

A INTERFERÊNCIA DE EVENTOS EXTREMOS NOS MANGUEZAIS DO SISTEMA COSTEIRO CANANÉIA-IGUAPE

Nádia Gilma Beserra de Lima ¹
Marília Cunha-Lignon ²
Letícia Stela Bispo da Silva ³
Luís Américo Conti ⁴

INTRODUÇÃO

Os manguezais, distribuídos ao longo das costas tropicais e subtropicais, são ecossistemas altamente dinâmicos que respondem periodicamente a fenômenos naturais, como tempestades tropicais, geadas e raios. Esses fenômenos podem causar perturbações na estrutura florestal, danificando as árvores e promovendo a abertura de clareiras (AMIR; DUKE, 2019).

As florestas de mangue são afetadas por uma variedade de distúrbios naturais que diferem em escala, intensidade e frequência. As perdas de manguezais podem ser atribuídas a múltiplos fatores em diferentes escalas, desde ameaças localizadas de exploração de recursos até ameaças globais de alterações climáticas. Essas perturbações desempenham um papel central na distribuição e abundância de espécies de árvores nas florestas, criando aberturas na copa que proporcionam oportunidade para o recrutamento de árvores, e a escala, a intensidade e o padrão espacial da mortalidade das árvores definem as consequências da perturbação na composição da vegetação florestal.

Em larga escala, grandes perdas de manguezais tem sido observadas em resposta a grandes perturbações, como eventos climáticos extremos (ABHIK et al., 2021). No entanto, uma consequência comum das perturbações é o aparecimento de clareiras médias a grandes (10 a 1000 m²), que podem ser definidas como descontinuidades arredondadas a elípticas em copas maduras resultantes da morte de várias árvores de mangue (AMIR; DUKE, 2019).

¹ Pós-doutoranda da Escola de Artes, Ciências e Humanidades, da Universidade de São Paulo (USP, SP, nadiagilma@gmail.com;

² Professora Doutora da Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Campus Registro, SP, cunha.lignon@unesp.br;

³ Mestranda do Programa de Pós-graduação em Biodiversidade de Ambientes Costeiros da Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Campus São Vicente, SP, stela.bispo@unesp.br;

⁴ Professor Doutor da Escola de Artes, Ciências e Humanidades, da Universidade de São Paulo (USP) - SP, lconti@usp.br ;

A interferência de eventos extremos nos manguezais vêm sendo observada pela abertura de clareiras (ABHIK et al., 2021); e pela morte generalizada de florestas (DUKE et al., 2019). Ao considerar a temática das mudanças climáticas, essa afirmação torna-se ainda mais urgente e importante, visto as projeções de aumento na ocorrência de eventos extremos, potencializando tempestades tropicais, queda de raios, e conseqüentemente a abertura de clareiras. Alterações na intensidade de variáveis climáticas podem modificar suas funções e comprometer serviços ecossistêmicos presentes nos manguezais, como o sequestro e estoque de carbono e a proteção de linha de costa (WARD et al., 2016; FRIESS et al., 2020).

Diante disso, a presente pesquisa visa identificar e analisar as clareiras originadas a partir do impacto de eventos climáticos extremos nos manguezais do Sistema Costeiro-Cananea-Iguape (SCCI), litoral sul de São Paulo, a fim de analisar sua dinâmica e monitorar sua recuperação.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o mapeamento das clareiras, partiu-se primeiramente da experiência em campo, e em seguida, visando a identificação da distribuição temporal e espacial das clareiras, utilizou-se imagens de satélites do Google Earth PRO, entre 2009 e 2021. Posteriormente, foram obtidas imagens de alta resolução PlanetScope, cuja as análises das séries temporais foram realizadas a partir do cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) no software QGIS 3.36.0. Também foram analisados os atributos de estrutura da floresta de mangue obtidos em parcelas delimitadas de tamanho variáveis, conforme Schaeffer-Novelli et al. (2015).

