

EVENTOS EXTREMOS NA ZONA COSTEIRA: CONSEQUÊNCIAS SOBRE A DINÂMICA SEDIMENTAR NO TRECHO SUL DO LITORAL DE SÃO PAULO

Data de submissão: 18/12/2023

Data de aceite: 01/02/2024

Amanda Escarabichi Bueno Mariano

Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Programa de Pós-Graduação em
Biodiversidade de Ambientes Costeiros,
Câmpus do Litoral Paulista
São Vicente - São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/5741295618655208>

Letícia Noveleto Chiquetto

Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Programa de Pós-Graduação em
Biodiversidade de Ambientes Costeiros,
Câmpus do Litoral Paulista
São Vicente - São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/6233122404061963>

Pinto Leonidio Hanamulamba

Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Programa de Pós-Graduação em
Biodiversidade de Ambientes Costeiros,
Câmpus do Litoral Paulista
São Vicente - São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/3853893365454756>

Guilherme Ramos Panizza

Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Programa de Pós-Graduação em
Biodiversidade de Ambientes Costeiros,
Câmpus do Litoral Paulista
São Vicente - São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/0630867948692293>

Isadora Barbosa de Carvalho

Universidade Federal de São Paulo
(UNIFESP), Câmpus Baixada Santista.
Santos - São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/9439924347797212>

Maria Carolina de Souza Destito

Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Programa de Pós-Graduação em
Biodiversidade de Ambientes Costeiros,
Câmpus do Litoral Paulista
São Vicente - São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/4458035442348305>

Marília Cunha Lignon

Universidade Estadual Paulista (UNESP),
Programa de Pós-Graduação em
Biodiversidade de Ambientes Costeiros,
Câmpus do Litoral Paulista; Universidade
Estadual Paulista (UNESP), Faculdade
de Ciências Agrárias do Vale do Ribeira,
Brasil Registro - São Paulo
<http://lattes.cnpq.br/6396735236608800>

RESUMO: As alterações climáticas têm promovido maior frequência e intensidade de eventos extremos, aumentando a vulnerabilidade de populações humanas, sobretudo ao longo das zonas costeiras. Processos erosivos podem ser considerados um fenômeno global que

têm afetado grande parte das zonas litorâneas no Brasil e no mundo. O presente capítulo apresenta estudo de caso no Litoral Sul de São Paulo e Norte de Paraná com a dinâmica sedimentar (processos erosivos e deposicionais) acarretando alterações ambientais e sociais. A abertura de uma Nova Barra no Mar do Ararapira (São Paulo - Paraná) ocorreu em 2018, devido ao rompimento de um esporão que separa o estuário do oceano, durante um evento de alta energia de ondas e erosão pela maré. Apresentamos as consequências dos processos erosivos agindo sobre manguezais com dados inéditos. A abertura da Nova Barra levou ao fechamento da Barra de Ararapira (Barra Velha), onde se observou a formação de novas áreas de manguezal. Os eventos climáticos extremos têm sido registrados, afetando intensamente comunidades humanas costeiras no país. Ecossistemas costeiros saudáveis, tais como florestas de encosta, manguezais e restingas, são importantes ferramentas para mitigar os efeitos provocados pelas alterações climáticas, sendo que absorvem cerca de 30% do excesso de carbono atmosférico. Matas e florestas de encostas e bacias hidrográficas especialmente nas áreas mais sujeitas a tempestades intensas devem ser foco de projetos de restauração.

PALAVRAS-CHAVE: manguezal, processos erosivos, mudanças climáticas

EXTREME EVENTS IN THE COASTAL ZONE: CONSEQUENCES ON THE SEDIMENTARY DYNAMICS IN THE SOUTHERN STRETCH OF THE SÃO PAULO COAST

ABSTRACT: Climate change has promoted greater frequency and intensity of extreme events, increasing the vulnerability of human populations, especially along coastal zones. Erosive processes can be considered a global phenomenon that have affected most of the coastal zones in Brazil and in the world. This chapter presents a case study on the South Coast of São Paulo and North of Paraná with the sedimentary dynamics (erosive and depositional processes) leading to environmental and social changes. The opening of a Nova Barra in the Ararapira Sea (São Paulo - Paraná) occurred in 2018, due to the rupture of a spur that separates the estuary from the ocean, during an event of high wave energy and tidal erosion. We present the consequences of erosion processes acting on mangroves with unpublished data. The opening of Nova Barra led to the closure of Barra de Ararapira (Barra Velha), where new mangrove areas were formed. Extreme weather events have been recorded, intensely affecting coastal human communities in the country. Healthy coastal ecosystems, such as hillside forests, mangroves and restingas, are important tools to mitigate the effects caused by climate change, as they absorb about 30% of excess atmospheric carbon. Woods and forests on slopes and watersheds, especially in areas most subject to intense storms, should be the focus of restoration projects.

KEYWORDS: mangrove, erosion processes, climate change

EVENTOS EXTREMOS CLIMÁTICOS

Questões e realidades ligadas aos efeitos das mudanças do clima global e suas adaptações constituem os maiores desafios para a humanidade como também no que concerne à conservação da biodiversidade desde o início do século XXI (MARENGO, 2009). Essas mudanças, dão origem aos eventos climáticos extremos, que se evidenciam

de muitas formas nas distintas regiões do planeta, como as chuvas excessivas, enchentes, secas prolongadas, ondas de calor, tufões e ciclones (MARENGO, 2009). Um fenômeno é considerado extremo quando chega a valores máximos de magnitude, probabilidade de ocorrência, duração e escala espacial ou ultrapassa os limites pré-estabelecidos para uma região (STEPHENSON, 2008). Os impactos dos eventos extremos observados atualmente têm mostrado a vulnerabilidade da sociedade e também dos sistemas naturais, particularmente frente aos extremos climáticos e seus efeitos nos ecossistemas costeiros (NOBRE *et al.*, 2017).

Eventos extremos na zona costeira

As zonas costeiras possuem recursos naturais importantes, fornecendo às comunidades humanas serviços essenciais associados aos seus ecossistemas ricos em biodiversidade (MMA, 2008). São áreas propícias para a produção de alimento pela pesca, aquicultura e agricultura, além de fornecer recursos farmacológicos, minerais, energéticos e hidrológicos (MMA, 2008). Atuam também na regulação do clima e na reciclagem de nutrientes, e possuem áreas adequadas para atividades portuárias, industriais, turísticas, artísticas e culturais, necessárias para o funcionamento do planeta e o desenvolvimento socioeconômico e tradicional (MMA, 2008).

