



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE

LUAN VICTOR PEREIRA DE SOUSA

AVALIAÇÃO DO GRAU DE VULNERABILIDADE DA ZONA COSTEIRA DO
MARANHÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

São Luís - MA

2024

LUAN VICTOR PEREIRA DE SOUSA

**AVALIAÇÃO DO GRAU DE VULNERABILIDADE DA ZONA COSTEIRA DO
MARANHÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal do Maranhão como requisito para obtenção do grau de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Denílson da Silva Bezerra

Coorientadora: Dra. Stella Manes da Silva
Moreira

São Luís - MA

2024

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Diretoria Integrada de Bibliotecas/UFMA

Sousa, Luan Victor Pereira de.

AVALIAÇÃO DO GRAU DE VULNERABILIDADE DA ZONA COSTEIRA
DO MARANHÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS / Luan Victor Pereira
de Sousa. - 2024.

70 f.

Coorientador(a) 1: Stella Manes da Silva Moreira.

Orientador(a): Denilson da Silva Bezerra.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do
Maranhão, São Luís, 2024.

1. Amazônia Legal. 2. Elevação do Nível do Mar. 3.
Manguezal. 4. Mudança Climática. I. Bezerra, Denilson da
Silva. II. Moreira, Stella Manes da Silva. III. Título.

LUAN VICTOR PEREIRA DE SOUSA

**AVALIAÇÃO DO GRAU DE VULNERABILIDADE DA ZONA COSTEIRA DO
MARANHÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal do Maranhão como requisito para obtenção do grau de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovada em 29 de fevereiro de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Profº Dr. Denilson da Silva Bezerra
Departamento de Oceanografia e Limnologia - DEOLI
Universidade Federal do Maranhão – UFMA
Orientador

Profª Dra. Flavia Rebelo Mochel
Departamento de Oceanografia e Limnologia - DEOLI
Universidade Federal do Maranhão – UFMA
MEMBRO INTERNO

Profº Dr. Celso Henrique Leite Silva Junior
Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação
Universidade Federal do Maranhão – UFMA
MEMBRO EXTERNO

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde, força e bom ânimo nesses dois anos de trajetória e durante toda a minha vida.

À Universidade Federal do Maranhão, por sempre me oferecer os melhores recursos para conclusão desta pesquisa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES)

À Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão – FAPEMA e a Empresa Maranhense de Administração Portuária – EMAP pela bolsa concedida, através do edital Nº 10, DE 13/06/2022 - PROGRAMA PORTO DO FUTURO – EMAP, termo nº 004276/2022.

Ao meu orientador e amigo, professor Denilson Bezerra, pela aceitação em me orientar, pelo apoio, confiança e por todo o seu conhecimento, com o qual contribuiu no meu crescimento profissional, fazendo possível a elaboração deste trabalho.

À minha coorientadora, Stella Manes, pela aceitação em me orientar, e acreditado nesse desafio de orientação de tão longe. Obrigado por cada momento que você se sacrificou para me ensinar um pouco do que você sabe, e assim fazendo possível a elaboração deste trabalho.

Aos meus amigos de turma e agora de vida Fábio, Lúcio, Tayssa e Emerson, vocês me fizeram aprender a amar ter amigos de novo.

À minha psicóloga Isadora Serejo, por me fazer enxergar com mais clareza quando tudo estava embaçado e confuso.

Aos meus familiares e amigos pelo apoio incondicional em sempre me ver estudando e buscando lugares melhores, em especial para a minha mãe, dona Flor, que sempre foi e é a minha maior incentivadora e inspiração, tudo é por você!

Ao meu pai Raimundo Sousa (in memoriam), por ter me incentivado a estudar desde cedo, mesmo tendo sido com o seu jeito.

À minha irmã Luana, que sempre esteve orando e intercedendo por mim em seu momento de intimidade com Deus.

Ao meu padrinho Roseno, que sempre me apoiou, mesmo que de longe.

À minha namorada Larah, por sempre me trazer esperança quando eu estou perdido e por ser a minha parceira de vida todos os dias. Agradeço pela sua força, amor, paciência incondicional, e por sempre acreditar em nós.

"Todas as coisas cooperam para o bem daqueles que amam a Deus."

Romanos 8:28

RESUMO

O Sexto Relatório de Avaliação do IPCC, em seu turno, altera a perspectiva de que as mudanças climáticas resultam em um potencial fenômeno futuro, mas sim da atualidade. Os perigos da elevação do nível do mar que já estão sendo impostos às comunidades costeiras revelam o alto grau de vulnerabilidade para os âmbitos natural, social e econômico da sociedade. A linha de costa da Amazônia Legal Maranhense, ao norte, é composta por muitos ecossistemas, como florestas costeiras, manguezais, zonas úmidas, restingas e campos. Alterações nos ecossistemas podem afetar importantes serviços desempenhados pelos estuários, manguezais e marisma. No presente trabalho serão usados dois modelos computacionais, o primeiro sendo o software InVEST, para avaliar a vulnerabilidade costeira, o segundo o BR-MANGUE, para simular a resposta do ecossistema de mangue a elevação do nível do mar. Os resultados destacam a importância de todos os ecossistemas costeiros, especialmente o manguezal, e os danos decorrentes de suas perdas. Na execução dos testes com e sem a presença dos ecossistemas no software InVEST, o manguezal foi o ecossistema que mais teve destaque e diferença quanto a sua presença na zona costeira. Foi possível identificar, que a maior parte da zona costeira da área de estudo teria um valor de risco intermediário (para o cenário mais alarmante do IPCC) sem a presença de todos os ecossistemas costeiros. Os resultados também indicam que a proteção proporcionada pelos ecossistemas costeiros é altamente relevante para propor soluções baseadas na natureza para combater os impactos das mudanças climáticas na zona costeira amazônica. Ações voltadas para a proteção e uso sustentável desses ecossistemas devem ser aumentadas. A avaliação mais detalhada dos resultados permitiu compreender melhor a dinâmica dos ecossistemas costeiros, como por exemplo o manguezal frente ao avanço do nível do mar em relação ao continente, e também como esse dado pode ser aproveitado como informação para melhorar a gestão de conservação e preservação do manguezal e propor subsídio para a criação de zonas de mais ou menos vulnerabilidade ao longo da costa maranhense.

Palavras-chaves: Mudança climática. Elevação do Nível do Mar. Amazônia Legal. Manguezal.

ABSTRACT

The IPCC Sixth Assessment Report, in turn, changes the perspective that climate change results in a potential future, but rather in the present. The dangers of rising sea levels that are already being sent to regional communities reveal the high degree of vulnerability for the natural, social and economic spheres of society. The coastline of the Maranhão Legal Amazon, to the north, is made up of many ecosystems, such as coastal forests, mangroves, wetlands, restingas and fields. Changes in ecosystems can affect important services that influence estuaries, mangroves and salt marshes. In the present work, two computational models will be used, the first being the InVEST software, to assess maritime vulnerability, the second BR-MANGUE, to simulate the response of the mangrove ecosystem to rising sea levels. The results highlight the importance of all coastal ecosystems, especially mangroves, and the damage resulting from their losses. When carrying out the tests with and without the presence of ecosystems in the InVEST software, the mangrove was the ecosystem that stood out the most and made the most difference in terms of its presence in the coastal zone. It was possible to identify that most of the coastal zone of the study area would have an intermediate risk value (for the IPCC's most alarming scenario) without the presence of all coastal ecosystems. The results also indicate that the protection provided to coastal ecosystems is highly relevant to providing nature-based solutions to combat the impacts of climate change in the Amazon coastal zone. External actions for the protection and sustainable use of these ecosystems must be increased. A more detailed evaluation of the results allowed us to better understand the dynamics of coastal ecosystems, such as mangroves in the face of rising sea levels in relation to the continent, and also how this data can be used as information to improve conservation and preservation management of the mangrove and propose subsidies for the creation of zones of more or less vulnerability along the coast of Maranhão.

Keywords: Climate change. Sea Level Rise. Legal Amazon. Mangrove.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I: ESTIMATIVA DA VULNERABILIDADE DA ZONA COSTEIRA DA AMAZÔNIA À ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR DEVIDO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Fig. 1 Localização da área de estudo	33
Fig. 2 Riscos costeiros ao longo da costa do Maranhão sob diferentes cenários do IPCC. Todos os ecossistemas são mostrados para as condições atuais. A) Cenário SSP1-1.9 com taxa de elevação até 2100 entre 0,28-0,55m, B) Cenário SSP2-4.5 com taxa de elevação até 2100 entre 0,43-0,76m, e C) Cenário SSP5-8,5 com taxa de elevação até 2100 entre 0,63-1,01m.....	37
Fig. 3 Proporção de proteção costeira associada a diferentes cenários.....	37
Fig. 4 Riscos costeiros ao longo da costa do Maranhão sem ecossistemas naturais sob diferentes cenários do IPCC. A) Cenário SSP1-1.9 com taxa de elevação até 2100 entre 0,28-0,55m, B) Cenário SSP2-4.5 com taxa de elevação até 2100 entre 0,43-0,76m, e C) Cenário SSP5-8,5 com taxa de elevação até 2100 entre 0,63-1,01m...	38
Fig. 5 Proporção de proteção costeira associada a diferentes cenários.....	39
Fig. 6 Comparação entre índices de vulnerabilidade e ecossistemas naturais em áreas de risco ao longo do litoral maranhense.....	40
Fig. 7 Classes de cobertura do solo e distribuição espacial das áreas de manguezal no litoral maranhense para condições iniciais.....	41
Fig. 8 Classes de cobertura do solo e distribuição espacial das áreas de manguezais no litoral do Maranhão para o ano de 2100.....	42

CAPÍTULO II: AVALIAÇÃO DO GRAU DE VULNERABILIDADE DA ZONA COSTEIRA DA ILHA DO MARANHÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Figura 1 Localização da área de estudo.....	52
Figura 2 Riscos costeiros ao longo da costa da Ilha do Maranhão sob diferentes cenários do IPCC. Os habitats dos itens A, B e C são mostrados para as condições atuais, enquanto os itens D, E e F, são mostrados sem os habitats naturais. A e D) Cenário SSP1-1.9 com a taxa de elevação até 2100 entre 0.28-0.55m, B e E) Cenário SSP2-4.5 com a taxa de elevação até 2100 entre 0.43-0.76m, e C e F) Cenário SSP5-8.5 com a taxa de elevação até 2100 entre 0.63-1.01m	57
Figura 3 Proporção da proteção costeira associada a diferentes cenários.....	57
Figura 4 Proporção da proteção costeira associada a diferentes cenários	58

Figura 5. Classes de cobertura do solo e a distribuição espacial das áreas em condições atuais.....	59
Figura 6. Classes de cobertura do solo e a distribuição espacial das áreas para o ano de 2100.	60
Figura 7 Recorte da área portuária.	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Quantidade de células em cada etapa de simulação.	61
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALM – Amazônia Legal Maranhense

APA – Área de Proteção Ambiental

AR6 – Sixth Assessment Report

BR–MANGUE

CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

ENM – Elevação do Nível do Mar

FAPEMA – Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão

Ha – hectare

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IM – Ilha do Maranhão

InVEST – Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

Km – quilômetro

M – Metro

Mapbiomas – Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil

MCG – Mudança Climática Global

MDE – Modelo Digital de Elevação

Mm – Milímetro

NbS – Soluções baseadas na Natureza

NCEP – National Centers for Environmental Predictions

NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration

ONU – Organização das Nações Unidas

SROCC – Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate

SSP – Shared Socioeconomic Pathways

UNFCCC – United Nations Framework Convention on Climate Change

SUMÁRIO

I. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	15
II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
1. <i>Histórico, cenário atual e futuro das Mudanças Climáticas Global (IPCC 2022)</i>	16
2. <i>Efeitos das Mudanças Climáticas Global</i>	16
3. <i>Zona Costeira Brasileira e seus biomas.....</i>	17
4. <i>Vulnerabilidade x Risco.....</i>	19
5. <i>Vulnerabilidade da zona costeira</i>	20
6. <i>Adaptação Da Zona Costeira Aos Efeitos Das Mudanças Climáticas....</i>	21
7. <i>Portos Marítimos e Gestão Costeira No Brasil.....</i>	22
8. <i>Trabalhos que abordam sobre a Elevação Do Nível do Mar no Brasil e Maranhão</i>	24
III. CAPÍTULO I: ESTIMATIVA DA VULNERABILIDADE DA ZONA COSTEIRA DA AMAZÔNIA À ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR DEVIDO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.....	29
1. <i>Introdução</i>	30
2. <i>Metodologia.....</i>	32
2.1 <i>Área de Estudo.....</i>	32
2.2 <i>Modelos computacionais e dados</i>	33
3. <i>Análise Dos Resultados E Discussão</i>	34
3.1. <i>Índice Costeiro.....</i>	36
3.2 <i>Zonas Costeiras com Maior Vulnerabilidade</i>	39
3.3 <i>Simulação do aumento médio do nível do mar.....</i>	40
4. <i>Conclusão</i>	42
5. <i>Agradecimentos</i>	43
6. <i>Referências</i>	43

IV. CAPÍTULO II: AVALIAÇÃO DO GRAU DE VULNERABILIDADE DA ZONA COSTEIRA DA ILHA DO MARANHÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS	47
<i>Introdução</i>	<i>49</i>
Metodologia	51
Área de Estudo	51
Procedimentos Metodológicos.....	52
Resultados e Discussão	54
Índice Costeiro.....	56
Simulação do aumento médio do nível do mar	58
Área Portuária	61
Considerações Finais	63
Agradecimentos.....	64
Referências	64
V. CONSIDERAÇÕES FINAIS	69
VI. REFERÊNCIAS.....	70
VII. ANEXOS	76
1. <i>Certificados de participações em eventos.....</i>	<i>76</i>
2. <i>Carta de aceite para publicação do primeiro capítulo.....</i>	<i>78</i>
3. <i>Comprovante de submissão do segundo capítulo.....</i>	<i>79</i>
4. <i>Normas e diretrizes para submissão de manuscrito do capítulo 1</i>	<i>80</i>
5. <i>Normas e diretrizes para submissão de manuscrito do capítulo 2</i>	<i>83</i>

I. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os efeitos das mudanças climáticas atingem diretamente a zona costeira de todos os continentes, modificando paisagens, e sistemas hoje conhecidos pelo homem. Compreender os ecossistemas costeiros como sistemas socioecológicos, ou seja, sistemas integrados com feedbacks recíprocos entre as pessoas e a natureza, permite o desenvolvimento de modelos de gestão e governação mais holísticos, integrativos e participativos.

A elaboração deste projeto de dissertação fez um percurso interdisciplinar, fundamentado na pesquisa de qualidade e continuada, entre diversos temas relacionados ao objetivo principal do que foi proposto. Dentre eles, todas as dimensões da sustentabilidade estão diretamente relacionadas, seja de forma explícita ou implícita.

Sendo assim, este projeto tem como foco a análise da vulnerabilidade da zona costeira do Maranhão ao aumento do nível do mar decorrente das mudanças climáticas, e a contribuição da cobertura de manguezal local para redução deste risco.

As análises aqui propostas foram embasadas e executadas, em dois modelos consolidados. Um foi o modelo Coastal Vulnerability do software Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs (InVEST), para avaliar o risco costeiro. E, posteriormente, o modelo computacional Br-Mangue, para simular a resposta do ecossistema de mangue a elevação do nível médio do mar, com preceitos teóricos descritos por BEZERRA et al. (2014).

Este documento de dissertação foi elaborado seguindo a estrutura de indicação do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Este trabalho está estruturado, de forma geral, em Considerações Iniciais, Fundamentação Teórica, Capítulo I, Capítulo II, Considerações Finais, Cronograma, Referências e Anexos, além dos outros elementos pré-textuais.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1. HISTÓRICO, CENÁRIO ATUAL E FUTURO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAL (IPCC 2022)

Em meados dos anos 1980, a temática Mudança Climática Global - MCG se tornou um assunto de política internacional, resultando na criação de importantes organizações como o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas - IPCC em 1988 e tratados de proteção climática como Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima – UNFCCC em 1992, o Protocolo de Kyoto em 1997 (Moreira, 2013). As projeções futuras, divulgadas pelos relatórios do IPCC, atentam para a ocorrência de variações e mudanças no clima (IPCC, 2022). Estes relatórios são produzidos desde 1990 e são considerados pela comunidade científica os relatórios climáticos mais importantes na área. Desde o século XIX sabe-se que os gases de efeito estufa como, por exemplo, o dióxido de carbono tem entre as suas propriedades a retenção do calor e, conseqüentemente, o aquecimento do planeta (IPCC, 2022).

Os Relatórios de Avaliação do IPCC projetam que mesmo nos cenários mais conservadores, para os próximos 20 anos, a temperatura global deve se elevar em aproximadamente 1,5°C (IPCC, 2018). Essa projeção é especialmente um limiar pois supera a meta do acordo de Paris de limitar o aquecimento global desde o período pré-industrial a 1,5 °C (Nóbrega, 2022).

O Sexto Relatório de Avaliação do IPCC (AR6), em seu turno, altera a perspectiva de que as mudanças climáticas resultam em um potencial fenômeno futuro, mas da atualidade. Além disso, alerta que, em função das emissões já realizadas, potenciais efeitos dessas mudanças climáticas até o ano de 2050 sejam iminentes. No entanto, expõe que uma eventual redução das emissões atmosféricas possa, conseqüentemente, levar a redução dos impactos climáticos (IPCC, 2022; Nobrega, 2022).

2. EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAL

Um dos impactos mais graves das mudanças climáticas é o aumento da frequência e magnitude dos eventos climáticos extremos (Perez et al., 2022; IPCC et al., 2022). A mudança climática aumentou a frequência e a duração de riscos recentes, incluindo incêndios, furacões, inundações e ondas de calor (Perez et al., 2022; Van

Oldenborgh et al., 2017; Hossain et al. 2020; Kreienkamp et al., 2021; Philip et al., 2021; Van Oldenborgh et al., 2021).

A elevação do nível do mar (ENM) é uma das consequências das mudanças climáticas e pode representar sérios desafios ambientais e socioeconômicos, especialmente em ambientes costeiros (Nevermann et al., 2023). A ENM exacerba os impactos dos eventos extremos do nível do mar, bem como dos perigos costeiros, e tem vários efeitos prejudiciais nos ecossistemas e serviços marinhos (Nevermann et al., 2023; Mofkharhi et al., 2017; Fagherazzi et al., 2020; Masson-Delmotte et al., 2021; Martyr -Koller et al., 2021; Hurk et al., 2022).

Estimativas do IPCC sugerem um aumento futuro no aumento do Nível Médio Global do Mar. Tal tendência já pode ser observada quando, por exemplo, comparamos a taxa de variação de 3,7 [3,2 a 4,2] mm/ano entre 2006 e 2018 com a taxa de 1,9 [0,8 e 2,9] mm/ano entre 1971 e 2006 (Masson-Delmotte et al., 2021).

O nível médio global do mar continuará subindo ao longo do século 21, atingindo entre 0,28 e 0,55 m em um cenário de gases de efeito estufa muito baixo (SSP1-1,9) até 0,63–1,01 m em um cenário muito alto (SSP5-8,5), o que transformar costas em todo o mundo (IPCC 2021; Manes et al., 2023).

Já nas primeiras décadas do século XXI, cinco ilhas do Arquipélago das Ilhas Salomão tornaram-se permanentemente submersas como consequência da elevação do nível do mar (Albert et al., 2016). Considerando diferentes cenários de aquecimento global, estima-se que aproximadamente metade das praias arenosas de hoje sumirão até o final do século devido à combinação de processos erosivos e ao aumento do nível do mar (Vousdoukas et al., 2020).

3. ZONA COSTEIRA BRASILEIRA E SEUS BIOMAS

O IPCC relatou em 2001 que o ambiente costeiro ocupa a fronteira entre terra e mar, que é a interface mais dinâmica da terra e suporta os mais diversos habitats produtivos (Roy et al., 2023; Hauer et al., 2020).

A Organização das Nações Unidas afirma que cerca de 40% da população mundial vive em regiões costeiras, ou seja, a menos de 100 km da costa (Barbier, 2015; Montgomery, 2007). A área terrestre que fica a menos de 10 m acima do nível

do mar é apenas 2% da área terrestre total do mundo, mas abriga 10% da população mundial e 13% da população urbana mundial (McGranahan et al., 2007).

A concentração tipicamente elevada de pessoas ao longo das costas aumenta a sua exposição. Globalmente, um adicional de 2 bilhões de pessoas vivendo em regiões costeiras é esperado nos próximos 30 anos, possivelmente chegando à contagem de 11 bilhões em 2100 (ONU 2022; Manes et al., 2023). Notavelmente, tal aumento na população costeira global significa que 1 bilhão de pessoas em cidades costeiras baixas enfrentarão riscos crescentes de perigos induzidos pelo clima até meados do século (Portner et al., 2022; Manes et al., 2023).

Os eventos extremos do nível do mar e subsidência da terra têm o potencial de afetar significativamente as paisagens, uso da terra, infraestrutura, morfologia e serviços ecossistêmicos, portanto, as áreas costeiras estão entre as regiões mais vulneráveis do mundo (Nicholls e Cazenave, 2010; Davtalab et al., 2020).

Os perigos da elevação do nível do mar que já estão sendo impostos às comunidades costeiras revelam o alto risco para os âmbitos natural, social e econômico da sociedade (Manes et al., 2023). A linha de costa, tanto na porção costeira como na marinha, é composta por muitos ecossistemas, que incluem uma variedade de habitats naturais, como florestas costeiras, manguezais, zonas húmidas, restingas, campos, dunas, costões rochosos, recifes de corais entre outros (Mapbiomas 2022; Manes et al., 2023). Estes diversos ecossistemas, na transição entre a terra e o mar, proporcionam habitat e refúgio a milhares de espécies, e benefícios econômicos e sociais às comunidades locais (Manes et al., 2023).

A costa da Amazônia, ao norte, é coberta principalmente por florestas tropicais, manguezais e campos (Mapbiomas, 2022; Manes et al., 2023), além de alguns recifes de corais localizados em águas profundas (Moura e outros, 2016). O Cerrado e a Caatinga, no Nordeste, também possuem manguezais, mas são cobertos principalmente por praias arenosas e restingas (Mapbiomas 2022), além dos maiores recifes de corais do Oceano Atlântico Sul (Werner e outros, 2010; Manes et al., 2023)

Os estuários são especialmente sensíveis à elevação do nível do mar uma vez que este fenômeno pode resultar em modificações no regime de circulação, afetando a estratificação e distribuição da salinidade (Mohammed and Scholz, 2018). Outros efeitos estão associados a mudanças na dinâmica de erosão, transporte de nutrientes,

poluentes e patógenos (Prandle and Lane, 2015; Robins et al., 2016). Estas alterações podem afetar importantes serviços (e.g., pesca, navegação, estocagem de carbono) desempenhados pelos estuários e ecossistemas fortemente associados como manguezais e marismas (Donato et al., 2011; Ewel et al., 1998; Lee, 2008; Lee et al., 2014).

4. VULNERABILIDADE X RISCO

O conceito de vulnerabilidade tem despertado o interesse a área ambiental, a ausência de um consenso e a confusão entre os conceitos de risco e vulnerabilidade ainda persistem, dificultando o pleno entendimento do uso dos termos nos casos que se aplicam (Aquino et al., 2017).

Aquino et al. (2017) define o risco ambiental sendo algo ligado a probabilidade de um evento de determinada magnitude – esperado ou não - ocorrer num sistema, perturbando assim o seu estado imediatamente anterior, enquanto a vulnerabilidade ambiental pode ser definida como o grau em que um sistema natural é suscetível ou incapaz de lidar com os efeitos das interações externas. Pode ser decorrente de características ambientais naturais ou de pressão causada por atividade antrópica; ou ainda de sistemas frágeis de baixa resiliência, isto é, a capacidade concreta do meio ambiente em retornar ao estado natural de excelência, superando uma situação crítica.

Nascimento e Dominguez (2009) elaboraram uma avaliação de vulnerabilidade ambiental a partir de índices que correspondiam a integração de características geológicas, de solos, de declividade, de uso da terra e vegetação. Confirmaram a elevada vulnerabilidade dos manguezais, das várzeas flúvio lagunares e da linha de costa e reforçaram a importância da elaboração de mapas de vulnerabilidade ambiental, de modo a facilitar a compreensão dos diferentes graus de fragilidade de áreas mapeadas para uso como instrumento de gestão costeira.

A análise da vulnerabilidade ambiental teve um crescimento tão relevante que até no novo Código Florestal, para aquisição de nova área de Reserva Legal, o proprietário deve ter como um dos critérios para escolha as áreas de maior fragilidade ambiental, ou seja, as de maior vulnerabilidade (Aquino et al., 2017).

Logo, para avaliação da vulnerabilidade ambiental, deve-se elaborar um plano que pode de certa forma envolver outros aspectos como o social e o econômico de

uma região, escolhendo-se adequadamente indicadores que possam mostrar ao pesquisador a real fragilidade ou resistência de um sistema aos riscos que este pode estar exposto (Aquino et al., 2017).

Medeiros et al. (2012), estudando as áreas mais vulneráveis na zona Oeste de Natal (RN), fez uso de metodologia na qual classifica as áreas de risco e o grau de vulnerabilidade usando os processos morfodinâmicos como indicadores, associando os resultados aos possíveis riscos a população direta ou indiretamente envolvida.