REFERENCIAL TEÓRICO

Os manguezais do Sistema Costeiro Cananea-Iguape, apesar de serem os mais conservados e extensos do litoral paulista, apresentam alterações quanto à dinâmica e desenvolvimento estrutural, tanto por alterações antrópicas quanto pela ocorrência de eventos extremos, inclusive com abertura de clareiras (LIMA et al. 2023; SILVA et al., 2023). A ocorrência de bancos de macrófitas aquáticas ao redor e no interior das florestas de mangue alertam para as alterações ambientais provocadas pelo canal artificial do Valo Grande. O registro de redução da salinidade e outros fatores, levam a possíveis perdas de serviços ambientais no manguezal (PRADO et al., 2019), contribuindo para uma maior

fragilidade do ecossistema em questão e interferindo diretamente na sua recuperação. Os resultados encontrados com o monitoramento microclimático indicam alterações na estrutura da floresta, em sua borda e seu interior (LIMA; GALVANI, 2018).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Sistema Costeiro Cananeia - Iguape, entre 2009 e 2021, foram identificadas 154 clareiras nos manguezais. Embora nem todas as clareiras sejam originadas por eventos climáticos, dentre as resultantes, constatou-se que há pelo menos dois padrões de configuração: 1) causadas pela queda de raios: circulares, bem delimitadas e pontuais; e 2) formadas pelo impacto de tempestades (incluem ventos, granizo e forte precipitação): difusas, com trechos lineares pela atuação de fortes correntes de vento, além de atingirem áreas maiores. Nesse trabalho foram selecionadas quatro clareiras para melhor caracterizar as duas configurações definidas (tabela 01). Os resultados foram correlacionados com a estrutura da vegetação antes e após os eventos climáticos identificados, visando contribuir na identificação dos impactos derivados desses eventos.

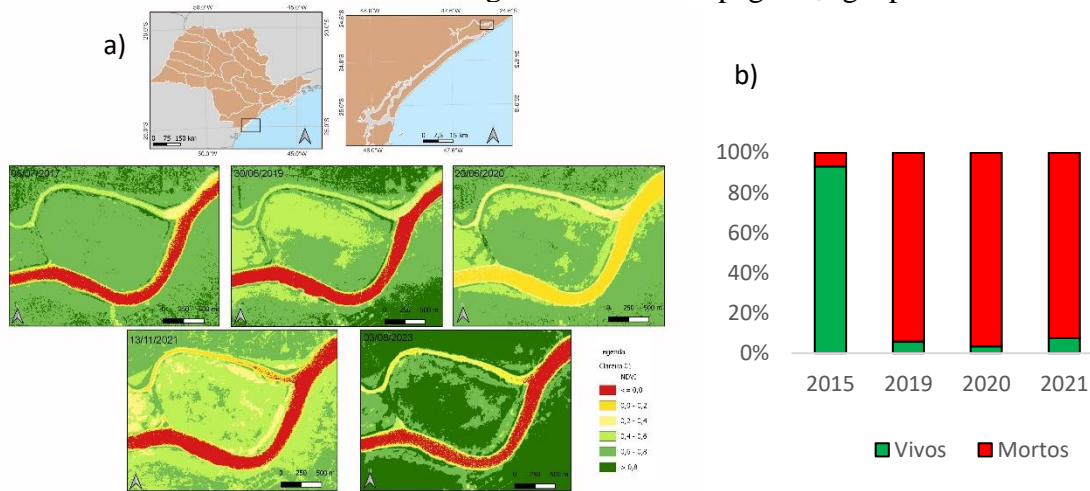
Tabela 1: Clareiras formadas a partir da incidência de eventos climáticos no SCCI.

| Clareira | Município | Evento climático | Ano | Local |
|----------|-----------|-------------------------|------|---------------------|
| C1 | Iguape | tempestade | 2019 | APACIP |
| C10 | Cananéia | tempestade | 2018 | PEIC/RDS Itapanhapi |
| C11 | Cananéia | oceanográfico/climático | 2018 | PEIC |
| C33 | Cananeia | raio | 2017 | PEIC |

Onde: APACIP - Área de Proteção Ambiental Cananéia-Iguape-Peruibe; PEIC - Parque Estadual Ilha do Cardoso; RDS - Reserva de Desenvolvimento Sustentável.

Na área da Clareira 1, entre 2008 e 2019 ocorreu monitoramento microclimático do manguezal (LIMA et al, 2018). Cabe destacar que esse trecho do SCCI foi submetido às alterações ambientais desde a abertura do canal Valo Grande em 1852 (PRADO, et al, 2019), o que causou inúmeros impactos aos manguezais. Aliado a isso, em 2019 um evento climático intenso atingiu a floresta, o que causou a mortalidade de muitas árvores de mangue. Os dados microclimáticos já evidenciavam uma maior incidência de radiação solar na floresta ao longo dos anos, bem como a intensa ocorrência de samambaia-do-mangue e macrófitas aquáticas também caracterizavam a alteração ambiental nesta área. No entanto, em 2015, a dominância da área basal de espécies vivas de mangue era de 93% e após o evento, mais de 94% das árvores morreram (Figura 01b). Com o monitoramento, percebe-se que há trechos com dificuldade de recuperação, refletindo a permanência das condições ambientais da abertura do Valo Grande, como evidencia o NDVI entre 2017 e 2021 (figura 01a).