Como áreas de transição entre os processos construtivos e destrutivos dos fluxos oceânicos e continentais, as zonas costeiras podem ser consideradas sistemas naturalmente instáveis e que apresentam rápidas alterações morfológicas, hidrológicas e sedimentares (MASSELINK *et al.*, 2014; LIMA *et al.*, 2020). Frente a um cenário de mudanças do clima, eventos extremos intensificam essas alterações (LIMA *et al.*, 2020).

Os processos de erosão na zona costeira estão comumente relacionados a eventos extremos que originam da elevação do nível do mar. Situação que ocorre por influência de marés astronômicas e meteorológicas associadas às ondas de tempestade provenientes de intensas formações ciclônicas próximas à costa (LEAL *et al.*, 2018).

Muitos estudos têm sido feitos para uma melhor compreensão de como esses eventos impactam a zona costeira, colocando em risco, não só as infraestruturas socioeconômicas, mas também a biodiversidade e serviços ecossistêmicos prestados por esse ambiente (LIMA *et al.*, 2020).

Impactos ambientais e socioeconômicos

Os eventos extremos expõem as zonas costeiras a mudanças irreversíveis, causando a ruptura de habitats e alterações na distribuição de espécies (DUKE *et al.*, 2022).

No Refúgio Nacional da Vida Silvestre *Alligator River* (EUA) 31,600 hectares de vegetação de zonas úmidas foram alterados pela entrada de água salgada e ocorrência de eventos extremos, com 11% da área vegetada transformada em uma floresta morta (URY *et*

al., 2021). A entrada de água salgada no interior das áreas costeiras, devido ao aumento do nível do mar, pode resultar na transição da vegetação saudável para “florestas fantasmas”, caracterizadas pela alta densidade de árvores mortas ainda em pé, indicando a mortalidade rápida e síncrona da vegetação pelo estresse osmótico (KIRWAN & GEDAN, 2019).

No Golfo de Carpentaria, na Austrália, também foi registrado a morte súbita e generalizada de 7.400 hectares (6%) de vegetação de mangue, durante um evento extremo de seca, com altas temperaturas e baixa precipitação (DUKE *et al.*, 2017). Mesmo evento que também foi associado ao estresse térmico sofrido pelos corais no nordeste da Austrália, resultando em um branqueamento severo de 80% da área dos recifes (NORMILLE, 2016).

Além disso, as regiões costeiras estão sujeitas a erosão, um fenômeno global que se caracteriza pela perda de sedimentos a partir de processos geomorfológicos, resultante da complexa interação entre as ondas, nível do mar, incidências de ventos, correntes costeiras, balanço de sedimentos e geologia (FURTADO *et al.*, 2021).

A erosão costeira também vem sendo intensificada pela ocorrência de eventos extremos, como ocorrido em 2006 na *Queensland Gold Coast* da Austrália. Durante as condições de ondas de maior energia já registradas para a região nos últimos 30 anos, causada por um ciclone, 65 m² da praia foram erodidos (CASTELLE *et al.*, 2007). O evento também induziu a uma migração de 70 m da barra externa e a formação de uma nova barra interna em cinco dias (CASTELLE *et al.*, 2007).

Como consequência de processos erosivos ocorre a retrogradação da linha de costa com intrusão de água salina para dentro dos ecossistemas estuarinos, colocando a vegetação em risco (THAKUR *et al.*, 2019), como mencionado anteriormente.

Na última década, grande parte do litoral cearense do Brasil teve sua área reduzida, com praias mais estreitas, com a granulometria da areia de média a muito grossa e alturas das dunas mais reduzidas (MAIA, 2016). Em outras regiões, como é o caso do litoral entre Rio de Janeiro e Cabo Frio, os processos erosivos ocorridos na orla costeira são resultado de eventos extremos e não do efeito de recuo contínuo da linha de costa (MUEHE, 2011).

O histórico de ocupação e desmatamento da zona costeira vem confinando a vegetação endêmica de áreas úmidas em trechos remanescentes com baixa conectividade, e que agora se encontram em uma situação de ainda maior vulnerabilidade pela sua localidade, suscetível aos impactos de eventos extremos (URY *et al.*, 2021). A degradação da vegetação costeira está relacionada à perda da diversidade de fauna associada. O caranguejo-uçá, por exemplo, uma importante fonte de subsistência de catadores, vem desaparecendo dos manguezais, impactando não somente em termos ecológicos, mas também sociais (DUARTE & REZENDE, 2019).

As constantes variações observadas no clima têm impactos direto nas atividades socioeconômicas das populações de ecossistemas em áreas vulneráveis, com realce a pesca de subsistência e a agricultura familiar, assim como nos riscos de desastres naturais (NOBRE *et al.*, 2017). Entre as populações costeiras, existem aquelas que dependem exclusivamente do uso direto dos recursos naturais, sendo obrigadas a lidar com altos

níveis de incerteza relacionados à disponibilidade de recursos naturais e às políticas de conservação da biodiversidade (FARACO *et al.*, 2010).

ESTUDO DE CASO

Área de estudo

No trecho do litoral sul de São Paulo e norte de Paraná, o Mosaico de Áreas Protegidas do Lagamar, criado pela portaria nº150 (BRASIL, 2006), abrange 34 Unidades de Conservação de diferentes categorias (Figura 1). O Parque Estadual da Ilha do Cardoso (município de Cananéia, no estado de São Paulo), criado pelo Decreto nº 40.319 de 1962, compreende 13,6 mil ha. O Parque Nacional (PN) do Superagui (município de Guaraqueçaba, no Paraná), criado pelo Decreto nº 97.688 de 1989 e pela Lei Federal nº 9.513 de 1997, abrange uma área de 33.988 ha. A Barra do Ararapira encontra-se no limite entre os dois parques e estados.

