



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Simulação de elevação do nível médio do mar sobre o ecossistema manguezal na Reserva Extrativista Marinha Baía do Iguape- BA

Ivonice Sena de Souza¹, Rosemeri Melo e Souza², Denilson da Silva Bezerra³

¹ Doutoranda em Geografia, Universidade Federal de Sergipe (UFS), Departamento de Geografia, yonisouza@yahoo.com.br, (autor correspondente).

² Professora Associada do Departamento de Engenharia Ambiental, da Universidade Federal de Sergipe (UFS). CEP: 49100-000, São Cristóvão (SE), Brasil, Tel.: (+55 79) 3194-6600, rome@academico.ufs.br. ³ Professor do Departamento de Oceanografia e Limnologia da Universidade Federal do Maranhão (UFMA), denilson.bezerra@ufma.br.

Artigo recebido em 12/02/2022 e aceito em 13/06/2022

RESUMO

As Zonas Costeiras estão sujeitas aos riscos ambientais das mudanças climáticas; proveniente de ações antrópicas e, dentre suas consequências, destaca-se a provável Elevação do Nível Médio do Mar (ENMM). As projeções apontam para um cenário de impactos em inúmeras cidades e ecossistemas costeiros, até o final do século XXI. No entanto, o ecossistema manguezal é considerado o mais vulnerável aos efeitos de ENMM. O objetivo do presente estudo é simular a resposta dos manguezais da Baía do Iguape ao aumento do nível do mar. Para a realização da simulação dos impactos da ENMM sobre o ecossistema manguezal, foram adotados como base os princípios teóricos de Bezerra (2014). Foi utilizado um modelo espacialmente explícito, baseado em autômatos celulares e Sistema de Informações Geográficas para identificar padrões de resistência, migração e / ou inundação desses manguezais. Na simulação foi adotado um intervalo de tempo de 2020 a 2100, com 80 eventos intermediários. A área de mangue original (2017) correspondia a 3.970 hectares (ha), foi reduzida para 3.552 ha, no final da simulação (2100), representando uma perda de 418 ha. Estes resultados indicam que o ecossistema manguezal encontrará barreiras que inviabilizem a sua migração para continente. Palavras-chave: modelagem, mudanças climáticas, nível do mar.

Simulation of average sea level rise on the mangrove ecosystem in Extractive Marine Reserve Iguape Bay-BA

ABSTRACT

Coastal Zones are subject to the environmental risks of climate change; from anthropic actions and, among its consequences, the probable Mean Sea Level Rise (MSLR) stands out. The projections point to a scenario of impacts in countless cities and coastal ecosystems, until the end of the 21-st century. However, the mangrove ecosystem is considered the most vulnerable to the effects of (MSLR). The aim of the present study is to simulation of the Iguape Bay to sea level rise. To carry out the simulation of the impacts of (MSLR) on the mangrove ecosystem, the theoretical principals of Bezerra (2014) were adopted as a basis. A spatially explicit model based on cellular automata and Geographic Information System was used to identify patterns os resistance, migration and/or flooding of these mangroves. In the simulation, a time interval from 2020 to 2100 was adopted, with 80 intermediate events. The original mangrove area (2017) corresponded to 3,970 hectares (ha), was reduced to 3,552 ha at the end of the simulation (2100), representing a loss of 418 ha. These results indicate that the mangrove ecosystem will find barriers that make its migration to the mainland unfeasible.

Keywords: modeling, climate changes, sea level.

Introdução

A Zona Costeira possui características naturais particulares, ou seja, possui uma diversidade de ambientes costeiros associados a diferentes ecossistemas, no entanto, é uma das áreas sob forte perturbação/pressão ambiental em nível global; estando submetido a um forte processo econômico, (Gruber, Barboza e Nicolodi, 2003) o que corrobora para uma intensa concentração populacional. Por essa razão, trata-se de uma região geográfica vulnerável e sujeita a

ocorrência de eventos extremos devido à sua interface entre a zona continental e a zona marinha, portanto, propensa a riscos ambientais (Iwama, Batistella e Ferreira, 2014).

Um dos riscos que a zona costeira está sujeita é a mudança climática, proveniente de ações antrópicas e, dentre suas consequências, destaca-se a provável Elevação do Nível Médio do Mar (ENMM). No entanto, estudos recentes (Marengo, 2006; IPCC, 2014) apontam que de todos os elementos que compõem a paisagem costeira, o

ecossistema manguezal é considerado o mais vulnerável aos efeitos de ENMM, isso porque são ecossistemas situados entre o mar e a terra firme, ao longo de boa parte dos litorais tropicais e subtropicais de todo o mundo (Mota, Rocha e Barreto, 2020).

De acordo com Marengo (2006), a elevação do nível do mar ocasionará impactos significativos nos habitats dos manguezais e criará novas ondas de inundações. Este autor ainda ressalta que a elevação do nível do mar poderia extinguir os manguezais em quase 1%/ano. Essa consequência poderá causar mudanças na distribuição de espécies e afetar a pesca na região, onde os peixes usam os manguezais como refúgio e berçário (Marengo, 2006).

Segundo Bezerra (2014), os manguezais podem apresentar variados padrões de resposta em relação à elevação do nível do mar, esse processo dependerá das características locais e regionais, como: padrões locais nas taxas da elevação do nível do mar e nos processos de sedimentação/erosão, amplitude da maré local, topografia do relevo e das formas de uso e ocupação das terras adjacentes.

Quanto ao padrão de resposta da dinâmica dos manguezais à ENMM, Gilman, Ellison e Coleman (2007) indicam três cenários gerais que determinam o padrão de resposta do manguezal quanto às alterações no Nível Médio do Mar (NMM): (I) cenário de não elevação, (II) retração do NMM e (III) elevação do NMM (Figura 1).

