) zonação mostrando a faixa de cirripédios, bivalves e algas no Morro de Caiobá, Matinhos.

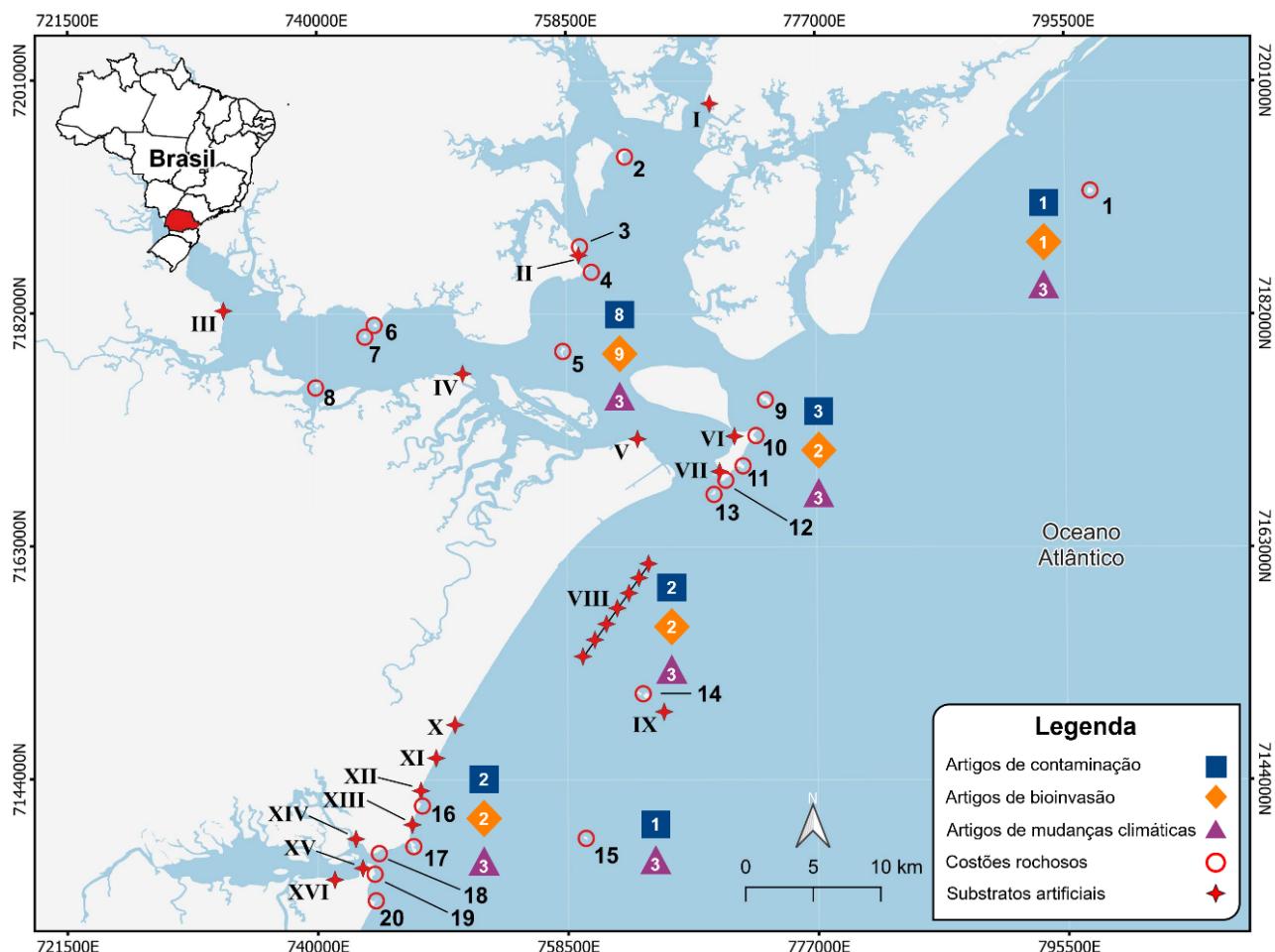
**Figure 1.** Intertidal reef ecosystems: a) Tide pool on Galheta Island, Paranaguá, b) Banana Island, Paranaguá Bay, C) Morro do Cristo, Guaratuba, d) Farol Island, Matinhos, e) zonation showing the range of barnacles, bivalves and algae on Morro de Caiobá, Matinhos.

ecologia (Oliveira & Masunari 1995, 2006, Bettim & Haddad 2007, Saucsen-Weisheimer *et al.* 2021, Derviche & Lana 2022, Miranda & Tavares 2024) e de fisiologia (Vidolin *et al.* 2007, Bueno *et al.* 2015).

A planície litorânea do Paraná estende-se por 10 a 20 km de largura, atingindo 50 km no eixo leste-oeste do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP). Esta planície é bordejada a oeste pela Serra do Mar, originando os recifes costeiros abiógênicos com predominância de granitos e gnaisses na linha de transição entre o ambiente terrestre e o marinho. As maiores formações rochosas da orla litorânea ocorrem na Ilha do Mel, situada na entrada da Baía de Paranaguá, com destaque para o Morro do Farol e o Morro do Sabão. Ao lado sul da Ilha do Mel aparece a pequena ilha rochosa da Galheta e do lado norte, a Ilha das Palmas. As margens internas dos estuários e de suas ilhas são também pontilhadas por costões rasos no entremarés. Segundo pelas praias de Pontal do Paraná e Matinhos, somente o Pico de Matinhos interrompe a longa faixa arenosa, antes de chegar no Morro de Caiobá, no limite sul do Município de Matinhos. A pequena Ilha Mansa

(ou do Farol), junto ao Morro de Caiobá, marcam o ponto Norte da entrada da Baía de Guaratuba (Figura 2). O limite sul desta baía compreende o Morro das Caieiras, com a praia das Caieiras e das Pedras, já no Município de Guaratuba. Uma pequena enseada forma a Praia Central da cidade de Guaratuba, terminando no turístico Morro do Cristo. Em direção ao Sul, a extensa faixa arenosa termina no Balneário Barra do Saí, onde o rio Saí-guaçu é o limite sul do litoral paranaense, tendo em frente à sua foz o afloramento rochoso da Ilha do Saí-Guaçu. Ao centro desta pequena ilha, há um marco que a divide em duas porções, a porção norte é território de Guaratuba e a sul é de Itapoá, o vizinho Município Santa Catarina.

Na plataforma continental, se destacam o Parque Nacional Marinho do Arquipélago das Ilhas de Currais, e as Ilhas Itacolomis, situadas respectivamente a 11 km e 13 km da orla de Pontal do Paraná e Matinhos. Além destas formações originadas pelas rochas da Serra do Mar, encontram-se recifes de arenito (“beachrocks” and “sandstone reefs”, em inglês), em blocos de não mais de 3 m de



**Figura 2.** Localização de ecossistemas naturais e artificiais e a produção científica sobre impactos ambientais em diferentes regiões da costa do Paraná. Ecossistemas naturais (costões rochosos): 1. Ilha da Figueira, 2. Ilha das Gamelas, 3. Ponta do Ubá, 4. Ilha da Banana, 5. Ilha das Cobras, 6. Ilhas do Lamin, 7. Ilhas do Jererê, 8. Ilha Guararema, 9. Ilha das Palmas, Ilha do Mel: 10. Morro do Farol e Praia de Fora, 11. Praia do Miguel e Morro do Sabão, 12. Gruta das Encantadas e Farol das Encantadas; 13. Ilha da Galheta; 14. Parque Nacional Marinho Arquipélago dos Currais, 15. Ilha de Itacolomi, 16. Pico de Matinhos, 17. Morro de Caiobá e Ilha do Farol; 18. Prainha, 19. Praia de Caieiras, 20. Morro do Cristo. Ecossistemas artificiais: I. Trapiche Guaraqueçaba, II. Trapiche da Ponta do Ubá, III. Terminal Portuário de Antonina, IV. Porto de Paranaguá, V. Marina da Ponta do Poço e Unidade Techint, VI. Trapiche Brasília, VII. Trapiche de Encantadas, VIII. Recifes Artificiais 1, IX. Recifes Artificiais 2, X. Molhe Balneário Flórida, XI. Molhe Balneário Riviera, XII. Molhe Balneário Flamingo, XIII. Molhe Praia Brava, XIV. Iate Clube Caiobá, XV. Ferry Boat, XVI. Iate Clube Guaratuba.