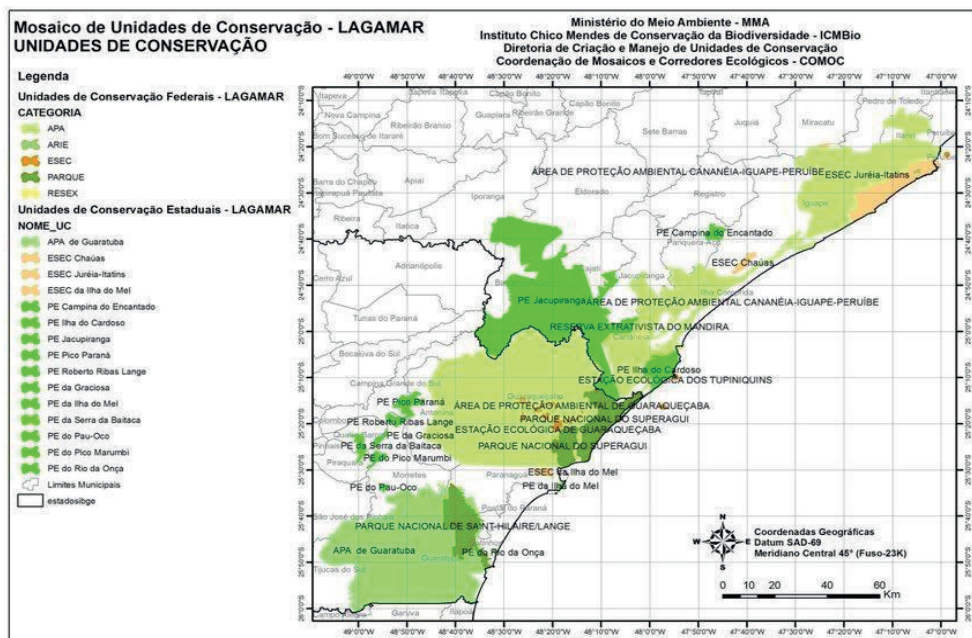


Figura 1. Mosaico de Unidades de Conservação - LAGAMAR. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade – ICMBio.

A região abriga rica diversidade biológica e sociocultural. Com populações tradicionais de origens quilombolas, indígenas e caiçaras, o Complexo Estuarino Cananéia-Iguape integra a Reserva da Biosfera da Mata Atlântica e o Sítio do Patrimônio Mundial Cultural, ambos reconhecidos pela UNESCO e é classificado como Sítio Ramsar desde 2017 (CHARLIER-SARUBO *et al.*, 2021).

A Barra do Ararapira é uma região com constantes processos erosivos que impõem a gerações de moradores a necessidade de mudanças periódicas tanto de suas residências quanto de suas rotas de pesca. Em 1996, Rubens, um dos antigos moradores, afirma que acompanhou a mudança da barra mais de 30 vezes entre 1938 e 1965. A mãe de Rubens casou-se na região e diz que precisou transferir sua residência quase todos os anos (BAZZO, 2011).

Em 2002, ao analisar essa constante dinâmica da barra, Mihály & Angulo (2002) previram que ocorreria uma nova abertura da barra a nordeste da Barra do Ararapira. É na Enseada da Baleia que este processo erosivo acontecia. Muller (2007) estimou que em 1980 a faixa de areia que viraria a “barra nova” possuía cerca de 100 metros de largura, passando na época de seu estudo a 17 metros. Outra análise feita por Angulo *et al.* (2009) afirmava que a nova abertura ocorreria cerca de 1 km de distância da velha barra, próximo ao vilarejo da Enseada da Baleia, foi previsto que tais eventos se dariam entre 2012 e 2016, apesar de pequenas discordâncias sobre a data e o local, as previsões foram bastante corretas.

A previsão partia tanto de pesquisadores quanto de moradores locais, visto que a dinâmica de erosão e deposição sempre ocorreu. Uma das moradoras afirma “uma terra que o mar está comendo”; “mas a natureza está em constante mudança e mangues viram areia, areia vira mangue”; “é mato que vira mar e mar que vira mato”. Assim, tanto os nativos quanto os cientistas afirmavam que a barra de Ararapira se fecharia para a abertura da nova barra (BAZZO, 2011), como ocorrido em agosto de 2018.

A nova abertura causou, gradualmente, o fechamento da Barra de Ararapira ao sul, na divisa entre os estados de São Paulo e Paraná. Os pesquisadores afirmavam que com essas alterações a energia próxima a Barra de Ararapira diminuiria e parte desse território viraria manguezal, assim, modificando os hábitos pesqueiros bem como a distância de saída para o “mar de fora” (mar aberto). Um morador afirma, na época, que “é o êxodo”, enquanto outro diz que “a barra é nossa bússola”, mostrando a interdependência dos moradores aos aspectos ambientais. A dinâmica geomorfológica mostra um desafio não só para as comunidades do entorno, mas também para o poder público que precisa adaptar-se às alterações físicas que colocam em xeque as delimitações entre os estados e entre os dois parques (BAZZO, 2011).

Dinâmica sedimentar

As desembocaduras dos estuários, conhecidas popularmente como barras, são a parte final dos rios, onde há um encontro com o mar ou outro corpo d’água (ANGULO *et al.*, 2019). Tais feições geomorfológicas costumam sofrer influência de diversos processos dinâmicos, como erosão, movimento das marés, geomorfologia e aporte de sedimentos no local (FITZGERALD *et al.*, 2001), além das atividades humanas (ANGULO *et al.*, 2009).

Assim como processos que ocorrem no mar e nos rios/estuários afetam as desembocaduras, a descaracterização destas por ação humana também influenciará nos processos físicos ao seu redor (FITZGERALD *et al.* 2001).

Angulo *et al.* (2009) citam alguns locais onde a alteração de ambientes por ações humanas causou uma modificação na dinâmica das barras, por diversos interesses, tais como pesca (em Alverca, Portugal) e navegação (Santa Catarina e Rio Grande do Sul). O Canal do Varadouro, é exemplo emblemático, onde foi feito o alargamento de um pequeno corpo d'água, que ligava os rios Varadouro e Ararapira, para facilitar a passagem de embarcações maiores entre o estado do Paraná e São Paulo, o que traria mais força para o comércio na região do Vale do Ribeira (RODRIGUES, 1955).

Pré-abertura

Antes da abertura e surgimento da “Barra Nova”, a Barra de Ararapira possuía um esporão de origem holocênica, com início de formação entre 700 e 1110 anos antes do presente (ANGULO *et al.*, 2009). Sua extensão tinha por volta de 16 km, com uma largura aproximada de 400 m, estendendo-se desde a Baía do Trapandé (ao norte), até a região do Superagui (ao sul) (ANGULO *et al.*, 2009; 2019), com um volume de maré vazante de aproximadamente 200.000 m³ (ANGULO *et al.* 2006). As marés tinham em média 1,6 m, com ondas predominantes a nordeste (massa de ar do Atlântico) e a sudeste (decorrentes de eventuais ciclones), sendo as últimas responsáveis por alterações significativas nos perfis morfológicos do esporão (QUADROS, 2002).

De forma geral, a morfologia da Barra de Ararapira segue uma dinâmica dominada por uma corrente de deriva longitudinal, em direção ao norte, sendo que a geomorfologia interna do esporão sugere um padrão de sedimentação a sudoeste, que gerou diversas “paleo-barras” no decorrer de milhares de anos (ANGULO *et al.* 2009).