De acordo com Bezerra (2014), no cenário de não elevação, não haverá avanço do nível do mar em relação às áreas de ocorrência do manguezal (Figura 3-A). No caso de retração do NMM em relação à área de ocorrência do manguezal (Figura 3-B), há a possibilidade de o manguezal ocupar áreas que estavam submersas, e dependendo da topografia, expandir-se lateralmente ou em direção ao próprio canal do rio, em situações onde a taxa de sedimentação for maior que a taxa de elevação do mar no local (Gilman, Ellison e Coleman, 2007; Bezerra, 2014).

O cenário de ENMM em relação à área ocupada pelo manguezal (Figura 3-C), acontece o alagamento permanente e erosão de espaços tomados pelos manguezais. Caso não existam

barreiras à sua colonização como, por exemplo, usos antrópicos, o manguezal poderá migrar em direção ao continente. Outra possibilidade é de o manguezal resistir ao aumento do NMM em situações onde ocorra intensa acreção vertical e acreção longitudinal de sedimento, e que estas excedam as taxas de elevação da coluna d'água (Gilman, Ellison e Coleman, 2007; Bezerra, 2014).

Neste contexto, diante destes três cenários e dos dados disponíveis pelo Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2014), é importante realizar estudos que demonstrem como esse ecossistema se comportará diante dos efeitos da ENMM e as implicações socioambientais para a população que dependem desse ecossistema como meio de sobrevivência. Os estudos sobre o ecossistema manguezal tanto em âmbito nacional (Lacerda, Menezes e Molisani, 2007; Duarte e Rezende, 2019; Souza et al., 2021; Santos, Araújo e Souza, 2021) quanto no meio internacional (Lymburner et al., 2020; Nguyen et al., 2021; Basáñez-Muñoz, Jordán-Garza e Serrano, 2021) sempre tiveram como foco o estudo da redução dos manguezais, levando em consideração os fatores antrópicos, como a supressão dos mangues para implantação de carcinicultura, expansão urbana, agronegócio, dentre outras situações (Oliveira, Souza e Sobral, 2017; Souza et al., 2019; Souza et al., 2021, Barbosa et al., 2021).

Atualmente, pesquisadores de vários países se dedicam a avaliar, investigar, simular, modelar, projetar e analisar os possíveis impactos de elevação do nível médio do mar sobre os manguezais (Rojas, et al., 2018, Muslim et al., 2020).

Na Índia, Khan et al., (2016) realizaram projeções de elevação do nível do mar dos possíveis impactos causadas pelas mudanças climáticas para a área de manguezal de Pichavaram na costa de Tamil Nadu, Índia. De acordo com os estudos realizados pelos pesquisadores a região pode sofrer uma ENMM variando de 22,40 a 53,70 cm até 2100. No Caribe, Wilson (2017) discute os impactos das mudanças climáticas nos ecossistemas de mangue no litoral e ambientes marinhos do Caribe em pequenas ilhas.

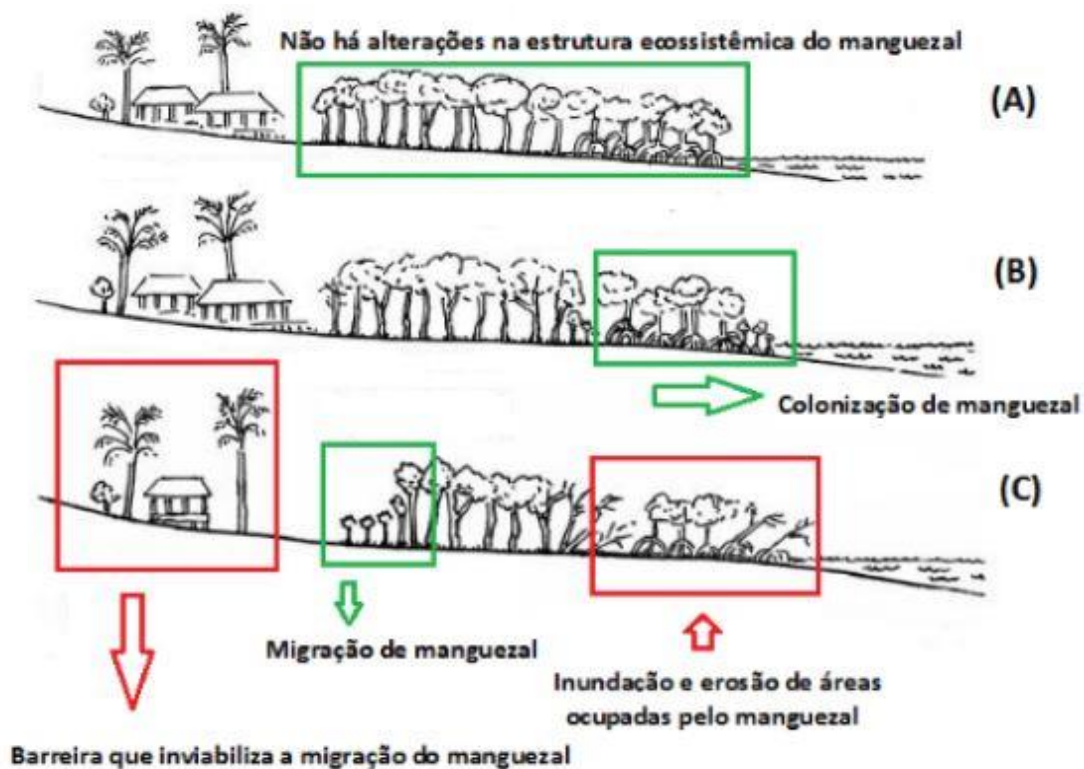


Figura 1 - Cenários de padrões de reposta do manguezal conforme as alterações do nível do mar. Fonte: Bezerra (2014).