**Figure 2.** Location of natural and artificial ecosystems and scientific production on environmental impacts in different regions of the Paraná coast. Natural ecosystems (rocky coasts): 1. Figueira Island, 2. Gamelas Island, 3. Ubá Point, 4. Banana Island, 5. Cobras Island, 6. Lamin Islands, 7. Jererê Islands, 8. Guararema Island, 9. Palmas Island, Mel Island: 10. Morro do Farol and Fora beach, 11. Miguel beach and Morro do Sabão, 12. Gruta das Encantadas and Encantadas Lighthouse, 13. Galheta Island, 14. Currais Archipelago Marine National Park, 15. Itacolomi Island, 16. Pico de Matinhos, 17. Morro de Caiobá and Farol Island, 18. Prainha, 19. Caieiras Beach, 20. Morro do Cristo. Artificial ecosystems: I. Guaraqueçaba Pier, II. Ponta do Ubá Pier, III. Antonina Portuary Terminal, IV. Paranaguá Port, V. Ponta do Poço Marina and Techint Unit; VI. Brasília Pier, VII. Encantadas Pier, VIII. Artificial Reefs 1, IX. Artificial Reefs 2, X. Flórida Beach Breakwater, XI. Riviera Beach Breakwater, XII. Flamingo Beach Breakwater, XIII. Praia Brava Breakwater; XIV. Caiobá Yacht Club, XV. Ferry Boat, XVI. Guaratuba Yacht Club.

comprimento e 1 m de altura (Soeth *et al.* 2020). Diferente das formações do Nordeste brasileiro, são todos submersos entre 6 e 33 m de profundidade, e distantes da linha da costa entre 17 a 48 km (Simioni *et al.* 2018, Soeth *et al.* 2020). A comunidade bentônica dos recifes de arenito do Paraná difere daquela dos recifes de costões das Ilhas dos Currais (Pellizzari *et al.* 2014, Bumbeer *et al.* 2016). Bryozoa, Hydrozoa e algas não identificados (38%) apresentam a maior abundância, assim como uma espécie de Porifera, o hidróide *Macrorhynchia* sp. e o octocoral *Carijoa riisei* (Fig. 3). O censo visual de peixes indicou que 81% das espécies (29) são habitantes permanentes dos recifes de arenito, sendo várias de importância comercial e conservacionista como as garoupas (Soeth *et al.* 2020).

Além deste sistema de recifes costeiros naturais, encontramos no Paraná um sistema de recifes artificiais formado por blocos de concreto submersos especialmente a partir de 2008 (Figuras 2 e 3). Estes recifes foram criados com objetivos conservacionistas para recuperação da biodiversidade marinha, recrutamento larval e também como sistemas antiarrasto (Brandini & Silva 2011). A comunidade incrustante dos recifes artificiais no entorno do Arquipélago de Currais, Itacolomis e outros pontos da plataforma rasa do Paraná são consideradas menos ricas e diversas que nos ambientes rochosos naturais, por serem menores, mais profundos e com menor incidência de luz (Brandini & Silva 2011). Ainda assim sustentam comunidades variadas formadas especialmente por animais incrustantes filtradores e suspensívoros. Como nas rochas submersas, os recifes de concreto

tendem a ser totalmente recobertos pela biota, normalmente formando *turfs* ou agrupamentos multiespecíficos com gorgônias, briozoários e hidrozoários, e manchas de esponjas e ascídias coloniais, diferindo dos recifes rochosos mais rasos com predomínio de algas do tipo *turfe* zoantídeos (Bumbeer *et al.* 2016, REBIMAR 2023). Além dos recifes artificiais, construções costeiras como o Porto de Paranaguá, trapiches e marinas e, mais recentemente, a construção de espigões para contenção de areia em Matinhos e a da ponte ligando Matinhos a Guaratuba completam os ambientes recifais artificiais do Paraná.

Apesar da presença deste complexo sistema de ecossistemas recifais, as feições mais marcantes e melhor estudadas do litoral do Paraná são suas baías costeiras, incluindo o Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP) e a Baía de Guaratuba, e os ambientes sedimentares, incluindo as praias arenosas. O CEP é o terceiro maior estuário da costa brasileira, depois da Baía de Todos os Santos (BA) e de Guanabara (RJ). Possui área de 667 km<sup>2</sup> e abrange as Baías de Paranaguá e de Antonina, no eixo leste-oeste, e as Baías de Laranjeiras e Pinheiros em direção ao norte. A Baía de Guaratuba encontra-se mais ao sul, estendendo-se por 15 km terra adentro, com cerca de 50 km<sup>2</sup> de área (Mizerkowiski *et al.* 2012, Pellizzari & Gomes-Figueiredo 2021). No interior destas baías encontram-se também costões rochosos bordejando pequenas ilhas, como por exemplo a Ilha das Cobras e Ilha das Bananas no CEP e Ilha do Rato e Ilha da Pescaria na Baía de Guaratuba.



**Figura 3.** Ecossistemas recifais infralitorais: a, b) recifes de arenito, foto: R. Loose, c) recife artificial de concreto.

**Figure 3.** Infralittoral reef ecosystems: a, b) sandstone reefs, photo: R. Loose, c) artificial concrete reef.

Em contraste com o grande número de estudos e sínteses voltadas aos ambientes lagunares do Paraná que chamam a atenção para a necessidade de sua conservação (Lana *et al.* 2001), os ecossistemas recifais têm sido negligenciados, mas não menos ameaçados pelos impactos decorrentes das atividades humanas. Desta forma, o objetivo desta revisão foi sintetizar o conhecimento sobre ameaças potenciais ou já estudadas que impactam os ecossistemas recifais do litoral do Paraná, destacando-se as consequências para sua biodiversidade e serviços ecossistêmicos.

## MATERIAL E MÉTODOS

Esta revisão foi realizada a partir das bases de publicações científicas Scopus e Google Scholar com busca por meio das palavras chave Paraná AND rocky shore OR reef OR sessil community OR encrusting community OR algae AND conservation OR climate change OR bioinvasion OR pollution OR contamination sem especificar recorte temporal. Os artigos recuperados também forneceram novas fontes de consulta em suas referências. Além disso, os autores trabalham há algum tempo na temática e acrescentaram literatura sobre as ameaças aos ambientes marinhos costeiros, que não apareceu nas buscas.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontrados 235 documentos, mas apenas 26 artigos efetivamente descreveram ameaças aos ambientes recifais do Paraná, sendo que 25 deles podem ser classificados em três tipos principais: contaminação da água do mar (11), bioinvasão (11) e mudanças climáticas (3). O artigo restante focou em impactos da pesca. É possível observar que o estudo e registro formal destes impactos só tem início em 2005 com estudos de bioinvasão, e estudos de contaminação ambiental a partir de 2006, enquanto que apenas dez anos após é publicado o primeiro artigo sobre mudanças climáticas, sendo este último tema bem menos abordado (Fig. 4).

O litoral do Paraná não foi estudado de maneira homogênea em toda a sua extensão, sendo que tanto os estudos de bioinvasão como de contaminação ocorreram principalmente na Ilha do Mel e dentro do Complexo Estuarino de Paranaguá, enquanto que os de mudanças climáticas referem-se a todo o litoral (Figura 2).