Figura 01: a) NDVI gerado para a área da clareira 01 em 2017, 2019 (após tempestade), 2020 e 2021 no setor norte do SCCI; b) dominância em área basal de troncos vivos e mortos na floresta de mangue da ilha dos Papagaios, Iguape/SP.

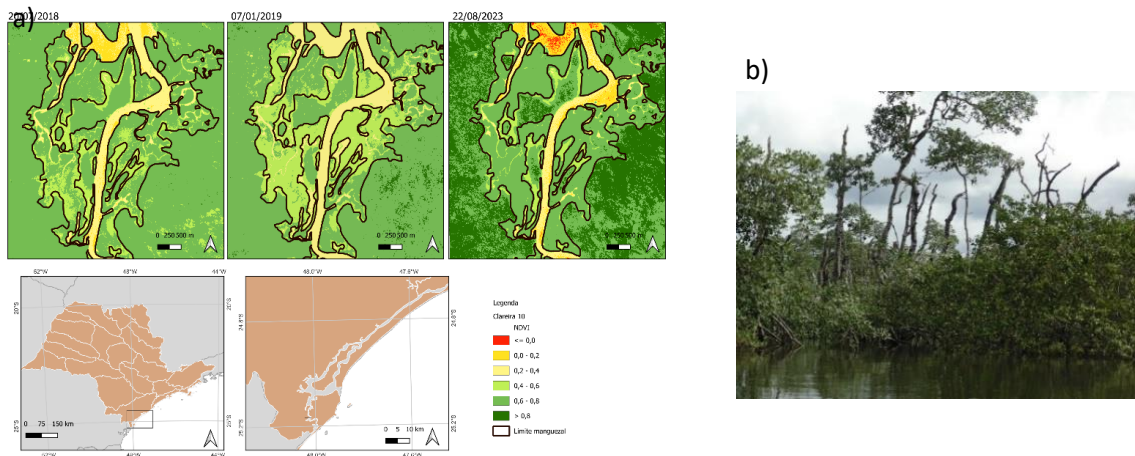


Fonte: Imagens Plantscope (2024) e Lima et al., 2023

A área da clareira 10 foi atingida por forte tempestade em 30/11/2018. Em 2018 o manguezal apresentava NDVI entre 0,6 a 0,8, reflexo das boas condições de saúde da floresta (Figura 2a). Em 2019, há o predomínio de NDVI entre 0,4 e 0,6, influência do impacto causado pela tempestade. Por fim, em 2023 houve uma retomada de altos valores de NDVI (0,6 e 0,8), o que indica uma possível recuperação dessas áreas. No entanto, em visita à área em 09/10/2023 (Figura 02b), após cinco anos do evento, ainda havia inúmeras árvores mortas por toda a floresta, o que pode ser evidenciado também pelos dados de estrutura da vegetação. Nesse trecho impactado pela tempestade, a estrutura da floresta de mangue possui dominância de mangue vermelho (*Rhizophora mangle*), com 83% de dominância e com desenvolvimento estrutural maduro (diâmetro médio do tronco = 27,6 cm). O mangue branco (*Laguncularia racemosa*) representou 16,9% de dominância nessa floresta. A floresta de mangue impactada possui 67% de área basal composta por troncos mortos.

A clareira C11 é resultado do rompimento de um esporão arenoso existente no local que ocorreu no dia 27/08/2018, durante um evento que conjugou tanto condições atmosféricas com fortes ventos (passagem de frente fria) quanto a fase de lua cheia, que favoreceu a intensificação da variação da maré. A abertura dessa nova barra causou diversos impactos, levando à perda de terras emersas, que, com ritmos variados, se intensificaram após a ruptura (CHELIZ et al., 2019).

Figura 2: a) NDVI gerado para a área da clareira 10 em 2018, 2019 (após tempestade, granizo e vento) e 2023; b) fotografia da Clareira 10, em 09/10/2023.