Na China, Wang et al. (2022) realizaram modelagens de adaptação climática dos manguezais em cenários de mudanças climáticas. Os autores usaram um modelo de entropia máxima para prever áreas adequadas para os manguezais no extremo norte do país, para o período de 2030 e 2050. Eles realizaram dois cenários, no primeiro (2030), os habitats apropriados para os manguezais são estimados em 13.435 ha, o que aumentaria 33,9% em comparação com o cenário atual. No cenário dois (2050), a área adequada seria de 23.120 ha, com uma taxa de aumento de 96,5%.

Na Flórida, Kh'ng, Teh e Koh (2021) modelaram os impactos de elevação do nível do mar para Everglades, o estudo teve como objetivo projetar uma possível mudança no aumento gradual do nível do mar. A simulação revelou que o aumento do nível do mar pode causar alteração nas madeiras dos manguezais halofíticos. Ainda na Flórida, Caldwell (2020), realizou um estudo para testar a vulnerabilidade do ecossistema manguezal no sul da Flórida, frente ao aumento do nível do mar.

No Sudoeste da Flórida, Doyle, Girod e Books (2003) modelaram a migração de florestas de mangue sob a influência das mudanças climáticas. Em Bangladesh, Ghosh, Kumar e Langat (2019), realizaram modelagem geoespacial

nas florestas de manguezais de Sundarbans para avaliar os impactos do aumento do nível do mar na distribuição espacial de espécies de mangue, além disso, foi estimado o potencial de inundação e perdas de áreas de manguezais. Estes autores constataram em suas pesquisas que todas as cinco espécies de manguezais existentes no Sundarbans de Bangladesh serão afetadas pelo evento de ENMM.

No Brasil, os estudos voltados ao entendimento do padrão de resposta do manguezal à elevação do NMM vêm sendo discutidos principalmente para a ilha do Maranhão e para a parte oriental da Amazônia legal, nestes estudos vêm sendo desenvolvidas e testadas importantes metodologias de modelagem espaciais buscando entender a capacidade de resistência e resiliência do ecossistema manguezal à elevação do NMM (Bezerra, Amaral e Kampel, 2013; Bezerra, 2014; Bezerra et al., 2017; Tomaz, 2018; Tomaz et al., 2019; Bezerra e Araújo, 2019; Santos et al., 2019). Neste contexto, este estudo tem como objetivo simular a resposta dos manguezais da Baía do Iguape ao aumento do nível do mar, no intervalo de 2020 a 2100.

Material e métodos

Área de estudo

A Reserva Extrativista Marinha Baía do Iguape (RESEX) (Figura 2) está localizada no Recôncavo Baiano, distante cerca de 110 km de Salvador, capital da Bahia, numa área de 10.082 hectares situada no baixo curso do rio Paraguaçu. A RESEX Baía do Iguape abrange área dos municípios de Cachoeira, Maragogipe e São Félix

(ICMBIO, 2017) e é uma área que possui uma atividade pesqueira predominantemente artesanal.

Nas adjacências da RESEX Baía do Iguape, estão localizadas, aproximadamente, 30 comunidades com uma população estimada de 20.000 habitantes. Destas, cerca de 903 famílias estão envolvidas com atividade de pesca, porém registros das Colônias de Pescadores constataram que, na verdade, essa população é maior, já que alguns pescadores não possuem cadastros (ICMBIO, 2017).