Apesar de o esporão se comportar de maneira dinâmica, principalmente em sua porção oceânica, onde há períodos de acresção e erosão (períodos de ondas com diferentes energias), a largura de sua porção mais estreita, próximo à localização conhecida popularmente como Enseada da Baleia, desenvolveu um estreitamento de cerca de 80 metros entre 1980 e 2009 (ANGULO *et al.*, 2009). Já havia algumas previsões de que o esporão iria se romper entre 2012 e 2016, dependendo dos cenários climáticos e sedimentares no decorrer dos anos, e que a Barra de Ararapira passaria a receber maior aporte sedimentar, gerando assoreamento e seu fechamento a longo prazo (ANGULO *et al.*, 2009). Apesar disso, era esperado que o mar avançasse sobre o esporão apenas em eventos de alta energia, o que depois de algum tempo resultaria em sua abertura, sendo que na verdade a abertura ocorreu sim em eventos de alta energia (período de agosto), porém sem que antes o mar sobrepassasse o esporão (ANGULO *et al.*, 2019).

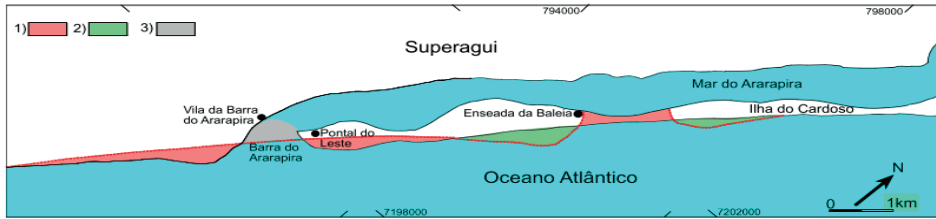


Figura 2. O esquema demonstra a previsão de abertura da barra nova, e as alterações sedimentares consequentes desta alteração. 1) áreas erodidas; 2) áreas acrescidas; 3) áreas assoreadas, após a abertura da barra nova do Ararapira. Adaptado de Angulo et al. (2009).

Pós-abertura (“Barra Nova”)

A abertura do esporão do Mar do Ararapira, que consequentemente deu origem a chamada “Barra Nova”, ocorreu em 28 de agosto de 2018 (ANGULO *et al.*, 2019), um mês conhecido por possuir ventos e ondas fortes. Atualmente, o Mar do Ararapira, porção mais terminal do complexo estuarino Cananéia-Iguape, continua com uma extensão de cerca de 16 km, porém com uma largura média de apenas 0,5 m, a qual alarga-se de 0,25 até 1,8 km desde a porção norte até a desembocadura de Ararapira (ANGULO *et al.*, 2019).

Desde antes da abertura da “Barra Nova”, os meandros e as dinâmicas de maré no Mar do Ararapira definem dois tipos principais de costas, nas quais as margens onde há predomínio de deposição sedimentar, colonizada por manguezais, seguida por restinga, e as margens que sofrem processo erosivos (ANGULO *et al.*, 2019), onde a vegetação de mangue não consegue se estabelecer.

Consequências ambientais

Com o intuito de avaliar as consequências ambientais da abertura da Nova Barra e o fechamento da Barra de Ararapira, foram estudadas duas áreas de manguezal, em 21 de setembro de 2022 (Figura 3 e Tabela 1):

1. Barra Nova Mangue Exposto (BNP1) em área exposta à ação do oceano e deposição sedimentar em função da abertura da Nova Barra (Figura 6);
2. Barra Nova Abrigada (BNP2) em local abrigado e com influência estuarina.

Em cada área, uma parcela de tamanho variável (compreendendo de 20 a 30 plantas de mangue acima de 1 m de altura) foi delimitada, onde atributos de estrutura da vegetação de mangue foram obtidos adotando-se metodologia de Cintrón e Schaeffer-Novelli (1984) e Schaeffer-Novelli *et al.* (2015).

Também foi obtida a salinidade intersticial (do sedimento) na BNP2 e na proximidade da Barra de Ararapira, coletada a 10 cm de profundidade, de acordo com a metodologia de Schaeffer-Novelli *et al.* (2015).

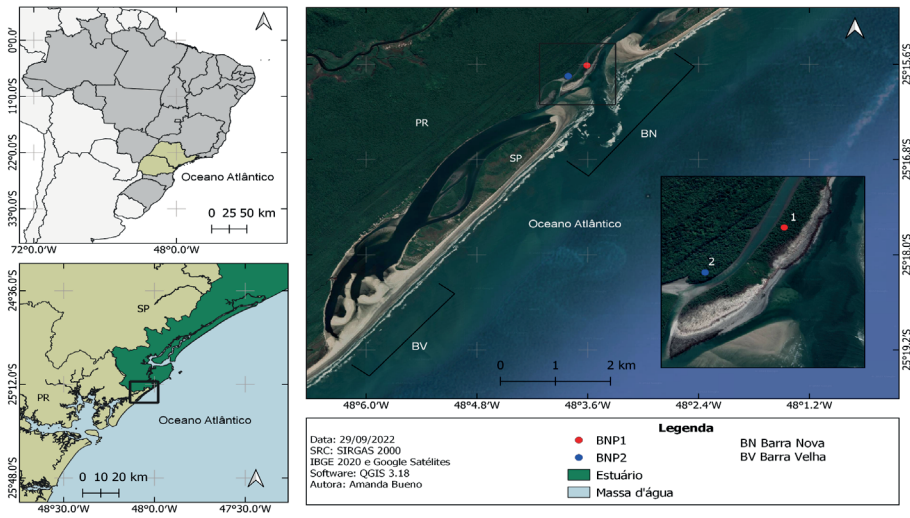


Figura 3. Mapa de localização dos pontos de estudo. Ponto 1 representa a parcela BNP1, local exposto à ação das ondas e o Ponto 2 a parcela BNP2, local com influência estuarina. BN representa o local de abertura da Barra Nova e BV o local de fechamento da Barra Velha (Barra de Ararapira). Elaboração: Amanda Bueno.

As duas florestas de mangue estudadas 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 (BNP1) possui 97,5% de área basal composta por troncos mortos (Figura 4), com a paisagem dominada por árvores mortas e caídas e sedimento do tipo arenoso (Tabela 1).

Por outro lado, a floresta de mangue abrigada das ações das ondas (BNP2) apresenta-se em ótimo estado de conservação (Tabela 1), com 99,3% de dominância em área basal por troncos vivos (Figura 4), 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) (Figura 5). 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.