Fonte: Imagens Plantscope (2024). Foto: Nádia Lima

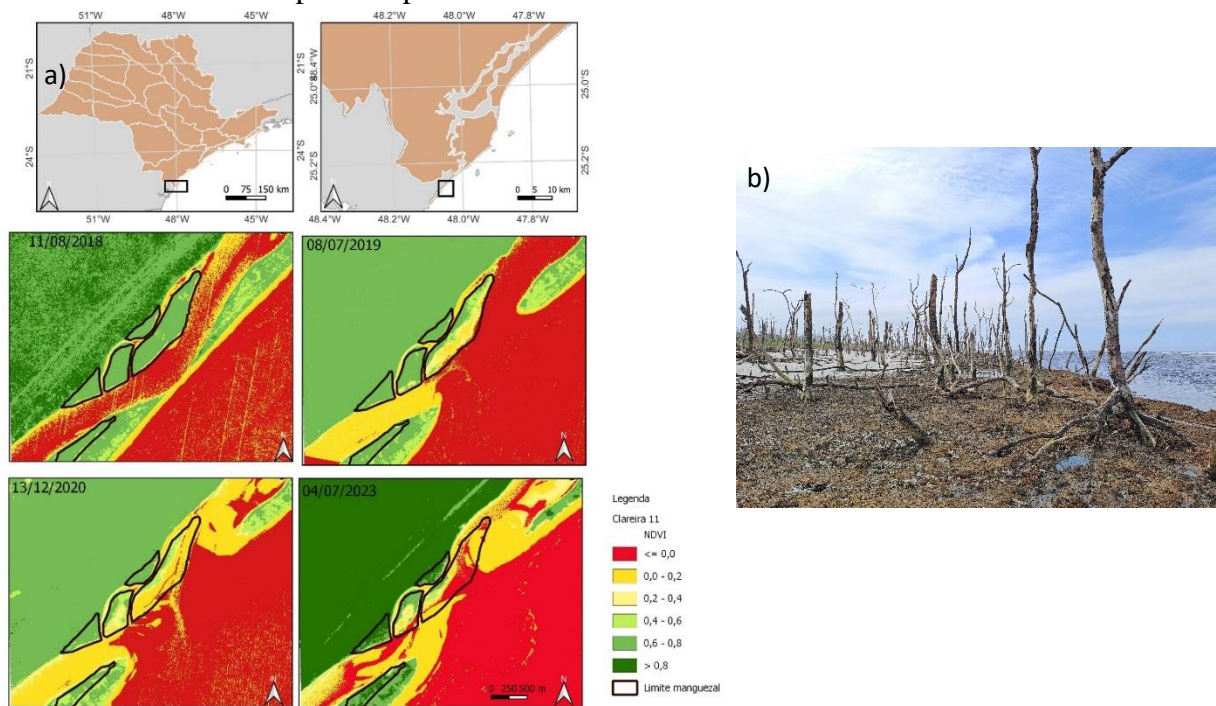
Os manguezais foram diretamente impactados pela abertura da nova barra. Em 2018, ainda sem rompimento do esporão arenoso, é possível verificar que os manguezais estão saudáveis, com NDVI de 0,6 a 0,8 (Figura 3a). Após a abertura da barra, observa-se intenso processo de alteração da floresta, com NDVI bem inferior, de 0,2 a 0,4. Em 2020, pelo menos dois trechos de manguezal estão em intenso processo de alteração, com NDVI entre 0 a 0,2 e 0,2 a 0,4. Já em 2023, o maior trecho de manguezal praticamente desapareceu.

Em 2022, Mariano et al. (2024) avaliaram a estrutura da vegetação em dois locais desse trecho impactado pela abertura da Nova Barra. As duas florestas de mangue estudadas, uma em local exposto à ação das ondas e outra com influência estuarina, possuem dominância de mangue preto (*Avicennia schaueriana*) com desenvolvimento estrutural intermediário (diâmetro médio do tronco = 6,5 cm) na floresta exposta, e maduro (diâmetro médio do tronco = 13,6 cm) na floresta abrigada. A floresta de mangue exposta possui 97,5% de área basal composta por troncos mortos, com a paisagem dominada por árvores mortas e caídas e sedimento do tipo arenoso. Por outro lado, a floresta de mangue abrigada das ações das ondas apresenta-se em ótimo estado de conservação, com 99,3% de dominância em área basal por troncos vivos, altura média das árvores maduras com 13,8 m, além de possuir diversas árvores com desenvolvimento estrutural intermediário, abaixo de 5 m de altura (plantas jovens).