Além disso, instrumentos como sistema de informação geográfica (SIG) podem ser adicionados à avaliação, de modo a facilitar a localização de áreas mais vulneráveis (Aquino et al., 2017).

5. VULNERABILIDADE DA ZONA COSTEIRA

A vulnerabilidade que a orla apresenta em função do ajuste de posição deve ser um instrumento essencial de apoio sobre as estratégias de ocupação e de proteção de benfeitorias. Tais elementos tendem a ser mais relevantes em áreas fortemente urbanizadas, ou em vias de urbanização, como as decorrentes da expansão do mercado de trabalho associado às atividades relativas à indústria do petróleo e do turismo, como ocorre nas cidades de Rio das Ostras, que apresenta a maior taxa de crescimento populacional do Estado, e em menor grau em Barra de São João (Muehe et al., 2011).

Desde as avaliações anteriores dos relatórios do IPCC, foram feitos novos estudos focados nos sistemas oceânicos e costeiros, como testes em laboratório, observações de campo e processo, simulações de modelos, e conhecimento local, assim forneceram evidências crescentes sobre os impactos das mudanças climáticas nesses sistemas, e como as comunidades humanas estão experimentando esses impactos, e o potencial soluções para a adaptação ecológica e humana (IPCC, 2022).

O ser humano passou a utilizar todos os aspectos da região litorânea e dela atraiu os intensos processos de urbanização e turismo do meio natural que se instauraram (Roy et al., 2023; Camargo, 2013).

Nicholls e Cazenave (2010) alertam que as zonas costeiras com até 10 m de altitude, as quais representam 2% da superfície terrestre e abrigam 10% da população mundial, são as mais vulneráveis aos possíveis impactos de inundações associadas

às mudanças climáticas globais. Muehe (2001) aponta que no Brasil, em caso de subida de 1m do Nível Global Médio do Mar as regiões Norte-Nordeste e Sul-Sudeste apresentarão um recuo da linha da costa variando de 100 m a 1 km e 10 m a 100 m, respectivamente.

De acordo com o mais recente Censo Demográfico (2010) sobre 26,6% da população vive em cidades da zona costeira do Brasil, que ocupa apenas 4,1% do território brasileiro. Uma parte significativa dessa população está envolvida em atividades direta ou indiretamente ligadas ao turismo, produção de petróleo e gás natural, pesca e serviços que atendem à dinâmica econômica gerada pelas cidades próximas à zona costeira (IBGE 2010). As maiores taxas de população costeira e urbanização são encontrados na região Sudeste, seguido pelo Nordeste, Sul e, finalmente, a região Norte do Brasil (IBGE, 2010)

6. ADAPTAÇÃO DA ZONA COSTEIRA AOS EFEITOS DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

A adaptação humana compreende uma série de medidas que modulam danos ou exploram oportunidades das mudanças do clima, que respondem a eventos de riscos oceânicos e costeiros e concentram-se em indivíduos, meios de subsistência e setores econômicos que se beneficiam dos serviços do ecossistema oceânico e costeiro (IPCC, 2022).

O AR6 concluiu que as medidas de adaptação local não seriam suficientes para compensar os efeitos globais do aumento das alterações climáticas nos ecossistemas marinhos e costeiros, e que a mitigação de emissões também seria necessária (IPCC, 2022).

O Relatório Especial sobre o Oceano e a Criosfera em um Clima em Mudança - SROCC avaliou que a adaptação baseada no ecossistema e manejo adaptativo, são eficazes para reduzir os impactos das mudanças climáticas, mas que a governança marinha existente é insuficiente para fornecer uma resposta de adaptação no ecossistema marinho (IPCC, 2022).

A adaptação nos ecossistemas oceânicos e costeiros continua a ser informada principalmente pela teoria, pois ainda há evidências limitadas sobre soluções (Seddon et al., 2020) e seu sucesso entre regiões, especialmente em nações de baixa renda (Chausson et al., 2020). A adaptação às mudanças climáticas depende da capacidade da sociedade e vontade de antecipar a mudança, reconhecer seus efeitos, planejar

acomodar suas consequências (Ling e Hobday, 2019; Wilson et al., 2020b) e implementar um portfólio coordenado de soluções informadas.

Os ecossistemas costeiros fornecem muitos serviços próprios, como habitat para muitas espécies, apoiando assim a pesca, o turismo e outras atividades econômicas (Muñoz Sevilla e Le Bail, 2017). Juntamente com os recifes de coral, os manguezais são ecossistemas de importância estratégica na América Latina (Silva et al., 2014) devido à sua importância para os organismos marinhos, biologia e ecologia e comunidades pesqueiras associadas. Também tendem a proteger populações e infraestruturas de tempestades e furacões, prevenir a erosão das praias e controlar inundações (Muñoz Sevilla e Le Bail, 2017).

Os manguezais são valiosos ecossistemas no fornecimento de bens e serviços ambientais, econômicos e socioculturais para as populações que vivem em zonas costeiras (Mochel, 2016; Mochel e Fonseca, 2019) bem como promovem abrigo para muitas espécies ameaçadas de extinção (Mochel et al., 2002; Mochel e Fonseca, 2019) e regulação climática e hidrológica (Mochel, 2011, Mochel e Fonseca, 2019).

Apesar de sua importância eles estão enfrentando grandes danos e perdas ao longo dos últimos 50 anos e uma demanda para a restauração de manguezais está aumentando em todo o mundo (Wortley et. al., 2014; Walton, et. al., 2006; Mochel e Fonseca, 2019). Entre as perdas socioeconômicas e ecológicas, o desmatamento dos manguezais promove o incremento do assoreamento, dificultando a navegação e aumentando a necessidade de dragagens nas áreas portuárias (Mochel e Fonseca, 2019).

7. PORTOS MARÍTIMOS E GESTÃO COSTEIRA NO BRASIL

Localizados na interface entre o mar e a terra, os portos marítimos estão naturalmente, continuamente e altamente expostos a riscos associados a fatores climáticos e oceanográficos (Becker et al., 2013; Brooks e Faust, 2018; Lima e Souza, 2022).

Os impactos das mudanças climáticas desafiam os formuladores de políticas e tomadores de decisão a incorporar a questão na estrutura de adaptação de políticas (Lima e Souza, 2022). O aumento do risco de inundações costeiras e inundações temporárias devido ao aumento do nível médio do mar global são as principais fontes

de perdas econômicas para territórios costeiros e portos marítimos (Balica et al., 2012, Becker et al., 2012, Hanson e Nicholls, 2020).

A lista de impactos para os portos marítimos e para a indústria de transporte marítimo relacionados a perigos marítimos e eventos meteorológicos extremos é numerosa (Lima e Souza, 2022). À medida que o nível do mar sobe, as instalações portuárias podem ficar inoperantes devido à inundação de píeres, áreas de armazenamento e quebra-mares, aumentando os custos devido à realocação e/ou reparo de instalações inundadas (Lima e Souza, 2022).

Mudanças no balanço sedimentar e assoreamento devido à precipitação excessiva e ondas do mar altamente energéticas também impactam diretamente os portos marítimos, o que gera a necessidade de novas obras de dragagem – e consequentemente onera os custos das autoridades portuárias para restabelecer as profundidades de navegação (Becker et al., 2012).

O tema das mudanças climáticas é atualmente classificado como uma das três principais prioridades a serem enfrentadas pelas autoridades portuárias e sistemas portuários (ESPO, 2019, WPSR, 2020, Lima e Souza, 2022).

Este cenário complexo requer um quadro jurídico e político que permita a implementação de medidas integradas e adaptativas. Vários estudos em todo o mundo têm discutido e enfatizado a aplicação de políticas e medidas climáticas e costeiras para a adaptação dos portos marítimos (Oswald, 2009, Becker et al., 2012, Eisenack et al., 2012, Brooks e Faust, 2018, Hanson e Nicholls, 2020, Izaguirre et al., 2021, Lima e Souza, 2022).

Neste contexto, as Soluções baseadas na Natureza – NbS (Kabisch et al., 2016, Chausson et al., 2020) surge como uma importante iniciativa que pode ser incorporada às políticas costeiras e portuárias para reduzir desastres e riscos climáticos. Os benefícios proporcionados pelos principais serviços ecossistêmicos, como a proteção costeira fornecida por dunas, manguezais e recifes de corais ao redor das áreas portuárias, por exemplo, podem evitar ou minimizar os impactos negativos de tempestades, aumento do nível do mar e inundações costeiras em instalações portuárias e operações (PIANC, 2014).

8. TRABALHOS QUE ABORDAM SOBRE A ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR NO BRASIL E MARANHÃO

Artigo/livro	Ano	Revista	Referência
Holocene sea-level fluctuation in the southern hemisphere	1989	Quaternary Science Reviews	ISLA, Federico Ignacio. Holocene sea-level fluctuation in the southern hemisphere. Quaternary Science Reviews , [S.L.], v. 8, n. 4, p. 359-368, jan. 1989. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/0277-3791(89)90036-x .
Increasing flood risk and wetland losses due to global sea-level rise: regional and global analyses	1999	Global Environmental Change	NICHOLLS, Robert J.; HOOZEMANS, Frank MJ; MARCHAND, Marcel. Increasing flood risk and wetland losses due to global sea-level rise: regional and global analyses. <i>Global Environmental Change</i> , v. 9, p. S69-S87, 1999.
Sea level change in the era of the recording tide gauge	2002	International Geophysics	DOUGLAS, Bruce C.. Chapter 3 Sea level change in the era of the recording tide gauge. <i>International Geophysics</i> , [S.L.], p. 37-64, 2001. Elsevier. http://dx.doi.org/10.1016/s0074-6142(01)80006-1 .
Chapter Five Relative sea level changes and some effects on muddy coasts	2002	Proceedings In Marine Science	JELGERSMA, Saskia; HEALY, Terry; MARONE, Eduardo. Chapter Five Relative sea level changes and some effects on muddy coasts. Proceedings In Marine Science , [S.L.], p. 83-97, 2002. Elsevier. http://dx.doi.org/10.1016/s1568-2692(02)80079-1 .

Chapter Nine Mangroves as indicators of sea level change in the muddy coasts of the world	2002	Proceedings in Marine Science	SCHAEFFER-NOVELLI, Yara; CINTRON-MOLERO, Gilberto; SOARES, Mario Luiz G.. Chapter Nine Mangroves as indicators of sea level change in the muddy coasts of the world. Proceedings In Marine Science , [S.L.], p. 245-262, 2002. Elsevier. http://dx.doi.org/10.1016/s1568-2692(02)80083-3 .
Coastal environmental change during sea-level highstands	2002	Sedimentary Geology	FLETCHER, Charles H.; MURRAY-WALLACE, Colin V.. Coastal environmental change during sea-level highstands. Sedimentary Geology , [S.L.], v. 150, n. 1-2, p. 1-2, jun. 2002. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/s0037-0738(01)00263-9 .
Environmental and sea-level variations on the southeastern Brazilian coast during the Late Holocene with comments on prehistoric human occupation	2003	Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology	YBERT, Jean-Pierre; BISSA, Walter Mareschi; CATHARINO, Eduardo Luís Martins; KUTNER, Miryam. Environmental and sea-level variations on the southeastern Brazilian coast during the Late Holocene with comments on prehistoric human occupation. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology , [S.L.], v. 189, n. 1-2, p. 11-24, jan. 2003. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/s0031-0182(02)00590-4 .
Amazonian mangrove dynamics during the last millennium: The relative sea-level and the Little Ice Age	2005	Review of Palaeobotany and Palynology	COHEN, M.C.L.; BEHLING, H.; LARA, R.J.. Amazonian mangrove dynamics during the last millennium: the relative sea-level and the little ice age. Review Of Palaeobotany And Palynology , [S.L.], v. 136, n. 1-2, p. 93-108, set. 2005. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.revpalbo.2005.05.002 .
Sea-level rise since 8.2 ka	2015	Marine	BOSKI, Tomasz; BEZERRA,

recorded in the sediments of the Potengi–Jundiai Estuary, NE Brasil		Geology	Fracisco H.R.; PEREIRA, Laura de Fátima; SOUZA, Anderson M.; MAIA, Rubson P.; LIMA-FILHO, Francisco P.. Sea-level rise since 8.2ka recorded in the sediments of the Potengi–Jundiai Estuary, NE Brasil. Marine Geology , [S.L.], v. 365, p. 1-13, jul. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2015.04.003 .
Chapter 23 - Extreme Sea Level Events, Coastal Risks, and Climate Changes: Informing the Players	2015	Geoethics	MARONE, Eduardo; CARNEIRO, Juliane C.; CINTRA, Marcio M.; RIBEIRO, Andréa; CARDOSO, Denis; STELLFELD, Carol. Extreme Sea Level Events, Coastal Risks, and Climate Changes: informing the players. Geoethics , [S.L.], p. 273-302, 2015. Elsevier. http://dx.doi.org/10.1016/b978-0-12-799935-7.00023-x .
Relative sea-level and climatic changes in the Amazon littoral during the last 500 years	2015	CATENA	COHEN, Marcelo Cancela Lisboa <i>et al.</i> Relative sea-level and climatic changes in the Amazon littoral during the last 500 years. Catena , [S.L.], v. 133, p. 441-451, out. 2015. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2015.06.012 .
Effects of sea-level rise and climatic changes on mangroves from southwestern littoral of Puerto Rico during the middle and late Holocene	2016	CATENA	COHEN, Marcelo Cancela Lisboa; LARA, Rubén José; CUEVAS, Elvira; OLIVERAS, Eneilis Mulero; STERNBERG, Leonel da Silveira. Effects of sea-level rise and climatic changes on mangroves from southwestern littoral of Puerto Rico during the middle and late Holocene. Catena , [S.L.], v. 143, p. 187-200, ago. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.03.041 .
Quantifying the	2019	Estuarine,	FORGIARINI, Ana Paula

geomorphologic and urbanization influence on coastal retreat under sea level rise		Coastal and Shelf Science	Piazza <i>et al.</i> Quantifying the geomorphologic and urbanization influence on coastal retreat under sea level rise. Estuarine, Coastal And Shelf Science , [S.L.], v. 230, p. 106437, dez. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2019.106437 .
Deglacial climate and relative sea level changes forced the shift from eolian sandsheets to dunefields in southern Brazilian coast	2020	Geomorphology	RODRIGUES, Fernanda C.G.; GIANNINI, Paulo C.F.; FORNARI, Milene; SAWAKUCHI, André O.. Deglacial climate and relative sea level changes forced the shift from eolian sandsheets to dunefields in southern Brazilian coast. Geomorphology , [S.L.], v. 365, p. 107252, set. 2020. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2020.107252 .
Using neural network to improve sea level prediction along the southeastern Brazilian coast	2021	Ocean Modelling	SIQUEIRA, Bruno Vicente Primo de; PAIVA, Afonso de Moraes. Using neural network to improve sea level prediction along the southeastern Brazilian coast. Ocean Modelling , [S.L.], v. 168, p. 101898, dez. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ocemod.2021.101898 .
Climate, sea-level, and anthropogenic influences on coastal vegetation of the southern Bahia, Northeastern Brazil, during the mid-late Holocene	2021	Geomorphology	FIGUEIREDO, Beatriz L.; ALVES, Igor Charles C.; COHEN, Marcelo C.L.; PESSENDA, Luiz C.R.; FRANÇA, Marlon Carlos; FRANCISQUINI, Mariah Izar; SOUZA, Adriana V. de; CULLIGAN, Nicholas. Climate, sea-level, and anthropogenic influences on coastal vegetation of the southern Bahia, Northeastern Brazil, during the mid-late Holocene. Geomorphology , [S.L.], v. 394, p. 107967, dez. 2021. Elsevier BV.

			http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107967 .
Free and open-source software for Geographic Information System on coastal management: A study case of sea-level rise in southern Brazil	2021	Regional Studies in Marine Science	LIMA, Lucas T. de; FERNÁNDEZ-FERNÁNDEZ, Sandra; WEISS, Carlos V.C.; BITENCOURT, Volney; BERNARDES, Cristina. Free and open-source software for Geographic Information System on coastal management: a study case of sea-level rise in southern Brazil. Regional Studies In Marine Science , [S.L.], v. 48, p. 102025, nov. 2021. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.rsma.2021.102025 .
Late Holocene mangrove dynamics of the Doce River delta, southeastern Brazil: Implications for the understanding of mangrove resilience to sea-level changes and channel dynamics	2022	Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology	SILVA, Fernando A. Borges da <i>et al.</i> Late Holocene mangrove dynamics of the Doce River delta, southeastern Brazil: implications for the understanding of mangrove resilience to sea-level changes and channel dynamics. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology , [S.L.], v. 600, p. 111055, ago. 2022. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2022.111055 .

III. CAPÍTULO I: ESTIMATIVA DA VULNERABILIDADE DA ZONA COSTEIRA DA AMAZÔNIA À ELEVAÇÃO DO NÍVEL DO MAR DEVIDO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Estimativa da Vulnerabilidade da Zona Costeira da Amazônia à Elevação do Nível do Mar Devido às Mudanças Climáticas

Luan Victor Pereira de Sousa, Fabio Augusto Siqueira dos Santos, Pâmela Beatriz Cantanhede Aguiar, Roseane Costa Diniz, Thomas Vinicius Barros Pacheco, Felipe Martins Sousa, Flavia Rebelo Mochel, Celso Henrique Leite Silva-Junior, Stella Manes da Silva Moreira e Denílson da Silva Bezerra

Resumo: A presente pesquisa tem por objetivo analisar a vulnerabilidade da zona costeira da Amazônia Legal Maranhense (ALM) ao aumento do nível do mar decorrente das mudanças climáticas, e a contribuição do manguezal local para redução deste risco. A linha de costa da ALM é composta por muitos ecossistemas, como sítios Ramsar, restingas e aproximadamente 47% das áreas de mangues do Brasil (cerca de 460.745 ha). Alterações induzidas pela ação humana podem afetar importantes serviços desempenhados por estes ecossistemas na área de estudo. Na presente pesquisa são utilizados dois modelos computacionais para estimar a vulnerabilidade da zona costeira maranhense à alteração climática, o primeiro é o Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs (InVEST), para avaliar a vulnerabilidade costeira, o segundo é o BR-MANGUE, para simular a resposta do manguezal a elevação do nível do mar. Os resultados destacam a importância de todos os ecossistemas costeiros, e os possíveis danos decorrentes de suas perdas, sobretudo para o cenário de perdas de áreas de manguezais no litoral da ALM. Os resultados obtidos indicam ainda que a proteção prestada pelos ecossistemas costeiros é extremamente relevante para proposição de soluções baseadas na natureza no combate aos impactos das mudanças climáticas à zona costeira da Amazônia.

Palavras-chave: Serviços Ecossistêmicos • Soluções baseadas na natureza • Manguezais • Modelo InVEST

Luan V. P. de Sousa • Fabio A. S. dos Santos • Pâmela B. C. Aguiar • Roseane C. Diniz • Thomas V. B. Pacheco • Felipe M. Sousa • Flavia R. Mochel • Denílson da S. Bezerra
Departamento de Oceanografia e Limnologia • Universidade Federal do Maranhão – UFMA, São Luís, Maranhão, Brasil.

Luan V. P. de Sousa
e-mail: luan.vps@discente.ufma.br

Fabio A. S. dos Santos
e-mail: fabio.siqueira@discente.ufma.br

Pâmela B. C. Aguiar
e-mail: pamela.aguiar@discente.ufma.br

Roseane C. Diniz
e-mail: roseane.cd@gmail.com

Thomas V. B. Pacheco
e-mail: thomas.vinicius@discente.ufma.br

Felipe M. Sousa
e-mail: felipe.martins1@discente.ufma.br

Flavia R. Mochel
e-mail: flavia.mochel@ufma.br

Celso H. L. Silva Junior
Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia – IPAM
e-mail: celsohlsj@gmail.com

Stella M. da S. Moreira
Instituto Internacional para a Sustentabilidade (IIS)
e-mail: stellamanes@gmail.com

Denílson da S. Bezerra
e-mail: denilson.bezerra@ufma.br
Federal University of Maranhão – UFMA

1. INTRODUÇÃO

O Sexto Relatório de Avaliação do IPCC (AR6) alerta que as alterações climáticas não resultam numa ameaça potencial futura, mas sim numa ameaça atual (IPCC 2022; Nobrega 2022). As presentes estimativas indicam um risco climático muito maior do que nos relatórios anteriores, decorrente do aumento considerável da concentração atmosférica de CO₂ nos últimos anos (Pörtner et al. 2022). No entanto, mesmo com uma mitigação climática eficaz, já não é possível prevenir completamente as alterações climáticas e evitar as suas consequências (Nunez et al. 2019), o que significa que são necessárias ações intensas para reduzir os impactos negativos das ações de adaptação climática.

São, portanto, urgentemente necessárias ações para diminuir as alterações climáticas. A mitigação climática, ou seja, ações que reduzam a concentração de gases com efeito de estufa na atmosfera, é imperativa para reduzir a magnitude das alterações climáticas, esperando manter o seu impacto o mais baixo possível (IPCC 2018). Assim, para além da mitigação climática, a atual emergência climática também exige ações urgentes de adaptação, ou seja, ações capazes de reduzir, moderar ou evitar potenciais riscos de alterações climáticas, aumentando a resiliência dos sistemas naturais e humanos (IPCC 2018).

A elevação do nível do mar (ENM) é uma das consequências das alterações climáticas e pode representar sérios desafios ambientais e socioeconômicos, especialmente em ambientes costeiros (Nevermann et al. 2023). A ENM exacerba os impactos de eventos extremos ao nível do mar, bem como dos perigos costeiros, e tem múltiplos efeitos prejudiciais nos ecossistemas e serviços marinhos (Nevermann et al. 2023; Moftakhari et al. 2017; Masson-Delmotte et al. 2021; Martyr- Koller e outros 2021; Hurk e outros 2022). As estimativas do IPCC sugerem um aumento contínuo e progressivo do nível médio do mar global nas próximas décadas. Tal tendência já pode ser observada quando, por exemplo, comparamos a taxa de variação de 3,7 [3,2 a 4,2] mm/ano entre 2006 e 2018 com a taxa de 1,9 [0,8 e 2,9] mm/ano entre 1971 e 2006 (Masson-Delmotte et al., 2021). O nível médio global do mar continuará a subir ao longo do século XXI, atingindo entre 0,28 e 0,55 m num cenário de gases com efeito de estufa muito baixo (SSP1-1,9) e 0,63-1,01 m num cenário muito elevado (SSP5-8,5), o que transformaria as costas em todo o mundo (IPCC 2021; Manes et al. 2023).

Os eventos extremos ao nível do mar e a subsidência de terras têm o potencial de afetar significativamente as paisagens, a utilização dos solos, as infraestruturas, a morfologia e os serviços ecossistêmicos. Portanto, as zonas costeiras estão entre as regiões mais vulneráveis do mundo (Nicholls e Cazenave 2010; Davtalab et al. 2020). O litoral, tanto na porção costeira quanto na marinha, compreende diversos ecossistemas, incluindo uma variedade de habitats naturais, como florestas costeiras, manguezais, áreas úmidas, restingas, campos, dunas, costões rochosos e recifes de coral, entre outros. (Mapbiomas 2022; Manes et al. 2023).

A zona costeira da Amazônia Legal Brasileira, ao norte, é coberta principalmente por florestas tropicais, manguezais e campos (Mapbiomas 2022; Manes et al. 2023), além de alguns recifes de coral localizados em águas profundas (Moura et al. 2016). Também é importante mencionar que os manguezais presentes na zona costeira da Amazônia Legal Brasileira correspondem a aproximadamente 80% dos manguezais brasileiros (Mapbiomas 2022). A subida do nível do mar pode afetar serviços essenciais prestados pelos estuários e ecossistemas fortemente associados, como manguezais e marismas, como habitats para muitas espécies, pesca, turismo, navegação e armazenamento de carbono. (Donato et al. 2011; Ewel et al. 1998; Lee 2008; Lee et al. 2014). Os manguezais amazônicos correspondem a uma resposta natural válida a potenciais eventos de aumento do nível do mar; portanto, a sua preservação é uma estratégia de adaptação valiosa para reduzir os danos causados pelas alterações climáticas às populações humanas, infraestruturas e atividades econômicas costeiras. Contudo, estudos sobre a contribuição da natureza para a defesa costeira ainda necessitam de ser disponibilizados na literatura científica nacional (Morris et al. 2019, Manes et al. 2023).

Entre as estratégias com maior potencial de adaptação climática estão as soluções baseadas na Natureza (SbN; Pörtner et al. 2021, Pires et al. 2021, Scarano et al. 2020, Manes et al. 2022), tendo sido aplicadas em várias estratégias de adaptação em todo o mundo, favorecendo a preservação de ecossistemas essenciais (Oliveira 2020), como os manguezais, possibilitando a manutenção dos serviços ambientais e a conservação da biodiversidade. As SbN compreendem ações que protegem, recuperam ou gerem de forma sustentável ecossistemas naturais ou modificados para resolver problemas sociais globais, proporcionando benefícios tanto para os seres humanos como para a natureza (Cohen-Shacham et al. 2016, Manes et al. 2022).

Enquanto conceito abrangente, as SbN podem assumir muitas formas dentro de diferentes abordagens relacionadas com os ecossistemas, incluindo a 'Adaptação Baseada nos Ecossistemas', que se refere explicitamente à abordagem do papel dos ecossistemas para uma melhor adaptação às alterações climáticas, tendo em conta os benefícios sociais, econômicos e culturais para comunidades locais (Scarano 2017); “Redução do risco de catástrofes com base nos ecossistemas”, onde a natureza pode reduzir a probabilidade de os perigos naturais se transformarem em desastres. No entanto, todas as abordagens de SbN visam melhorar a resiliência e os serviços dos ecossistemas para combater desafios sociais significativos (mudanças globais) e garantir o bem-estar humano (Cohen-Shacham et al. 2016, Manes et al., 2022).