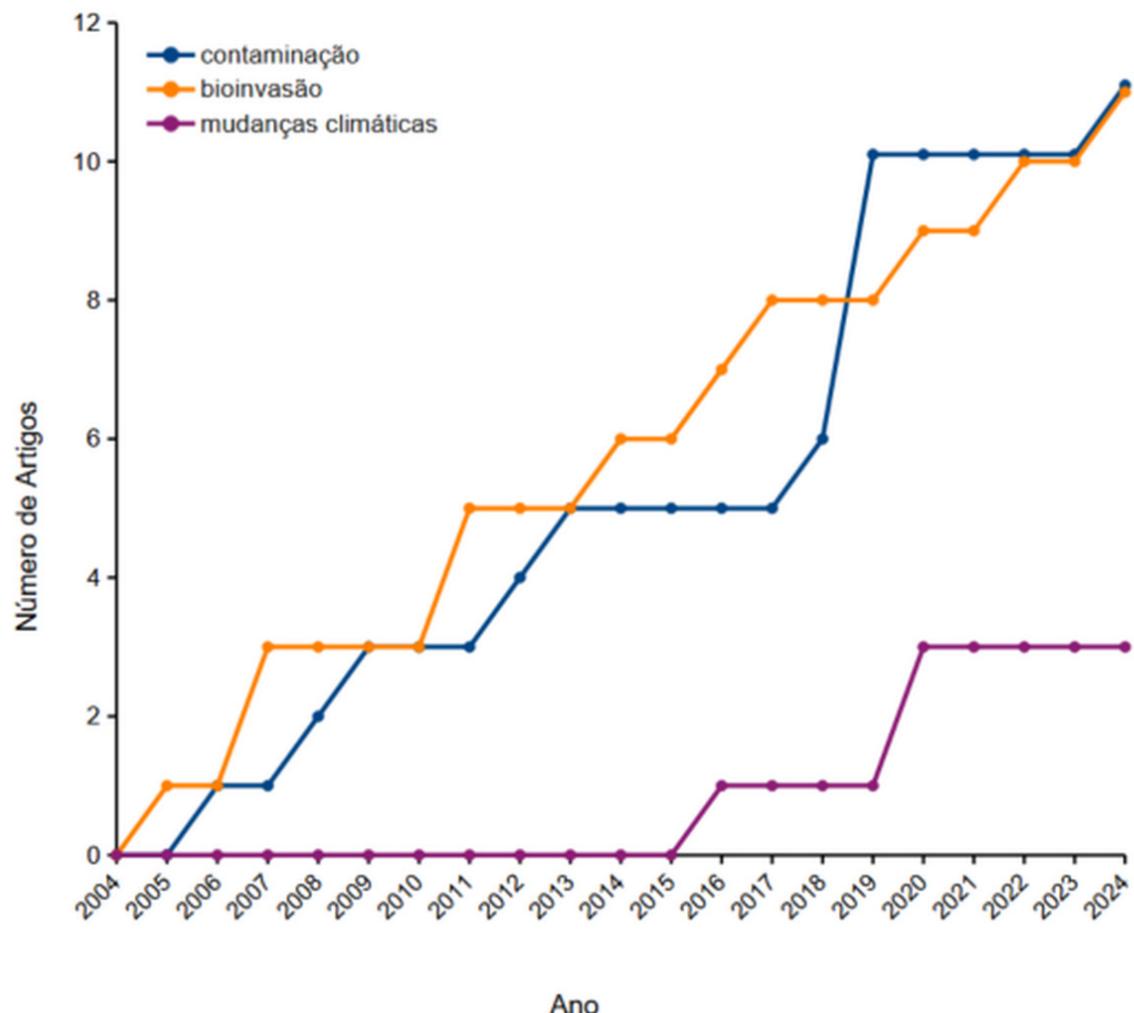
É importante ressaltar também que os artigos encontrados, em sua grande maioria, detectam as ameaças ambientais, mas não chegam a mensurar impactos diretos à biodiversidade dos ambientes recifais ou a seus serviços ecossistêmicos. Portanto, muitas das considerações a seguir representam potenciais ameaças e indicam os principais temas nos quais estudos futuros devem se concentrar.

### **Mudanças climáticas**

As mudanças climáticas, que são fruto de trocas oceano-atmosfera, estão afetando drasticamente tanto a temperatura quanto a circulação oceânica (Pontes *et al.* 2016) no Atlântico Sudoeste, especialmente ao longo da costa sul do Brasil (Franco *et al.* 2020a). Estas mudanças já foram associadas a modificações na distribuição de espécies pelágicas exploradas pela pesca comercial (Franco *et al.* 2020b) e manguezais (Soares *et al.* 2012, Freitas *et al.* 2016), além de sugerir potenciais mudanças futuras de hábito alimentar e na ocorrência de tartarugas marinhas (Gama *et al.* 2021).

Dentre as ameaças à diversidade de macroalgas no Brasil, e principalmente na região sul, tem sido observado um declínio das populações de algas marinhas perenes nas últimas décadas principalmente nas Divisões Rhodophyta e Phaeophyceae, vermelhas e marrons, respectivamente (Gorman *et al.* 2020). Já as Ulvophyceae (macroalgas verdes marinhas) estão aumentando gradativamente a frequência e a biomassa nas florações (*green tides* ou marés verdes), as quais podem arribar nas praias (Hiraoka 2021). Scherner *et al.* (2013) avaliaram o impacto da urbanização ao longo de um gradiente latitudinal abrangendo três regiões ficogeográficas no SW do Atlântico. Os autores, assim como Pellizzari *et al.* (2014), demonstraram um declínio notável em Phaeophyceae e um aumento substancial de Chlorophyta em áreas urbanas através de um amplo gradiente latitudinal, sugerindo que a urbanização costeira causará perdas substanciais da biodiversidade de algas marinhas no Atlântico Sudoeste.

Além da mudança na temperatura da superfície da água do mar, as mudanças na biota podem estar associadas a diversos parâmetros meteorológicos e oceanográficos combinados, principalmente nos estados do Sul do Brasil. Esta área está naturalmente sujeita a variações climáticas abruptas, devido à influência da Corrente das Malvinas, a fluxos



**Figura 4.** Número acumulado de artigos que reportam estudos de ameaças aos ecossistemas recifais do litoral do Paraná.

**Figure 4.** Cumulative number of articles reporting studies on threats to reef ecosystems on the coast of Paraná.

ascendentes ocasionais da Água Central do Atlântico Sul (SACW), mais profunda e fria, e a mudanças agudas na geomorfologia da costa (Zharkov & Nof 2010, Pellizzari *et al.* 2014, Franco *et al.* 2020b). Como resultado das mudanças climáticas, espera-se também um aumento na ocorrência e intensidade de eventos climáticos extremos. Eventos extremos representam distúrbios que causam mudanças de processos ecológicos, ou no ambiente abiótico, mais abruptas e intensas em relação àquelas experimentadas durante a história de vida da maioria dos organismos (Verges *et al.* 2014). Portanto, essa variação extrema pode ser biologicamente mais significativa do que as tendências de mudança de longo prazo, às quais os organismos têm maior probabilidade de se aclimatar, adaptar e, em última análise, evoluir (Wernberg *et al.* 2013).

As ondas de calor marinhas são eventos climáticos extremos caracterizados como aumentos de temperatura de ao menos 4°C, com duração de pelo menos 5 dias a partir do máximo observado historicamente para a temperatura de dado local (Hobday & Pecl 2013). Gouvêa *et al.* (2017) avaliaram os efeitos únicos e combinados de ondas de calor simuladas e eutrofização na ecofisiologia de *Laurencia catarinensis*. Os autores observaram que o aumento da temperatura influenciou o desempenho da espécie e espera-se que esse efeito seja mais intenso em sistemas costeiros impactados por urbanização. Impactos também são esperados para a sobrevivência e desenvolvimento da fauna de costões, como projetam Marochi *et al.* (2024) ao demonstrar a diminuição da viabilidade de larvas de caranguejos de costão em simulações de ondas de calor.

A absorção de dióxido de carbono atmosférico ( $\text{CO}_2$ ) pelos oceanos têm aumentado gradativamente nas últimas duas décadas, e uma das respostas a esta crescente concentração é a diminuição do pH da água superficial marinha, que em geral está entre 8.1-8.2 em zonas mais distantes da costa. Na água do mar, as mudanças de pH controlam o equilíbrio do carbono inorgânico dissolvido, com a alta concentração de  $\text{CO}_2$  aumentando os íons  $\text{H}^+$  no oceano, diminuindo o pH. Espera-se que organismos calcificados sejam os mais prejudicados, pois o baixo pH impede a mineralização dos esqueletos formados por carbonato de cálcio (Koch *et al.* 2013), mas a resposta depende também do pH natural de cada local (Figueroa *et al.* 2021). Porém, não existem estudos com animais de sistemas recifais brasileiros que apresentam esqueletos calcários. Nauer *et al.* (2021) reportam que a taxa de crescimento de *Hypnea pseudomusciformis*, uma alga encontrada em Santa Catarina, diminuiu significativamente com a diminuição controlada de pH *in vitro*. Podemos esperar resposta similar em outras espécies do gênero, que são encontradas no Paraná (Pellizzari *et al.* 2014). A acidificação oceânica em sinergia com o aumento do escoamento continental de água e a exploração de petróleo e gás afetam a eficiência fotossintética de algas calcárias, incluso rodolitos de ilhas isoladas, e de toda a comunidade de organismos associados, devido a mudanças de temperatura, pH, aumento na turbidez e deposição de sedimentos (Pellizzari *et al.* 2020).

### **Contaminação costeira**

A presença do Porto de Paranaguá na Baía de Paranaguá é uma fonte constante de diferentes impactos ambientais, que também atingem os costões rochosos da região. A movimentação dos navios e suas cargas pode causar o derramamento de combustíveis e de outros contaminantes na água, e são fontes de propágulos (larvas, esporos, ovos) de espécies exóticas invasoras que podem se aproveitar das próprias estruturas do porto e de outras construções civis nas proximidades para estabelecer-se e posteriormente invadir os costões rochosos naturais (Neves *et al.* 2007). Além disso, a atividade portuária também atrai indústrias à região que aumentam a chance de contaminação da água por efluentes ou pelos gases eliminados.