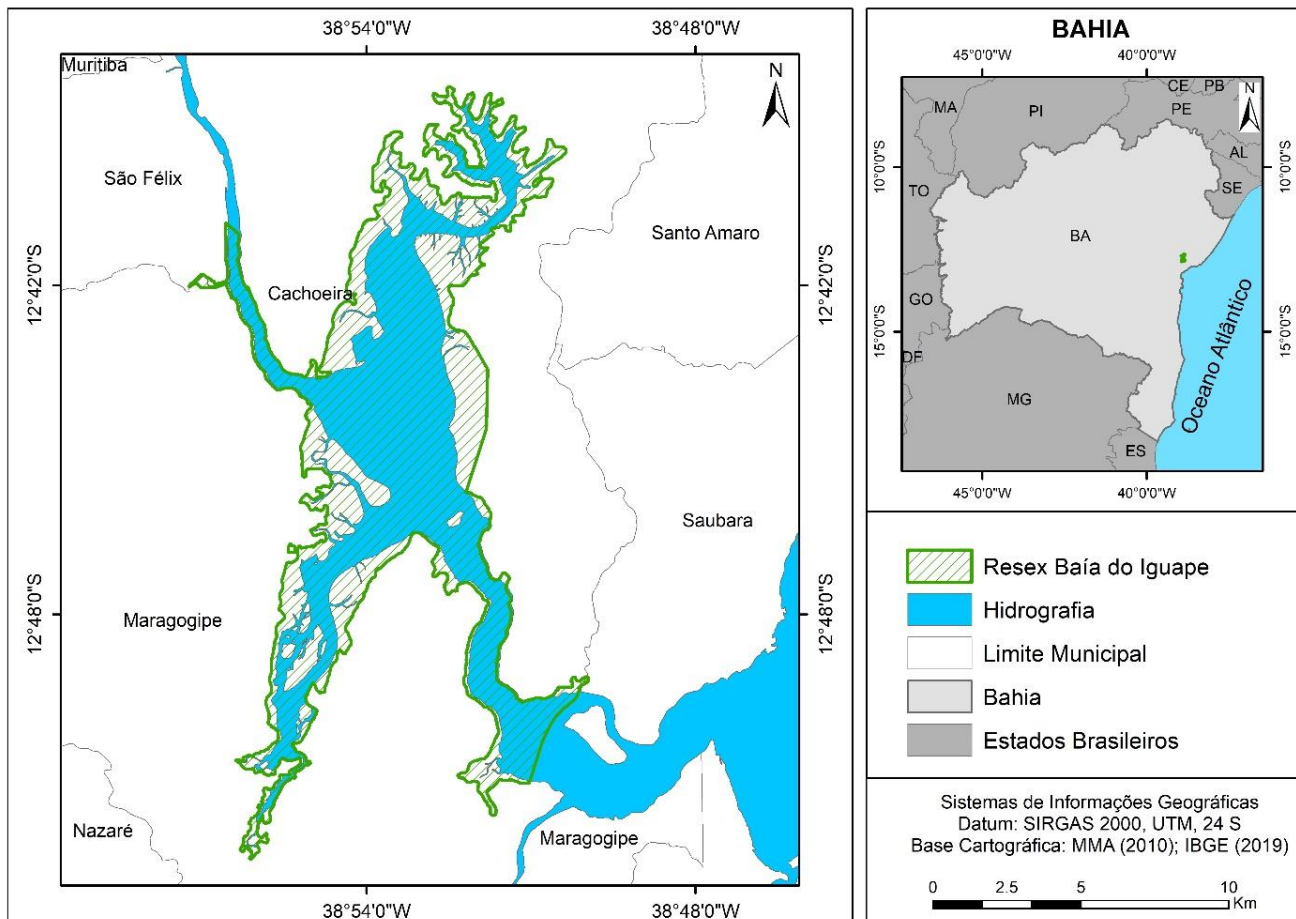


Figura 2 – Localização Geográfica da Reserva Extrativista Baía do Iguape no Recôncavo Baiano.
Elaboração: Os autores (2021).

Na RESEX Baía do Iguape, a maré é classificada como semidiurna (MMA, 2013), as marés semidiurnas, apresentam duas Preamares (PM) e duas Baixa Mares (BM) no período de 1 dia lunar, (1 dia lunar tem aproximadamente 24h 50m, em oposição ao dia solar de 24 horas, as marés não ocorrem todos os dias à mesma hora num mesmo local), sendo o intervalo de tempo entre uma Preamar (PM) e a Baixa Mar (BM) consecutiva de pouco mais de 6 horas. Normalmente, há apenas variações relativamente pequenas nas alturas de

duas PM ou de duas BM sucessivas (Miguens, 1996).

O nível médio das marés da Baía do Iguape é de 165 cm acima do nível do mar; a média das preamares de sizígia corresponde a cerca de 301 cm acima do nível de redução. A média das marés das PM de quadratura é de 231 cm acima do nível de redução. A média das BM de quadratura corresponde a 100 cm acima do nível de redução. A amplitude média de maré na Baía do Iguape é de cerca 1,31 (MMA, 2013).

Procedimentos Metodológicos

Para realização da simulação de elevação do nível médio do mar sobre os manguezais, foram adotados como base os princípios teóricos de Bezerra (2014), o qual desenvolveu o BR-Mangue, que objetivou simular os impactos da ENMM em manguezais através de um modelo espacialmente explícito, baseado em autômatos celulares e uso de Sistema de Informação Geográfico (SIG). Por meio do referido modelo foi realizada simulação da elevação do Nível Médio Mar (NMM) para a RESEX Baía do Iguape em 80 eventos de elevação de 0,012 a 0,97 m, que equivalem ao intervalo de tempo de 2020 a 2100 anos, distribuídos como uma progressão aritmética de razão 0,012 m que foram subdivididos em 4 períodos de 20 anos para o cenário de elevação do nível do mar.

Os procedimentos de modelagem foram realizados com o objetivo de simular os seguintes eventos: avanço da ENMM sobre o continente; deslocamento da área de influência das marés; impacto dos obstáculos à migração do manguezal no continente para o desenvolvimento de novas áreas de manguezal; e variação das áreas de manguezal (área total, área remanescente, área perdida e área migrada). Os dados utilizados para a modelagem foram os planos de informação contendo o mapeamento de uso e ocupação da terra da RESEX Baía do Iguape, informações de solos, dados de altimetria e um espaço celular vazio do recorte espacial da área de estudo. Para a confecção do mapeamento de uso e ocupação da terra foi utilizado imagem de satélite do Landsat-8, Operational Land Imager (OLI), resolução espacial 30 metros, do dia 16/06/2017. Para a escolha da imagem (período) foi levado em consideração a qualidade da imagem (quantidade de nuvens e sombra de nuvens).

No mapeamento de uso e ocupação da RESEX Baía do Iguape foram definidas 5 classes: área de manguezal, vegetação terrestre, nesse caso,

refere-se aos remanescentes de Mata Atlântica, que ainda existem na área de estudo, água, solo exposto, aqui foi considerado como área de solo exposta as áreas de apicum, e a classe antropização, na classe antropização foram incluídos: a urbanização, a pecuária, agricultura e os empreendimentos petrolíferos. Para obter os dados de altimetria foi utilizada imagem do Shuttle Radar Topography Mission–SRTM, disponibilizado no site do TOPODATA. Inicialmente, o espaço celular se encontra vazio, sem informações geográficas no banco de dados, para preencher as células com valores de atributos. O espaço celular foi sobreposto aos arquivos com informações geográficas (uso e ocupação da terra, altimetria e solo) e cada célula assume a informação geográfica que ocupa a maior parte da área da célula.

A base de dados geográfica e o espaço celular foram criados no *software* TerraView 4.2.0, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com projeção/Datum: LatLong/WGS84. Adotando a resolução espacial de 100 m² (10 m x 10 m), o recorte espacial da RESEX Baía do Iguape foi constituído por um espaço celular contendo 11.436 células (Figura 3-A). A implementação do BR-Mangue foi baseada no modelo computacional de autômatos celulares, um sistema lógico que tem o conceito de célula como unidade básica: cada célula possui uma vizinhança de células em um estado inicial que pode variar durante a simulação, conforme suas regras de transição (BEZERRA, 2014). O estado inicial da célula corresponde às classes de uso e ocupação da terra no momento inicial para o ano de 2010, para este estudo foram definidas as seguintes classes de uso e ocupação: mangue, água, vegetação terrestre, antropização, solo exposto (Figura 3-B), e os atributos correspondem às classes de solos e altimetria (Figuras 3- C e D). Para a realização dos layouts dos mapas os dados foram reprojatados para a projeção UTM/SIRGAS 2000.