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo estimar a vulnerabilidade da zona costeira da Amazônia legal brasileira, que possui a maior área contínua de manguezais do planeta, a potenciais eventos de elevação do nível do mar. Desta forma, apresentamos um experimento inédito para compreender a importância dos ecossistemas costeiros para a proteção da zona costeira da Amazônia brasileira.

2. METODOLOGIA

2.1 *Área de Estudo*

A área de estudo desta pesquisa corresponde à zona costeira do estado do Maranhão. Este estado faz parte da zona costeira da Amazônia legal brasileira. Com 640 km de extensão, entre a foz dos rios Gurupi e Parnaíba, o litoral maranhense é dividido em cinco setores com características fisiográficas bem distintas, a saber, o Golfão Maranhense, o Litoral Leste, o Litoral Oeste, a Baixada Maranhense e o Parque Estadual Marinho da Parcela Manuel Luís. O estado se destaca pela sua significativa área de manguezais, por si só possui aproximadamente 47% das áreas de manguezais da zona costeira brasileira e 60% da área onde ocorrem as restingas brasileiras.

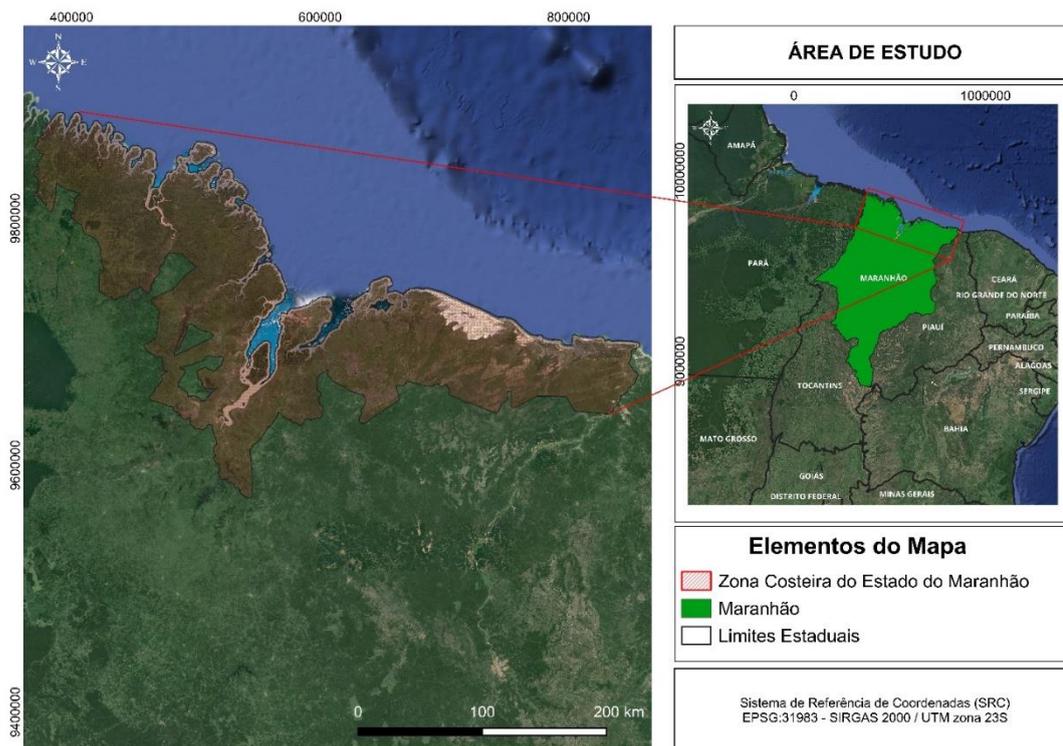


Fig. 1 Localização da área de estudo

2.2 Modelos computacionais e dados

O modelo de Vulnerabilidade Costeira do software Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs (InVEST) foi utilizado para avaliar o risco para a zona costeira do Maranhão (área de estudo desta pesquisa). O InVEST é um pacote de software amplamente utilizado na literatura científica para mapear e avaliar serviços ecossistêmicos (Sharp et al. 2020).

O modelo de vulnerabilidade costeira gera um índice de risco ao longo da costa através da equação 1 baseado em seis fatores biofísicos: velocidade do vento, potência das ondas, potencial de maré alta, relevo e elevação do nível do mar. Finalmente, além das variáveis físicas, o modelo incorpora o grau de proteção dos ecossistemas naturais para avaliar a vulnerabilidade da zona costeira.

Equação 1:
$$EI = \left(\prod_{i=1}^n R_i \right)^{\frac{1}{n}}$$

Assim, para avaliar o papel da natureza na proteção costeira, utilizamos dois cenários: (i) com os atuais ecossistemas naturais ao longo da costa do Maranhão e

(ii) ausência total de todos os ecossistemas naturais (ou seja, os atuais ecossistemas naturais não fornecem mais proteção costeira).

O segundo modelo utilizado, “BR-MANGUE”, foi elaborado seguindo os preceitos teóricos descritos por Bezerra et al. (2014), que desenvolveram um modelo computacional para simular a resposta do ecossistema de mangue à elevação do nível médio do mar.

O modelo simula o ENM da área de estudo em 79 (setenta e nove) etapas de elevação, seguindo uma progressão aritmética de taxa de 0,013 m por ano, de 2021 a 2100. O maior valor de elevação corresponde ao cenário mais alarmante de aumento do nível do mar no AR6-IPCC, ou seja, 1,01 m de elevação média global em 2100.

A implementação é baseada no modelo computacional de autômatos celulares (Wolfram 1983; Bezerra 2014), um sistema lógico que tem como unidade básica o conceito de célula: cada célula possui uma vizinhança de células e um estado discreto que pode variar durante a simulação, de acordo com suas regras de transição.

Para o procedimento de simulação do modelo, foi organizado um banco de dados geográfico no software TerraView 4.2.0, contendo dados de cobertura do solo obtidos do mais recente banco de dados Mapbiomas (<https://mapbiomas.org/>), com resolução espacial de 30 metros. O banco de dados também contém informações de um Modelo Digital de Elevação (fonte: Brasil em Relevo - <https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/>) e classes de solos (fonte: Zoneamento Ecológico-Econômico do Maranhão - <http://zee.ma.gov.br/>).

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste artigo estão de acordo com outros estudos de escala global (Manes 2023). Os nossos resultados alertam para as graves consequências da perda contínua de ecossistemas costeiros, o que aumenta o número de zonas costeiras e de populações expostas aos riscos induzidos pelas alterações climáticas. Segundo Manes (2023), todos os ecossistemas naturais costeiros são essenciais e os danos resultantes de suas perdas. Portanto, as ações voltadas a proteção e ao uso sustentável desses ecossistemas não devem ser reduzidas e, conseqüentemente, colocando em risco pessoas e bens do litoral brasileiro. Ainda assim, e não o contrário, as ações de proteção deveriam ser intensificadas. A proteção destes ecossistemas, considerando as relações entre as

pessoas e a natureza, é imperativa para garantir a adaptação climática contra os perigos costeiros e salvaguardar as populações humanas costeiras (Manes et al. 2023).

Prates et al. (2012) afirmam que todos os estados brasileiros possuem áreas acima de 10% de seus manguezais legalmente protegidos. Contudo, como garante a Área de Proteção Ambiental (APA), grande parte desta proteção tem baixa eficácia. No Maranhão, o percentual de proteção chega a 97,2% do total do estado, principalmente devido à parcela protegida exclusivamente pela APA (85% do total da área protegida no estado).

Notavelmente, o Brasil está provavelmente entre os países com a maior concentração de pessoas que se beneficiam da redução do risco costeiro baseada na natureza em todo o mundo (Ferrario et al. 2014; Manes et al. 2023). No entanto, embora a importância do SbN esteja sendo cada vez mais reconhecida no Brasil e no mundo, a perda de ecossistemas naturais nas últimas décadas indica que o reconhecimento no artigo ainda tem aplicação prática limitada. Um exemplo foi a recente tentativa do Ministério do Meio Ambiente do Brasil de reduzir o status de proteção dos manguezais (Ottoni et al. 2021; Vale et al. 2021a; Bezerra et al. 2022) colocando em risco 110.000 km² de manguezais (Rosa e Azevedo 2020).

Esta mudança teria sido desastrosa não só para os próprios manguezais, mas também para as pessoas que dependem do seu papel crucial na manutenção da pesca e na atenuação dos perigos relacionados com o clima (por exemplo, Ferreira e Lacerda 2016; Bernadino et al. 2021; Ottoni et al. 2021; Ottoni et al. al. 2021). Os manguezais também têm persistência inata devido à sua capacidade de engenharia adaptativa do ecossistema para se ajustarem às mudanças nas condições ambientais (Jones et al. 1994, 1997; Gijnsman 2021). A sua regeneração natural e capacidade de retenção de sedimentos permite aos manguezais (1) estabilizar as linhas costeiras (Krauss et al. 2014; Woodroffe et al. 2016; Gijnsman 2021), (2) recuperar dos impactos de eventos extremos (Krauss e Osland 2020; Gijnsman 2021) e (3) adaptar-se às mudanças de longo prazo nas condições ambientais (Schuerch et al. 2018; Saintilan et al. 2020; Gijnsman 2021). Assim, os manguezais têm o potencial de oferecer uma estratégia de estabilização da linha costeira, resistente ao impacto e de adaptação climática para reduzir o risco de inundações costeiras. Ao fazê-lo, os manguezais podem proporcionar valor adicional para a sociedade, ao mesmo tempo que os custos de implementação e manutenção podem ser substancialmente mais baixos em

comparação com infraestruturas de engenharia pesada (Borsje et al. 2011; Narayan et al. 2016; Gijnsman 2021).

Para avaliar os serviços prestados pelos ecossistemas terrestres e marinhos para a proteção costeira na área de estudo, utilizamos três cenários entre os cinco trabalhados pelo IPCC (os cenários SSP estão descritos nas seções TS1.3 e 1.6 e no Quadro 1.4 entre os capítulos da contribuição do Grupo de Trabalho 1.). Dividimos os índices de risco resultantes em três categorias (organizadas através do inVEST), com áreas de risco mais baixo (índices de risco global de 1 a 2,33), risco intermédio (índices de risco global de 2,34 a 3,66) e risco mais elevado (índices de risco global pontuação de risco de 3,67 a 5).

Os resultados obtidos durante a pesquisa mostram que os ecossistemas naturais proporcionam proteção essencial contra os riscos induzidos pelos efeitos das mudanças climáticas ao longo da zona costeira do estado do Maranhão.

3.1. Índice Costeiro

Atualmente considerando todos os ecossistemas capazes de proteger o litoral maranhense, especificamente o ecossistema manguezal, que apresentou o maior grau de proteção comparado a outros ecossistemas costeiros e de transição entre ambientes terrestres e marinhos.

Nas condições atuais, com todos os ecossistemas naturais remanescentes, é possível observar no item A da Figura 2, que mais da metade do litoral maranhense está em menor risco (82,62%, em 3.520 pontos do litoral) (Figura 3). O restante do litoral está atualmente dividido entre riscos intermediários (17,37%) e nenhum ponto de alto risco.

No item B da Figura 2, considerando o cenário SSP2-4.5 do IPCC e seu efeito no aumento do nível do mar no cálculo, a extensão da costa com menor risco cairia para apenas 49,31%. Verifica-se também um aumento significativo da extensão da costa em risco intermédio e alto, para 50,44% e 0,23%, respectivamente.

Para o cenário SSP5-8.5 e o seu efeito na subida do nível do mar no cálculo, a extensão da costa com menor risco teria uma queda ainda mais evidente para apenas 34,65%. Verifica-se também um aumento significativo da extensão da costa em risco intermédio e alto, para 63,61% e 1,73%, respectivamente.

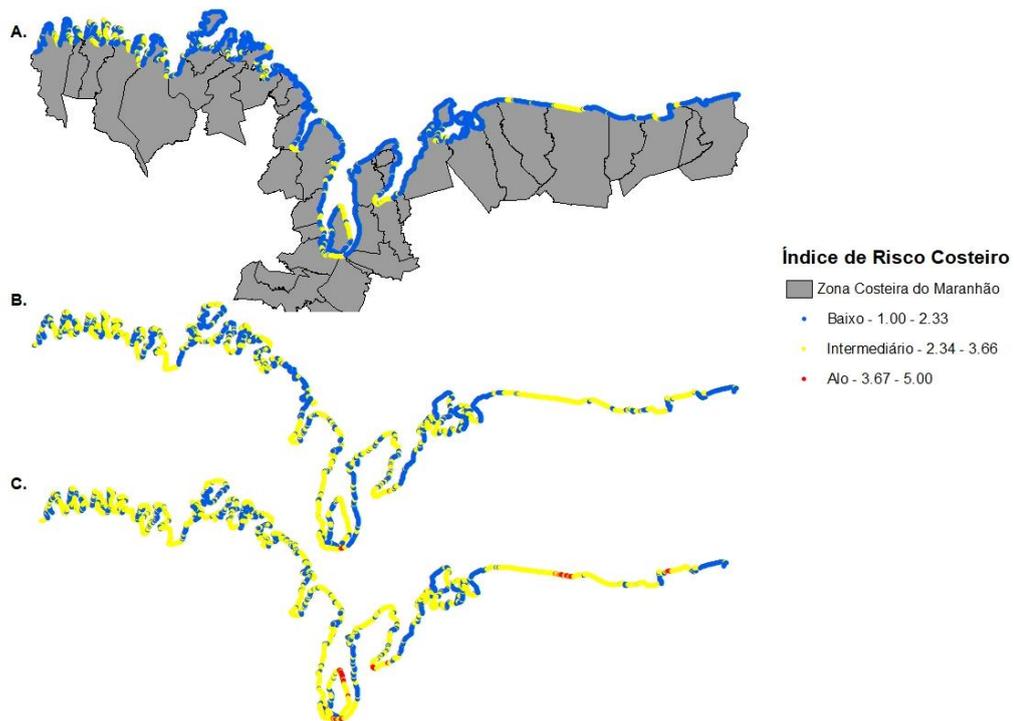


Fig. 2 Riscos costeiros ao longo da costa do Maranhão sob diferentes cenários do IPCC. Todos os ecossistemas são mostrados para as condições atuais. A) Cenário SSP1-1.9 com taxa de elevação até 2100 entre 0,28-0,55m, B) Cenário SSP2-4.5 com taxa de elevação até 2100 entre 0,43-0,76m, e C) Cenário SSP5-8,5 com taxa de elevação até 2100 entre 0,63-1,01m.

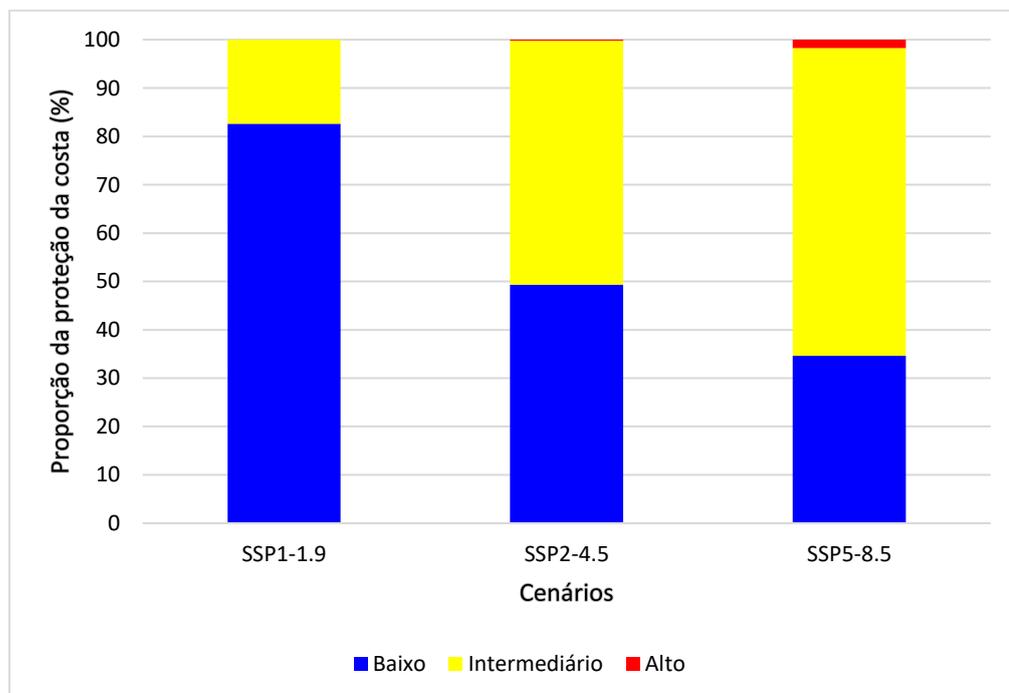


Fig. 3 Proporção de proteção costeira associada a diferentes cenários.

Dadas as condições atuais dos ecossistemas, foram realizados testes sem a sua presença na área de estudo para medir o grau de proteção contra cenários de subida do nível do mar. Na Figura 4, dividimos novamente em três cenários, A, B e C, e todos os resultados com o valor de cada cenário do IPCC são somados ao cálculo.

Foi possível observar na simulação do item A da Figura 4, que mais da metade dos pontos se encontram nos níveis intermediário e alto, e consequentemente, nos itens B e C, que correspondem aos cenários que chamamos de intermediário e grave, os valores desses pontos aumentam ainda mais (Figura 5).

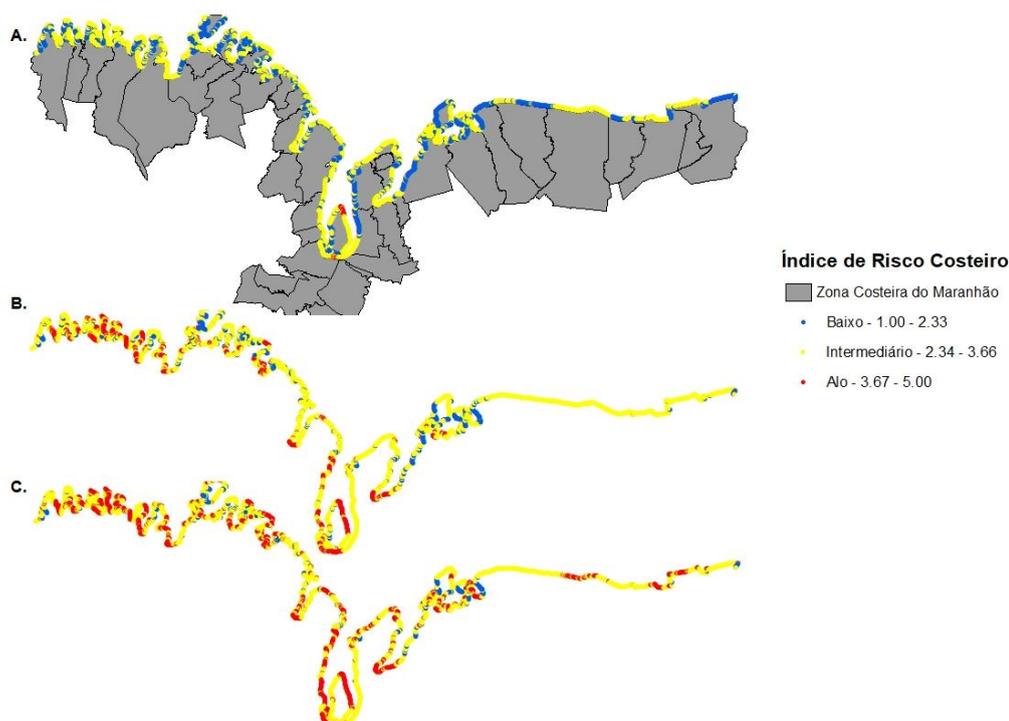


Fig. 4 Riscos costeiros ao longo da costa do Maranhão sem ecossistemas naturais sob diferentes cenários do IPCC. A) Cenário SSP1-1.9 com taxa de elevação até 2100 entre 0,28-0,55m, B) Cenário SSP2-4.5 com taxa de elevação até 2100 entre 0,43-0,76m, e C) Cenário SSP5-8,5 com taxa de elevação até 2100 entre 0,63-1,01m.

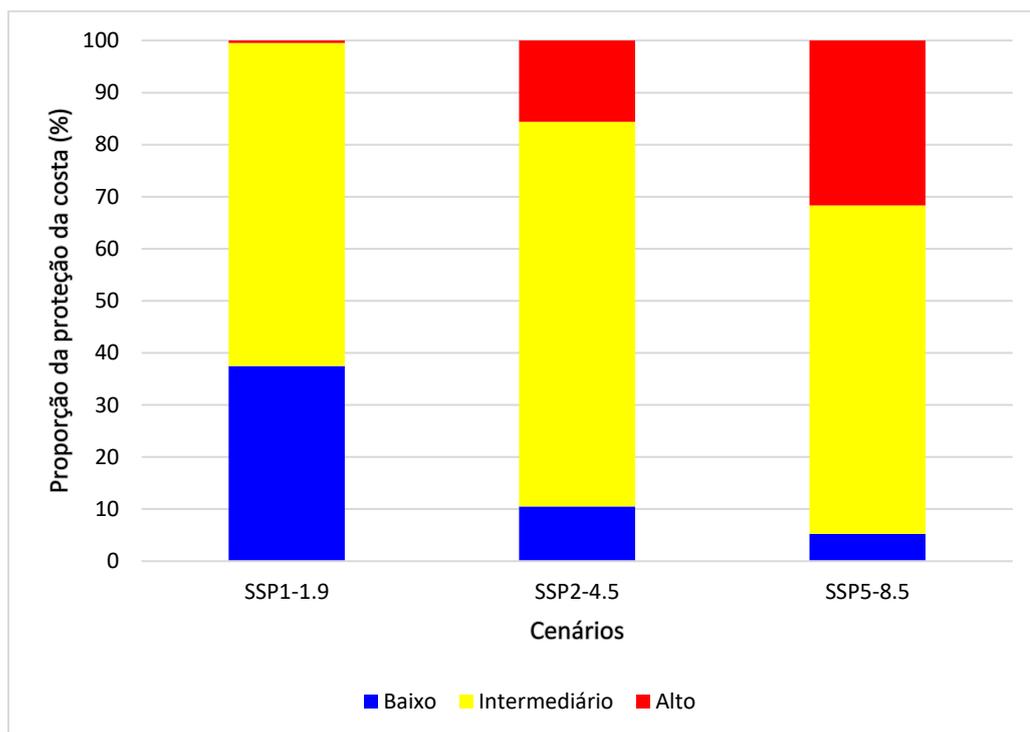


Fig. 5 Proporção de proteção costeira associada a diferentes cenários.

3.2 Zonas Costeiras com Maior Vulnerabilidade

As regiões de maior risco dos efeitos do cenário SSP5-8.5 estão localizadas principalmente no Litoral Oeste do Maranhão (item A da Figura 6), onde estão localizadas as “reentrâncias maranhenses”, caracterizadas por parte da maior faixa contínua de manguezais do planeta (Nascimento et al., 2013). As reentrâncias maranhenses representam o maior manguezal contínuo do mundo, compreendendo diversas penínsulas nos diversos setores que o compõem (Souza-Filho 2005; Spalding et al. 2010; Souza et al. 2018).

Outra região de maior risco identificada é o Golfão Maranhense (item B da Figura 6), sendo uma importante zona costeira com estuários e enseadas, constituída por um ambiente complexo de manguezais (Guterres et al. 2022). Rebelo-Mochel (1997) descreve este ambiente destacando as características do litoral, elevado volume de água doce e amplitude das marés. A região está no centro de um sistema de golfão, caracterizado por macro marés sem diurnas e correntes de maré superiores a 4 m/s (Guterres et al. 2022).

O Golfão Maranhense caracteriza-se por ter como centro a Ilha do Maranhão (IM), com uma população superior a um milhão de habitantes, os quatro municípios (São Luís, Ribamar, Raposa e Paço do Lumiar) pertencentes ao IM induzem elevado

desenvolvimento urbano e regional, conseqüentemente a intensidade e a magnitude das ações antrópicas são percebidas na faixa costeira do IM e impõem grande vulnerabilidade à paisagem e aos ecossistemas aquáticos.