Apenas neste século a Baía de Paranaguá foi palco de três grandes acidentes envolvendo a indústria do Petróleo e a movimentação de navios. Em 2001, ocorreu o rompimento de um duto da Petrobrás e o vazamento de quatro mil litros de óleo diesel em um afluente do Rio Nhundiaquara, e neste mesmo ano, o navio petroleiro Norma chocou-se em uma rocha, resultando em um vazamento de 392 mil litros de nafta. Em 2004 houve a explosão do navio tanque chileno Vicuña no Porto de Paranaguá, provocando o vazamento de cerca de quatro milhões de litros de óleo (Noernberg *et al.* 2008). Estes acidentes causaram restrição de atividades de pesca na região, e impacto em peixes (Ribeiro *et al.* 2013) e na fauna de praia (Borzone & Rosa 2009), mas a biota dos costões rochosos nunca foi estudada. Os impactos esperados nesta biota são de natureza física, causados pelo recobrimento e asfixia dos organismos por frações pesadas ou intemperizados do óleo, e efeitos químicos associados à toxicidade dos óleos de menor densidade (Milanelli 2003). Em geral, o resultado é a morte dos organismos ou redução de sua capacidade reprodutiva, aumento da sensibilidade a outros estressores ambientais, bioacumulação de contaminantes tóxicos que impactam toda a cadeia alimentar (Milanelli 2003), reduzindo recursos para a alimentação humana.

Os ambientes recifais do Paraná também estão sujeitos a outras formas de contaminação, como, por exemplo, os metais pesados. No ambiente estuarino da baía de Paranaguá, a ascídia *Microcosmus exasperatus* foi considerada um potencial bioindicador, devido ao acúmulo de muitos metais tanto na túnica como nos tecidos corporais, com destaque para alguns metais pesados como cádmio, chumbo, cromo, níquel e vanádio (Metri *et al.* 2019). Um único estudo realizado em ambiente marinho, avaliou a contaminação de duas espécies de peixes e do ouriço-do-mar *Echinometra lucunter* nas ilhas Itacolomis, e encontrou cádmio, arsênio e mercúrio nos peixes, e arsênio e mercúrio nas gônadas os ouriços (Santos *et al.* 2018), indicando perigo para o consumo humano.

A contaminação de praias paranaenses por estruturas plásticas, claramente provenientes de fontes internas à Baía de Paranaguá (Nagai *et al.* 2024), demonstra que outras contaminações geradas nesta Baía podem impactar não apenas os sistemas recifais estuarinos internos na Baía como também

aqueles externos. Não existem estudos específicos sobre os impactos de contaminação química ou por plásticos nos sistemas recifais marinhos do Paraná, uma lacuna que deve ser pesquisada no futuro.

A presença de cidades litorâneas também contribui para a contaminação do mar adjacente. Se por um lado as algas e os organismos filtradores geralmente se beneficiam com o aumento de resíduos orgânicos na água, o excesso destes (eutrofização) pode levar à formação de florações intensas de microalgas (marés vermelhas), muitas vezes produtoras de toxinas. Em 2016, o litoral do Paraná presenciou um dos maiores eventos mundiais de floração do complexo *Dinophysis acuminata*, um dinoflagelado produtor de toxinas e responsável pela intoxicação diarreica na população (Mafra *et al.* 2019). Nesta ocasião, 40% dos mariscos e ostras analisados estavam contaminados pelo ácido ocadaico produzido pelas algas, com valores superiores aos permitidos pela regulamentação, chegando a 48x o nível permitido para consumo humano. Apesar desta toxina não ser letal aos invertebrados, que são capazes de eliminá-la em alguns dias, sua função ecossistêmica fica bastante comprometida, pois a coleta no costão e a comercialização dos cultivos deve ser interrompida por vários dias, bem como o consumo de peixes. A intoxicação diarreica não é letal, mas além da desregulação intestinal, pode causar danos celulares e ao DNA, e sequelas neurológicas (Mafra *et al.* 2019). Menos de um ano após, foi constatada nova floração, desta vez por outra espécie de dinoflagelado, *Ostreopsis cf. ovata* produtora de palitoxina (PLTX) e ovatoxina (OVTX) também responsáveis por intoxicação em humanos a partir do consumo de mexilhões contaminados (Tibiriçá *et al.* 2019). Porém, neste caso, alguns fatores chamam a atenção: trata-se de uma linhagem de algas similar à existente no Mediterrâneo, essa espécie é bentônica (isso é, vive sobre o substrato e não flutuando) e os pesquisadores observaram uma grande quantidade de algas sobre superfícies plásticas. Desta forma, caracterizou-se mais um impacto da contaminação do oceano por plásticos que podem atuar como vetores de microalgas tóxicas.

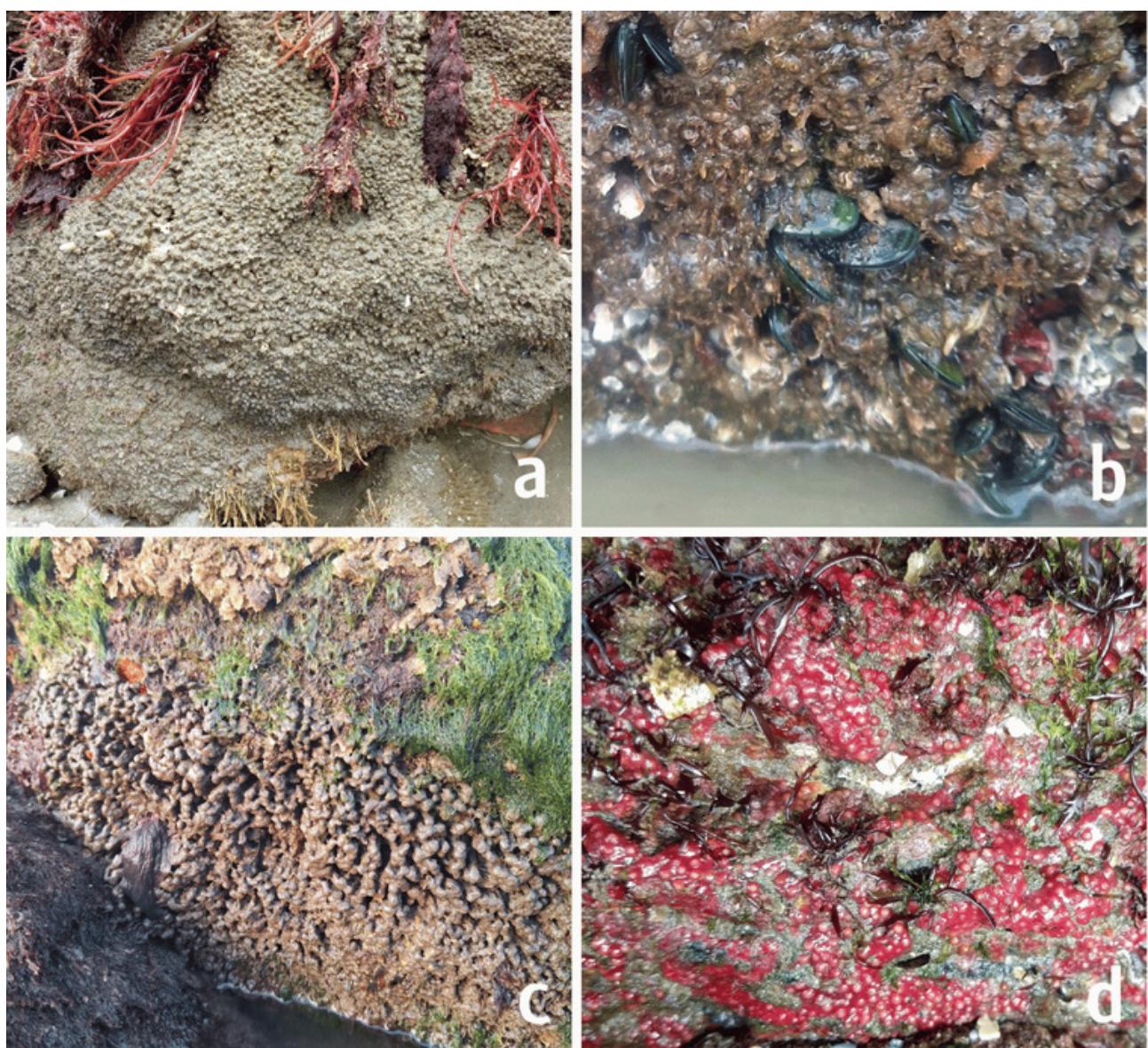
Alterações na qualidade da água costeira provocam alterações no estado trófico e aceleram os processos de eutrofização. Maciel *et al.* (2019) investigaram a ocorrência de *Candida albicans* e outras leveduras oportunistas em amostras de areia

e água do mar de praias do Paraná e Rio de Janeiro para avaliar sua correlação com contaminação por *Escherichia coli* e para caracterizar o potencial patogênico dos isolados de levedura. A explosão populacional de *Ulva spp.*, por exemplo, uma alga oportunista, é um resultado de super-eutrofização. Ademais, desde 2010, diversas florações de *Sargassum spp.* chamadas de “brown tides” foram reportadas no Atlântico Tropical e Caribe, causando sérios danos socioambientais no litoral norte do Brasil, ilhas oceânicas, como Fernando de Noronha e no Caribe Ocidental (Sissini *et al.* 2017). O mesmo tipo de efeito ainda não foi reportado no Paraná, mas a crescente urbanização do litoral sugere que devemos esperar esse tipo de resposta das macroalgas na região. As áreas afetadas pelas florações apresentam baixas taxas de oxigênio dissolvido (hipoxia ou anoxia), resultando em zonas mortas, temporárias ou não, além de substituição da cobertura de algas autóctones por bactérias anaeróbicas (Souza *et al.* 2024).