Parcela	Floresta de Mangue	Dossel	Sedimento
BNP1 160 m ²			
BNP2 100 m ²			

Tabela 1. Características das duas áreas estudadas em manguezais na Barra Nova. Parcela BNP1, local exposto à ação das ondas e parcela BNP2, com influência estuarina, abrigada das ondas. Fotos: Amanda Bueno, em 21/09/2022

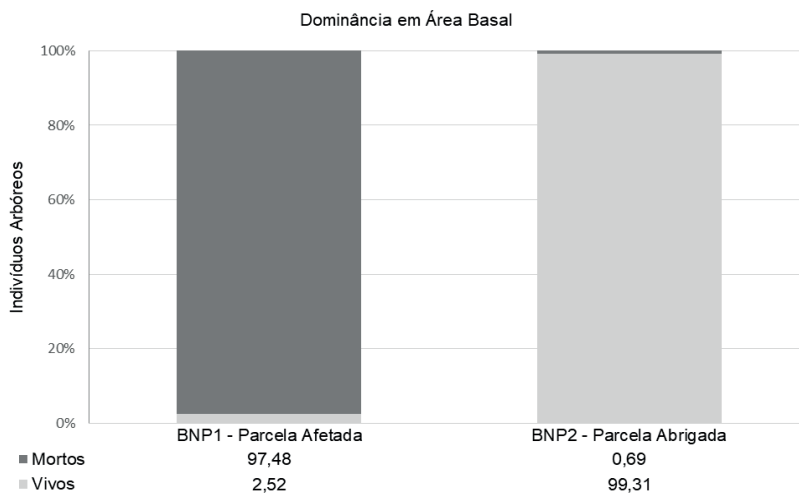


Figura 4. Dominância em área basal por troncos vivos e mortos nas duas parcelas de mangue estudadas.

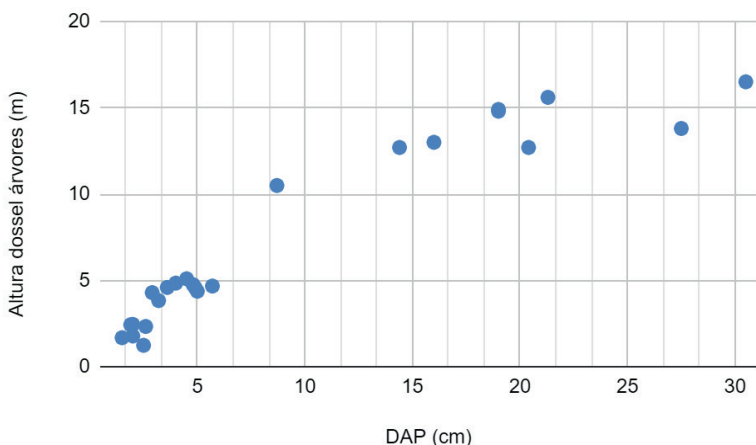


Figura 5. Relação de altura e diâmetro a altura do peito (DAP) das árvores de mangue da floresta abrigada (BNP2).

Com o fechamento da Barra de Ararapira (Barra Velha) criou-se um ambiente favorável ao desenvolvimento de nova floresta de mangue, com baixa energia das correntes de maré e salinidade intersticial de 34 ppm (Tabela 2). Nessa área, observou-se a ocorrência das três espécies típicas de mangue (*A. schaueriana*, mangue preto, *Laguncularia racemosa*, mangue branco e *Rhizophora mangle*, mangue vermelho), com plantas de *A. schaueriana* mais desenvolvidas (em torno de 1,2 m) e em maior abundância, além da presença da gramínea *Spartina alterniflora*.

Na floresta de mangue abrigada (BNP2) registrou-se salinidade intersticial no valor de 31 ppm. Dados anteriores à abertura da barra (CUNHA-LIGNON *et al.* 2015) são de 23 e 28 ppm, em manguezais próximos à essa região de estudo. Registros mais recentes, após a abertura da barra, dataram salinidade intersticial de 37 ppm, indicando a influência da maior entrada da maré nesse trecho do canal (CUNHA-LIGNON & AVELAR, 2020) (Tabela 2).

Local	Salinidade intersticial (ppm)	Referência
BNP2 – Floresta Abrigada	31	Presente trabalho
Barra de Ararapira (Barra Velha)	34	
Oceano	36	
RESEX Ilha do Tumba – Cananéia (SP)	37	Cunha-Lignon; Avelar (2020)
Sítio Grande – Cananéia (SP)	28	Cunha-Lignon <i>et al.</i> (2015)
Baguaçu – Cananéia (SP)	23	Cunha-Lignon <i>et al.</i> (2015)
Nóbrega – Cananéia (SP)	23	Cunha-Lignon <i>et al.</i> (2015)

Tabela 2. Valores de salinidade intersticial nas florestas de mangue do extremo litoral sul de São Paulo e comparação com estudos pretéritos realizados na região.

Os intensos processos sedimentares que estão ocorrendo no trecho sul do litoral de São Paulo têm afetado as áreas de manguezal. A abertura da Nova Barra provocou alta mortalidade das florestas de mangue, mudanças na paisagem e aumento da salinidade intersticial.

A abertura da barra também está provocando alterações na dinâmica de espécies de peixe de interesse comercial utilizadas pelas comunidades caiçaras locais. O iriko (*Anchoa marinii*, *Anchoa tricolor* e *Anchoa lyolepis*) é um tipo de manjuba que forma grandes cardumes de muitos indivíduos proporcionando grande biomassa no ambiente. Essa espécie, capturada pela pesca artesanal na região estuarina do litoral Sul de São Paulo, é uma das 32 espécies que dependem dos manguezais para sobreviverem (CUNHA-LIGNON *et al.*, 2021). Além disso, tem grande função ecológica, pois é alimento para outras espécies comercialmente importantes. Essa espécie deslocou sua área de distribuição para o norte do Canal de Ararapira, onde a pesca dessa espécie não é permitida. Em função disso, atualmente está sendo elaborado no contexto do conselho da Área de Proteção Ambiental Cananéia-Iguape-Peruíbe (APACIP) o Plano de Uso Específico de Pesca Tradicional Artesanal da Manjuba/Iriko, que propõe a mudança da área de pesca, de modo que a comunidade tradicional possa continuar utilizando esse recurso pesqueiro.

Outra consequência da maior entrada de água salgada do oceano no canal de Ararapira é o registro da grande presença de ostra exótica (*Saccostrea cucullata*) na região da Resex da Ilha do Tumba (trecho próximo à Nova Barra), provavelmente devido ao aumento da salinidade (CUNHA-LIGNON & AVELAR 2020). De acordo com as autoras, a grande presença de *S. cucullata* nesse trecho do estuário ressalta a importância de monitoramento e estratégias de manejo para auxiliar na gestão desse sistema costeiro (CUNHA-LIGNON & AVELAR 2020).