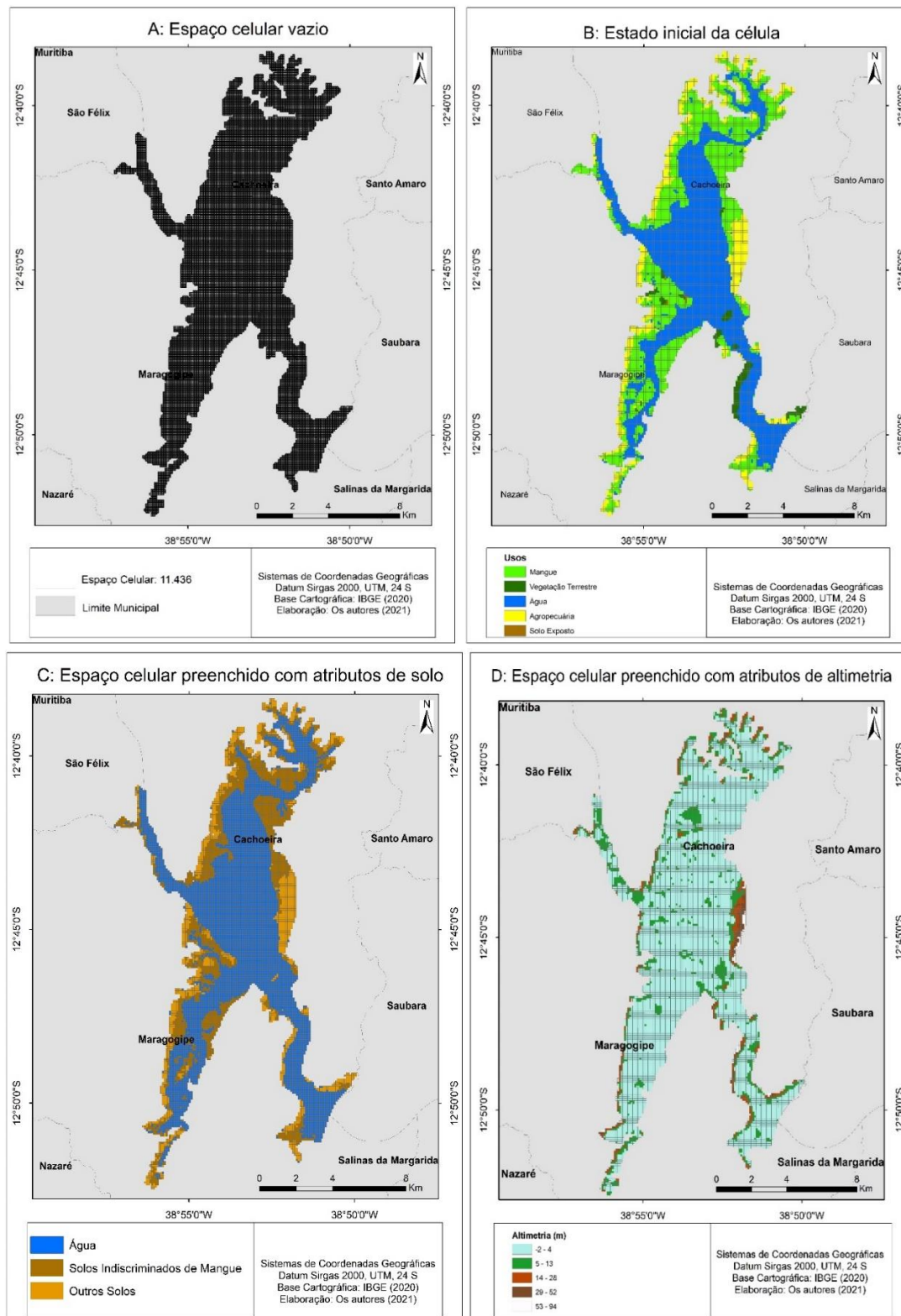


Figura 3 - (A) Espaço celular vazio (B); Estado inicial da célula; (C) Espaço celular preenchido com atributos de solo; (D) Espaço celular preenchido com atributos de altimetria.

Elaboração: Os autores (2021).

Resultados e discussão

A RESEX Baía do Iguape possui uma heterogeneidade de usos e ocupação (urbanização, pecuária, agricultura, monocultura, indústria naval) as quais refletem diretamente nas áreas de mangues da região. Os resultados obtidos na simulação apresentam padrões de declínio e resistência do ecossistema manguezal frente ao processo de aumento do nível médio do mar. A área de mangue original (2017) correspondia a 3.970 ha, foi reduzida para 3.552 ha, no final da simulação (2100), representando uma perda de 418 ha, nos primeiros 20 anos (2021-2040) o mangue apresenta padrões de declínio. Posteriormente, foi apresentada uma resistência aos efeitos de elevação do nível do mar, no período de 2041- 2060, a perda de mangue corresponde a 22 ha, no período de 2061-2080, a perda do mangue foi de 4 hectares e

nos últimos 20 anos (2081-2100), a perda foi de apenas 1 ha (Tabela 1).

A simulação também mostrou a migração dos manguezais para o continente, de 87 ha, na área total de manguezais (3.552 ha em 2100), a perda dos manguezais é 4 vezes maior do que a área de novos manguezais para o continente, ou seja, a área migrada não compensa a área de manguezal extinta. Só ocorrerá migração dos manguezais nos primeiros 20 anos (2021-2040), a expansão dos manguezais sofrerá limitações de migração devido aos usos e ocupação. De acordo com o experimento de modelagem os novos manguezais irão ocupar espaços de vegetação e de apicum, os quais foram denominados de solo exposto, essa migração irá ocorrer no sentido sudoeste da Baía do Iguape (Figura 4). Neste sentido, Santos (2019, p. 06) afirma que “a tendência é que os manguezais adentrem o continente e se estabeleçam em locais que antes só existia a vegetação comum.”