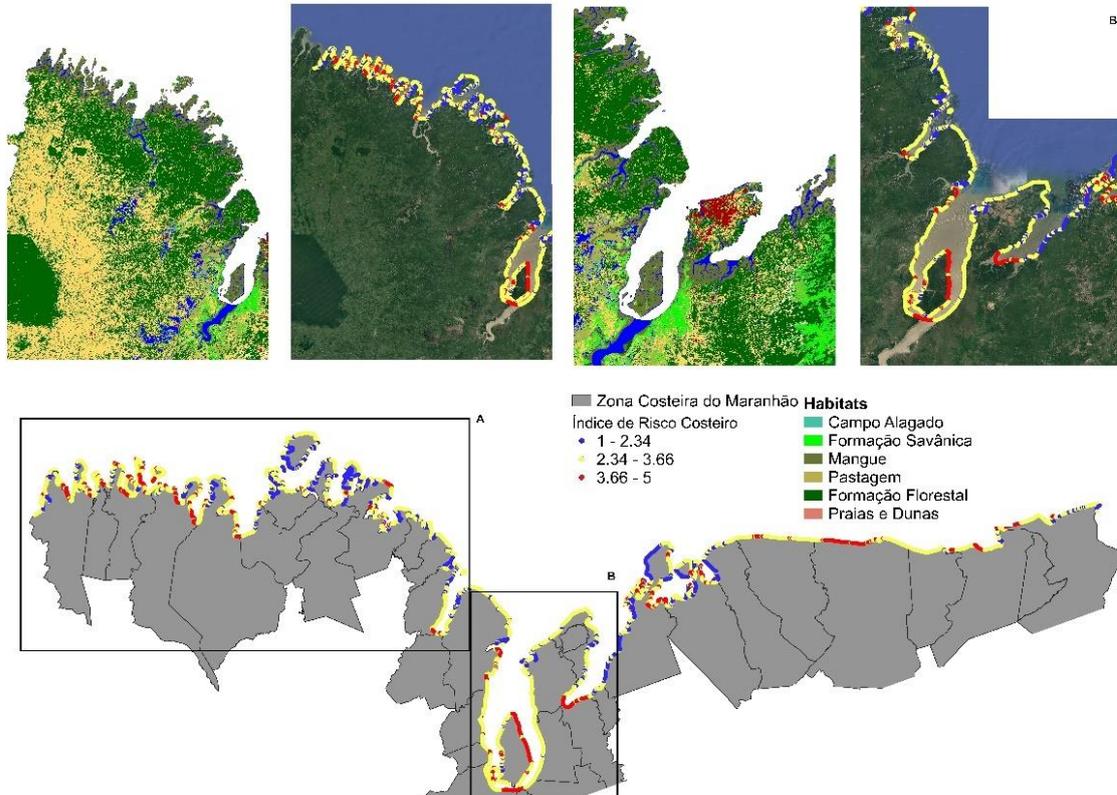


Fig. 6 Comparação entre índices de vulnerabilidade e ecossistemas naturais em áreas de risco ao longo do litoral maranhense.

3.3 Simulação do aumento médio do nível do mar

Os resultados obtidos na simulação são validados através da literatura que indica variação positiva nas áreas de manguezais de acordo com os níveis de elevação do mar, retratando também áreas potenciais de aumento de manguezais à medida que a água salgada penetra cada vez mais nos rios e estuários. (Lacerda et al. 2007; Bezerra et al. 2014). Na literatura, segundo vários autores, os impactos investigados do aumento do nível do mar e das mudanças climáticas na costa amazônica brasileira durante o Holoceno tardio confirmaram que o aumento do nível do mar é o fator mais provável que pode causar a expansão dos manguezais (France et al. 2012; Bezerra et al. 2014).

A utilização de modelos espacialmente explícitos pode ajudar a compreender o padrão de resposta dos manguezais às alterações climáticas e a outros fatores de estresse ambiental (Berger et al. 2008; Bezerra et al. 2014). Portanto, nossos

resultados dão continuidade a uma série de tentativas, que começaram com Bezerra et al. 2014, para compreender os padrões de manguezais de um estudo de caso específico associado à simplificação deste complexo processo proposto em nosso modelo conceitual.

Com os resultados obtidos através do modelo computacional BR-MANGUE foi possível observar o comportamento do mangue frente à elevação do nível do mar. Na Figura 7 temos a condição atual da área de estudo, considerando-a sem modificações antrópicas e naturais significativas.

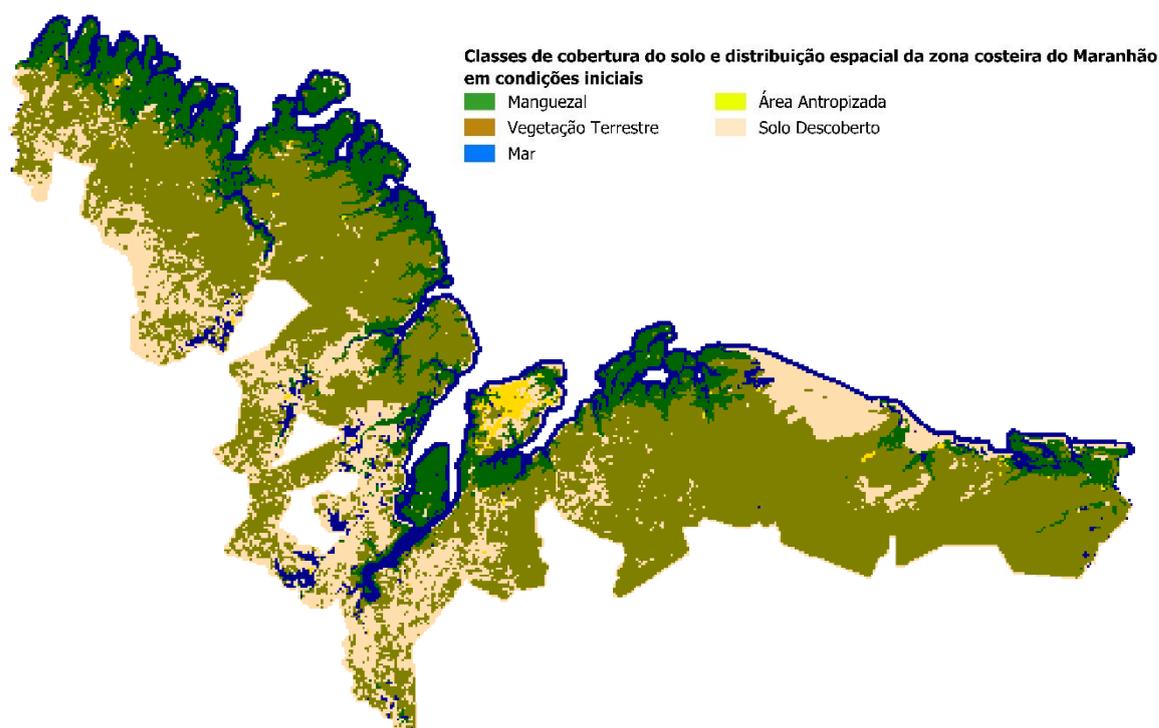


Fig. 7 Classes de cobertura do solo e distribuição espacial das áreas de manguezal no litoral maranhense para condições iniciais.

Na Figura 8 é possível observar o resultado da simulação com as condições atuais mais as condições previstas pelo modelo Br-Mangue. O nível do mar utilizado na simulação foi de 0,013 m/ano, valor definido pelo IPCC no cenário SSP5-8.5; neste cenário prevê-se um aumento de até 1,01 m para o ano de 2100, esse valor foi dividido em 79 anos, sendo a diferença entre os anos de 2021 (ano do último relatório) e o ano de 2100.

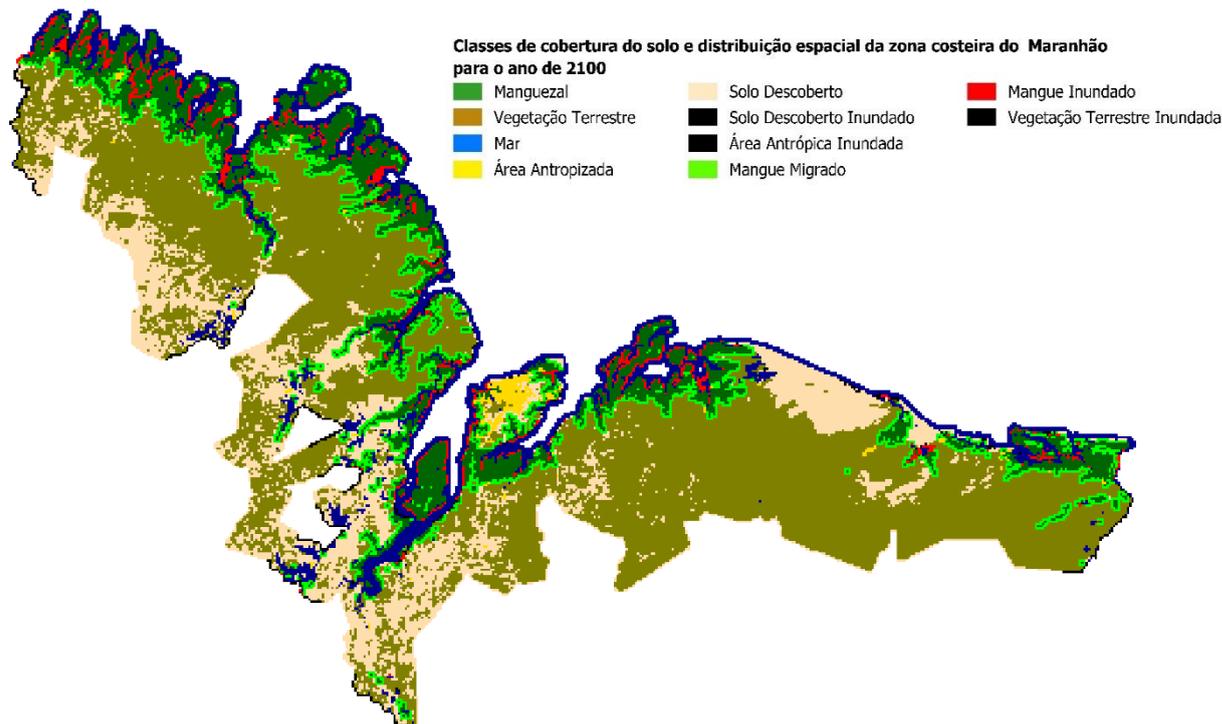


Fig. 8 Classes de cobertura do solo e distribuição espacial das áreas de manguezais no litoral do Maranhão para o ano de 2100.

Foi identificado que o número de pixels de manguezais que migraram para o continente foi maior do que os pixels de manguezais inundados. Ou seja, de acordo com a simulação realizada na área de estudo, um aumento em torno de 1 m no nível do mar pode induzir um processo de migração de manguezal mais intenso que a ocorrência de perda de áreas de mangue. Tais resultados podem destacar o potencial significativo que os manguezais amazônicos têm para se adaptar às mudanças climáticas; no entanto, as utilizações humanas adjacentes às áreas de manguezais podem funcionar como barreiras à migração numa eventual subida do nível do mar. Este processo deve ser melhor estudado e compreendido pelo conhecimento científico.

4. CONCLUSÃO

A zona costeira da Amazônia legal brasileira corresponde à maior área contínua de manguezais do planeta. A área analisada nesta pesquisa faz parte dessa imensa faixa de manguezal, compreendendo aproximadamente 47% de toda a cobertura dos manguezais brasileiros.

Os resultados da simulação para a área de estudo indicam que sem a presença de manguezais, a maior parte da zona costeira da área de estudo teria um valor de risco intermediário (para o cenário mais alarmante do IPCC). Isto indica que os

manguezais oferecem um serviço ambiental crítico de proteção da costa contra potenciais eventos de subida do nível do mar, principalmente porque as simulações realizadas sem outros ambientes costeiros não resultaram em nenhuma evidência de aumento da vulnerabilidade da área de estudo à subida do mar.

Os resultados apresentados nesta pesquisa destacam a importância de todos os ecossistemas costeiros e os possíveis danos decorrentes de suas perdas, especialmente na perda de áreas de manguezais na costa da Amazônia Legal maranhense. Os resultados também indicam que a proteção proporcionada pelos ecossistemas costeiros é altamente relevante para propor soluções baseadas na natureza para combater os impactos das mudanças climáticas na zona costeira amazônica.

5. AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi financiada pela Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão - FAPEMA em parceria com a Empresa de Administração Portuária do Maranhão, por meio do Edital BOLSA DE MESTRADO - RESOLUÇÃO FAPEMA Nº 10, DE 13/06/2022 - PROGRAMA PORTO DO FUTURO - EMAP. CHLS-J. contou com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (bolsa 401741/2023-0).

6. REFERÊNCIAS

Berger, U., Rivera-Monroy, V.H., Doyle, T.W., Dahdouh-Guedas, F., Duke, N.C., Fontalvo-Herazo, M.L., Hildenbrandt, H., Koedam, N., Mehlig, U., Piou, C. & Twilley, R.R. 2008. Avanços e limitações de modelos baseados em indivíduos para analisar e prever a dinâmica de florestas de mangue, Aquat.

Bernadino A. F., G. N. Nóbrega, T. O. Ferreira. 2021. Consequences of terminating mangrove's protection in Brazil. *Marine Policy* 125:104389.

Bezerra D. S., A. L. Santos, J. S. Bezerra, S. Amaral, M. Kampel, L. O. Anderson, F. R. Mochel, J. L. S. Nunes, N. A. Araujo, L. N. Barreto, M. S. S. Pinheiro, M. J. Celeri, F. B. Silva, A. M. Viegas, S. Manes, T. C. S. Rodrigues, J. C. Viegas, U. D. V. Souza, A. L. S. Santos, C. H. L. Silva-Junior. 2022. Brazil's mangroves: Natural carbon storage. *Science* 375:1239.

Bezerra, D.S.; Amaral, S.; Kampel, M.; Andrade, P.R. Simulating Sea-Level Rise Impacts on Mangrove Ecosystem adjacent to Anthropic Areas: the case of Maranhão Island, Brazilian Northeast. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*. 9(3): 188-198 (2014).

Borsje, B. W., van Wesenbeeck, B. K., Dekker, F., Paalvast, P., Bouma, T. J., van Katwijk, M. M., et al. (2011). How ecological engineering can serve in coastal

protection. *Ecol. Eng.* 37, 113–122. doi: 10.1016/j.ecoleng.2010.11.027

Castellanos, EJ, Lemos, MF, Astigarraga, L., Chacón, N., Cuvi, N., Huggel, C., Miranda, L., Vale, MM, Ometto, JP, Peri, PL, Postigo, JC, Ramajo, L., Roco, L., Rusticucci, M., 2022. Capítulo 12: América Central e do Sul. in: *Mudanças Climáticas 2022: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade*. IPCC, ONU.

Celliers, L., Rosendo, S., Costa, MM, Ojwang, L., Carmona, M., Obura, D., 2020. Uma abordagem de capital para avaliar a governança costeira local. *Ocean Coast Manag.* 183, 104996.

Cohen-Shacham E., G. Walters, C. Janzen, S. Maginnis (eds). 2016. *Nature-based Solutions to address global societal*

challenges. Gland, Switzerland: IUCN. xiii + 97pp.

Cooley, S., Schoeman, D., Bopp, L., Boyd, P., Donner, S., Ito, S., Kiessling, W., Martinetto, P., Ojea, E., Racault, M., Rost, B., Skern-Mauritzen, M., Ghebrehiwet, DY, 2022. Capítulo 3: Oceanos e ecossistemas costeiros e seus serviços. In: Pörtner, H. O., Roberts, DC, Tignor, M., Poloczanska, ES, Mintenbeck, K., Alegria, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., Okem, A., Rama, B. (Eds.), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribuição do Grupo de Trabalho II ao Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima*. Cambridge University Press (no prelo).

Davtalab, Rahman et al. Sea Level Rise Effect on Groundwater Rise and Stormwater Retention Pond Reliability. *Water*, [S.L.], v. 12, n. 4, p. 1129, 15 abr. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w12041129>.

Donato, D., Kauffman, J.B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., Kanninen, M., 2011

Ewel, K.C., Twilley, R.R., Ong, J.E., Ecology, G., Letters, B., Mangrove, F., 1998. Different Kinds of Mangrove Forests Provide Different Goods and Services. *Glob. Ecol. Biogeogr. Lett.* 7, 83–94.

Ferrario F., M. W. Beck, C. D. Storlazzi, F. Micheli, C. C. Shepard, L. Airoidi. 2014. The effectiveness of coral reefs for coastal hazard risk reduction and adaptation. *Nature Communications* 5:1–9.

Ferreira C. F., L. D. Lacerda. 2016. Degradation and conservation of Brazilian mangroves, status and perspectives. *Ocean & Coastal Management* 125:38–46.

França, MC et al. 2012. Os últimos manguezais Ilha do Marajó-Amazônia Oriental: Impacto das mudanças climáticas e/ou mudanças relativas do nível do mar. *Revisão de Paleobotânica e Palinologia* 187 50–65.

Gijsman, Rik et al. Nature-based engineering: a review on reducing coastal flood risk with mangroves. *Frontiers in Marine Science*, v. 8, p. 702412, 2021.

Guterres, Camila Everton et al. Espacialização e análise dos registros de fauna do golfo maranhense nos últimos 300 anos e sua correlação com uso e ocupação do solo. 2022. <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>.

Hurk, Bart van Den et al. Living with sea-level rise in North-West Europe: science-policy challenges across scales. *Climate Risk Management*, [S.L.], v. 35, p. 100403,

2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crm.2022.100403>.

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844

IPCC. 2018. Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty

Jones, C. G., Lawron, J. H., and Shachak, M. (1997). Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem Engineers 78, 1946–1957. doi: 10.1890/0012-9658(1997)078[1946:PANEOO]2.0.CO;2

Jones, C. G., Lawton, J. H., Shachak, M., and Organisms, M. (1994). Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69, 373–386. doi: 10.2307/3545850

Krauss, K. W., and Osland, M. J. (2020). Tropical cyclones and the organization of mangrove forests: a review. *Ann. Bot.* 125, 213–234. doi: 10.1093/aob/mcz161

Krauss, K. W., Mckee, K. L., Lovelock, C. E., Cahoon, D. R., Saintilan, N., Reef, R., et al. (2014). How mangrove forests adjust to rising sea level. *New Phytol.* 202, 19–34. doi: 10.1111/nph.12605.

Manes, Stella. Nature-based solutions for climate change adaptation: from global to local scale analysis. 2022. 133f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

Manes, Stella et al. Nature as a solution for shoreline protection against coastal risks associated with ongoing sea-level rise. *Ocean & Coastal Management*, [S.L.], v. 235, p. 106487, mar. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106487>

Masson-Delmotte, Valérie et al. Climate change 2021: the physical science basis. Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, v. 2, 2021.

Moftakhari, Hamed R. et al. Compounding effects of sea level rise and fluvial flooding. *Proceedings Of the National Academy of Sciences*, [S.L.], v. 114, n. 37, p. 9785-9790, 28 ago. 2017. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1620325114>.

Morris RL, Konlechner TM, Ghisalberti M, Swearer SE (2019) From grey to green: Efficacy of eco-engineering solutions for nature-based coastal defense. *Global Change Biology* 24:1827-1842.

Moura, RL et al, 2016. Um extenso sistema de recifes na foz do rio Amazonas. *ciência Adv.* 2, e1501252. Otonni, FP, Hugnes, RM, Katz, AM, Rangel-Pereira, FS.

Narayan, S., Beck, M. W., Reguero, B. G., Losada, I. J., Van Wesenbeeck, B. K., Pontee, N., et al. (2016). The effectiveness, costs and coastal protection benefits of natural and nature-based defences. *PLoS ONE* 11:e0154735. doi: 10.1371/journal.pone.0154735

Nascimento, W.R., Souza-Filho, P.W.M., Proisy, C., Lucas, R.M., Rosenqvist, A., 2013. Mapping changes in the largest continuous Amazonian mangrove belt using object-based classification of multisensor satellite imagery. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 117, 83–93. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.10.005>.

Nevermann, Hannes et al. Land loss implications of sea level rise along the coastline of Colombia under different climate change scenarios. *Climate Risk Management*, [S.L.], v. 39, p. 100470, 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crm.2022.100470>.

Nicholls, R.; Cazenave, A. (2010). Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones. *Science*, 328(5985): 1517–1520. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1185782>

Nóbrega, Mauro Ricardo Roxo et al. Impacto das Mudanças Climáticas na Aridez da Bacia Estendida do rio São Francisco, Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 2022. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786371003>.

Nunez S, Arets E, Alkemade R, Verwer C, Leemans R (2019) Assessing the impacts of climate change on biodiversity: is below 2 °C enough? *Climatic Change* 154:351–365, 10.1007/s10584-019-02420-x.

Oliveira, Rafael Alexandre de. Contribuições para elaboração de um plano municipal de adaptação dos efeitos das mudanças climáticas. 2020. Tese de Doutorado.

Otonni F. P., R. M. Hugnes, A. M. Katz, F. S. Rangel-Pereira, P. H. N. Bragança, R. Fernandes, A. R. T. Palmeira-Nunes, J. L. S. Nunes, R. R. Santos, N. M. Piorski, J. L. Rodrigues-Filho. 2021. Brazilian mangroves at risk. *Biota Neotropica* 21(2).

Pires A. P. F., C. R. Soto, F. R. Scarano. 2021. Strategies to reach global sustainability should take better account of ecosystem services. *Ecosystem Services* 49:101292.

Pörtner H. O. et al 2021. IPBES-IPCC co-sponsored workshop report on biodiversity and climate change. doi: 105281/zenodo4782538.

Pörtner, Hans O. et al. *Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability*. 2022.

Prates, Ana Paula Leite; Gonçalves, Marco Antonio; ROSA, Marcos Reis. *Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos no Brasil*. 2012.

Rosa M. R., T. R. Azevedo. 2020. Nota Técnica sobre o impacto do Despacho n 4.410/2020 do Ministério do Meio Ambiente (MMA). *MapBiomias*. Available at: <https://mapbiomas.org/nota-t>. Accessed on 20/03/2022.

Saintilan, N., Khan, N. S., Ashe, E., Kelleway, J. J., Rogers, K., Woodroffe, C. D., et al. (2020). Thresholds of mangrove survival under rapid sea level rise. *Science* 368:1118–1121. doi: 10.1126/science.aba2656

Scarano F. R, M. T. K. Arroyo, J. Cortés, A. P. F. Pires. 2020. Biodiversity. In: Moreno J M., C. LagunaDefior, V. Barros, E. C. Buendía, J. A. Marengo, U. Oswald (Eds.), *Adaptation to Climate Change Risks in Ibero-American Countries — RIOCCADAPT*

Report. Springer, Madrid.

Scarano F. R. 2017. Ecosystem-based adaptation to climate change: concept, scalability and a role for conservation science. *Perspectives in Ecology and Conservation* 15:65– 73.

Schuerch, M., Spencer, T., Temmerman, S., Kirwan, M. L., Wolff, C., Lincke, D., et al. (2018). Future response of global coastal wetlands to sea-level rise. *Nature* 561, 231–234. doi: 10.1038/s41586-018-0476-5

Sharp R. et al (2020) InVEST 3.10 User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.

Souza filho, Pedro Walfir Martins. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 23, p. 427-435, 2005

Souza, Caroline A. et al. Biodiversidade e conservação dos manguezais: importância bioecológica e econômica. *Educação Ambiental sobre Manguezais*. São Vicente: Unesp, p. 16-56, 2018.

Spalding, M.; Kainuma, M. & Collins, L. 2010. *World Atlas of Mangroves*. Earthcan, 319p.

Vale M. M., E. Berenguer, M. A. Menezes, E. B. V. Castro, L. P. Siqueira, R. C. Q. Portela. 2021a. The COVID-19 pandemic as an opportunity to weaken environmental protection in Brazil. *Biological Conservation* 255:108994.

Woodroffe, C. D., Rogers, K., McKee, K. L., Lovelock, C. E., Mendelssohn, I. A., and Saintilan, N. (2016). Mangrove sedimentation and response to relative sea-level rise. *Ann. Rev. Marine Sci.* 8, 243–266. doi: 10.1146/annurev-marine-122414-034025

Xavier, LY, Guilhon, M., Gonçalves, LR, Corrêa, MR, Turra, A., 2022. Ondas de mudança: em direção à gestão ecossistêmica para a adaptação às mudanças climáticas. *Sustentabilidade* 14, 1317.

IV. CAPÍTULO II: AVALIAÇÃO DO GRAU DE VULNERABILIDADE DA ZONA COSTEIRA DA ILHA DO MARANHÃO ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS

Avaliação do grau de vulnerabilidade da zona costeira da Ilha do Maranhão às Mudanças Climáticas

Luan Victor Pereira de Sousa¹, Fabio Augusto Siqueira dos Santos², Neuriane Silva Lima³, Leonardo Henrique de Sá Rodrigues⁴, Ana Maisy de Miranda Castro⁵, Celso Henrique Leite Silva Junior⁶, Flavia Rebelo Mochel⁷, Stella Manes da Silva Moreira⁸, Denilson da Silva Bezerra⁹

1Mestrando em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Maranhão – UFMA, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1347-7353>, E-mail: engamb.luan@gmail.com. 2Mestrando em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Maranhão – UFMA, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5665-3843>, E-mail: fabio_bio2@yahoo.com. 3Mestre em Meio Ambiente, Universidade Ceuma, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5383-4840>, E-mail: neurianylima@gmail.com. 4Mestre em Meio Ambiente, Universidade Ceuma, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4412-5134>, E-mail: leohsr@gmail.com. 5Mestranda em Desenvolvimento

e Meio Ambiente, Universidade Federal do Maranhão – UFMA, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-7810-0271>, E-mail: ana.maisy@discente.ufma.br. 6Doutor em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Docente do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, Universidade Federal do Maranhão, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1052-5551>, E-mail: celsohlsj@gmail.com. 7Doutora em Geociências, Universidade Federal Fluminense, Docente do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Maranhão, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5911-3171>, E-mail: flavia.mochel@ufma.br. 8Doutora em Ecologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Pesquisadora no Instituto Internacional para Sustentabilidade (ISS), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5938-6900>, E-mail: stellamanes@gmail.com. 9Doutor em Ciência do Sistema Terrestre, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, Docente do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Maranhão, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9567-7828>, E-mail: denilson.bezerra@ufma.br.