### Bioinvasão

Uma das importantes ameaças à biodiversidade dos substratos consolidados do Paraná é a invasão dos ambientes naturais por espécies exóticas de uma grande variedade de grupos. Entre os invertebrados já foram encontradas seis espécies exóticas de crustáceos, três moluscos, cinco ascídias, três cnidários, um poliqueta e um equinodermo (Rocha & Kremer 2005, Kremer *et al.* 2011, Bumbeer & Rocha 2016). A lista oficial de espécies exóticas invasoras do Estado do Paraná aponta 24 espécies marinhas de invertebrados, sendo 16 de ambientes recifais (Portaria IAP nº 59, de 15 de abril de 2015) e a cada ano mais espécies chegam ao litoral, indicando a necessidade de atualizar a listagem periodicamente.

Entre os principais impactos causados por espécies exóticas em substrato consolidado estão a dominância do espaço e a formação de grandes agregados por espécies bioengenheiras que modificam a arquitetura do ambiente. Na região entremarés, a ascídia exótica *Eudistoma carolinense* forma tapetes de pequenos lobos que acumulam sedimento entre eles, abrigando uma fauna muito diversificada de juvenis e invertebrados vígeis (Moreno & Rocha 2006), geralmente encontrados apenas na areia ao redor do costão rochoso (Figura 5). Apesar deste efeito positivo, esta espécie também domina o espaço na zona



**Figura 5.** Espécies exóticas invasoras na região entremarés: a) ascídia *Polyandrocarpa zorritensis*, b) bivalve *Perna viridis*, c) ascídia *Eudistoma carolinense*, d) coral *Stragulum bicolor*.

**Figure 5.** Exotic invasive species in the intertidal region: a) ascidian *Polyandrocarpa zorritensis*, b) bivalve *Perna viridis*, c) ascidian *Eudistoma carolinense*, d) coral *Stragulum bicolor*.

entremarés inferior em detrimento das algas, do mexilhão marrom comestível (*Perna perna*) e dos poliquetas formadores de recifes de areia que também abrigam outros organismos. Mais recentemente novos bioengenheiros como a ascídia *Polyandrocarpa zorritensis* (observação pessoal, RMR), a ostra *Saccostrea cucullata* (Amaral et al. 2020) e o mexilhão *Perna viridis* (Beltrão et al. 2024) apareceram no litoral no Paraná e podemos prever que vão causar impactos nos serviços ecossistêmicos na região entremarés. No litoral brasileiro o coral-sol (*Tabustraea coccinea* e *T. tagucensis*) é atualmente

a principal ameaça à biodiversidade dos costões rochosos, mas surpreendentemente não está presente no Paraná, apesar da ocorrência em São Paulo e Santa Catarina. Esta espécie domina o substrato em profundidades de 3-10 m, competindo com a fauna e flora nativas e simplificando as cadeias alimentares, pois tem poucos predadores (Lages et al. 2010). Portanto pode impactar os serviços de provisão fornecidos por mexilhões e os de regulação realizados pelas espécies filtradoras, e sua presença deve ser constantemente monitorada.

Espécies exóticas predadoras também causam impactos importantes em ecossistemas recifais. O primeiro registro do invasor siri-capeta, *Charybdis hellerii*, no Paraná é de 2006 em lanternas de cultivo de ostra na Baía de Guaratuba (Frigotto & Serafim-Junior 2007). Este siri também é amplamente encontrado em costões rochosos na Baía de Paranaguá, onde um estudo de hábito alimentar mostrou a preferência por bivalves e crustáceos com grande sobreposição à dieta de uma espécie nativa, *Menippe nodifrons* (C. Metri, comunicação pessoal). Esses dados e a grande capacidade reprodutiva desta espécie sugerem potencial impacto a importantes recursos do litoral, como aos cultivos de bivalves e aos siris nativos e de interesse comercial, como o siri guaçú (*Callinectes sapidus*) e o siri mirim (*C. danae*), ao competir pelos mesmos alimentos (Instituto Água e Terra 2023).

As macroalgas invasoras, representadas por diferentes grupos de espécies vermelhas e verdes, também se destacam por terem um papel importante na alteração da biodiversidade marinha. Oliveira *et al.* (2009) consideraram cinco espécies como exóticas e quatro como criptogênicas na costa brasileira, e Torrano-Silva *et al.* (2010) consideraram cinco como exóticas e seis como criptogênicas. Apesar de ainda não presentes no Paraná, novas algas continuam a chegar no litoral sul do Brasil, ameaçando os sistemas recifais paranaenses. Como exemplo, temos a alga do Pacífico *Grateloupia turuturu* (Azevedo *et al.* 2015) coletada na zona entremarés em Santa Catarina e considerada um das cinco algas mais invasivas do mundo. Os autores encontraram tetrasporófitos férteis e gametófitos femininos e a identidade de *G. turuturu* foi confirmada por meio de avaliações moleculares (marcadores COI-5P e rbcL), constituindo o primeiro registro para o Atlântico sudoeste.

### **Impactos da Pesca**

Os recifes arenosos, formados pela cimentação dos sedimentos de praia durante períodos de menor nível do mar (Simioni *et al.* 2018) são mais frágeis que os recifes rochosos, sendo vulneráveis a vários distúrbios antrópicos potenciais, como arrastos de fundo, que podem comprometer tanto sua estrutura física como a cobertura biótica e a ocupação pela ictiofauna que usa os recifes arenosos em seus deslocamentos. Soeth *et al.* (2020) registraram redes

de pesca de vários tipos emaranhadas nos recifes e indicaram que as áreas são bastante utilizadas para pescarias amadoras/esportivas e pesca comercial intensa sobre várias espécies, como olho de cão, garoupas e tubarões. Os resíduos da pesca como linhas e anzóis, restos de redes e boias que se prendem entre as pedras dos recifes são outra fonte de impacto que tem a pesca em sua origem. Podem causar o desprendimento dos organismos sésseis ou sufocar organismos filtradores, porém esses impactos nunca foram quantificados no estado.

## **CONCLUSÃO**

Os sistemas recifais têm sido negligenciados em estudos sobre processos ecossistêmicos que incluem o entendimento das cadeias tróficas e a dinâmica de suas populações e estabilidade ao longo do tempo, necessários para a identificação de impactos causados pelos estressores originados das atividades humanas. A revisão apresentada mostra que vários estressores já foram reconhecidos e até mesmo estudados no litoral paranaense, mas existem lacunas importantes como os impactos de espécies exóticas, da coleta seletiva de organismos para alimentação (incluindo os predadores do ambiente pelágico e a sobrepesca), pisoteio, e contaminação por microplásticos, para ficar em alguns exemplos.

Destaca-se a necessidade de monitorar estes ecossistemas, incluindo tantos os marinhos como os estuarinos, no que diz respeito à composição das espécies bioengenheiras de zoobentos (Bosa & Masunari 2002 a, b) e macroalgas (Lacerda *et al.* 2009), pois estes organismos abrigam grande quantidade de organismos associados e constituem espécies-chave na base da teia alimentar. A compreensão de potenciais impactos das espécies exóticas bioengenheiras nesta fauna associada (Moreno & Rocha 2006) é outra lacuna de conhecimento que merece atenção.

A conservação de algas marinhas é extremamente importante devido ao seu papel potencial na mitigação das alterações climáticas (Koch *et al.* 2013), sendo que estes organismos têm atraído a atenção globalmente devido a este potencial. Os autores sugerem desafios de investigação sobre o uso de algas para mitigação das mudanças climáticas nos seguintes temas: 1) restauração de florestas de algas selvagens; 2) aquicultura macroalgal sustentável perto da costa; 3) uso de biomassa

e produtos algais para compensar as emissões industriais de carbono. Assim como para outros ecossistemas marinhos (eg. manguezais e marismas e gramas marinhas), persistem as incertezas sobre a quantificação do impacto líquido da exportação de carbono da restauração de algas marinhas e dos locais de cultivo no CO<sub>2</sub> atmosférico.