Por outro lado, o fechamento da Barra de Ararapira (Barra Velha) está favorecendo a instalação de propágulos de mangue e formação de nova área de manguezal, em função da redução da energia das correntes de maré nesse trecho do extremo sul da costa paulista. Sugere-se que o monitoramento dessa área seja realizado, como resposta à dinâmica dos processos sedimentares.

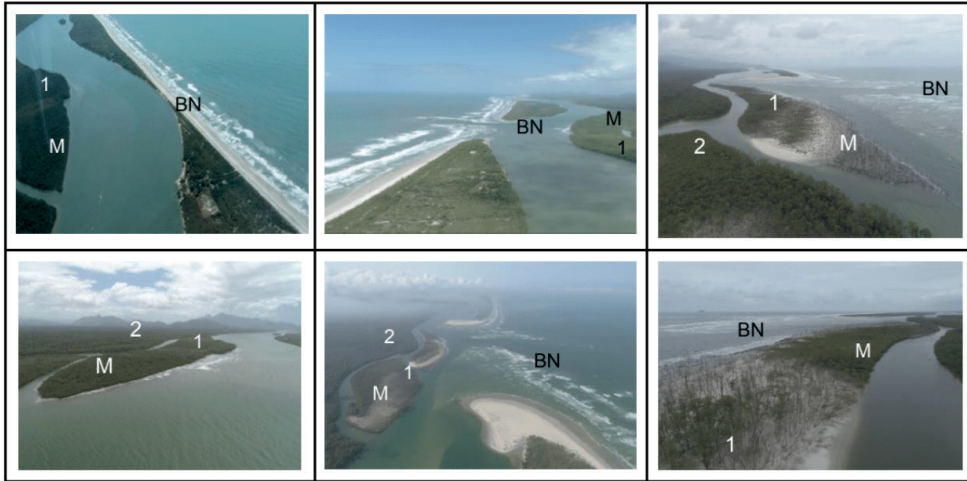


Figura 6. Cenário de abertura da Barra Nova (BN), no Mar de Arapira e suas consequências na vegetação de mangue (M). Nas imagens também estão representados os pontos de estudo do trabalho em 1 (BNP1) e 2 (BNP2). Fotos: André Pedro Noffs.

CENÁRIOS FUTUROS

A ocorrência dos eventos extremos nas zonas costeiras, como resultados das mudanças do clima, é uma preocupação nas mais distintas regiões do planeta, tendo em conta os seus impactos em várias proporções (BRASIL, 2008). Seus efeitos têm sido uma grande ameaça à saúde dos ecossistemas costeiros e ao bem-estar das populações humanas. Podemos destacar o aumento da temperatura da superfície da água do mar, a elevação e variabilidade do nível do mar, a ocorrência de ciclones dando origem às grandes ondas, que promovem altas taxas de erosão costeira, movimentação do subsolo por subsidência, influenciando as mudanças da energia hidrodinâmica que restringem o espaço dos manguezais (ROGERS, 2021).

O Relatório do Clima do INPE (2007), aponta o aumento de 2°C a 4°C da temperatura no Brasil (ARTAXO, 2020). Quanto à precipitação, projeções para os próximos anos sugerem que no Sul e no Sudeste do Brasil, haverá um aumento da precipitação média devido ao aumento da frequência de dias chuvosos e redução de dias secos (MARENGO, 2007).

O relatório do IPCC de 2019 prevê que até 2100 o nível do oceano vai aumentar entre 0,3 metros e 1,1 metros, destruindo ecossistemas costeiros, além de provocar grandes variações no processo sedimentar, provocando erosão de grandes extensões da linha de costa (CASTRO *et al.*, 2010). Com a modificação da hidrodinâmica dessas áreas, pode ocorrer introdução da água salgada em um aquífero de água doce, alterando a biodiversidade (BRASIL, 2016), e também podendo comprometer o abastecimento de água em cidades litorâneas (CASTRO *et al.*, 2010). Com essas mudanças climáticas as regiões

costeiras urbanizadas estarão sujeitas ao aumento de ciclones extratropicais e mudanças das ondas, propiciando situações de inundações (BRASIL, 2016).

Os eventos climáticos extremos podem impactar a produção agrícola, a infraestrutura costeira, a disponibilidade de recursos hídricos e a qualidade ambiental das cidades (ARTAXO, 2020). Infelizmente, esses impactos já estão sendo observados. Em fevereiro de 2022, a cidade de Petrópolis no Rio de Janeiro registrou um acúmulo de 530 milímetros de chuva em 24 horas, resultando em deslizamentos de terra e 233 mortos. Mais recentemente, em fevereiro de 2023, a cidade de São Sebastião em São Paulo registrou o maior índice de acúmulo de chuva, com 682 milímetros em 24 horas, deixando mais de 2.000 pessoas desabrigadas e 65 mortos. Após o evento de São Sebastião, a Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência (SBPC) elaborou documento com dez medidas para evitar novas mortes por falta de políticas de planejamento para eventos climáticos extremos em regiões de alta vulnerabilidade. A SBPC reforçou a necessidade de medidas de curto, médio e longo prazos a fim de reduzir os riscos causados por esses eventos, cuja intensidade tem aumentado dramaticamente com as mudanças climáticas (SBPC, 2023).

Ecosistemas costeiros saudáveis, tais como florestas de encosta, manguezais e restingas, são importantes ferramentas para mitigar os efeitos provocados pelas alterações do clima, sendo que absorvem cerca de 30% do excesso de carbono atmosférico (CASTRO *et al.*, 2010). Além de proteger a costa contra tempestades e aumento do nível do mar, evitam erosão ao longo das margens, fazem a reciclagem de nutrientes e captura de sedimentos (HOWARD *et al.*, 2014). Matas, florestas de encostas e bacias hidrográficas especialmente nas áreas mais sujeitas a tempestades intensas devem ser foco de projetos de restauração (SBPC, 2023).

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Fundação Florestal pelo apoio logístico no trabalho de campo e ao ICMBio pela autorização da presente pesquisa no Parque Nacional de Superagui. Agradecemos também ao MsC. André Pedro Noffs pelo auxílio na coleta de dados em campo e disponibilização das imagens aéreas obtidas com drone.

REFERÊNCIAS

ANGULO, R.J.; SOUZA, M. C; LAMOUR; M. R. **Coastal erosion problems induced by dredging activities in the navigation channel of Paranaguá and São Francisco do Sul harbor, Southern Brazil.** Journal of Coast Research, Itajaí, SI 39 (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium), p. 1801 - 1803., 2004. ISSN 0749-0208.