A clareira 33 é exemplo de um impacto causado por raio, incidência muito comum no litoral paulista. Em 05/07/2017, observa-se a presença de uma clareira bem circular, com

valores de NDVI entre 0,4 a 0,6. Na imagem de 16/04/2020, é possível verificar que apesar de ainda predominar valores de NDVI entre 0,4 e 0,6, houve alteração no formato da clareira, que agora está mais alongada (Figura 4a). No entanto, a área ainda não foi recuperada, conforme foi possível constatar durante viagem de campo realizada em 15/04/2024 (Figura 04b).

Figura 03: a) NDVI gerado para a área da clareira 11 em 2018 (anterior a abertura da nova Barra) e 2019, 2020 e 2023 e b) Fotografia obtida em 16/04/2024 em manguezal impactado pela abertura da Nova Barra/PEIC.

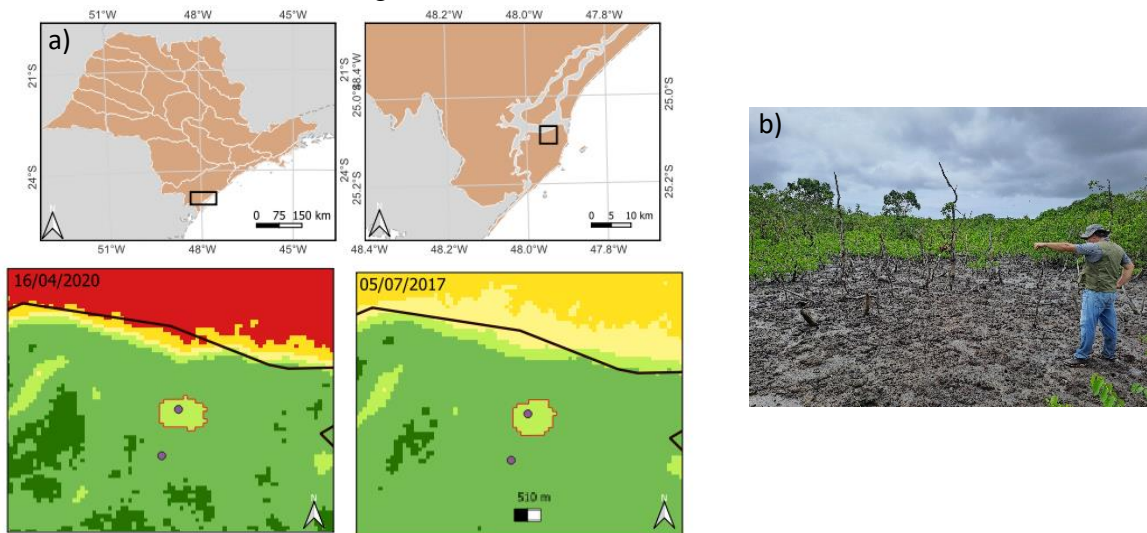


Fonte: Imagens Plantscope (2024). Foto: Nádia Lima

Em 16/04/2024, realizou-se visita a essa clareira para levantamento da estrutura da vegetação. Para uma melhor caracterização da floresta, delimitou-se uma parcela em área sem interferência pelo raio e outra na área com interferência. As duas parcelas estudadas possuíam dominância de mangue vermelho (*Rhizophora mangle*) com desenvolvimento estrutural intermediário tanto na floresta sem interferência (diâmetro médio do tronco = 4,2 cm) quanto na impactada (diâmetro médio do tronco = 3,0 cm). No entanto, a floresta de mangue com interferência do raio possui 83,8% de área basal composta por troncos mortos, com a paisagem dominada por árvores mortas, caídas e em decomposição. Por outro lado, a floresta de mangue sem interferência apresenta-se em ótimo estado de conservação, com 97,8% de dominância em área basal por troncos vivos, além de possuir diversas árvores com desenvolvimento estrutural intermediário, abaixo de 5 m de altura

(plantas jovens). A presença de plantas jovens em uma floresta de mangue madura é indicação da boa saúde dos manguezais, pois funcionam como ‘reservatório’ (CUNHA-LIGNON et al., 2015), mantendo a dinâmica da floresta em constante manutenção.

Figura 04: NDVI gerado para a área da clareira 33 em 2017 e 2020, oriunda da incidência de raio e fotografia obtida em 16/04/2024 na clareira 33/PEIC.