O litoral do Paraná foi alvo recente de grandes investimentos em obras civis que modificaram a configuração da costa no Município de Matinhos com a engorda da praia e a construção de barreiras à circulação oceânica, construção de novos trapiches na Ilha do Mel, e está em andamento a construção de uma nova ponte ligando Matinhos a Guaratuba. Todas estas intervenções têm importante potencial de impacto nas comunidades dos ecossistemas recifais da região que precisarão ser monitorados e quantificados.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências financeiradoras CNPq por financiamento utilizado neste estudo para RMR (processo 306788/2022-5), CAPES para JRAM e EA (Bolsa de estudos, Financiamento 001) e Fundo Brasileiro para a Biodiversidade - FunBio para RM, bem como o Instituto Ambiental do Paraná, a Unidade de Conservação Parque Estadual do Palmito e a Associação MarBrasil por apoio logístico.

## REFERÊNCIAS

- Ajala-Batista, L., Lins, D. M. & Haddad, M. A. 2020. Diversity of estuarine and marine hydroids (Cnidaria, Hydrozoa) from subtropical ecosystems of Brazil. *Marine Biodiversity*, 50(97). DOI: 10.1007/s12526-020-01133-0
- Amaral, V. S., Simone, L. R. L., Souza Tâmega, F. T., Barbieri, E., Calazans, S.H., Coutinho, R., & Spotorno-Oliveira, P. 2020. New records of the non-indigenous oyster *Saccostrea cucullata* (Bivalvia: Ostreidae) from the southeast and south Brazilian coast. *Regional Studies in Marine Science*, 33, 100924. DOI: 10.1016/j.rsma.2019.100924
- Azevedo, C. A. A., Cassano, V., Júnior, P. A. H., Batista, M. B., & Oliveira, M. C. 2015. Detecting the non-native *Grateloupia turuturu* (Halymeniales, Rhodophyta) in southern Brazil. *Phycologia*, 54(5), 451-454. DOI: 10.2216/15-25.1
- Beltrão, M. C., da Cunha, N. J. R., de Oliveira-Laaf, Y., Diehl, F. L., & dos Santos, T. D. 2024. Molecular methods confirm the first report of the non-indigenous *Perna viridis* Linnaeus, 1758 (Mytilida, Mytilidae) in southern Brazil. *Check List*, 20(4), 859. DOI: 10.15560/20.4.859
- Bettim, A. L. & Haddad, M. A. 2017. Seasonal recruitment of the hydroid *Podocoryna loyola* (Hydractiniidae) in the Paranaguá Bay, South of Brazil. *Marine Biology Research*, 13(5), 560-572. DOI: 10.1080/17451000.2017.1307990
- Borzone, C. A., & Rosa, L. C. 2009. Impact of oil spill and posterior clean-up activities on wrack-living talitrid amphipods on estuarine beaches. *Brazilian Journal of Oceanography*, 57(4), 315-323. DOI: 10.1590/S1679-87592009000400006
- Bosa, C. R. & Masunari, S. 2002a. Crustáceos decápodos associados aos bancos de *Phragmatopoma caudata* (Kroeyer) (Polychaeta, Sabellariidae) na Praia de Caiobá, Matinhos, Paraná. *Revista Brasileira de Zoologia*, 19(supl.1), 117-133. DOI: 10.1590/S0101-81752002000500006
- Bosa, C. R. & Masunari, S. 2002b. Peracáridos associados aos bancos de *Phragmatopoma caudata* (Kroeyer) (Polychaeta, Sabellariidae) na Praia de Caiobá, Matinhos, Paraná. *Revista Brasileira de Zoologia*, 19(supl.1), 135-147. DOI: 10.1590/S0101-81752002000500007
- Brandini, F., & Silva, A. S. 2011. Epilithic community development on artificial reefs deployed along a cross-shelf environmental gradient off Paraná state, Southern Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 59, 43-53. DOI: 10.1590/S1679-87592011000500007
- Bueno, L. S., Bertoncini, A. A., Koenig, C. C., Coleman, F. C., Freitas, M. O., Leite, J. R., Souza, T. F. & Hostim-Silva, M. 2016. Evidence for spawning aggregations of the endangered Atlantic goliath grouper *Epinephelus itajara* in southern Brazil. *Journal of Fish Biology*, 89(1), 876-889. DOI: 10.1111/jfb.13028
- Bueno, M. L., Tavares, Y. A. G., Domenico, M. & Borges, M. 2015. Gametogenesis and weight change of body organs of the sea cucumber *Holothuria (Halodeima) grisea* (Aspidochirotida: Holothuriidae) in Southern Brazil. *Revista de Biología Tropical*, 63 (2), 285-296. DOI: 10.15517/rbt.v63i2.23163
- Bumbeer, J., & Rocha, R. M. 2016. Invading the natural marine substrates: a case study with invertebrates

- in South Brazil. *Zoologia*, 33(3), e20150211. DOI: 10.1590/S1984-4689zool-20150211
- Bumbeer, J., Cattani, A. P., Chierigatti, N. B., & Rocha, R. M. D. 2016. Biodiversity of benthic macroinvertebrates on hard substrates in the Currais Marine Protected Area, in southern Brazil. *Biota Neotropica*, 16(4), e20160246. DOI:10.1590/1676-0611-BN-2016-0246
- Coutinho, R., & Zalmon, I. R. 2009. Os bentos de costões rochosos. In: R. C. Pereira & A. Soares-Gomes (Eds.). *Biologia Marinha*. Rio de Janeiro: Interciêncie: p 281-298.
- Coutinho, R., Yaginuma, L. E., Siviero, F., Santos, J. C. Q. P., López, M. S., Christofolletti, R. A., Berchez, F., Ghilardi-Lopes, N.P. Ferreira, C. E. L., Gonçalves, J. E. A., Masi, B. P., Correia†, M. D., Sovierzoski, H. H., Skinner, L. F., & Zalmon, I. R. 2016. Studies on benthic communities of rocky shores on the Brazilian coast and climate change monitoring: status of knowledge and challenges. *Brazilian Journal of Oceanography*, 64(spe2), 27-36. DOI: 10.1590/S1679-875920161015064sp2
- Daros, F. A., Bueno, L. S., Vilar, C. C., Passos, A. C., & Spach, H. L. 2012. Checklist of rocky reef fishes from the Currais Archipelago and Itacolomis Island, Paraná state, Brazil. *Check List*, 8(3), 349-354. DOI: 10.15560/8.3.349
- Derviche, P., & Lana, P. C. 2022. The effects of the nonnative brittle star *Ophiothela mirabilis* Verrill, 1867 on the feeding performance of an octocoral host in a southwestern Atlantic rocky shore. *Biological Invasions*, 24(9), 2821-2833. DOI: 10.1007/s10530-022-02815-5
- Figuerola, B., Hancock, A. M., Bax, N., Cummings, V. J., Downey, R., Griffiths, H. J., Smith, J. & Stark, J. S. 2021. A review and meta-analysis of potential impacts of ocean acidification on marine calcifiers from the Southern Ocean. *Frontiers in Marine Science*, 8, 584445. DOI: 10.3389/fmars.2021.584445
- Franco, B. C., Combes, V., González-Carman, V. 2020a Subsurface ocean warming hotspots and potential impacts on marine species: the southwest south atlantic ocean case study. *Frontiers in Marine Science*, 7 (563394). DOI: 10.3389/fmars.2020.563394
- Franco, B. C., Defeo, O., Piola, A. R., Barreiro, M., Yang, H., Ortega, L., Gianelli, I., Castello, J.P. Vera, C., Buratti, C., Pájaro, M., Pezzi, L.P., & Möller, O. O. 2020b. Climate change impacts on the atmospheric circulation, ocean, and fisheries in the southwest South Atlantic Ocean: a review. *Climatic Change*, 162(4), 2359-2377. DOI: 10.1007/s10584-020-02783-6
- Freitas F. R., Schmiegelow, J. M. M., & Pellizzari, F. 2016. Diversidade, biomassa e novos registros de macroalgas e cianobactérias bentônicas em manguezais do Complexo Estuarino de Paranaguá - Paraná. *Bioscience*, 5(4), 313-318.
- Frigotto, S. F., & Serafim-Junior, M. 2007. Primeiro registro de *Charybdis hellerii* (Milne Edwards, 1867) (Crustacea) no litoral do estado do Paraná. *Estudos de Biologia*, 29(67), 227-230. DOI: 10.7213/reb.v29i67.22771
- Gama, L. R., Fuentes, M. M. P. B., Trevizani, T. H., Pellizzari, F. M., Lemons, G. E., Seminoff, J. A., & Domit, C. 2021. Trophic ecology of juvenile green turtles in the Southwestern Atlantic Ocean: insights from stable isotope analysis and niche modelling. *Marine Ecology Progress Series*, 678, 139-152. DOI: 10.3354/meps13868
- Gorman, D., Horta, P., Flores, A. A., Turra, A., Berchez, F. A. D. S., Batista, M. B. & Széchy, M. T. M. 2020. Decadal losses of canopy-forming algae along the warm temperate coastline of Brazil. *Global Change Biology*, 26(3), 1446-1457. DOI: 10.1111/gcb.14956
- Gouvêa, L. P., Schubert, N., Martins, C. D. L., et al. 2017. Interactive effects of marine heatwaves and eutrophication on the ecophysiology of a widespread and ecologically important macroalga. *Limnology and Oceanography*, 62(5), 2056-2075. DOI: 10.1002/lno.10551
- Haddad, M. A., Bettim, A. L., & Miglietta, M. P. 2014. *Podocoryna loyola*, n. sp. (Hydrozoa, Hydractiniidae): a probably introduced species on artificial substrate from southern Brazil. *Zootaxa*, 3796(3), 494-506. DOI: 10.11646/zootaxa.3796.3.5
- Hiraoka, M. 2021. Massive *Ulva* green tides caused by inhibition of biomass allocation to sporulation. *Plants (Basel)*, 10(11), 2482. DOI: 10.3390/plants10112482
- Hobday, A. J., & Pecl, G. T. 2013. Identification of global marine hotspots: Sentinels for change and vanguards for adaptation action. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 24(2), 415-425. DOI: 10.1007/s11160-013-9326-6
- Instituto Água e Terra. 2023. Guia para a gestão de espécies exóticas invasoras por prefeituras municipais do Estado do Paraná. Retrieved from