ANGULO R.J; SOUZA, M.C; MULLER, M.E. **Previsão e conseqüências da abertura de uma nova barra do Mar do Arapira, Paraná-São Paulo, Brasil.** Quat Environ Geosci, v.1, n.2, p.67–75, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/abequa.v1i2.14577>

ANGULO, R.J.; SOUZA, M.C; SIELSKI, L.H; NOGUEIRA, R.A. **Morphology, bedforms and bottom sediments of Mar do Arapira, southern Brazil**. Quat Environ Geosci, Curitiba, v.10, n.1, p.1–9, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/abequa.v10i1.5946>

ANGULO, R.J. **Aspectos físicos das dinâmicas de ambientes costeiros, seus usos e conflitos**. Desenvolvimento e Meio Ambiente, Curitiba, v. 10, p. 175-185, 2004. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/made/article/view/3107>

ARTAXO, P. **As três emergências que nossa sociedade enfrenta: saúde, biodiversidade e mudanças climáticas**. Estudos Avançados, v. 34, n.100, 2020

ATSAMON, L.; SANGCHAN, L.; THAVIVONGSE, S. **Assessment of Extreme Weather Events Along The Coastal Areas of Thailand**. J21.2, 8P.

BAZZO, J. **Mato que vira mar, mar que vira mato: o território em movimento na vila de pescadores da Barra de Arapira (Ilha do Superagüi, Guaraqueçaba, Paraná)**. Cadernos de Campo (São Paulo - 1991), v. 20, n. 20, p. 65-85, 2011. DOI: 10.11606/issn.2316-9133.v20i20p65-85. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/cadernosdecampo/article/view/36790>.

BRASIL. **Portaria nº 150**, de 8 de maio de 2006. Ministério do Meio Ambiente - MMA, Diário Oficial da União. Brasília, DF, p.73, 17 de maio de 2006

BRASIL. **Plano Nacional Sobre Mudança do Clima**. Decreto nº6.263, 21 de novembro de 2007.

BRASIL. **Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima - Volume II: Estratégias Setoriais e Temáticas**. Portaria MMA nº 150 de 10 de maio de 2016

CASTELLE, B; TURNER, I.L; RUESSINK, B.G; TOMLINSON, R.B. **Impact of storms on beach erosion**. *Jornal de pesquisa costeira*. Gold Coast Austrália, SI 50 (Proceedings of the 9th International Coastal Symposium), p. 534-539, ISSN 0749.0208. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/26481646>.

CASTRO, B.M.; BRANDINI, F. P.; WAINER, I.E.K.C; DOTTOI, M. **O mar de amanhã, com as mudanças climáticas de hoje**. Ciência e Cultura, São Paulo, v. 62, n. 3, 2010

CHARLIER-SARUBO, S.; CUNHA-LIGNON, M. **Os Manguezais do Paraná: Resiliência frente ao comprometimento de suas funções e serviços ecossistêmicos**. In: Pellizari, F. & Gomes-Figueiredo, J. (orgs.), 2021. O meio ambiente litorâneo e insular do Paraná. Ponta Grossa, PR, Ed. Atena, Cap. 11, p.162-174.

CUNHA-LIGNON, M.; ALMEIDA, R.; LIMA, N. G. B.; GALVANI, E.; MENGHINI, R. P.; COELHO-JR., C.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Monitoramento de Manguezais: abordagem integrada frente às alterações ambientais**. In: Anais do Congresso Brasileiro de Unidades de Conservação, Curitiba, VIII, 2015.

CUNHA-LIGNON, M.; AVELLAR, F.B. **Ostras nativas e exóticas em áreas protegidas do litoral sul de São Paulo e implicações ambientais e socioeconômicas. Multidisciplinaridade na aquicultura: Legislação, sustentabilidade e tecnologias**. SEMAQUI, 2020.

CUNHA-LIGNON, M.; MENDONÇA, J.T. **Ecosistema manguezal: seus recursos naturais e pesca.** In: CUNHA-LIGNON, M., BERTINI, G.; MONTEALEGRE-QUIJANO, S. (ed.). Manguezais, camarões-de-água-doce e manjuba-de-iguape: patrimônios natural e cultural do Vale do Ribeira e Litoral Sul do Estado de São Paulo. Registro: Unesp, 2021. p. 23-65, 2021.

DA SILVA, D.F.; LIMA, M.J.S.; NETO, P.F.S.; GOMES, H.B.; SILVA, F.D.S.; ALMEIDA, H.R.R.C; COSTA, R.L.; PEREIRA, M.P.S. **Caracterização de eventos extremos e de suas causas climáticas com base no Índice Padronizado de Precipitação Para o Leste do Nordeste.** Revista Brasileira de Geografia Física, v.13, n.2, 2020, ISSN: 1984-2295. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge/article/view/243372>

DUKE, N.C.; KOVACS, J.M.; GRIFFITHS, A.D.; PREECE, L.; HILL, D.J.E.; VAN OOSTERZEE, P.; MACKENZIE, J.; MORNING, H. S.; BURROWS, D. **Large-scale dieback of mangroves in Australia's Gulf of Carpentaria: A severe ecosystem response, coincidental with an unusually extreme weather event.** Marine and Freshwater Research, vol. 68, no. 10, p. 1816–1829, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1071/MF16322>.

DUKE, N.C.; MACKENZIE, J.R.; CANNING, A.D.; HUTLEY, L.B.; BOURKE, A.J.; KOVACS, J.M.; CORMIER, R.; STABEN, G.; LYMBURNER, L.; A.I. E. ENSO. **Driven extreme oscillations in mean sea level destabilise critical shoreline mangroves—An emerging threat.** PLOS Climate, vol. 1, no. 8, 2022.

FARACO, L.F.D.; ANDRIGUETTO-FILHO, J.M.; LANA, P.C. **A methodology for assessing the vulnerability of mangroves and fisherfolk to climate change.** Pan-American Journal of Aquatic Sciences, vol. 5, no. 2, p. 33–51, 2010.

FITZGERALD, D.M.; KRAUS, N.C.; HANDS, E.B. **Natural mechanisms of sediment bypassing at tidal inlets.** Coastal and Hydraulics Laboratory e Engineer Research and Development Center. Technical note (Coastal and Hydraulics Engineering), IV-30.

FRIESS, D.A.; ADAME, M.F.; ADAMS, J.B.; LOVELOCK, C. E. **Mangrove forests under climate change in a 2°C world.** Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, v. 13, n. 4, p. 1–15, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/wcc.792>.

FRIESS, D.A.; ROGERS, K.; LOVELOCK, C.E.; KRAUS, K.W.; HAMILTON, S.E., LEE, S.Y.; RICHARD, L.; PRIMAVERA, J.; RAJKARAN, A.; SHI, S. **The State of theWorld's Mangrove Forests: Past, Present, and Future.** Annual Review of Environment and Resources, v.44, p.88-115, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-101718- 033302>.