RESUMO

A presente pesquisa tem como objetivo analisar a vulnerabilidade da zona costeira da Ilha do Maranhão à elevação do nível do mar decorrente das mudanças climáticas e a contribuição do manguezal local para a redução desse risco. O litoral da Ilha do Maranhão é composto por um mosaico de ecossistemas de alta relevância ambiental, cuja diversidade é marcada pela transição de ambientes terrestres, marinhos e climáticos, com interações que lhe conferem um caráter de fragilidade e que requerem, por isso, atenção especial, possui aproximadamente 137 km de extensão, correspondendo a 21% da extensão territorial da toda a zona costeira do estado do Maranhão; mudanças induzidas pela ação humana podem afetar serviços essenciais prestados por esses ecossistemas na área de estudo. Nesta pesquisa são utilizados dois modelos computacionais para estimar a vulnerabilidade da zona costeira da Ilha do Maranhão às mudanças climáticas; o primeiro é a Avaliação Integrada de Serviços e Compensações Ecosistêmicas (InVEST) para avaliar a vulnerabilidade costeira, o segundo é o “BR-MANGUE” para simular a resposta do manguezal ao aumento do nível do mar. Os resultados destacam a importância de todos os ecossistemas costeiros e os possíveis danos resultantes das suas perdas, especialmente na perda de áreas de mangue na costa. Os resultados também indicam que a proteção proporcionada pelos ecossistemas costeiros é altamente relevante para propor soluções baseadas na natureza para combater os impactos das mudanças climáticas na zona costeira amazônica. Palavras-chave: Serviços ecossistêmicos. Soluções baseadas na natureza. Manguezais.

Assessment of the degree of vulnerability of the Coastal Area of Maranhão Island to Climate Change

ABSTRACT

This research aims to analyze the vulnerability of the coastal zone of Maranhão Island to rising sea levels resulting from climate change and the contribution of the local mangrove forest to reducing this risk. The coast of Maranhão Island is made up of a mosaic of ecosystems of high environmental relevance, whose diversity is marked by the transition between terrestrial, marine and climatic environments, with interactions that give it a fragile character and therefore require special attention. , is approximately 137 km long, corresponding to 21% of the territorial extension of the entire coastal zone of the state of Maranhão; changes induced by human action can affect essential services provided by these ecosystems in the study area. In this research, two computational models are used to estimate the vulnerability of the coastal zone of Maranhão Island to climate change; the first is the Integrated Assessment of Ecosystem Services and Compensations (InVEST) to assess coastal vulnerability, the second is “BR-MANGUE” to simulate the mangrove response to rising sea levels. The results highlight the importance of all coastal ecosystems and the possible damage resulting from their losses, especially the loss of coastal mangrove areas. The results also indicate that the protection provided by coastal ecosystems is highly relevant for proposing nature-based solutions to combat the impacts of climate change in the Amazon coastal zone.

Keywords: Ecosystem Services. Nature-based solutions. Mangroves.

INTRODUÇÃO

O Sexto Relatório de Avaliação do IPCC (AR6) alerta que as alterações climáticas não resultam numa ameaça potencial futura, mas sim numa ameaça atual (IPCC 2022; Nobrega 2022). As presentes estimativas indicam um risco climático muito maior do que nos relatórios anteriores, decorrente do aumento considerável da concentração atmosférica de CO₂ nos últimos anos (Pörtner et al. 2022). No entanto, mesmo com uma mitigação climática eficaz, já não é possível prevenir completamente as alterações climáticas e evitar as suas consequências (Nunez et al. 2019), o que significa que são necessárias ações intensas para reduzir os impactos negativos das ações de adaptação climática.

São, portanto, urgentemente necessárias ações para diminuir as alterações climáticas. A mitigação climática, ou seja, ações que reduzam a concentração de gases com efeito de estufa na atmosfera, é imperativa para reduzir a magnitude das alterações climáticas, esperando manter o seu impacto o mais baixo possível (IPCC 2018). Assim, para além da mitigação climática, a atual emergência climática também exige ações urgentes de adaptação, ou seja, ações capazes de reduzir, moderar ou evitar potenciais riscos de alterações climáticas, aumentando a resiliência dos sistemas naturais e humanos (IPCC 2018).

A elevação do nível do mar (ENM) é uma das consequências das alterações climáticas e pode representar sérios desafios ambientais e socioeconômicos, especialmente em ambientes costeiros (Nevermann et al. 2023). O ENM exacerba os impactos de eventos extremos ao nível do mar, bem como dos perigos costeiros, e tem múltiplos efeitos prejudiciais nos ecossistemas e serviços marinhos (Nevermann et al. 2023; Moftakhari et al. 2017; Masson-Delmotte et al. 2021; Martyr- Koller e outros 2021; Hurk e outros 2022). As estimativas do IPCC sugerem um aumento contínuo e progressivo do nível médio do mar global nas próximas décadas. Tal tendência já pode ser observada quando, por exemplo, comparamos a taxa de variação de 3,7 [3,2 a 4,2] mm/ano entre 2006 e 2018 com a taxa de 1,9 [0,8 e 2,9] mm/ano entre 1971 e 2006 (Masson-Delmotte et al., 2021). O nível médio global do mar continuará a subir ao longo do século XXI, atingindo entre 0,28 e 0,55 m num cenário de gases com efeito de estufa muito baixo (SSP1-1,9) e 0,63-1,01 m num cenário muito elevado (SSP5-8,5), o que transformaria as costas em todo o mundo (IPCC 2021; Manes et al. 2023).

Os eventos extremos ao nível do mar e a subsidência de terras têm o potencial de afetar significativamente as paisagens, a utilização dos solos, as infraestruturas, a morfologia e os serviços ecossistêmicos. Portanto, as zonas costeiras estão entre as regiões mais vulneráveis do mundo (Nicholls e Cazenave 2010; Davtalab et al. 2020). O litoral, tanto na porção costeira quanto na marinha, compreende diversos ecossistemas, incluindo uma variedade de habitats naturais, como florestas costeiras, manguezais, áreas úmidas, restingas, campos, dunas, costões rochosos e recifes de coral, entre outros. (Mapbiomas 2022; Manes et al. 2023).

A zona costeira da Ilha do Maranhão, é coberta principalmente por manguezais e praias e dunas (Mapbiomas 2022), além de alguns recifes de coral localizados em águas profundas (Moura et al. 2016). Também é importante mencionar que os manguezais presentes na zona costeira do estado do Maranhão correspondem a aproximadamente 80% dos manguezais brasileiros (Mapbiomas 2022). A subida do nível do mar pode afetar serviços essenciais prestados pelos estuários e ecossistemas fortemente associados, como manguezais e pântanos, como habitats para muitas espécies, pesca, turismo, navegação e armazenamento de carbono. (Donato et al. 2011; Ewel et al. 1998; Lee 2008; Lee et al. 2014). Os manguezais amazônicos correspondem a uma resposta natural válida a potenciais eventos de aumento do nível do mar; portanto, a sua preservação é uma estratégia de adaptação valiosa para reduzir os danos causados pelas alterações climáticas às populações humanas, infraestruturas e atividades econômicas costeiras. Contudo, estudos sobre a contribuição da natureza para a defesa costeira ainda necessitam de ser disponibilizados na literatura científica nacional (Morris et al. 2019, Manes et al. 2023).

Entre as estratégias com maior potencial de adaptação climática estão as soluções baseadas na Natureza – SbN (Pörtner et al. 2021, Pires et al. 2021, Scarano et al. 2020, Manes et al. 2022), tendo sido aplicadas em várias estratégias de adaptação em todo o mundo, favorecendo a preservação de ecossistemas essenciais (Oliveira 2020), como os manguezais, possibilitando a manutenção dos serviços ambientais e a conservação da biodiversidade. As SbN compreendem ações que protegem, recuperam ou gerem de forma sustentável ecossistemas naturais ou modificados para resolver problemas sociais globais, proporcionando benefícios tanto para os seres humanos como para a natureza (Cohen-Shacham et al. 2016, Manes et al. 2022).

Enquanto conceito abrangente, as SbN podem assumir muitas formas dentro de diferentes abordagens relacionadas com os ecossistemas, incluindo a 'Adaptação Baseada nos Ecossistemas', que se refere explicitamente à abordagem do papel dos ecossistemas para uma melhor adaptação às alterações climáticas, tendo em conta os benefícios sociais, econômicos e culturais para comunidades locais (Scarano 2017); 'Redução do risco de catástrofes com base nos ecossistemas', onde a natureza pode reduzir a probabilidade de os perigos naturais se transformarem em desastres. No entanto, todas as abordagens de SbN visam melhorar a resiliência e os serviços dos ecossistemas para combater desafios sociais significativos (mudanças globais) e garantir o bem-estar humano (Cohen-Shacham et al. 2016, Manes et al., 2022).

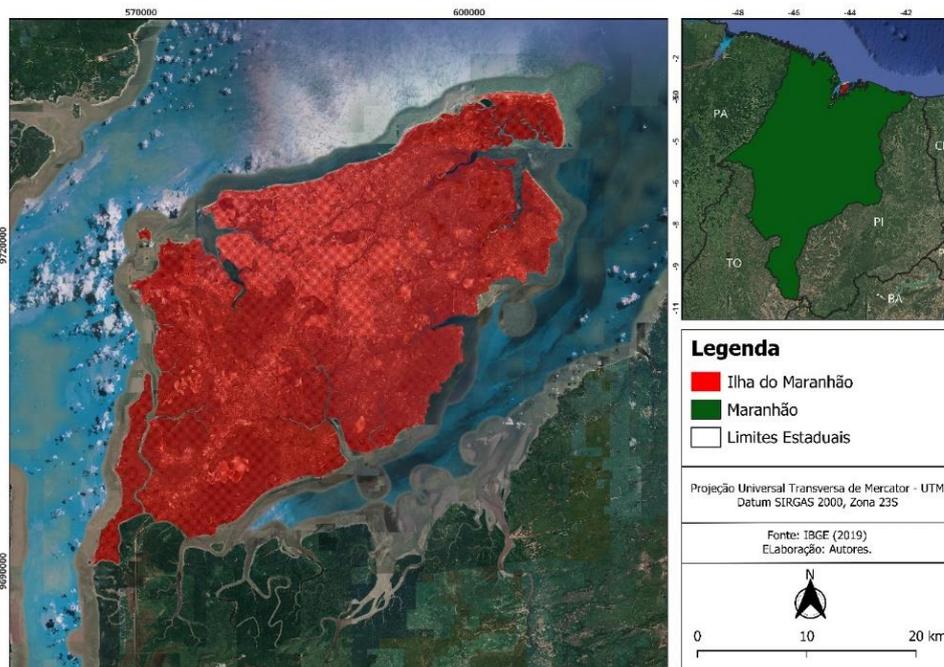
Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo estimar a vulnerabilidade da zona costeira da Ilha do Maranhão, que está inserido na maior área contínua de manguezais do planeta, a potenciais eventos de elevação do nível do mar. Desta forma, apresentamos um experimento inédito para compreender a importância dos ecossistemas costeiros para a proteção da zona costeira.

Metodologia

Área de Estudo

A área de estudo desta pesquisa corresponde à zona costeira da Ilha do Maranhão. Este estado faz parte da zona costeira da Amazônia legal brasileira. Na ilha do Maranhão localizam-se quatro municípios: São Luís, São José de Ribamar, Paço do Lumiar e Raposa e juntos com outros municípios formam a Região Metropolitana da Grande São Luís. A zona costeira da Ilha do Maranhão possui aproximadamente 137 km de extensão, correspondendo a 21% da extensão territorial da toda a zona costeira estadual. Dentro da área de estudo do projeto que compreende a Zona Costeira da Ilha do Maranhão, existem importantes infraestruturas para a população, como o Porto do Itaqui, localizado no limite do Distrito Industrial da região do Itaqui, no litoral oeste da Ilha (Baía de São Marcos), a 11 km do centro da cidade de São Luís – MA.

Figura 1 Localização da área de estudo.



Procedimentos Metodológicos

A pesquisa foi desenvolvida em três etapas, sendo elas: delimitação da área de estudo e principais objetivos a serem alcançados; posteriormente a aquisição, tabulação e tratamento dos dados necessários para as rotinas dos softwares utilizados, assim como as calibrações nos modelos para retratar a realidade o mais próximo possível; por fim, na etapa de análise, foi adicionado diferentes cenários ao ambiente de estudo e analisado os resultados de cada cenário.

O modelo de Vulnerabilidade Costeira do software Integrated Valuation of Ecosystem Services and Trade-offs (InVEST) foi utilizado para avaliar o risco para a zona costeira da Ilha do Maranhão (área de estudo desta pesquisa). O InVEST é um pacote de software amplamente utilizado na literatura científica para mapear e avaliar serviços ecossistêmicos (Sharp et al. 2020).

O modelo de vulnerabilidade costeira gera um índice de risco ao longo da costa através da equação 1 baseado em seis fatores biofísicos: velocidade do vento, potência das ondas, potencial de maré alta, relevo e elevação do nível do mar. Finalmente, além das variáveis físicas, o modelo incorpora o grau de proteção dos ecossistemas naturais para avaliar a vulnerabilidade da zona costeira.

$$(1) \quad EI = \left(\prod_{i=1}^n R_i \right)^{\frac{1}{n}}$$

Dados globais para velocidade do vento e altura das ondas foram fornecidos no banco de dados do modelo InVEST, obtido do WaveWatch III desenvolvido pela National Oceanic and Atmospheric Administration/National Centers for Environmental Predictions (NOAA/NCEP) (Tolman 2009). A potência das ondas também é influenciada pela profundidade da água, calculada a partir da batimetria. o modelo classifica o risco relativo ao potencial de rebentação ao longo da costa com base na sua distância à plataforma continental, ou seja, maiores distâncias entre a costa e o limite da plataforma continental conduzem a um maior risco estimado. Utilizamos batimetria e limites da plataforma continental do banco de dados marinho nacional (Serviço Geológico do Brasil, CPRM; <http://www.cprm.gov.br/>). Além disso, os litorais que estão em altitudes mais elevadas (ou seja, mais distantes do nível médio do mar) são mais protegidos do que as terras baixas. Assim, o modelo classifica as linhas costeiras por sua elevação relativa com base nos dados do relevo. Usamos modelos digitais de elevação brasileiros (DEM) como entrada para dados de relevo (Weber e outros, 2004). Para os dados de habitats naturais, exportamos do banco de dados Mapbiomas Collection 7 para 2000 e 2021 (Mapabiomas, 2022).

Como alguns habitats naturais oferecem mais proteção do que outros, eles também recebem pontuações de risco diferentes. Por exemplo, o manguezal é ranqueado como o habitat natural que provê maior proteção costeira juntamente com recifes de corais, enquanto que praias arenosas ou áreas urbanas sem vegetação são ranqueados com a menor capacidade de proteção (Manes et al., 2023).

Assim, para avaliar o papel da natureza na proteção costeira, utilizamos dois cenários: (i) com os atuais ecossistemas naturais ao longo da costa do Maranhão e (ii) ausência total de todos os ecossistemas naturais (ou seja, os atuais ecossistemas naturais não fornecem mais proteção costeira).

O segundo modelo utilizado, “BR-MANGUE”, foi elaborado seguindo os preceitos teóricos descritos por Bezerra et al. (2014), que desenvolveram um modelo computacional para simular a resposta do ecossistema de mangue à elevação do nível médio do mar.

O modelo simula o ENM da área de estudo em 79 (setenta e nove) degraus de elevação, seguindo uma progressão aritmética de taxa de 0,013 m por ano, de 2021 a 2100. O maior valor de elevação corresponde ao cenário mais alarmante de aumento do nível do mar no AR6-IPCC, ou seja, 1,01 m de elevação média global em 2100.

A implementação é baseada no modelo computacional de autômatos celulares (Wolfram 1983; Bezerra 2014), um sistema lógico que tem como unidade básica o conceito de célula: cada célula possui uma vizinhança de células e um estado discreto que pode variar durante a simulação, de acordo com suas regras de transição.

Para o procedimento de simulação do modelo, foi organizado um banco de dados geográfico no software TerraView 4.2.0, contendo dados de cobertura do solo obtidos do mais recente banco de dados Mapbiomas (<https://mapbiomas.org/>), com resolução espacial de 30 metros. O banco de dados também contém informações de um Modelo Digital de Elevação (fonte: Brasil em Relevo - <https://www.cnpem.embrapa.br/projetos/relevobr/>) e classes de solos (fonte: Zoneamento Ecológico-Econômico do Maranhão - <http://zee.ma.gov.br/>).

Como um sistema de autômatos celulares, cada célula possuirá em um determinado um estado único e um conjunto de atributos que definem esse estado. Durante os procedimentos de simulação, os estados e atributos de cada célula poderão mudar de acordo com as regras de transição.

O estado inicial da célula será atribuído à classe de cobertura do solo no momento inicial. Em cada célula, a classe de cobertura do solo majoritária definirá o estado da célula. Como atributos das células, classes de solo, altimetria e valores de altura de maré serão atribuídos a cada célula em cada etapa de inundação. O tipo de solo mais frequente em cada célula será identificado a partir do mapeamento oficial de solos da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA 2002).

Resultados e Discussão

Os resultados obtidos neste artigo estão de acordo com outros estudos de escala global (Manes 2023). Os nossos resultados alertam para as graves consequências da perda contínua de ecossistemas costeiros, o que aumenta o número de zonas costeiras e de populações expostas aos riscos induzidos pelas alterações climáticas. Segundo Manes (2023), todos os habitats naturais costeiros são essenciais e os danos resultam das suas perdas. Portanto, as ações voltadas à proteção e ao uso sustentável desses habitats não devem ser reduzidas e,

consequentemente, colocando em risco pessoas e bens do litoral brasileiro. Ainda assim, e não o contrário, as ações de proteção deveriam ser intensificadas. A proteção destes habitats, considerando as relações entre as pessoas e a natureza, é imperativa para garantir a adaptação climática contra os perigos costeiros e salvaguardar as populações humanas costeiras (Manes et al. 2023).

Prates et al. (2012) afirmam que todos os estados brasileiros possuem áreas acima de 10% de seus manguezais legalmente protegidos. Contudo, como garante a APA, grande parte desta proteção tem baixa eficácia. No Maranhão, o percentual de proteção chega a 97,2% do total do estado, principalmente devido à parcela protegida exclusivamente pela APA (85% do total da área protegida no estado).

Notavelmente, o Brasil está provavelmente entre os países com a maior concentração de pessoas que se beneficiam da redução do risco costeiro baseada na natureza em todo o mundo (Ferrario et al. 2014; Manes et al. 2023). No entanto, embora a importância do NbS esteja sendo cada vez mais reconhecida no Brasil e no mundo, a perda de habitats naturais nas últimas décadas indica que o reconhecimento no artigo ainda tem aplicação prática limitada. Um exemplo foi a recente tentativa do Ministério do Meio Ambiente do Brasil de reduzir o status de proteção dos manguezais (Ottoni et al. 2021; Vale et al. 2021a; Bezerra et al. 2022) colocando em risco 110.000 km² de manguezais (Rosa e Azevedo 2020).

Esta mudança teria sido desastrosa não só para os próprios manguezais, mas também para as pessoas que dependem do seu papel crucial na manutenção da pesca e na atenuação dos perigos relacionados com o clima (por exemplo, Ferreira e Lacerda 2016; Bernadino et al. 2021; Ottoni et al. 2021). Os manguezais também têm persistência inata devido à sua capacidade de engenharia adaptativa do ecossistema para se ajustarem às mudanças nas condições ambientais (Jones et al. 1994, 1997; Gijsman 2021). A sua regeneração natural e capacidade de retenção de sedimentos permite aos manguezais (1) estabilizar as linhas costeiras (Krauss et al. 2014; Woodroffe et al. 2016; Gijsman 2021), (2) recuperar dos impactos de eventos extremos (Krauss e Osland 2020; Gijsman 2021) e (3) adaptar-se às mudanças de longo prazo nas condições ambientais (Schuerch et al. 2018; Saintilan et al. 2020; Gijsman 2021). Assim, os manguezais têm o potencial de oferecer uma estratégia de estabilização da linha costeira, resiliente ao impacto e de adaptação climática para reduzir o risco de inundações costeiras. Ao fazê-lo, os manguezais podem proporcionar valor adicional para a sociedade, ao mesmo tempo que os custos de

implementação e manutenção podem ser substancialmente menores em comparação com a infraestrutura de engenharia pesada (Borsje et al. 2011; Narayan et al. 2016; Gijsman 2021).

Para avaliar os serviços prestados pelos ecossistemas terrestres e marinhos para a proteção costeira na área de estudo, utilizamos três cenários entre os cinco trabalhados pelo IPCC (os cenários SSP estão descritos nas seções TS1.3 e 1.6 e no Quadro 1.4 entre os capítulos da contribuição do Grupo de Trabalho 1.). Dividimos os índices de risco resultantes em três categorias (organizadas através do inVEST), com áreas de risco mais baixo (índices de risco global de 1 a 2,33), risco intermédio (índices de risco global de 2,33 a 3,66) e risco mais elevado (índices de risco global pontuação de risco de 3,66 a 5).

Os resultados parciais obtidos durante a pesquisa mostram que os ecossistemas naturais proporcionam proteção essencial contra os riscos induzidos pelos efeitos das mudanças climáticas ao longo da zona costeira da Ilha do Maranhão.

Índice Costeiro

As análises realizadas no litoral da Ilha do Maranhão, onde se concentra a maior densidade populacional do estado, e tem a presença da Empresa Maranhense de Administração Portuária, é possível observar no item A da figura 2, mais da metade do litoral da Ilha do Maranhão está sob os riscos mais baixos (90,3%, em 640 pontos ao longo da costa) (Figura 3). A parte restante da costa está atualmente dividida entre os riscos intermediários (9,73%) e sem pontos de risco alto.

No item B da figura 2, considerando o cenário SSP2-4.5 do IPCC e o seu efeito da elevação do nível do mar no cálculo, a extensão da costa sob menor risco cairia para apenas 58%. Há também um grande aumento na extensão da linha de costa sob os riscos intermediários e altos, para 41,88% e 0,1% respectivamente.

Enquanto para o cenário SSP5-8.5 e o seu efeito da elevação do nível do mar no cálculo, a extensão da costa sob menor risco teria uma queda ainda mais evidente para apenas 34,7%. Há também um grande aumento na extensão da linha de costa sob os riscos intermediários e altos, para 64,73% e 0,6% respectivamente.

Atualmente considerando todos os ecossistemas capazes de proteger o litoral da ilha, especificamente o ecossistema manguezal, que apresentou o maior grau de proteção comparado a outros ecossistemas costeiros e de transição entre ambientes terrestres e marinhos.

Figura 2 Riscos costeiros ao longo da costa da Ilha do Maranhão sob diferentes cenários do IPCC. Os habitats dos itens A, B e C são mostrados para as condições atuais, enquanto os itens D, E e F, são mostrados sem os habitats naturais. A e D) Cenário SSP1-1.9 com a taxa de elevação até 2100 entre 0.28-0.55m, B e E) Cenário SSP2-4.5 com a taxa de elevação até 2100 entre 0.43-0.76m, e C e F) Cenário SSP5-8.5 com a taxa de elevação até 2100 entre 0.63-1.01m

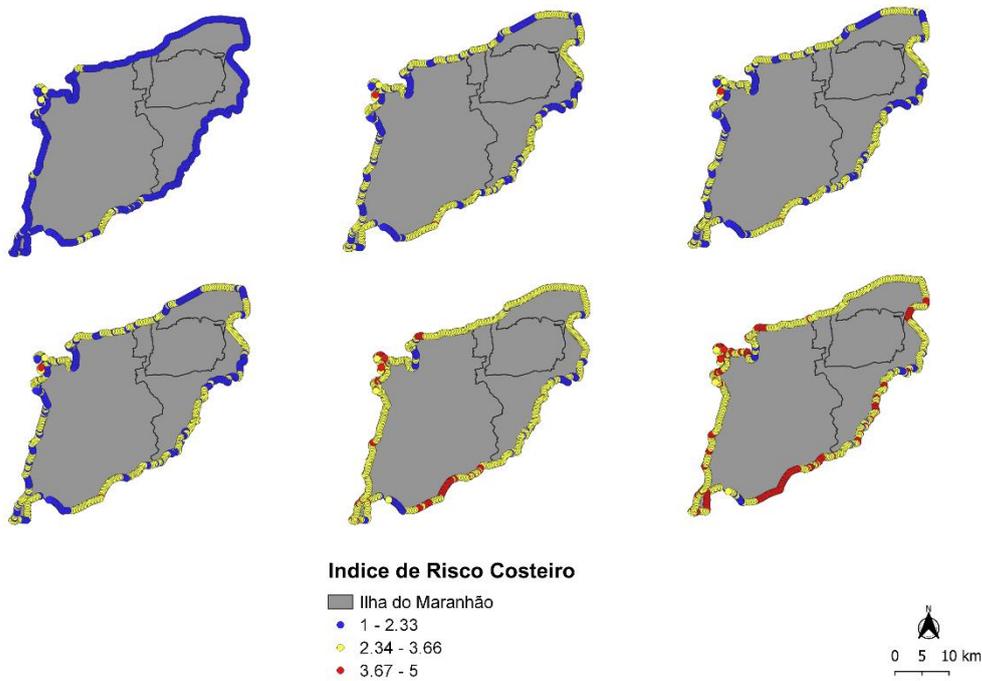
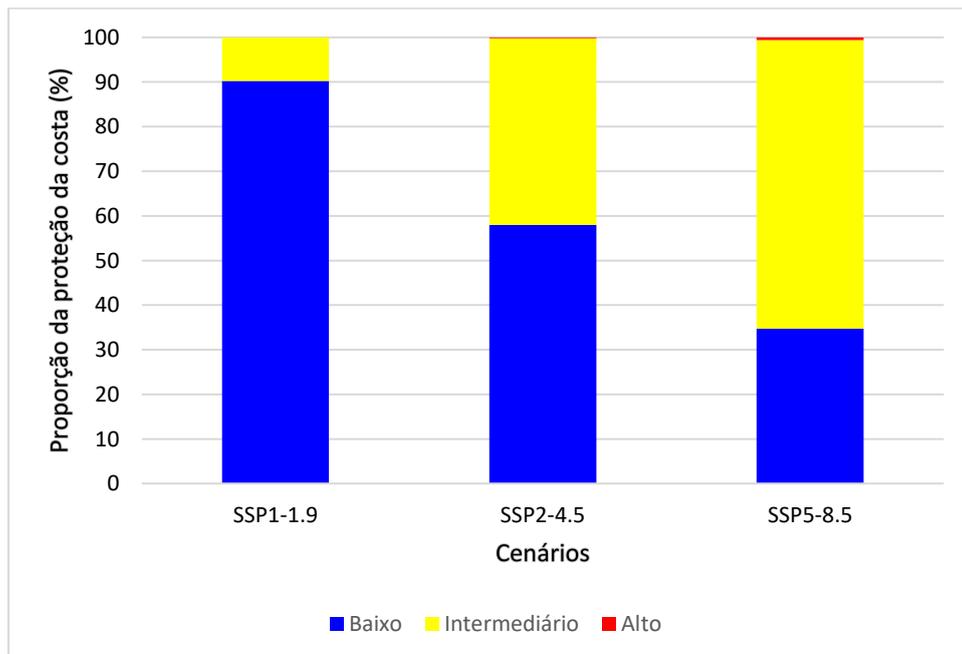


Figura 3 Proporção da proteção costeira associada a diferentes cenários.