- <https://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Programa-do-Estado-do-Parana-para-Especies-Exoticas-Invasoras>.
- Koch, M., Bowes, G., Ross, C., & Zhang, X. H. 2013. Climate change and ocean acidification effects on seagrasses and marine macroalgae. *Global Change Biology*, 19(1), 103-132. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2012.02791.x
- Kremer, L. P., Metri, R., & Rocha, R. M. 2011. Description of *Sidneioides peregrinus* sp. nov. (Tunicata: Ascidiacea: Polyclinidae): a possible exotic species in the Atlantic Ocean. *Zoologia*, 28(6), 784-788. DOI: 10.1590/S1984-46702011000600012
- Lacerda, M. B., & Masunari, S. 2011. Chave de identificação para caprelídeos (Crustacea, Amphipoda) do litoral dos Estados do Paraná e de Santa Catarina. *Biota Neotropica*, 11(3):365-376. DOI: 10.1590/S1676-06032011000300030
- Lacerda, M. B., Dubiaski-Silva, J., & Masunari, S. 2009. Malacofauna de três fitais da Praia de Caiobá, Marinhos, Paraná. *Acta Biologica Paranaense*, 38, 59-74. DOI: 10.5380/abpr.v38i0.16413
- Lages, B. G., Fleury, B. G., Pinto, A. C., & Creed, J. C. 2010. Chemical defenses against generalist fish predators and fouling organisms in two invasive ahermatypic corals in the genus *Tubastraea*. *Marine Ecology*, 31(3), 473-482. DOI: 10.1111/j.1439-0485.2010.00376.x
- Lana, P. C., Marone, E., Lopes, R. M., & Machado, E. C. 2001. The subtropical estuarine complex of Paranaguá Bay, Brazil. In: U. Seeliger & B. Kjerfve (Eds.), *Coastal marine ecosystems of Latin America*. pp. 131–145. Berlin Heidelberg: Springer. DOI: 10.1007/978-3-662-04482-7
- Maciel, N. O. P., Johann, S., Brandão, L. R., Kucharíková, S., Morais, C. G., Oliveira, A. P., Freitas, G. J. C., Borelli, B. M., Pellizzari, F. M., Van Dijck, P., & Rosa, C. A. 2019. Occurrence, antifungal susceptibility, and virulence factors of opportunistic yeasts isolated from Brazilian beaches. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 114(7), e180566, DOI: 10.1590/0074-02760180566
- Mafra Jr, L. L., Nolli, P. K. W., Mota, L. E., Domit, C., Soeth, M., Luz, L. F. G., Sobrinho, B. F., Leal, J. G. & Di Domenico, M. 2019. Multi-species okadaic acid contamination and human poisoning during a massive bloom of *Dinophysis acuminata* complex in southern Brazil. *Harmful Algae*, 89, 101662. DOI: 10.1016/j.hal.2019.101662
- Marcus, E. 1941. Brizozoários marinhos do litoral paranaense. *Arquivos do Museu Paranaense, Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, Zoologia*, 1(1), 7- 36. DOI: 10.11606/issn.2526-4877.bsffclzoologia.1937.113912
- Marochi, M. Z., Duarte, R. M., Costa, T. M. 2024. Thermal tolerance, development, and physiological impacts of climate warming on zoea larvae of brachyuran crabs. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 303, 108817. DOI: 10.1016/j.ecss.2024.108817
- Metri, R., Soares, G. C. B., Guilherme, P. D. B., & Roveda, L. F. 2019. The ascidian *Microcosmus exasperatus* as bioindicator for the evaluation of water quality in estuaries. *International Journal of Advanced Research*, 7(8), 174-185. DOI: 10.21474/IJAR01/9491
- Mizerkowski, B. D., Hesse, K. J., Ladwig, N., Costa-Machado, E., Rosa, R., Araujo, T., Koch, D. 2012. Sources, loads and dispersion of dissolved inorganic nutrients in Paranaguá Bay. *Ocean Dynamics*, 62, 1409-1424. DOI: 10.1007/s10236-012-0569-x
- Milanelli, J. C. C. 2003. Biomonitoramento de costões rochosos instrumento para avaliação de impactos gerados por vazamentos de óleo na região do Canal de São Sebastião-São Paulo. Doctoral thesis, Universidade de São Paulo.
- Miranda, M. P. & Tavares, Y. A. G. 2024. Biochemical and ecological components of *Holothuria (Halodeima) grisea*, Selenka 1867 (Echinodermata: Holothuroidea). *Regional Studies in Marine Science*, 73, 103460. DOI: 10.1016/j.rsma.2024.103460
- Moreno, T. R., & Rocha, R. M. 2006. Associated Fauna with *Eudistoma carolinense* (Tunicata, Ascidiacea) compared with other biological substrates with different architectures. *Journal of Coastal Research*, 39(1), 1695-169.
- Nagai, R. H., Mesquita, Y. W., Alvarenga, A., Massignani, C. C., & Nascimento, A. B. T. 2024. First report of plastic biomedia contamination in Brazilian beaches - evidence from the Paraná coast. *Ocean and Coastal Research*, 72(1), e24025. DOI: 10.1590/2675-2824072.23134
- Nauer, F., Borburema, H. D. S., Yokoya, N. S. & Fugii, M. 2021. Effects of ocean acidification on growth, pigment contents and antioxidant potential of the subtropical Atlantic red alga *Hypnea*