FURTADO, T.V; BONETTI, J. **Proposta para o mapeamento de danos causados por eventos extremos em praias densamente urbanizadas.** Arquivo de Ciências do Mar, Fortaleza, v. 53, n. 2. (Especial), p.120-127, 2020.

KIRWAN, M.L.; GEDAN, K. B. **Sea-level driven land conversion and the formation of ghost forests.** Nature Climate Change, v.9, p. 450 – 457, 2019

LEAL, K.B.; DALINGHAUS, C.; BONETTI, J; DA SILVA, A.P. **Caracterização do clima de ondas e avaliação da exposição a eventos extremos das praias da Armação e Ingleses, Ilha de Santa Catarina.** In: VIII Encontro da Rede BRASPOR, 2018, Rio Grande. VIII Encontro da Rede BRASPOR Anais, 2018.

LIMA, C.O. **Metodologia Para a Avaliação Da Vulnerabilidade Social a Eventos Extremos Costeiros No Brasil. Tese (doutorado em geografia)**. Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Florianópolis, 2022

LIMA, C.O.; BONETTI, J. **Bibliometric analysis of the scientific production on coastal communities' social vulnerability to climate change and to the impact of extreme events**. *Natural Hazards*, v. 102, n. 3, p. 1589–1610, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11069-020-03974-1>.

LOVELOCK, C.E. **Accommodating complexities: Enhancing understanding of the impacts of sea-level rise. A commentary on Kerrylee Rogers' 'Accommodation space as a framework for assessing the response of mangroves to relative sea-level rise'**. *Singapore Journal of Tropical Geography*, v. 42, n. 2, p. 190–193, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/sjtj.12361>.

MAIA, G.O.; PINHEIRO, L.S. **Eventos De Alta Energia E Suas Consequências Na Zona Costeira Do Município De Aquiraz, Estado Do Ceará**. *Arquivos de Ciências do Mar*, v. 49, n. 1, p. 74-90, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.32360/acmar.v49i1.6163>.

MARENGO, J.A.; SCHARFFER, R.; PINTO, H. S.; ZEE, D. M. W. **Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil** - FBDS. 76p., 2009.

MASSELINK, G.; GEHRELS, R. **Coastal environments and global change**. 1 ed. American Geophysical Union, 2014. 448 p.

MIHÁLY, P.; ANGULO, R.J. **Dinâmica da desembocadura do corpo lagunar do Ararapira**. *Revista Brasileira de Geociências*, v.32, n.2, p. 217-22, 2002.

MMA (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE). **Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil**. Brasília: MMA, 2008, p.242

MMA (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE); GERÊNCIA DE BIODIVERSIDADE AQUÁTICA E RECURSOS PESQUEIROS. **Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos no Brasil**. Brasília: MMA/SBF/GBA, 2010, p.148

MUEHE, D. **Erosão Costeira - Tendência ou Eventos Extremos? O Litoral entre Rio de Janeiro e Cabo Frio, Brasil**. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v.11, n.3, p. 315–325, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.5894/rgci282>.

MUELLER, M; et al. **Análise das variações da linha de costa nas margens do Mar do Ararapira**. Relatório de pesquisa do Programa de Pós-Graduação em Geologia, Laboratório de Estudos Costeiros, Universidade Federal do Paraná, s/d.

MUELLER, M. **Análise das variações da linha de costa nas margens do Mar do Ararapira como subsídio ao planejamento do uso e ocupação**. Monografia de Graduação, - Curso de Oceanografia, Universidade Federal do Paraná, 2007.

NOBRE, C.A.; MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas em rede: um olhar interdisciplinar**. 1 ed. Bauru: Canal6, 2017, 612p.

NORMILLE, N. **Survey confirms worst-ever coral bleaching at Great Barrier Reef**. In *ScienceInsider*, 19 de abril 2016. Disponível em [http:// www.sciencemag.org/news/2016/04/survey-confirms-worst-ever-coralbleaching-great-barrier-reef](http://www.sciencemag.org/news/2016/04/survey-confirms-worst-ever-coralbleaching-great-barrier-reef).

PINHO, J.F.; VIEIRA, L.; GOMES, A.; MELO, W.W.; VIEIRA, J.; IGLESIAS, I.; BIO, A.; AVILEZ-VALENTE, P.; BASTOS, L.; VELOSO-GOMES, F. **Operacionalização de Modelos Hidrodinâmicos Para Previsão de Níveis do Mar Durante a Ocorrência de Eventos Extremos**. 2021 Trabalho apresentado ao 15º Congresso da Água, Porto, 2021.

QUADROS, C.J.L. **Variações Morfológicas e Volumétricas Associadas à Incidência de Sistemas Frontais em duas Praias Arenosas do Litoral Paranaense**. Tese (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Curso de Pós-Graduação em Geologia, Curitiba, 2002.

RODRIGUES, M.R. **O Canal do Varadouro. Traço de união do litoral sul paulista com o norte paranaense**. Revista do Instituto Histórico e Geográfico de Paranaguá, v. 2, n.6, p. 473–508, 1955. Disponível em: <https://10.11606/issn.2316-9141.rh.1959.119807>

ROGERS, K. **Planning for current and future needs of mangroves and their accommodation space. Response to Ken Krauss and Catherine Lovelock**. Singapore. Journal of Tropical Geography, v. 42, n. 2, p. 194–196, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/sjtg.12362>.

SBPC (SOCIEDADE BRASILEIRA PARA O PROGRESSO DA CIÊNCIA). **SBPC pede medidas para evitar novas mortes por falta de políticas públicas de planejamento para eventos climáticos extremos**. Edições - Jornal da Ciência, São Paulo, 2023.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; VALE, C. C.; CINTRON, G. **Monitoramento do Ecossistema 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, 2015. cap. 4., p. 65–83.

SOUZA, M. C.; MÜLLER, M. E. **Previsão e consequências da abertura de uma nova barra no Mar do Ararapira, Paraná-São Paulo, Brasil**. Quaternary and Environmental Geosciences, Curitiba, v. 1, n. 2, p. 67-75, 2009.

STEPHENSON, D.B. **Definition, diagnosis, and origin of extreme weather and climate events**. In: DIAZ, H.F.; MURNANE, R.J. Climate Extremes and Society. Cambridge University Press, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511535840>.

URY, E.A.; YANG, X.; WRIGHT, J.P.; BERNHARDT, E.S. **Rapid deforestation of a coastal landscape driven by sea-level rise and extreme events**. Ecological Applications IS 5, v.3: e02339, 2021.