Fonte: Imagens Plantscope (2024). Fotografia: Nádia Lima

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa evidenciou que eventos extremos têm resultado em abertura de clareiras nos manguezais do Sistema Costeiro Cananeia Iguape, sendo seu processo de recuperação muitas vezes complexos e não lineares, principalmente quando associadas a áreas já sob pressões ambientais, sejam elas antrópicas ou naturais, como evidenciados nas áreas das clareiras C1 e C11. Enquanto que com as condições ambientais conservadas, a tendência é de que se instale um processo de recuperação (C10), mesmo que a longo prazo. Assim, as perdas de manguezais podem ser atribuídas a múltiplos fatores em diferentes escalas, e em muitos casos, o impacto pode ser potencializado quando se considera a soma de fenômenos naturais e antrópicos, dificultando ou até impossibilitando sua recuperação. O monitoramento dos manguezais é essencial, especialmente sob a ameaça das alterações climáticas, que reforça a importância de estratégias de conservação para este ecossistema

Palavras-chave: mangue, mudanças climáticas, impacto, NDVI.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio logístico fornecido pela Fundação Florestal e pelo Instituto de Pesquisas Ambientais.

REFERÊNCIAS

- ABHIK, S.; et al. Influence of the 2015–2016 El Niño on the record-breaking mangrove dieback along northern Australia coast. *Sci. Rep.* 2021, 11, 20411.
- AMIR, A. A.; DUKE, N. C. 2019. Distinct characteristics of canopy gaps in the subtropical mangroves of Moreton Bay, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Volume 222, Pages 66-80.
- CUNHA-LIGNON, M., ALMEIDA, R., LIMA, N. G. B., GALVANI, E., MENGHINI, R. P., COELHO JR, C., & SCHAEFFER-NOVELLI, Y. (2015). Monitoramento de Manguezais: abordagem integrada frente às alterações ambientais. *Anais... VIII CBUC-Trabalhos Técnicos*, Curitiba, 1-17.
- CHELIZ, P. et al. (2019). Apontamentos sobre oscilações geomorfológicas e impactos ambientais na ruptura da Ilha do Cardoso, e formação de nova barra do Canal de Ararapira (Cananéia-SP). *Anais...Simpósio Brasileiro de Geografia Física*, 2019.
- DUKE, N. C et al. Rainfall and its possible hysteresis effect on the proportional cover of tropical tidal-wetland mangroves and saltmarsh–saltpans. *Marine and Freshwater Research online*, 2019.
- DUKE, N. C. et al. A world without mangroves? *Science*, n. 317, p. 41-42, 2007.
- FRIESS, D. A. et al. Mangrove Blue Carbon in the Face of Deforestation, Climate Change, and Restoration. *Annual Plant Reviews online*, p. 427-456, 2020.
- LIMA, N. et al. Impacts of Extreme Weather Event in Southeast Brazilian Mangrove Forest. *Atmosphere*, v. 14, p. 1195, 2023.
- LIMA, N. G. B.; GALVANI, E. Interaction of climatic attributes in the mangroves of the south coast of São Paulo and their relation with climatic controls. *CONFINS (PARIS)*, v. 1, p. 1-23, 2018.
- MARIANO, A.E. B et al. Eventos extremos na zona costeira: consequências sobre a dinâmica sedimentar no trecho sul do litoral de São Paulo. In: *Vida em evolução: explorando as ciências biológicas / Organizadora Daniela Reis Joaquim de Freitas*. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2024.
- PRADO, H.M. et al. O canal do Valo Grande no Complexo Estuarino Cananéia Iguape (SP, Brasil): história ambiental, ecologia e perspectivas futuras. *Ambiente & Sociedade*. 2019; 22: e01822.
- SCHAEFFER-NOVELLI, Y. et al. *Monitoramento do Ecosistema Manguezal: estrutura e características funcionais*. In: Turra, A. & Dedanai, M.R. (orgs.). *Protocolos de campo para o monitoramento de habitats bentônicos costeiros*. Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros – ReBentos. São Paulo – SP: IOUSP, p. 65 – 83. 255p.
- SILVA, L.S.B. et al. Caracterização e mapeamento de clareiras em florestas de mangue no mosaico do Lagamar, SP e PR. *Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente*. São Paulo: Editora Integrar, 2023. v. 4
- WARD, R. D. et al. 2016. Impacts of climate change on mangrove ecosystems: a region by region overview. *Ecosystem Health and Sustainability*. v. 2, n. 4.