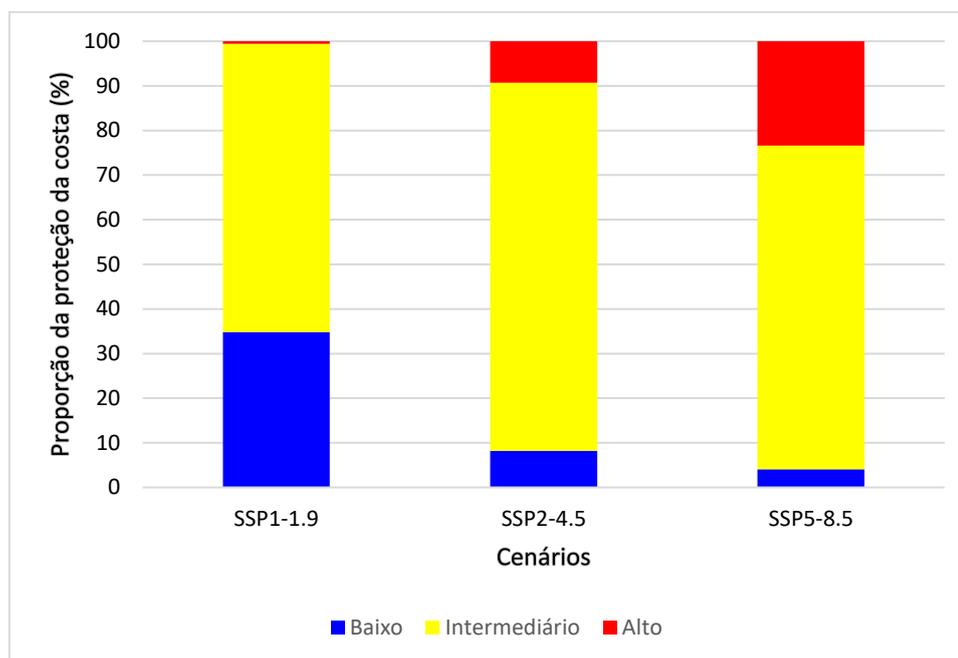


Diante das condições atuais dos ecossistemas, foram feitos testes sem a presença desses ecossistemas, para mensurar o grau de proteção frente aos cenários

de elevação do nível do mar. Na figura 2, dividimos novamente em 3 cenários, sendo eles D, E e F, e todos os resultados com o valor de cada cenário do IPCC adicionado no cálculo.

Foi possível observar na simulação do item D da figura 2, mais da metade dos pontos se encontram em níveis intermediários e altos, e conseqüentemente, nos itens E e F, que correspondem aos cenários que chamamos de intermediários e graves, os valores desses pontos aumentam ainda mais.

Figura 4 Proporção da proteção costeira associada a diferentes cenários



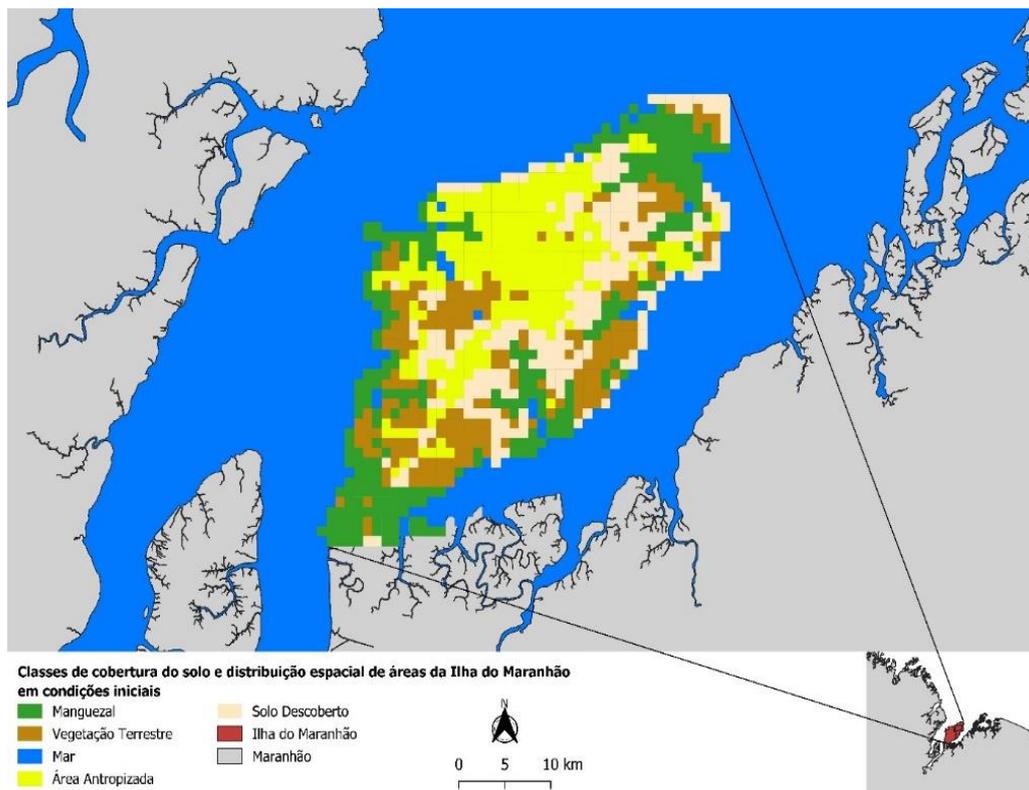
Simulação do aumento médio do nível do mar

Os resultados obtidos na simulação são validados através da literatura que indica variação positiva nas áreas de manguezais de acordo com os níveis de elevação do mar, retratando também áreas potenciais de aumento de manguezais à medida que a água salgada penetra cada vez mais nos rios e estuários. (Lacerda et al. 2007; Bezerra et al. 2014). Na literatura, segundo vários autores, os impactos investigados do aumento do nível do mar e das mudanças climáticas na costa amazônica brasileira durante o Holoceno tardio confirmaram que o aumento do nível do mar é o fator mais provável que pode causar a expansão dos manguezais (França et al. 2012; Bezerra et al. 2014).

A utilização de modelos espacialmente explícitos pode ajudar a compreender o padrão de resposta dos manguezais às alterações climáticas e a outros fatores de

estresse ambiental (Berger et al. 2008; Bezerra et al. 2014). Portanto, nossos resultados dão continuidade a uma série de tentativas, que começaram com Bezerra et al. 2014, para compreender os padrões de manguezais de um estudo de caso específico associado à simplificação deste complexo processo proposto em nosso modelo conceitual.

Figura 5. Classes de cobertura do solo e a distribuição espacial das áreas em condições atuais.

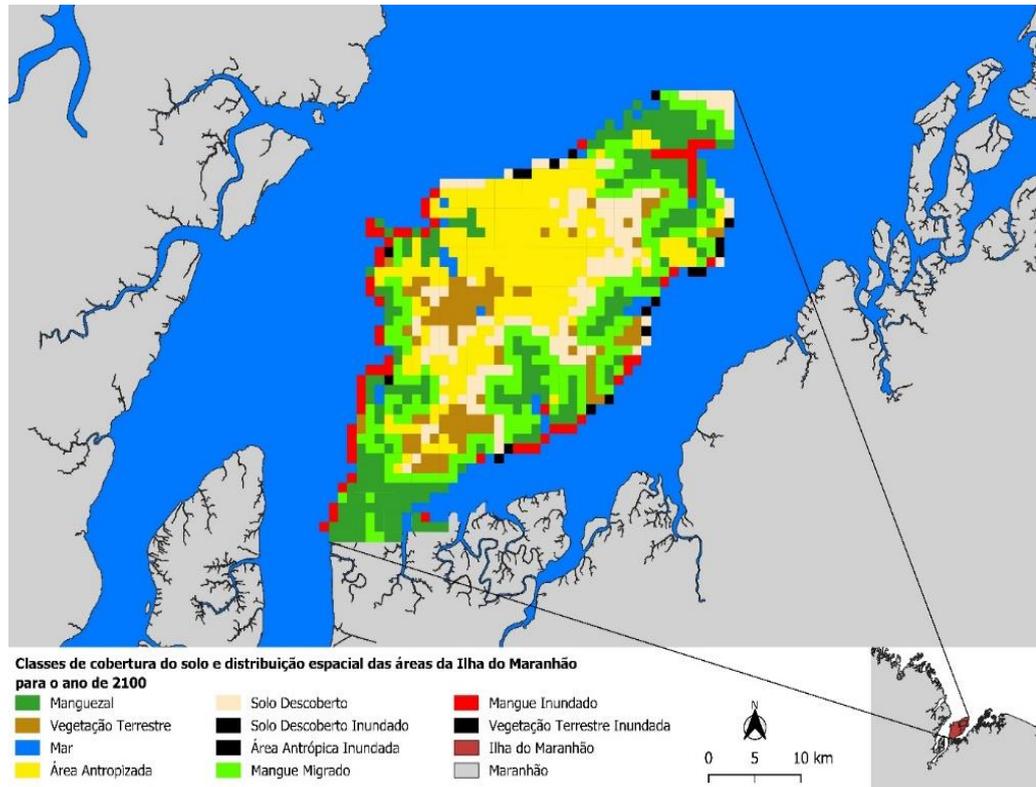


Com os resultados obtidos através do modelo computacional BR-MANGUE foi possível observar o comportamento do mangue frente à elevação do nível do mar. Na Figura 5 temos a condição atual da área de estudo, considerando-a sem modificações antrópicas e naturais significativas, com um total de 1437 células, cada pixel possui uma área de 99 ha, após o input dos dados, foram categorizados de acordo com a legenda da figura 6.

Na Figura 6 é possível observar o resultado da simulação com as condições atuais mais as condições previstas pelo modelo Br-Mangue. O nível do mar utilizado na simulação foi de 0,013 m/ano, valor definido pelo IPCC no cenário SSP5-8.5; neste cenário prevê-se um aumento de até 1,01 m para o ano de 2100, esse valor foi dividido em 79 anos, sendo a diferença entre os anos de 2021 (ano do último relatório) e o ano de 2100.

O total de 1437 células após a simulação foi o mesmo das condições iniciais, com cada pixel possuindo uma área de 99 ha e foram categorizados de acordo com a legenda da figura 7.

Figura 6. Classes de cobertura do solo e a distribuição espacial das áreas para o ano de 2100.



Na tabela 1 é possível identificar que o número de pixels de manguezais que migraram para o continente foi 221 células, sendo maior do que as células de manguezais inundados com um total de 66 pixels. Ou seja, de acordo com a simulação realizada na área de estudo, um aumento em torno de 1 m no nível do mar pode induzir um processo de migração de manguezal mais intenso que a ocorrência de perda de áreas de mangue. Tais resultados podem destacar o potencial significativo que os manguezais amazônicos têm para se adaptar às mudanças climáticas; no entanto, as utilizações humanas adjacentes às áreas de manguezais podem funcionar como barreiras à migração numa eventual subida do nível do mar. Este processo deve ser melhor estudado e compreendido pelo conhecimento científico.

Tabela 1 Quantidade de células em cada etapa de simulação.

Etapa 1	Qt	Etapa 79	Qt
Manguezal	285	Manguezal	226
Vegetação Terrestre	241	Vegetação Terrestre	103
Mar	370	Mar	370
Área Antrópica	286	Área Antrópica	285
Solo Descoberto	255	Solo Descoberto	147
		Solo Descoberto Inundado	16
		Área Antrópica Inundada	1
		Manguezal Migrado	221
		Manguezal Inundado	66
		Vegetação Terrestre Inundada	2

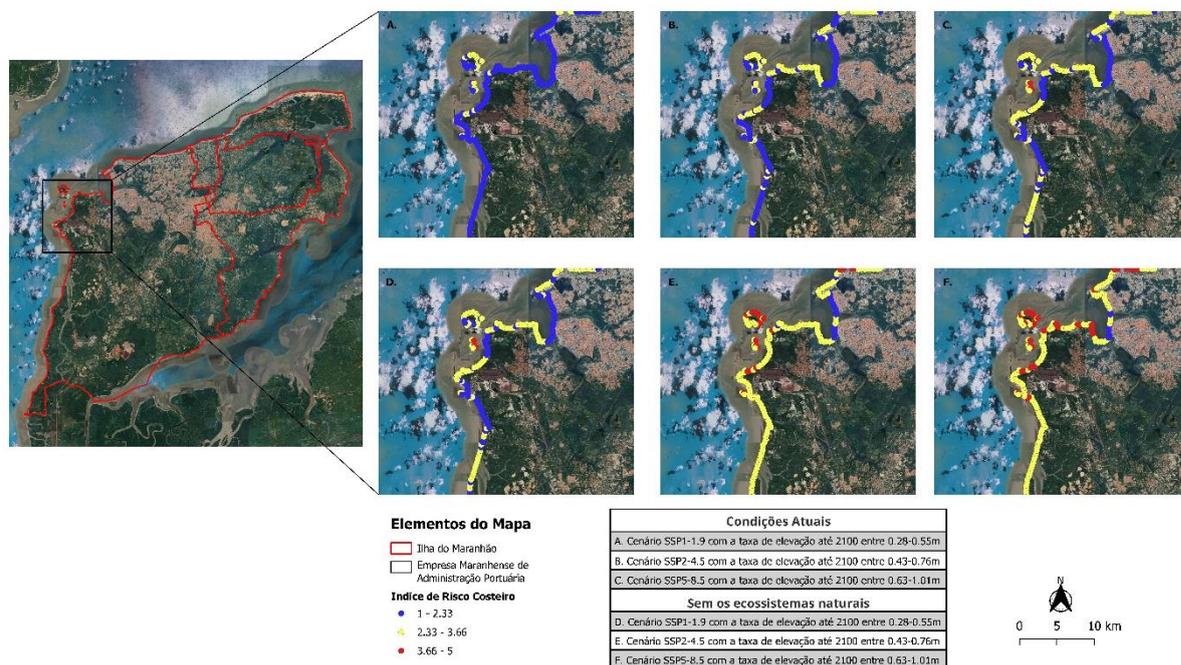
Área Portuária

O Golfão Maranhense que é um importante zona costeira com estuários e enseadas, constituída por um ambiente complexo de manguezais (Guterres et al. 2022). Rebelo-Mochel (1997) descreve este ambiente destacando as características do litoral, elevado volume de água doce e amplitude das marés. A região está no centro de um sistema de golfe, caracterizado por macromarés semidiurnas e correntes de maré superiores a 4 m/s (Guterres et al. 2022).

O Golfo do Maranhão caracteriza-se por ter como centro a Ilha do Maranhão, com uma população superior a um milhão de habitantes, os quatro municípios (São Luís, Ribamar, Raposa e Paço do Lumiar) pertencentes a área induzem elevado desenvolvimento urbano e regional, conseqüentemente a intensidade e a magnitude das ações antrópicas são percebidas na faixa costeira e impõem grande vulnerabilidade à paisagem e aos ecossistemas aquáticos.

Na figura 7 foi feito um recorte do Golfão Maranhense onde está inserido o Porto do Itaqui, e analisado a área quanto ao seu risco costeiro frente ao efeito da elevação do nível do mar e o papel do ecossistema costeiro para proteção e/ou adaptação da linha de costa. As atividades portuárias são sensíveis diante das mudanças ambientais e climáticas, no que tange às variações dos níveis das marés e possibilidades de eventos associados, como enchentes, alagamentos e deslizamentos (Neves 2015; SILVA et al. 2023).

Figura 7 Recorte da área portuária.



O recorte foi analisado com os mesmos parâmetros de toda a Ilha do Maranhão, ou seja, com e sem a presença de todos os ecossistemas costeiros, em especial, o manguezal com maior abundância na área. Com os resultados do recorte feito na área, é possível identificar que mesmo com a presença de todos os ecossistemas costeiros em suas condições atuais, com o cenário de elevação SSP5-8.5 o risco costeiro teve uma significativa mudança quanto ao seu grau de baixo para intermediário, com a aparição de alguns pontos de risco alto.

Em condições sem os ecossistemas naturais foi possível observar desde o cenário SSP1-1.9 a elevada presença de pontos referentes a risco intermediário é preocupante e poucos de risco baixo, diferente do resultado anterior em condições atuais. Enquanto que sem a presença dos ecossistemas a aparição de pontos de risco alto se apresenta em todos os 3 cenários de elevação, e significativamente maior no cenário SSP5-8.5.

Vale destacar que um cenário sem a presença de todos os ecossistemas costeiros naturais é considerado fictício, mas vale ressaltar a importância dos serviços ecossistêmicos oferecidos pelo meio, apenas por protegê-los e garantir que eles consigam exercer o seu papel. A Ilha de São Luís perdeu cerca de 50% de manguezais em menos de 30 anos devido a impactos ambientais antropogênicos e naturais (Mochel et. al. 2002; Mochel et al. 2019) Outro ponto importante de ser

destacado, é que a manutenção ou preservação desses ecossistemas é mais barato para a empresa do que o serviço de drenagem do canal de acesso, ou qualquer outra obra feita dentro ou próximo a borda de operação.

Na tabela 1, citada no item anterior, pode-se observar que, mesmo com a baixa diferença de células de área antrópica e área antrópica inundada nas duas etapas, o Porto do Itaqui está dentro das áreas de manguezais inundados, categorizados pela cor vermelha, que conseqüentemente sofreria diretamente com essa perda de manguezal próximo às suas áreas de atuação, tendo assim que investir em engenharia mais cara para poder se adaptar a essas mudanças.

Considerações Finais

A busca de estratégias para promover a adaptação às mudanças climáticas é fundamental para garantir o bem-estar humano nas regiões costeiras. Alertas para as graves conseqüências decorrentes da perda contínua de ecossistemas naturais costeiros devem virar informação fundamental aos tomadores de decisão do Estado, fazendo assim com que diminua substancialmente a quantidade de áreas costeiras e população exposta a riscos induzidos pelo clima.

Nossos resultados destacam a importância de todos os ecossistemas naturais costeiros, em especial o mangue, e os danos decorrentes de suas perdas. Assim, as ações voltadas para a proteção e uso sustentável desses habitats devem ser mantidas e necessariamente aumentadas.

Os resultados da simulação para a área de estudo indicam que sem a presença de manguezais, a maior parte da zona costeira da área de estudo teria um valor de risco intermediário (para o cenário mais alarmante do IPCC). Isto indica que os manguezais oferecem um serviço ambiental crítico de proteção da costa contra potenciais eventos de subida do nível do mar, principalmente porque as simulações realizadas sem outros ambientes costeiros não resultaram em nenhuma evidência de aumento da vulnerabilidade da área de estudo à subida do mar.

As regiões que se encontram com maior risco ao longo da costa, como por exemplo a área do Porto do Itaqui e seu entorno, são consideradas urbanizadas e povoadas, ela tem maior exposição às mudanças climáticas e, portanto, a contabilização de pessoas e infraestrutura é fundamental para o planejamento da adaptação. Embora não tenhamos incluído explicitamente fatores socioeconômicos na análise, mostramos que a perda de ecossistemas naturais colocaria em grave

perigo as regiões mais populosas do estado do Maranhão, e em específico a Ilha do Maranhão.

Assim, ações para a proteção desses ecossistemas considerando a relação entre as pessoas e a natureza são necessárias para garantir a adaptação climática contra os perigos costeiros e salvaguardar as populações humanas costeiras.

Agradecimentos

Esta pesquisa foi financiada pela Fundação de Apoio à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão - FAPEMA em parceria com a Empresa de Administração Portuária do Maranhão, por meio do Edital BOLSA DE MESTRADO - RESOLUÇÃO FAPEMA Nº 10, DE 13/06/2022 - PROGRAMA PORTO DO FUTURO - EMAP. CHLS-J. contou com apoio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (bolsa 401741/2023-0).

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -Brasil (CAPES).

Referências

Berger, U. et al. (2008). Advances and limitations of individual-based models to analyze and predict dynamics of mangrove forests: A review. *Aquatic Botany*, 89(2), 260-274.

Bernardino, A. F., Nóbrega, G. N., & Ferreira, T. O. (2021). Consequences of terminating mangrove's protection in Brazil. *Marine Policy*, 125, 104389.

Bezerra, Denilson & Santos, Adriano & Bezerra, Janaina & Amaral, Silvana & Kampel, M. & Anderson, Liana & Mochel, Flavia & Nunes, Jorge & Araujo, Naíla & Barreto, Larissa & Celeri, Marcio Jose & Silva, Fabrício & Viegas, Aleksandro & Manes, Stella & Rodrigues, Taíssa & Josue, Viegas & Souza, Ulisses & Santos, André & Silva-Junior, Celso. (2022). Brazil's mangroves: Natural carbon storage. *Science*. 375. 1239. 10.1126/science.abo4578.

Bezerra, D. D. S., Amaral, S., Kampel, M., & Andrade, P. D. (2014). Simulating sea-level rise impacts on mangrove ecosystem adjacent to anthropic areas: the case of Maranhão Island, Brazilian northeast. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*. v. 9, n. 3, p. 188-198.

Borsje, B. W., van Wesenbeeck, B. K., Dekker, F., Paalvast, P., Bouma, T. J., van Katwijk, M. M., et al. (2011). How ecological engineering can serve in coastal protection. *Ecol. Eng.* 37, 113–122.

Cohen-Shacham, E., Walters, G., Janzen, C., & Maginnis, S. (2016). Nature-based solutions to address global societal challenges. *IUCN: Gland, Switzerland*, 97, 2016-2036.

Davtalab, R., Mirchi, A., Harris, R. J., Troilo, M. X., & Madani, K. (2020). Sea level rise effect on groundwater rise and stormwater retention pond reliability. *Water*, 12(4), 1129.

Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature geoscience*, 4(5), 293-297.

Ewel, K., Twilley, R., & Ong, J. I. N. (1998). Different kinds of mangrove forests provide different goods and services. *Global Ecology & Biogeography Letters*, 7(1), 83-94.

Ferrario, F., Beck, M. W., Storlazzi, C. D., Micheli, F., Shepard, C. C., & Airoidi, L. (2014). The effectiveness of coral reefs for coastal hazard risk reduction and adaptation. *Nature communications*, 5(1), 1-9.

Ferreira, A. C., & Lacerda, L. D. (2016). Degradation and conservation of Brazilian mangroves, status and perspectives. *Ocean & Coastal Management*, 125, 38-46.

França, M. C., Francisquini, M. I., Cohen, M. C., Pessenda, L. C., Rossetti, D. F., Guimarães, J. T., & Smith, C. B. (2012). The last mangroves of Marajó Island—Eastern Amazon: impact of climate and/or relative sea-level changes. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 187, 50-65.

Gijsman, R., Horstman, E. M., van der Wal, D., Friess, D. A., Swales, A., & Wijnberg, K. M. (2021). Nature-based engineering: a review on reducing coastal flood risk with mangroves. *Frontiers in Marine Science*, 8, 702412.

GUTERRES, C. E. (2022). Espacialização e análise dos registros de fauna do golfo maranhense nos últimos 300 anos e sua correlação com uso e ocupação do solo.

van den Hurk, B., Bisaro, A., Haasnoot, M., Nicholls, R. J., Rehdanz, K., & Stuparu, D. (2022). Living with sea-level rise in North-West Europe: Science-policy challenges across scales. *Climate Risk Management*, 35, 100403.

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844

IPCC. 2018. Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.

Jones, C. G., Lawton, J. H., & Shachak, M. (1997). Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. *Ecology*, 78(7), 1946-1957.

Jones Clive, G., Lawton, J. H., & Shachak, M. (1994a). Organisms as Ecosystem Engineers. *Ecosystem Management*, 1-14.