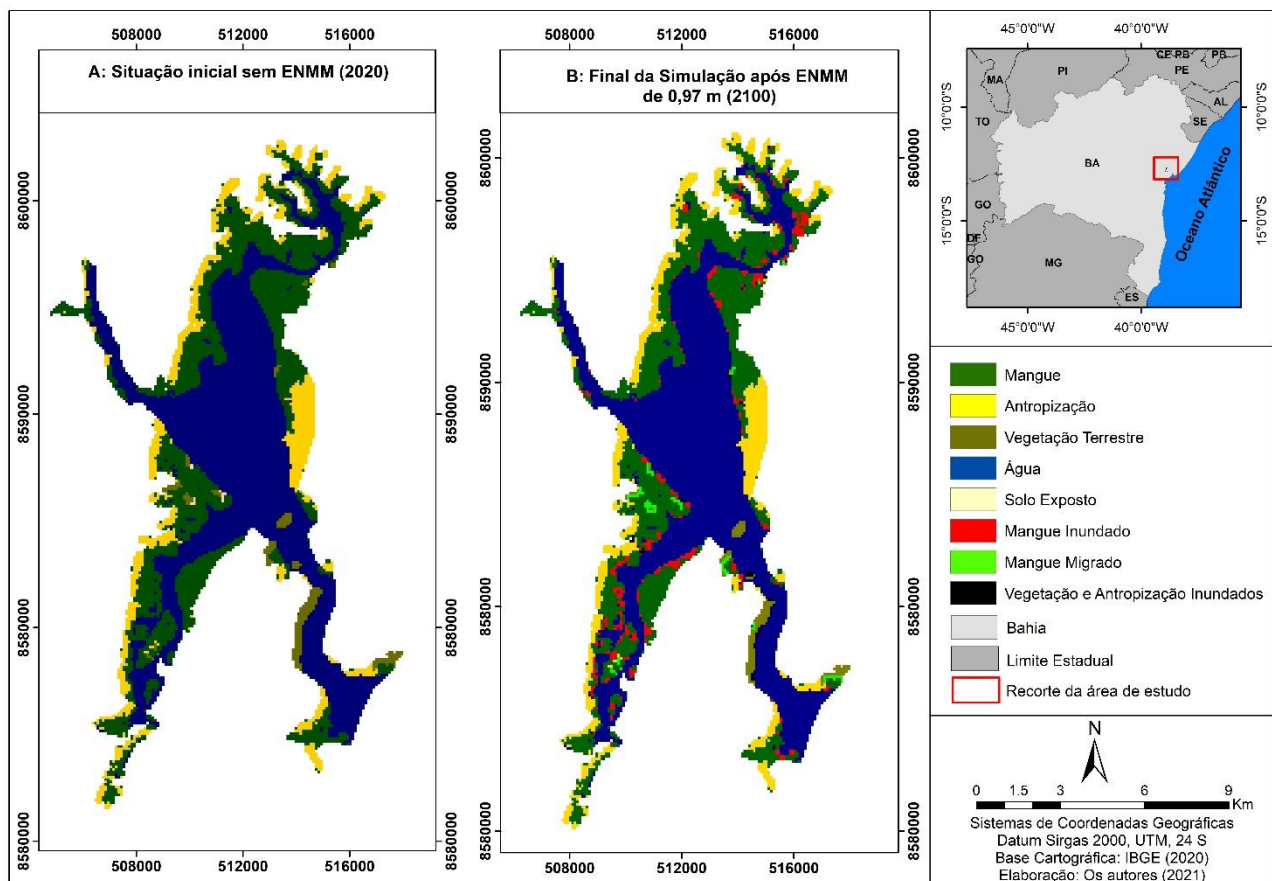


Figura 4 - Classes de uso e ocupação na Baía do Iguape (A) Situação inicial sem ENMM (2020), (B) Final da Simulação após ENMM de 0,97 m (2100).

Fonte: Os autores (2021).

Tabela 1- Padrões de resistência, declínio e expansão do manguezal para cada 20 anos (2020- 2100) de elevação do NMM simulados.

Período(Anos)	Elevação do NMRM(m)	Área Remanescente		
		Média(ha)	Perda(ha)	Expansão (ha)
2017*	-----	3970	-----	-----
2020-2040	0,1 a 0,20	3.579	391	87
2041-2060	0,21 a 0,41	3.557	22	0
2061-2080	0,41 a 0,60	3.553	4	0
2081-2100	0,61 a 0,80	3.552	1	0

*Período selecionado para realizar o mapeamento dos manguezais na RESEX Baía do Iguape.

----Não houve simulação para este período.

A RESEX, em todo o seu entorno sofre forte pressão antrópica (Figura 5). A migração dos manguezais para o continente, também foi constatada em outras pesquisas de modelagem, realizadas em outros países como na China (Wang et al., 2022); e na Flórida (Kh'ng, Teh e Koh, 2021). De acordo com Bezerra e Araújo (2019), as formas de usos e ocupação da terra de origem antrópica podem influenciar no padrão de vulnerabilidade do manguezal à elevação do nível do mar.

De acordo com estes resultados as florestas de manguezais podem apresentar uma redução de área no padrão de migração de mangues para o continente. Os valores das taxas de perda de manguezal são superiores aos ganhos de área. No estudo realizado por Bezerra (2014) para a Ilha do Maranhão, as áreas de manguezais apresentaram um aumento na área de migração dos mangues em direção ao continente. A migração dos manguezais na Baía do Iguape sofre com fatores que limitam a expansão do ecossistema manguezal, a área antrópica em 2017 correspondia a 1.614 ha das classes de uso e ocupação, distribuídas no entorno de toda a Baía.