- pseudomusciformis* Nauer, Cassano & M.C. Oliveira (Gigartinales) in laboratory. Brazilian Journal of Botany, 44, 69-77. DOI: 10.1007/s40415-020-00693-6
- Neves, C. S., Rocha, R. M., Pitombo, F. B., & Roper, J. J. 2007. Use of artificial substrata by introduced and cryptogenic marine species in Paranaguá Bay, southern Brazil. Biofouling, 23(5), 319-330. DOI: 10.1080/08927010701399174
- Noernberg, M. A., Angelotti, R., Caldeira, G. A., & Ribeiro de Sousa, A. F. 2008. Determinação da sensibilidade do litoral paranaense à contaminação por óleo. Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology, 12(2), 49-59. DOI: 10.14210/bjast.v12n2.p49-59
- Oliveira, E., & Masunari, S. 1995. Estrutura populacional de *Petrolisthes armatus* (Gibbes, 1850) (Decapoda, Anomura, Porcellanidae) da Ilha do Farol, Caiobá, Paraná. Revista Brasileira de Zoologia, 12(2), 355-371. DOI: 10.1590/S0101-81751995000200014
- Oliveira, E., & Masunari, S. 2006. Distribuição temporal de densidade de *Aporobopyrus curtatus* (Richardson) (Crustacea, Isopoda, Bopyridae), um parasito de *Petrolisthes armatus* (Gibbes) (Crustacea, Anomura, Porcellanidae) na Ilha do Farol, Matinhos, Paraná, Brasil. Revista Brasileira de Zoologia, 23(4), 1188-1195. DOI: 10.1590/S0101-81752006000400028
- Oliveira E. C., Silva, B. N. T. & Amancio, C. E. 2009. Fitobentos (Macroalgas). In: R.M. Lopes (ed.). Informe sobre espécies exóticas invasoras marinhas no Brasil. pp 107-142. Ministério do Meio Ambiente / Secretaria de Biodiversidade e Florestas, Brasília.
- Pellizzari, F. & Gomes-Figueiredo, J. A. (org.). 2021. O meio ambiente litorâneo e insular do Paraná. Atena Editora, Ponta Grossa. p. 289. DOI: 10.22533/at.ed.750210507
- Pellizzari, F., Bernardi, J., Silva, E. M., Silva, M. C., & Yokoya, N. S. 2014. Benthic marine algae from the insular areas of Paraná, Brazil: new database to support the conservation of marine ecosystems. Biota Neotropica, 14(2), e20130011. DOI: 10.1590/1676-060320140615183049
- Pellizzari F., Osaki V. S., & Santos-Silva, M. C. 2020. New records of seaweeds and filamentous cyanobacteria from Trindade Island: an updated checklist to support conservation guidelines and monitoring of environmental changes in the southern Atlantic archipelagos. Sciencia Marina, 84(3), 227-242. DOI: 10.3989/scimar.05036.05A
- Pontes, G. M., Gupta, A. S., & Taschetto, A. S. 2016. Projected changes to South Atlantic boundary currents and confluence region in the CMIP5 models: the role of wind and deep ocean changes. Environmental Research Letters, 11(9), 094013. DOI 10.1088/1748-9326/11/9/094013
- REBIMAR. 2023. Projeto Recuperação da Biodiversidade Marinha - REBIMAR fase IV. Panorama de resultados do Programa Petrobras Socioambiental, linha de atuação prioritária: Oceano. Associação MarBrasil.
- Ribeiro, C. A. D. O., Katsumiti, A., França, P., Maschio, J., Zandoná, E., Cestari, M. M., & Filipak Neto, F. 2013. Biomarkers responses in fish (*Atherinella brasiliensis*) of Paranaguá bay, southern Brazil, for assessment of pollutant effects. Brazilian Journal of Oceanography, 61(1), 1-11. DOI: 10.1590/S1679-87592013000100001
- Rocha, R. M., & Faria, S. B. 2005. Ascidiants at Currais islands, Paraná, Brazil: taxonomy and distribution. Biota Neotropica, 5(2), 1-20. DOI: 10.1590/S1676-06032005000300013
- Rocha, R. M., & Kremer, L. P. 2005. Introduced ascidiants in Paranaguá Bay, Paraná, southern Brazil. Revista Brasileira de Zoologia, 22(4), 1170-1184. DOI: 10.1590/S0101-81752005000400052
- Rocha, R. M. D., & Nasser, C. M. 1998. Some ascidiants (Tunicata, Ascidiacea) from Paraná State, Southern Brazil. Revista Brasileira de Zoologia, 15 (3), 633-642. DOI: 10.1590/S0101-81751998000300009
- Santos, R. T., Neto, F. D. S. C., Oliveira, E., Silva Carvalho Filho, M. A., & Vasconcelos, E. C. 2018. Diagnóstico inicial da presença de metais pesados em sedimento e em organismos bentônicos da ilha de Itacolomi, PR. Ambiência 14(3), 461-476. DOI: 10.5935/ambienca.2018.03.03
- Saucsen-Weisheimer, A., Lana, A. & Flores, A. A. V. 2021. Salinity gradients and interspecific competition determine the distribution of chthamalid barnacles in a subtropical estuary. Estuarine, Coastal and Shelf Science. 262(5) 107587. DOI: 10.1016/j.ecss.2021.107587.
- Scherner, F., Horta, P. A., Oliveira, E. C., Simonassi, J. C., Hall-Spencer, J. M., Chow, F., Nunes, J. M. C., & Pereira, S. M. B. 2013. Coastal urbanization leads to remarkable seaweed species loss and community shifts along the SW Atlantic. Marine

- Pollution Bulletin, 76(1), 106-115. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2013.09.019
- Simioni, B. I., Angulo, R. J., Veiga, F. A., Oliveira, L. H. S. & Souza, M. C. 2018 Genesis of submerged sandstones in Paraná State continental shelf, Southern Brazil, based on cementation patterns, ages and stable isotopes. *Brazilian Journal of Oceanography*, 66(3), 267-282. DOI: 10.1590/s1679-87592018019306603
- Sissini, M. N., Barreto, M. B. B., Szechy, M. T. M., et al. 2017. The floating *Sargassum* (Phaeophyceae) of the South Atlantic Ocean - likely scenarios. *Phycologia*, 56(3), 321-328. DOI: 10.2216/16-92.1
- Soares, M. L. G., Estrada, G. C. D., Fernandez, V., & Tognella, M. M. P. 2012. Southern limit of the Western South Atlantic mangroves: Assessment of the potential effects of global warming from a biogeographical perspective. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 101(10), 44-53. DOI: 10.1016/j.ecss.2012.02.018
- Soeth, M., Metri, R., Simioni, B. I., Loose, R., Coqueiro, G. S., Spach, H. L., Daros, F. A. & Adelir-Alves, J. 2020. Vulnerable sandstone reefs: Biodiversity and habitat at risk. *Marine Pollution Bulletin*, 150, 110680. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2019.110680
- Souza M. T., Osaki, V. S., Santos-Silva M. C., Viana T., Frassini R. & Pellizzari, F. 2024. Antibacterial activity of macroalgae crude extracts from Paraná Coastal Islands (Brazil) against Marine isolate of Enterobacteriaceae. *International Journal of Biological and Natural Sciences*, 4(5), 1-23. DOI: 10.22533/at.ed.8134524130610
- Tibiriçá, C. E. J. A., Leite, I. P., Batista, T. V. V., Fernandes, L. F., Chomérat, N., Herve, F., Hess, P. & Mafra, L. L. 2019. *Ostreopsis cf. ovata* bloom in Currais, Brazil: Phylogeny, toxin profile and contamination of mussels and marine plastic litter. *Toxins*, 11(8), 446. DOI: 10.3390/toxins11080446
- Thompson, R. C., Crowe, T. P. & S. J. Hawkins. 2002. Rocky intertidal communities: past environmental changes, present status and predictions for the next 25 years. *Environmental Conservation*, 29(2), 168-191. DOI: 10.1017/S0376892902000115
- Torrano-Silva B, N., Amancio C. E. & Oliveira E. C. 2010. Exotic marine macroalgae on the Brazilian coast: a revision. *Oecologia Australis*, 14(2), 403-414. DOI: 10.4257/oeco.2010.1402.05.
- Vannucci, M. 1951. Distribuição dos Hydrozoa até agora conhecidos nas costas do Brasil. *Boletim do Instituto Paulista de Oceanografia*, 2(1), 105-124. DOI: 10.1590/S0100-42391951000100004
- Vergés, A., Steinberg, P. D., Hay, M. E., Poore, A. G., Campbell, A. H., Ballesteros, Heck, K.L. Booth, D. J., Coleman, M., Feary, D., Figueira, W., Langlois, T., Marzinelli, E., Mizerek, T., Mumby, P., Nakamura, Y., Roughan, M., van Sebille, E., Gupta, A., Smale, D., Tomas, F., Wernberg, T., & Wilson, S. K. 2014. The tropicalization of temperate marine ecosystems: climate-mediated changes in herbivory and community phase shifts. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 281(1789), 20140846. DOI: 10.1098/rspb.2014.0846
- Vidolin, D., Santos-Gouvea, I. A., Freire, C. A. 2007. Differences in ion regulation in the sea urchins *Lytechinus variegatus* and *Arbacia lixula* (Echinodermata: Echinoidea). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 87(3), 769-775. DOI: 10.1017/S0025315407054124
- van Ofwegen, L. P.,& Haddad, M. A. 2011. A probably invasive new genus and new species of soft coral (Octocorallia: Alcyonacea: Clavulariidae) from Brazil. *Zootaxa*, 3107(3107), 38-46. DOI: 10.11646/zootaxa.3107.1.2
- Wernberg, T., Smale, D. A., Tuya, F., Thomsen, M. S., Langlois, T. J., Bettignies, T., Bennett, S., & Rousseaux, C. S. 2013. An extreme climatic event alters marine ecosystem structure in a global biodiversity hotspot. *Nature Climate Change*, 3(1), 78-82. DOI: 10.1038/nclimate1627
- Zharkov, V. & Nof, D. 2010. Why does the north Brazil current regularly shed rings but the Brazil current does not? *Journal of Physical Oceanography*, 40, 354-367. DOI: 10.1175/2009JPO4246.1

*Submitted: 31 August 2024**Accepted: 04 July 2025**Published: 04 August 2025**Associate Editor: Juliana Silva Leal*