Krauss, K. W., & Osland, M. J. (2020). Tropical cyclones and the organization of mangrove forests: a review. *Annals of Botany*, 125(2), 213-234.

Krauss, K. W., McKee, K. L., Lovelock, C. E., Cahoon, D. R., Saintilan, N., Reef, R., & Chen, L. (2014a). How mangrove forests adjust to rising sea level. *New phytologist*, 202(1), 19-34.

Lacerda, L. D. D., Menezes, M. O. T. D., & Molisani, M. M. (2007). Changes in mangrove extension at the Pacoti River estuary, CE, NE Brazil due to regional environmental changes between 1958 and 2004. *Biota Neotropica*, 7, 67-72.

Lee, S. Y. (2008). Mangrove macrobenthos: assemblages, services, and linkages. *Journal of Sea Research*, 59(1-2), 16-29.

Lee, S. Y. et al. (2014a). Ecological role and services of tropical mangrove ecosystems: a reassessment. *Global ecology and biogeography*, 23(7), 726-743.

Manes, S. et al., (2023). Nature as a solution for shoreline protection against coastal risks associated with ongoing sea-level rise. *Ocean & Coastal Management*, 235, 106487.

Manes, Stella. (2022a). Nature-based solutions for climate change adaptation: from global to local scale analysis. 133f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022.

Mapbiomas, (2022). Coleção 6 de mapas anuais de uso e cobertura da terra no Brasil. Disponível em: <https://mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas-1?cama_set_language=p t-BR>. Acessado em: 17 de jun. de 2023.

Martyr-Koller, R., Thomas, A., Schleussner, C. F., Nauels, A., & Lissner, T. (2021). Loss and damage implications of sea-level rise on Small Island Developing States. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 50, 245-259.

Masson-Delmotte, V. et al., (2021). Climate change 2021: the physical science basis. *Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, 2(1), 2391.

Moftakhari, H. R., Salvadori, G., AghaKouchak, A., Sanders, B. F., & Matthew, R. A. (2017). Compounding effects of sea level rise and fluvial flooding. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(37), 9785-9790.

Morris, R. L., Konlechner, T. M., Ghisalberti, M., & Swearer, S. E. (2018). From grey to green: Efficacy of eco-engineering solutions for nature-based coastal defence. *Global change biology*, 24(5), 1827-1842.

Narayan, S. et al., (2016). The effectiveness, costs and coastal protection benefits of natural and nature-based defences. *PloS one*, 11(5), e0154735.

Nevermann, H., Gomez, J. N. B., Fröhle, P., & Shokri, N. (2023). Land loss implications of sea level rise along the coastline of Colombia under different climate change scenarios. *Climate Risk Management*, 39, 100470.

Neves, M. F. B. (2015). Agenda ambiental do porto de Santos: desafios e oportunidades na governança internacional das mudanças climáticas.

Nicholls, R. J., & Cazenave, A. (2010). Sea-level rise and its impact on coastal zones. *science*, 328(5985), 1517-1520.

Nóbrega, M. R. R., Silva, M. V. M. D., Lima, C. E. S., Silva, G. K. D., Gonçalves, S. T. N., & Silveira, C. D. S. (2022). Impacto das Mudanças Climáticas na Aridez da Bacia Estendida do rio São Francisco, Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 37, 185-197.

Nunez, S., Arets, E., Alkemade, R., Verwer, C., & Leemans, R. (2019). Assessing the impacts of climate change on biodiversity: is below 2° C enough?. *Climatic Change*, 154, 351-365.

Oliveira, R. A. D. (2020). *Contribuições para elaboração de um plano municipal de adaptação dos efeitos das mudanças climáticas* (Doctoral dissertation).

Otoni, F. P. et al.,(2021). Brazilian mangroves at risk. *Biota Neotropica*, 21, e20201172.

Pires, A. P., Soto, C. R., & Scarano, F. R. (2021). Strategies to reach global sustainability should take better account of ecosystem services. *Ecosystem Services*, 49, 101292.

Pörtner, H. O. et al., (2021). IPBES-IPCC co-sponsored workshop report on biodiversity and climate change.

Pörtner, H. O. et al., (2022a). *Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*. IPCC.

Prates, A. P. L., Gonçalves, M. A., & Rosa, M. R. (2012). Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos no Brasil.

Mochel, F. R., Kjerfve, B., Lacerda, L. D., & Diop, E. H. S. (1997). Mangroves on São Luís Island, Maranhão, Brazil. *Mangrove ecosystem studies in Latin America and Africa*, 1, 145-154.

Rosa, M. R., & Azevedo, T. R. (2020). Nota Técnica sobre o impacto do Despacho nº 4.410/2020 do Ministério do Meio Ambiente (MMA). MapBiomias. Disponível em: <https://mapbiomas1.org/nota-t>. Acessado em: 20 jun. 2023.

Saintilan, N., Khan, N. S., Ashe, E., Kelleway, J. J., Rogers, K., Woodroffe, C. D., & Horton, B. P. (2020). Thresholds of mangrove survival under rapid sea level rise. *Science*, 368(6495), 1118-1121.

SCARANO, F.R.; ARROYO, M. T. K. ; CORTÉS, J. ; PIRES, ALINY P.F. (2020) Biodiversidad. In: Moreno JM, Laguna-Defior C, Barros V, Calvo Buendia E, Marengo JA, Oswald Spring U. (Org.). Adaptación frente a los riesgos del cambio climático en los países iberoamericanos - Informe RIOCCADAPT. 1ed.Madrid: McGraw Hill, 2020, v. , p. 161-198.

Scarano, F. R. (2017a). Ecosystem-based adaptation to climate change: concept, scalability and a role for conservation science. *Perspectives in Ecology and Conservation*, 15(2), 65-73.

Schuerch, M., Spencer, T. et al. (2018). Future response of global coastal wetlands to sea-level rise. *Nature*, 561(7722), 231-234.

Sharp, R. et al. (2016). The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund.

Sharp R. et al (2020a) InVEST 3.10 User's Guide. The Natural Capital Project, Stanford University, University of Minnesota, *The Nature Conservancy, and World Wildlife Fund*.

Silva, Itallo Dirceu Costa et al. AVALIAÇÃO DO GRAU DE VULNERABILIDADE DA ZONA COSTEIRA DA ILHA DO MARANHÃO FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS. 2023.

Silva, I. D. C. et al. (2023). AVALIAÇÃO DO GRAU DE VULNERABILIDADE DA ZONA COSTEIRA DA ILHA DO MARANHÃO FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS.

Tolman, H. L. (2009). User manual and system documentation of WAVEWATCH III TM version 3.14. *Technical note, MMAB contribution*, 276(220).

Vale, M. M., Berenguer, E., de Menezes, M. A., de Castro, E. B. V., de Siqueira, L. P., & Rita de Cássia, Q. P. (2021). The COVID-19 pandemic as an opportunity to weaken environmental protection in Brazil. *Biological conservation*, 255, 108994.

Wolfram, S. (1983). Statistical mechanics of cellular automata. *Reviews of modern physics*, 55(3), 601.

Woodroffe, C. D., Rogers, K., McKee, K. L., Lovelock, C. E., Mendelssohn, I. A., & Saintilan, N. (2016). Mangrove sedimentation and response to relative sea-level rise. *Annual review of marine science*, 8, 243-266.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A busca de estratégias para promover a adaptação às mudanças climáticas é fundamental para garantir o bem-estar humano nas regiões costeiras. Alertas para as graves consequências decorrentes da perda contínua de ecossistemas naturais costeiros devem virar informação fundamental aos tomadores de decisão do Estado, fazendo assim com que diminua substancialmente a quantidade de áreas costeiras e população exposta a riscos induzidos pelo clima.

. Nossos resultados destacam a importância de todos os ecossistemas naturais costeiros, em especial o manguezal, e os danos decorrentes de suas perdas. Os resultados também indicam que a proteção proporcionada pelos ecossistemas costeiros é altamente relevante para propor soluções baseadas na natureza para combater os impactos das mudanças climáticas na zona costeira amazônica.

As regiões que se encontram com maior risco ao longo da costa, incluindo áreas altamente urbanizadas e povoadas, têm maior exposição às mudanças climáticas e, portanto, a contabilização de pessoas e infraestrutura é fundamental para o planejamento da adaptação. Os resultados podem ser utilizados para delimitar Zonas de Vulnerabilidade bem definidas ao longo da costa maranhense, afim de oferecer suporte para ações de prevenção contra eventos climáticos extremos, e aumentar o nível de preservação e conservação dos ecossistemas costeiros. Embora não tenhamos incluído explicitamente fatores socioeconômicos na análise, mostramos que a perda de ecossistemas naturais colocaria em grave perigo as regiões mais populosas do país.

Com os resultados alcançados, reforçamos e cobramos entidades públicas e privadas, a desenvolverem ações voltadas para a proteção e uso sustentável desses ecossistemas que devem ser mantidas e necessariamente aumentadas. Assim, ações para a proteção desses ecossistemas considerando a relação entre as pessoas e a natureza são necessárias para garantir a adaptação climática contra os perigos costeiros e salvaguardar as populações humanas costeiras.

VI. REFERÊNCIAS

- Albert et al.(2016) Simon Albert, Javier X Leon, Alistair R Grinham, John A Church, Badin R Gibbes e Colin D Woodroffe. Interactions between sea-level rise and wave exposure on reef island dynamics in the solomon islands. *Environmental Research Letters*, 11(5): 054011. doi: 10.1088/1748-9326/11/5/054011. Citado na pág. 3
- Aquino, AFONSO R. de et al. Vulnerabilidade ambiental. 2017
- BALICA, Stefania F.; WRIGHT, Nigel George; VAN DER MEULEN, Frank. A flood vulnerability index for coastal cities and its use in assessing climate change impacts. **Natural hazards**, v. 64, p. 73-105, 2012.
- BECKER, Austin et al. Climate change impacts on international seaports: knowledge, perceptions, and planning efforts among port administrators. **Climatic change**, v. 110, n. 1-2, p. 5-29, 2012.
- BECKER, Austin; INOUE, Satoshi; FISCHER, Martin; SCHWEGLER, Ben. Climate change impacts on international seaports: knowledge, perceptions, and planning efforts among port administrators. **Climatic Change**, [S.L.], v. 110, n. 1-2, p. 5-29, 5 mar. 2011. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-011-0043-7>
- BRASIL. Lei n. 12.651, de 2012. Novo Código Florestal. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.
- BROOKS, Mary R.; FAUST, Peter. **50 years of review of maritime transport, 1968-2018: Reflecting on the past, exploring the future**. 2018.
- BROOKS, Mary R.; FAUST, Peter. **50 years of review of maritime transport, 1968-2018: Reflecting on the past, exploring the future**. 2018.
- Camargo, Suzana J. *et al.* Global and Regional Aspects of Tropical Cyclone Activity in the CMIP5 Models. **Journal Of Climate**, [S.L.], v. 26, n. 24, p. 9880-9902, 2 dez. 2013. American Meteorological Society. <http://dx.doi.org/10.1175/jcli-d-12-00549.1>.
- Chausson, A., et al., 2020: Mapping the effectiveness of nature-based solutions for climate change adaptation. *Glob. Change Biol.*, **26**(11), 6134–6155, doi:10.1111/gcb.15310.
- CHAUSSON, Alexandre et al. Mapping the effectiveness of nature-based solutions for climate change adaptation. **Global Change Biology**, v. 26, n. 11, p. 6134-6155, 2020.
- Ciclones extratropicais sobre o sudoeste do oceano atlântico sul: projeções HadGEM2-ES e RegCM4 *Int. J. Climatol.*, **38** (6) (2018) , pp . 2866-2879 ,10.1002/joc.5468
- Davtalab, Rahman *et al.* Sea Level Rise Effect on Groundwater Rise and Stormwater Retention Pond Reliability. **Water**, [S.L.], v. 12, n. 4, p. 1129, 15 abr. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w12041129>.
- Donato, D., Kauffman, J.B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., Kanninen, M., 2011. Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nat. Geosci.* <https://doi.org/10.1038/ngeo1123>

E.B. Barbier **Climate change impacts on rural poverty in low-elevation coastal zones**. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 165 (2015), pp. A1-A13

EISENACK, Klaus et al. Adaptation to climate change in the transport sector: a review of actions and actors. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 17, p. 451-469, 2012.

Ewel, K.C., Twilley, R.R., Ong, J.E., Ecology, G., Letters, B., Mangrove, F., 1998. Different Kinds of Mangrove Forests Provide Different Goods and Services. *Glob. Ecol. Biogeogr. Lett.* 7, 83–94.

HANSON, Susan E.; NICHOLLS, Robert J. Demand for ports to 2050: Climate policy, growing trade and the impacts of sea-level rise. **Earth's Future**, v. 8, n. 8, p. e2020EF001543, 2020.

Hauer, Mathew E. et al. Sea-level rise and human migration. **Nature Reviews Earth & Environment**, [S.L.], v. 1, n. 1, p. 28-39, jan. 2020. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1038/s43017-019-0002-9>.

Hossain, Babul *et al.* Climate change induced extreme flood disaster in Bangladesh: implications on people's livelihoods in the char village and their coping mechanisms. **Progress In Disaster Science**, [S.L.], v. 6, p. 100079, abr. 2020. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.pdisas.2020.100079.htm>. Acesso em fevereiro/2023.

Hurk, Bart van Den *et al.* Living with sea-level rise in North-West Europe: science-policy challenges across scales. **Climate Risk Management**, [S.L.], v. 35, p. 100403, 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crm.2022.100403>.

IPCC (2018) Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, et al. (eds.)]. World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 32 pp., doi:10.1017/9781009157940.001.

IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

IZAGUIRRE, C. et al. Climate change risk to global port operations. **Nature Climate Change**, v. 11, n. 1, p. 14-20, 2021.

KABISCH, Nadja et al. Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action. **Ecology and society**, v. 21, n. 2, 2016.

Kreienkamp, Frank et al. **Rapid attribution of heavy rainfall events leading to the severe flooding in Western Europe during July 2021**. 2021.

Lee, S.Y., 2008. Mangrove macrobenthos: Assemblages, services, and linkages. *J. Sea Res.* 59, 16–29. <https://doi.org/10.1016/j.seares.2007.05.002>

Lee, S.Y., Primavera, J.H., Dahdouh-Guebas, F., Mckee, K., Bosire, J.O., Cannicci, S., Diele, K., Fromard, F., Koedam, N., Marchand, C., Mendelssohn, I., Mukherjee, N., Record, S., 2014. Ecological role and services of tropical mangrove ecosystems: Areassessment. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 23, 726–743. <https://doi.org/10.1111/geb.12155>

LIMA, Francisco Arenhart da Veiga; SOUZA, Danilo Couto de. Climate change, seaports, and coastal management in Brazil: an overview of the policy framework. **Regional Studies In Marine Science**, [S.L.], v. 52, p. 102365, maio 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsma.2022.102365>.

Ling, S.D. and A.J. Hobday, 2019: National research planning accelerates relevance and immediacy of climate-adaptation science. *Mar. Freshw. Res.*, **70**(1), 62–70, doi:10.1071/MF17330.

M. Montgomery **United Nations Population Fund: State of World Population 2007: Unleashing the Potential of Urban Growth** *Popul. Dev. Rev.*, 33 (3) (2007), pp. 639-641

MANES, Stella *et al.* Nature as a solution for shoreline protection against coastal risks associated with ongoing sea-level rise. **Ocean & Coastal Management**, [S.L.], v. 235, p. 106487, mar. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2023.106487>

Martyr-Koller, Rosanne *et al.* Loss and damage implications of sea-level rise on Small Island Developing States. **Current Opinion In Environmental Sustainability**, [S.L.], v. 50, p. 245-259, jun. 2021. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cosust.2021.05.001>.

Masson-Delmotte, Valérie *et al.* Climate change 2021: the physical science basis. **Contribution of working group I to the sixth assessment report of the intergovernmental panel on climate change**, v. 2, 2021.

Mcgranahan, Gordon *et al.* The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. **Environment And Urbanization**, [S.L.], v. 19, n. 1, p. 17-37, abr. 2007. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0956247807076960>.

Medeiros, M. D.; PEREIRA, V. H. C.; ALMEIDA, L. Q. Áreas de Vulnerabilidade Ambiental na Zona Oeste de Natal/ RN/ Brasil. *Revista GEONORTE, Edição Especial*, v. 1, n. 4, p. 474-486. 2012.

MOCHEL, F. R. Manguezais amazônicos: status para a conservação e a sustentabilidade na zona costeira maranhense. In: Marlúcia Bonifácio Martins; Tadeu Gomes de Oliveira. (Org.). *Amazônia Maranhense. Diversidade e Conservação*. Belém: Editora do Museu Paraense Emílio Goeldi, v. 1, p. 93-118, 2011.

MOCHEL, F. R., CORREIA, M. M. F., CUTRIM, M. V. J., IBANEZ, M. S. R. Degradação dos manguezais da Ilha de São Luís (MA): processos naturais e antrópicos. In: *Ecosistemas costeiros: impactos e gestão ambiental*. 1 ed. Belém : Editora do Museu Paraense Emílio Goeldi, v.1, p. 113-131, 2002.

MOCHEL, F.R. Manguezais da Amazônia Maranhense: conservação e recuperação ecológica. In: Tierra, paisages, suelos y biodiversidad Garcia, M. & Seabra G. (orgs.) , p. 602-618, Ed. Universidad Central de Chile, Santiago de Chile, 2016.

Mochel, F.R.; Fonseca, I.L.A. 2019. Abordagem integrada para a recuperação de manguezais degradados em áreas portuárias com estudo de caso em São Luís, Maranhão. In: Mochel, F.R. (Org). Gerenciamento Costeiro e Gerenciamento Portuário 2, Atena Editora, Ponta Grossa, p.59-71

Moftakhari, Hamed R. *et al.* Compounding effects of sea level rise and fluvial flooding. **Proceedings Of The National Academy Of Sciences**, [S.L.], v. 114, n. 37, p. 9785-9790, 28 ago. 2017. Proceedings of the National Academy of Sciences. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1620325114>.

Mohammed, R., Scholz, M., 2018. Critical review of salinity intrusion in rivers and estuaries. *J. Water Clim. Chang.* 9, 1–16. <https://doi.org/10.2166/wcc.2017.334>.

Muehe, D. (2001). Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 2(1):35-44. <http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v2i1.6>

MUEHE, Dieter et al. Avaliação da vulnerabilidade física da orla costeira em nível local, tomando como exemplo o arco praiial entre Rio das Ostras e o Cabo Búzios/RJ. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 12, n. 2, 2011.

Nascimento, Dária Maria Cardoso; Dominguez, José Maria Landim. Avaliação da vulnerabilidade ambiental como instrumento de gestão costeira nos municípios de Belmonte e Canavieiras, Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 39, n. 3, p. 395-408. 2009.

Nevermann, Hannes *et al.* Land loss implications of sea level rise along the coastline of Colombia under different climate change scenarios. **Climate Risk Management**, [S.L.], v. 39, p. 100470, 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.crm.2022.100470>.

Nicholls, R.; Cazenave, A. (2010). Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones. *Science*, 328(5985): 1517–1520. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1185782>

Nicholls, Robert J. *et al.* Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones. **Science**, [S.L.], v. 328, n. 5985, p. 1517-1520, 18 jun. 2010. American Association for the Advancement of Science (AAAS). <http://dx.doi.org/10.1126/science.1185782>.

Nóbrega, Mauro Ricardo Roxo et al. Impacto das Mudanças Climáticas na Aridez da Bacia Estendida do rio São Francisco, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 2022. <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786371003>.

OSWALD, Michelle. Literature Review: Transportation Adaptation in Response to Climate Change. **University of Delaware, University Transportation Center: Washington, DC, USA**, 2009.

Perez, Erin Coughlan de et al. Adapting to climate change through anticipatory action: the potential use of weather-based early warnings. **Weather And Climate Extremes**, [S.L.], v. 38, p. 100508, dez. 2022. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wace.2022.100508>.

Philip, Sjoukje Y. *et al.* Rapid attribution analysis of the extraordinary heat wave on the Pacific coast of the US and Canada in June 2021. **Earth System Dynamics**, [S.L.], v. 13, n. 4, p. 1689-1713, 8 dez. 2022. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/esd-13-1689-2022>.

Prandle, D., Lane, A., 2015. Sensitivity of estuaries to sea level rise: Vulnerability indices. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 160, 60–68. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.04.001>

Relatório Ambiental – eco portos na mira 2019. Disponível em: <https://www.espo.be/media/EnvironmentalReport-2019FINAL.pdf>

Relatório de sustentabilidade dos portos mundiais 2020. Disponível em: <https://sustainableworldports.org/wp-content/uploads/WORLD-PORTS-SUSTAINABILITY-REPORT-2020-FIN.pdf>

Robins, P.E., Skov, M.W., Lewis, M.J., Giménez, L., Davies, A.G., Malham, S.K., Neill, S.P., McDonald, J.E., Whitton, T.A., Jackson, S.E., Jago, C.F., 2016. Impact of climate change on UK estuaries: A review of past trends and potential projections. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 169, 119–135. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2015.12.016>

Roy, Paramita *et al.* Effects of climate change and sea-level rise on coastal habitat: vulnerability assessment, adaptation strategies and policy recommendations. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 330, p. 117187, mar. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117187>.

Roy, Paramita *et al.* Effects of climate change and sea-level rise on coastal habitat: vulnerability assessment, adaptation strategies and policy recommendations. **Journal Of Environmental Management**, [S.L.], v. 330, p. 117187, mar. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.117187>.

S. Fagherazzi, G. Mariotti, N. Leonardi, A. Canestrelli, W. Nardin, W.S. Kearney **Salt Marsh Dynamics in a Period of Accelerated Sea Level Rise** *J. Geophys. Res. - Erath Surf.*, 125 (8) (2020), 10.1029/2019JF005200

Seddon, N., *et al.*, 2020: Understanding the value and limits of nature-based solutions to climate change and other global challenges. *Philos. Trans. Royal Soc. B Biol. Sci.*, **375**(1794), 20190120, doi:10.1098/rstb.2019.0120.

Van Oldenborgh, Geert Jan *et al.* Attribution of extreme rainfall from Hurricane Harvey, August 2017. **Environmental Research Letters**, [S.L.], v. 12, n. 12, p. 124009, 1 dez. 2017. IOP Publishing. <http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/aa9ef2>.

Van Oldenborgh, Geert Jan *et al.* Attribution of the Australian bushfire risk to anthropogenic climate change. **Natural Hazards And Earth System Sciences**, [S.L.], v. 21, n. 3, p. 941-960, 11 mar. 2021. Copernicus GmbH. <http://dx.doi.org/10.5194/nhess-21-941-2021>.

Vousdoukas *et al.* (2020) Michalis I. Vousdoukas, Roshanka Ranasinghe, Lorenzo Men-taschi, Theocharis A. Plomaritis, Panagiotis Athanasiou, Arjen Luijendijk e Luc Feyen. Sandy coastlines under threat of erosion. *Nature Climate Change*, 10(3):260–263. doi: 10.1038/s41558-020-0697-0. URL <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0697-0>. Citado na pág. 3

WALTON, M.E.M.; SAMONTE-TAN, G.P.B.; PRIMAVERA, J. H.; EDWARDS-JONES, G.; LE VAY, L. Are mangroves worth replanting? The direct economic benefits of a community-based reforestation. *Environmental Conservation* 33 (4): 335–343, 2006.

Wilson, R.S., A. Herziger, M. Hamilton and J.S. Brooks, 2020b: From incremental to transformative adaptation in individual responses to climate-exacerbated hazards. *Nat. Clim. Change*, **10**(3), 200–208, doi:10.1038/s41558-020-0691-6.

WORTLEY, L.; HERO, J.M.; HOWES, M. Evaluating ecological restoration success: a review of the literature. *Restoration Ecology*, vol. 21, n. 5, 537- 543, 2014.

VII. ANEXOS

1. CERTIFICADOS DE PARTICIPAÇÕES EM EVENTOS



CARTA DE ACEITE



Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto

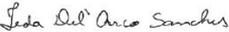
Prezado(a) **Luan Victor Pereira de Sousa**

Informamos que o trabalho intitulado: **AVALIAÇÃO DO GRAU DE VULNERABILIDADE DA ZONA COSTEIRA DA ILHA DO MARANHÃO FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS**

Dos autores: **Luan Victor Pereira de Sousa, Roseane Costa Diniz, Pamela Beatriz Cantanhede Aguiar, Fabio Augusto Siqueira Dos Santos, André Luis Silva dos Santos, Celso H. L. Silva-Junior, Denilson da Silva Bezerra**

Foi aprovado para ser apresentado no evento **XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**.


Douglas F. M. Gherardi


Ieda Del'Arco Sanches


Luiz Eduardo O.C. Aragão

Coordenadores do XX SBSR

Certification by Galoá



CERTIFICADO



Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto

Certificamos que o trabalho intitulado

"AVALIAÇÃO DO GRAU DE VULNERABILIDADE DA ZONA COSTEIRA DA ILHA DO MARANHÃO FRENTE ÀS MUDANÇAS CLIMÁTICAS"

Itallo Dirceu Costa Silva, Luan Victor Pereira de Sousa, Pamela Beatriz Cantanhede Aguiar, Fabio Augusto Siqueira Dos Santos, Roseane Costa Diniz, André Luis Silva dos Santos, Celso H. L. Silva-Junior, Denilson da Silva Bezerra

Apresentador(a): Itallo Dirceu Costa Silva

foi apresentado no XX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, realizado no período de 02 a 05 de abril de 2023, em Florianópolis, SC.