As áreas mais vulneráveis à perda de manguezais na RESEX Baía do Iguape estão concentradas principalmente em duas regiões: a nordeste (NE) do lagamar do Iguape, nas proximidades e à montante da localidade de Santiago do Iguape (município de Cachoeira); e outra a sudoeste (SO), entre as localidades de Porto de Pedras e Maragogipe (sede municipal) e suas

adjacências (Figura 4). Nestes locais predominam a fixação das armações de pesca, denominadas como camboas (currais de pesca). Souza (2018) realizou o mapeamento das camboas de pesca para a Baía do Iguape. Na região sudeste foi detectado 108 camboas, para sudoeste da baía e suas adjacências, foram contabilizadas 55 camboas. Essa confluência precisa ser mais bem investigada, para entender como os pescadores camboeiros enfrentarão os efeitos de ENMM.

A RESEX Baía do Iguape sofre com diversos conflitos ambientais, os quais vêm repercutindo diretamente na redução dos recursos pesqueiros. Pescadores e marisqueiras que residem no entorno da RESEX vêm percebendo a redução dos pescados e mariscos, e essa diminuição está associada à barragem Pedra do Cavalo, à usina hidrelétrica, que funciona nesta barragem, à poluição, à pesca com bomba e à sobre pesca (Souza et al., 2021).

Os manguezais da RESEX sofrem com inúmeros impactos, áreas que antes eram ocupadas por manguezais foram extintas para a instalação do Estaleiro Naval. Eventos de ENMM seriam mais uma preocupação a ser enfrentada por estes pescadores e marisqueiras que direta ou indiretamente dependem deste ecossistema para tirar seu sustento. As projeções apontam que a ENMM ocasionará impactos expressivos no ecossistema manguezal e, consequentemente, poderá causar alterações na distribuição de espécies e afetar a pesca na região (Marengo, 2006).



Figura 5 - Imagens representativas do uso e ocupação da RESEX Baía do Iguape e seu entorno. A: Área preparada para plantio de mandioca; B: Armações de pesca conhecida como camboa (curral de pesca), no fundo da imagem é possível visualizar uma plantação de eucalipto; C: Estaleiro Enseada Paraguaçu (EEP), D: Cidade de Maragogipe no fundo da imagem; E: Áreas de vegetação no entorno dos manguezais; F: Igreja e ruínas do convento de Santo Antônio, na comunidade de São Francisco do Paraguaçu, no município de Cachoeira, no entorno da Resex. Fonte: Os autores (2019).

Quanto aos impactos antrópicos que degradam os mangues, estudos realizados por Caldwell (2020), para o sul da Flórida, revelam que os manguezais estão mais expostos às ações do chamado “desenvolvimento” do que dos impactos de aumento do nível do mar. De acordo com Caldwell (2020), houve uma diminuição de 42% da área de mangue no sul da Flórida, entre 1961 e 2017. Nas pesquisas de campo foi constatado pela pesquisadora três vetores responsáveis pela degradação do mangue da região: poluição, espécies invasoras e aumento do nível do mar. Os resultados da pesquisa apontaram que a maioria das alterações no ecossistema foi devido ao chamado “desenvolvimento”, no entanto, 11% da mudança foi devido ao crescimento do pinheiro australiano e 2% devido à perda da linha de costa.

Woodroffe et al. (2016), em seus estudos, constataram que os manguezais têm capacidade de suportar taxas moderadamente altas de aumento relativo do nível do mar. Estes estudos levam à conclusão que os manguezais estão mais vulneráveis às pressões humanas que aos eventos de ENMM, as ações antrópicas, esse é o principal responsável pelo declínio dos manguezais mundialmente. Para confirmar esta conclusão, em 2009, a RESEX teve seus limites modificados via Medida Provisória 462/2009, para receber o estaleiro Enseada Paraguaçu (EEP), (Mapa de Conflitos, 2021).

Na simulação também foi possível notar os possíveis impactos da ENMM sobre a vegetação da área de estudo, inicialmente, a vegetação correspondia 294 ha, no final da simulação passou a 188 ha, uma redução de 106 ha. A área antropizada foi a menos impactada levando em consideração os demais usos e ocupação, no início da simulação possuía uma área de 1614 ha, no final da simulação tinha uma área correspondente a 1595 ha, uma diminuição de 19 ha. Esses dados podem auxiliar no planejamento ambiental destes locais.

Na Figura 6, pode-se observar a expansão urbana como um dos principais obstáculos de migração dos manguezais. Em 2014, foi publicada a primeira pesquisa brasileira voltada a simular os impactos de elevação do nível médio do mar sobre os manguezais, Bezerra (2014) desenvolveu o BR-MANGUE, com o objetivo de modelar os impactos

do aumento do nível do mar no ecossistema manguezal. A pesquisa teve como foco a Ilha do Maranhão, nesse estudo, o pesquisador concluiu que a ocupação humana intensifica os impactos negativos da ENMM, estes atuam como fatores que inviabilizam a migração do mangue para o continente (Bezerra, 2014). Esse pensamento corrobora com os resultados obtidos para a RESEX Baía do Iguape. Estudos de modelagem realizados para os manguezais da China apresentam este mesmo padrão, ou seja, as modelagens apresentam um cenário de migração dos manguezais para o continente, no entanto, aproximadamente 40% das áreas de mangue simuladas estariam ao lado de lagoas de aquicultura, terras cultivadas e artificiais, o que pode restringir a expansão do mangue (Wang et al., 2022).

Na Flórida, Doyle, Girod e Books (2003) utilizaram o modelo SELVA-MANGRO, este modelo foi desenvolvido para simular a dinâmica e distribuição dos mangues do sul da Flórida. O SELVA é um modelo espacial explícito de análise de vegetação que rastreia as mudanças previstas no meio biótico e abiótico. Recentemente, na Flórida, os pesquisadores Kh'ng, Teh e Koh (2021) utilizaram o modelo MANTRA para modelar os impactos de ENMM, no Everglades, Flórida.