Florianópolis, 05 de abril de 2023.


Douglas F. M. Gherardi


Ieda Del'Arco Sanches


Luiz Eduardo O.C. Aragão

Coordenadores do XX SBSR

Certification by Galoá





CERTIFICATE OF ATTENDANCE

It is hereby certified that:

Luan Victor Pereira de Sousa

participated in the **Amazon 2030 - Sustainability Issues in the World's Largest Rainforest Region**, held at the Federal University of Western Pará, Santarém/Pará/Brazil, from 04th to 05th September 2023.

Santarém, September 05th, 2023.

Professor Walter Leal
Chairman of the Organising Committee



CERTIFICATE OF PRESENTATION

It is hereby certified that the paper

Estimate of the vulnerability of the coastal zone of the Amazon to rise in sea level due to climate change

was presented at the **Amazon 2030 - Sustainability Issues in the World's Largest Rainforest Region**, held at the Federal University of Western Pará, Santarém/Pará/Brazil, from 04th to 05th September 2023.

Authors: Luan Victor Pereira de Sousa, Fabio Augusto Siqueira dos Santos, Pâmela Beatriz Cantanhede Aguiar, Roseane Costa Diniz, Thomas Vinicius Barros Pacheco, Felipe Martins Sousa, Flavia Rebelo Mochel, Celso Henrique Leite Silva Júnior, Stella Manes da Silva Moreira, and Denilson da Silva Bezerra.

Santarém, September 05th, 2023.

Professor Walter Leal
Chairman of the Organising Committee

2. CARTA DE ACEITE PARA PUBLICAÇÃO DO PRIMEIRO CAPITULO



LUAN VICTOR PEREIRA DE SOUSA <luan.vps@discente.ufma.br>

Your paper submitted to the book "Amazon 2030 – Sustainability Issues in the World's Largest Rainforest Region"

3 mensagens

gabriel costa <gabrielbritocosta@gmail.com> 3 de dezembro de 2023 às 20:25
Para: luan.vps@discente.ufma.br
Cc: "Leal, Walter" <walter.leal2@haw-hamburg.de>, "Viera Trevisan, Lais" <Lais.VieraTrevisan@haw-hamburg.de>, Ismar Lima <ismarborgeslima@gmail.com>, Ismar Lim <ismarlima@yahoo.com.br>

Title of your paper: Estimation of the Vulnerability of the Coastal Zone of the Amazon to Sea-Level Rise Due to Climate Change

Luan Victor Pereira de Sousa, Fabio Augusto Siqueira dos Santos, Pâmela Beatriz Cantanhede Aguiar, Roseane Costa Diniz, Thomas Vinicius Barros Pacheco, Felipe Marins Sousa, Flavia Rebelo Mochel, Celso Henrique Leite Silva Júnior, Stella Manes da Silva Moreira e Denilson da Silva Bezerra

Dear Authors,

Many thanks for your paper submitted to the book "Amazon 2030 – Sustainability Issues in the World's Largest Rainforest Region"

The paper is well written, and has been "accepted subject to major changes". The comments from the reviews are as follows:

- Please avoid using words from the title in keywords.
- Please add the study area in the methodology section.
- Please improve the introduction, avoiding paragraphs with only 4 lines and including more articles that justify the execution of this research.
- Please discuss the results found in the chapter with others in literature.

Please address the above review comments. When you do, please send me an updated version accompanied by a rebuttal letter where you outline the changes made. Also, I attach herewith a copyright form: [please fill it in, then print it, sign it, scan it](#) and send it to us as a PDF file. Thanks.

Furthermore, please bear in mind we need to take matters related to plagiarism very seriously. In the event the text may contain works produced by others, please clearly refer/quote to them, so that there are no misunderstandings.

It will be the authors, and not the publishers, who will make liable in case it comes out that part of their chapters is a result of plagiarism. Please ignore this if you have ensured the work is yours, and if you have clearly quoted any text or remarks by other authors.

You would thus greatly help us, if you could send us the final version of the paper as soon as possible, but no later than the **20th December 2023. If possible, earlier please.**

When the book goes to production, you will be sent a galley copy for a final check, after which it will be deemed as approved. This will takesometime since there are many papers being reviewed right now.
Springer no longer sends print copies, but once the book is ready, you will get a PDF file -including your chapter-

1 of 3 22/02/2024, 13:24
E-mail de UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO - Your pape... <https://mail.google.com/mail/u/3/?ik=13f4001ded&view=pt&search=a...>

for your personal use.

If you have any questions or if anything is unclear, please do not hesitate to contact me.
We look forward to your revised paper.

Rgds,
The Editors



Prof. Dr. Gabriel Brito Costa
Adjunct Professor C - IV
Biodiversity and Forests Institute
Advisor - National and International Relations Advisory (ARNI) (Portaria nº 162 -
Reitoria, de 23/05/2022)
Federal University of Western Pará (UFOPA)
Rua Vera Paz S / N, CEP: 68040-260 - Salé- Santarém, PA - Brazil
[ORCID](#) | [Lattes](#) | [Web of Science](#) | [Google Scholar](#) | [ResearchGate](#) | [Scopus](#)

2023-CIP-Amazon 2030 – Sustainability Issues in the World's Largest Rainforest Region.doc
109K

LUAN VICTOR PEREIRA DE SOUSA <luan.vps@discente.ufma.br> 20 de dezembro de 2023 às 18:35
Para: gabriel costa <gabrielbritocosta@gmail.com>

LUAN VICTOR PEREIRA DE SOUSA <luan.vps@discente.ufma.br> 20 de dezembro de 2023 às 18:35
Para: gabriel costa <gabrielbritocosta@gmail.com>

Good night Sir, Gabriel.

Attached is my article presented at the Symposium "Amazon 2030: sustainability issues in the world's largest rainforests regions" with the necessary corrections highlighted by the Reviewers.

Also attached is the Rebuttal Letter where I describe the changes made and the duly signed Copyright Form.

Thank you for your attention and I look forward to your feedback!

Yours sincerely,
Luan Victor P. de Sousa
Environmental engineer
Student of the Postgraduate Program in Development and Environment - PRODEMA
Federal University of Maranhão - UFMA
[Texto das mensagens anteriores oculto]

3 anexos

Response_to_Reviews.pdf
204K

Cap_Livro_Amazônia_Traduzido_27_09.pdf
678K

2 of 3 22/02/2024, 13:24
E-mail de UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO - Your pape... <https://mail.google.com/mail/u/3/?ik=13f4001ded&view=pt&search=a...>

2023-CIP-Amazon 2030 – Sustainability Issues in the World's Largest Rainforest Region.pdf
12354K

gabriel costa <gabrielbritocosta@gmail.com> 21 de dezembro de 2023 às 08:59
Para: LUAN VICTOR PEREIRA DE SOUSA <luan.vps@discente.ufma.br>

Dear Luan,

Your chapter was accepted for publication, and sent to the publisher for further processing.

Best,

Gabriel.
[Texto das mensagens anteriores oculto]

3. COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DO SEGUNDO CAPITULO

Gmail - [GEOgraphia] Agradecimento pela submissão

<https://mail.google.com/mail/u/2/?ik=380280abb7&view=pt&search=a...>



Luan Victor <engamb.luan@gmail.com>

[GEOgraphia] Agradecimento pela submissão

1 mensagem

no-reply.revistascientificas@id.uff.br <no-reply.revistascientificas@id.uff.br>

16 de março de 2024 às
10:42

Responder a: Marco Nepomuceno <revistageographia@gmail.com>

Para: Luan Victor Pereira de Sousa <engamb.luan@gmail.com>

Luan Victor Pereira de Sousa:

Obrigado por submeter o manuscrito, "Avaliação do grau de vulnerabilidade da zona costeira da Ilha do Maranhão às Mudanças Climáticas" ao periódico GEOgraphia. Com o sistema de gerenciamento de periódicos on-line que estamos usando, você poderá acompanhar seu progresso através do processo editorial efetuando login no site do periódico:

URL da Submissão: <https://periodicos.uff.br/geographia/authorDashboard/submission/62328>

Usuário: lvictorr96

Se você tiver alguma dúvida, entre em contato conosco. Agradecemos por considerar este periódico para publicar o seu trabalho.

Marco Nepomuceno

Atenciosamente, Comitê editorial periodicos.uff.br/geographia

4. NORMAS E DIRETRIZES PARA SUBMISSÃO DE MANUSCRITO DO CAPÍTULO 1

Capítulos

Os capítulos contêm o conteúdo real do livro, ou seja, texto, figuras, tabelas e referências. Os capítulos podem ser agrupados em partes; subpartes não são possíveis. Apenas um capítulo (por exemplo, uma introdução) pode preceder a primeira parte e seria o primeiro capítulo.

- Decida o estilo de numeração dos capítulos e aplique esse estilo de forma consistente a todos os capítulos: numerados consecutivamente (monografias ou livros didáticos) ou não numerados (volumes contribuídos).
- Se for incluída uma introdução ao tema do livro (recurso histórico, definições ou metodologia), ela deverá aparecer como primeiro capítulo e, portanto, ser incluída na numeração dos capítulos. Pode conter referências, figuras e tabelas, como qualquer outro capítulo.

✓ Linguagem

Pode-se usar o inglês britânico ou americano, mas seja consistente em seu capítulo ou livro. Em livros contribuídos, a consistência específica do capítulo é aceita.

Verifique a ortografia consistente de nomes, termos e abreviações, inclusive em tabelas e legendas de figuras.

Pontas

- Para a ortografia americana, consulte o Merriam-Webster's Collegiate Dictionary; para a ortografia britânica, você deve consultar o Collins English Dictionary.
- Se o inglês não for sua língua nativa, peça ajuda a um falante nativo ou providencie para que seu texto seja verificado por um serviço de edição profissional. Dois desses serviços são fornecidos por nossas afiliadas [Nature Research Editing Service](#) e [American Journal Experts](#). Insira as correções finais em seus dados antes de enviar o manuscrito.

✓ Título do capítulo e autores

Para volumes contribuídos, inclua os nomes dos autores de cada capítulo (escritos como seriam citados), afiliações, endereços de e-mail e números de telefone após o título do capítulo. Certifique-se de que a sequência dos nomes dos autores esteja correta e que o título do seu livro seja definitivo ao enviar o manuscrito. Forneça todos os e-mails, números de telefone e endereços de cada autor e editor. Uma vez entregue o manuscrito para produção, não serão mais possíveis alterações de título ou autoria.

✓ Abstrato

Os resumos dos capítulos são fortemente encorajados porque foi comprovado que aumentam significativamente a visibilidade de um livro. Bons resumos significarão que mais pessoas lerão seu livro. Eles aparecerão on-line no [SpringerLink](#) e em outros sites e estarão disponíveis com acesso irrestrito para facilitar a busca on-line (por exemplo, Google) e permitir que usuários não registrados leiam o resumo como um teaser do capítulo completo.

Se nenhum resumo for submetido, usaremos o primeiro parágrafo do capítulo.

Pontas

- Comece cada capítulo com um resumo que resuma o conteúdo do capítulo em no máximo 200 palavras.
- Observe que os resumos nem sempre aparecerão na versão impressa do livro. Para mais detalhes, consulte seu editor.

✓ Palavras-chave (se aplicável)

Alguns livros também publicam palavras-chave. Verifique com o editor do seu livro ou com o editor da publicação se são necessárias palavras-chave.

Pontas

- Cada palavra-chave não deve conter mais de duas palavras compostas e cada frase-chave deve começar com uma letra maiúscula.
- Ao selecionar as palavras-chave, pense nelas como termos que ajudarão alguém a localizar seu capítulo no topo da lista do mecanismo de busca usando, por exemplo, o Google. Termos muito amplos (por exemplo, 'estudo de caso' por si só) devem ser evitados, pois resultarão em milhares de resultados de pesquisa, mas não resultarão na localização do seu capítulo.
- Quando necessário, permitimos de três a seis palavras-chave por capítulo.

✓ Títulos e numeração de títulos

- Os níveis de título devem ser claramente identificados e cada nível deve ser formatado e/ou numerado de forma única e consistente.
- Use o sistema decimal de numeração se seus títulos forem numerados.
- Nunca pule um nível de título. A única exceção são os cabeçalhos run-in que podem ser usados em qualquer nível hierárquico.

✓ Terminologia, unidades e abreviaturas

- Termos técnicos e abreviaturas devem ser definidos na primeira vez que aparecem no texto.
- Utilize sempre sinais e símbolos internacionalmente aceitos para unidades (também chamadas de unidades SI).
- Os numerais devem seguir o método britânico/americano de vírgulas decimais para indicar decimais e vírgulas para separar milhares

✓ Estilo formal e formatação de texto

Os manuscritos serão verificados por um editor de texto quanto ao estilo formal. A Springer Nature segue certos layouts e padrões no que diz respeito à apresentação do conteúdo, e os revisores garantem que o manuscrito esteja em conformidade com esses estilos. Ao receber as provas de página durante a produção do seu livro, não faça alterações que envolvam apenas questões de estilo.

✓ Ênfase e tipo especial

- Itálico deve ser usado para palavras ou frases enfatizadas em texto corrido, mas não formate parágrafos inteiros em itálico.
- Use itálico para nomes de espécies e gêneros, variáveis matemáticas/físicas e prefixos em compostos químicos.

- A formatação em negrito só deve ser usada para títulos inseridos e letras minúsculas para indicar atividade óptica (D- e L-dopa).
- Sans serif (por exemplo, Arial) e fontes não proporcionais (por exemplo, Courier) podem ser usadas para distinguir o texto literal de programas de computador do texto corrido.

✓ Caixas

- Não defina páginas inteiras como caixas, pois isso diminui a legibilidade online.
- Não defina páginas inteiras como caixas, pois isso afeta a legibilidade online.
- Para elementos didáticos adicionais, como exemplos, perguntas, exercícios, resumos ou mensagens-chave em livros didáticos e profissionais, use um estilo consistente para cada um desses elementos e envie uma lista dos estilos usados junto com seu manuscrito. Para usuários do LaTeX, use o pacote de macros Springer Nature para destacar esses elementos.

✓ Equações e código do programa

- No Word, use a função Math, MathType ou editor Microsoft Equation para criar suas equações. Por favor, não inclua as equações como imagens.
- No LaTeX, use o ambiente Math para criar suas equações.

5. NORMAS E DIRETRIZES PARA SUBMISSÃO DE MANUSCRITO DO CAPÍTULO 2

Diretrizes para Autores

- * Os originais apresentados à revista GEOgraphia não devem ter sido publicados e não devem ser submetidos simultaneamente a outra revista.
- * Os trabalhos submetidos a essa publicação podem ser redigidos em **Português, Espanhol, Inglês e Francês**, sempre obedecendo as normas cultas das línguas;
- * O cadastro no sistema e posterior acesso ou login são obrigatórios para submissão como também para verificar o estágio das submissões. No momento da submissão o autor responsável pela mesma deve incluir todos os metadados (título, resumo, palavras chave, nome completo, afiliação, país, email e ORCID).
- * A revista GEOgraphia não cobra taxas de processamento nem de submissão de artigos.
- * Todos os trabalhos devem ser acompanhados de uma **página de identificação em separado**, que deve ser anexada no item "documentos suplementares", com as seguintes informações: título; nota autoral (no caso de autoria múltipla, indicar o nome dos autores em ordem de responsabilidade na elaboração do trabalho); identificação dos autores (profissão, vínculo institucional, título acadêmico, endereço, e-mail e telefone para contato). (ABNT NBR 12256)
- * Tratando-se de artigo, deve-se juntar resumo e palavras-chave em português (precedendo o texto). Após o texto, deve-se acrescentar título, resumo e palavras-chave em inglês.
- * Os artigos devem ser encaminhados completos e definitivamente revistos. As provas serão revisadas pelo editor, com base no texto recebido, cabendo ao autor a responsabilidade pelo original enviado;
- * É obrigatório que o artigo respeite a norma culta da língua e que sua grafia seja revisada antes da submissão;
- * Para garantir a avaliação cega, os dados do(s) autor(es) não serão encaminhados aos avaliadores, entretanto, **é responsabilidade do(s) autor(es) certificar-se de que não existem - em nenhum lugar do corpo do texto ou nas propriedades do arquivo - dados que possam identificá-los**. Para remover a identificação das propriedades do arquivo, o autor deve realizar os seguintes procedimentos:
 - Em documentos do Microsoft Office ou Mac: (no menu Arquivo > Propriedades), iniciando em Arquivo, no menu principal, e clicando na sequência: Arquivo > Salvar como... > Ferramentas (ou Opções no Mac) > Opções de segurança... > Remover informações pessoais do arquivo ao salvar > OK > Salvar.
- * Todos os trabalhos aparecerão assinados, refletindo as opiniões de seus autores e não necessariamente as do Comitê Editorial.
- * O Comitê Editorial e o Conselho Consultivo se reservam o direito de recusar ou de solicitar alterações nos textos originais.
- * Os trabalhos não serão devolvidos, mesmo que não aceitos para publicação.
- * A revista publica textos teóricos ou temáticos na área da geografia, nas seguintes seções:
 - Artigos: contribuições resultantes de pesquisa empírica, com explicitação de rigor metodológico, e/ou de revisão teórico-conceitual, desde que ofereçam contribuição original e relevante para o campo de pesquisa.
 - Dossiê temático: trabalhos oriundos de proposição de grupos de pesquisa, grupos de trabalho (GTs) e mesas redondas, desde que sejam textos originais. A seção também pode ser composta por artigos com tema definido pelos editores do periódico.
 - Caso o dossiê seja proposto por grupos de pesquisa, coordenadores de GTs e mesas, o proponente deve fazer contato com o editor da Geographia, através do e-mail revistageographia@gmail.com. Deve-se remeter justificativa da relevância do dossiê junto ao escopo do periódico, além da originalidade dos textos a serem submetidos.
 - O dossiê deve ser composto por no mínimo 5 artigos, além disso o editor do dossiê deve remeter uma apresentação.
 - O editor do dossiê trabalhará em conjunto com os editores da revista, para que haja, em comum acordo, a indicação dos pareceristas.
 - A avaliação será duplo cega, tal qual ocorre com os demais originais submetidos à revista.

- **Conceitos Fundamentais da Geografia:** dedica-se à apresentação dos diferentes conceitos da ciência geográfica, em forma ampliada de verbete, de modo a configurar pequenos artigos, de 5 a 7 páginas, com bibliografia básica, avaliados por pares a partir da proposta de autores que tenham histórico de pesquisa no desdobramento do(s) respectivo(s) conceito(s).
- **Nossos Clássicos:** propõe-se a trazer contribuições de autores clássicos da Geografia através de traduções inéditas de artigos ou capítulos de livro, podendo vir acompanhadas de artigos de apresentação do autor e/ou do texto traduzido. As propostas devem ser encaminhadas para apreciação para o e-mail da revista GEOgraphia (revistageographia@gmail.com) e serão avaliadas pelo(s) editor(es) responsável(is) pela seção, que poderá(ão) recorrer a pares com atuação reconhecida na área da história do pensamento geográfico e conhecimento da língua estrangeira em pauta.
- **Traduções:** A Revista Geographia privilegia a publicação de textos originais. Em caso de contribuições estrangeiras de referência e de grande interesse para a comunidade brasileira, podem ser aceitas traduções. A avaliação e deliberação acerca da pertinência da tradução será realizada pelo comitê editorial.
- **Resenhas:** síntese de livros com relevância para a área de Geografia e afins, desde que se enquadre com o escopo da revista. Os livros resenhados devem ter sido lançados a no máximo cinco (5) anos.

* Os critérios para a formatação do texto são os a seguir especificados:

- **Digitação:** fonte Times New Roman 12, em espaço um e meio, margens esquerda e direita de 3 cm, iniciando-se os parágrafos com uma tabulação de 1 cm.
 - Artigos: não deverão exceder 25 laudas (incluindo tabelas, gráficos, ilustrações e referências bibliográficas).
 - Conceitos Fundamentais da Geografia: devem conter entre 5 a 7 páginas (incluindo tabelas, gráficos, ilustrações e referências bibliográficas).
 - Nossos Clássicos: não deve exceder 15 páginas.
 - Resenhas: não deverão exceder 6 laudas, evitando-se tabelas, gráficos e ilustrações.
- **Citações:** as transcrições no texto de até três linhas devem estar encerradas entre aspas duplas. As aspas simples são utilizadas para indicar citação no interior da citação. As transcrições no texto com mais de três linhas devem ser destacadas com recuo de 4 cm da margem esquerda, com arial 10 e sem aspas. Os indicadores de supressão de parte da transcrição e os acréscimos devem ser colocados entre parênteses (,...). Recomenda-se utilizar o sistema autor-data-número da página entre parênteses para a identificação da fonte de citação. (ABNT NBR 10520)
- **Notas explicativas:** usadas para comentários, esclarecimentos ou explicações que não possam ser incluídas no texto. Devem ser inseridas como notas de rodapé, em algarismos arábicos, com numeração única e consecutiva para todo o artigo. (ABNT NBR 10520)
- **Elementos complementares:** as notas, tabelas, quadros e figuras devem ser apresentados separadamente do corpo do texto, para facilitar o trabalho de editoração. As tabelas, quadros e figuras são numerados consecutiva e independentemente, em algarismo arábicos, e digitados em laudas independentes, cada qual identificado na parte superior pelo termo TABELA, QUADRO ou FIGURA, seguido do seu número de ordem. No corpo do texto, a localização desejável de determinada tabela, quadro ou figura deve ser indicada pela palavra TABELA, QUADRO ou FIGURA seguida de seu número de ordem, entre dois traços horizontais, no espaço de uma linha em branco. (ABNT NBR 12256)
- **Referências bibliográficas:** os elementos essenciais são: autor(es), data de publicação, título, subtítulo (se houver), edição, local, editora, páginas e volumes (se houver). (ABNT NBR 6023)

Ao longo do artigo: com indicação do sobrenome do autor, data de publicação e número da(s) página(s) consultada(s). Havendo mais de um trabalho do mesmo autor no mesmo ano, usar a, b, c imediatamente após a data. Exemplo: (MORTARA, 1982a, p. 427). Repetir citações anteriores para evitar as expressões *ibid.*, *op. cit.* etc.

Ao final do artigo: a bibliografia deve seguir o formato dos textos deste volume.

Livro:

SOBRENOME, inicial do prenome do(s) autor(es). Ano de publicação. *Título:* subtítulo. Número da edição. Local: Editora

Ex.:

Capítulo de livro:

SOBRENOME, inicial do prenome do(s) autor(es). Título do capítulo. In: SOBRENOME, inicial do prenome do(s) autor(es) ou organizador(es). *Título*: subtítulo. Local: Editora, ano de publicação, Páginas inicial-final do capítulo referenciado.

Ex.:

ROMANO, G. (1996) Imagens da juventude na era moderna. In: LEVI, G.; SCHIMIDT, J. (orgs.). *História dos jovens 2: a época contemporânea*. São Paulo: Companhia das Letras, p. 7-16.

Artigo de periódico:

SOBRENOME, inicial do prenome do(s) autor(es). Data de publicação. Título do artigo: subtítulo. *Título da revista*, local, número do volume, fascículo, páginas inicial-final do artigo referenciado, informações de período.

Ex.:

COSTA, V. R. (1998) À margem da lei: o Programa Comunidade Solidária. *Em Pauta - Revista da Faculdade de Serviço Social da UERJ*, Rio de Janeiro, n. 12, p. 131-148.

Em meio eletrônico: obras de qualquer natureza consultadas *on-line* devem necessariamente apresentar as informações sobre o endereço eletrônico, apresentado entre os sinais < >, precedido da expressão "Disponível em:", e a data do acesso ao documento, precedida da expressão "Acessado em:".

Ex.:

COSTA, V. R. (1998) À margem da lei: o Programa Comunidade Solidária. *Em Pauta - Revista da Faculdade de Serviço Social da UERJ*, Rio de Janeiro, n. 12, p. 131-148.

Em meio eletrônico: obras de qualquer natureza consultadas *on-line* devem necessariamente apresentar as informações sobre o endereço eletrônico, apresentado entre os sinais < >, precedido da expressão "Disponível em:", e a data do acesso ao documento, precedida da expressão "Acessado em:".

Ex.:

SÃO PAULO. (Estado). (1999) Secretaria do Meio Ambiente. Tratados e organizações ambientais em matéria de meio ambiente. In: _____. *Entendendo o meio ambiente*. São Paulo. v.1. Disponível em: <http://www.bdt.org.br/sma/entendendo/atual.html>. Acessado em: 8 mar. 1999.

ATENÇÃO: A revista não se responsabiliza pelas referências bibliográficas fornecidas pelos autores.

Compromisso ético

A revista *GEOgraphia* segue os princípios da ética na publicação científica contidos no código de conduta do Committee on Publication Ethics (COPE), disponível aqui: <<https://publicationethics.org/core-practices/>>.

Política antiplágio

O plágio ou o uso de ideias e formulações verbais/escritas de outrem sem o devido crédito é eticamente inaceitável na comunidade científica.

Para publicarem na Revista *GEOgraphia*, os autores devem responder à exigência de originalidade e ineditismo do artigo, no todo ou em parte, garantindo o crédito de todas as fontes e referências citadas no manuscrito.

A Revista *GEOgraphia* usa o software *Plagius* para a identificação de trechos e fragmentos de plágio e autoplágio nos artigos submetidos ao periódico.