Apesar do uso de distintas metodologias utilizadas para simular ou modelar os possíveis impactos do aumento nível do mar sobre os manguezais, as metodologias levam a resultados semelhantes. Os estudos realizados até o momento sobre a temática revelam que a tendência do ecossistema manguezal frente ao processo de ENMM é expandir para o continente, se não houver barreiras que inviabilize esta expansão e mostra tendência a ser resistente aos efeitos de ENMM (Kh'ng, Teh e Koh, 2021; USGS, 2003; Woodroffe et al., 2016).

Estes estudos da variação de maré tornam-se importante à divulgação dos possíveis impactos que podem ocorrer nas zonas costeiras, por isso, é de extrema importância o mapeamento dos efeitos decorrentes do aumento do nível médio do mar, principalmente para o conhecimento dos órgãos competentes (Santos, et al., 2019).

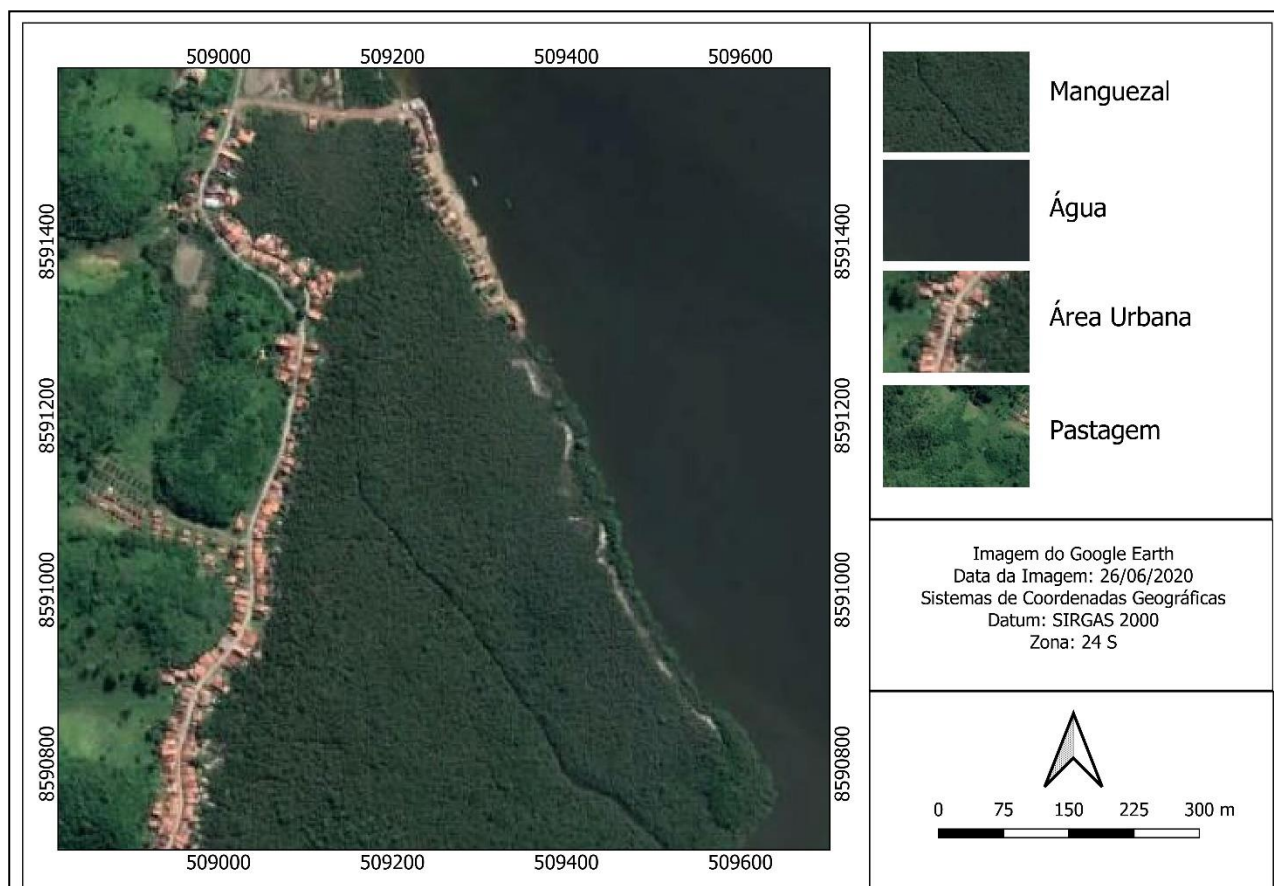


Figura 6 – Barreiras antrópicas para a migração dos manguezais para o continente, RESEX Baía do Iguape, município de Maragogipe-BA. Elaboração: Os autores (2022).

Conclusão

Nesta conjuntura, as simulações ambientais são fundamentais na busca de compreender os padrões de respostas do manguezal ao possível evento de ENMM, sobretudo em áreas de uso e ocupação complexas onde há uma intensa ocupação e exploração antrópica, permitindo gerar diagnósticos e prognósticos para um melhor gerenciamento do espaço costeiro, auxiliando no desenvolvimento de estratégias de adaptações frente aos eventos de ENMM.

Os manguezais na RESEX Baía do Iguape tendem a sofrer declínio nos primeiros 20 anos de elevação do nível médio do mar, posteriormente, a simulação demonstra que o mangue tende a resistir aos eventos de ENMM. A migração dos

manguezais está condicionada aos usos e ocupação do espaço em investigação, áreas com usos complexos como foram observados na RESEX Baía do Iguape, sofrerão limitações para a expansão dos manguezais para o continente.

Estudos de simulações também são importantes para as comunidades pesqueiras que direta ou indiretamente dependem deste ecossistema para a realização de suas atividades de pesca e mariscagem, esses resultados possibilitam estas comunidades a buscar estratégias de adaptação ao aumento do nível do mar. O uso de técnicas de simulações é fundamental para prever e entender os possíveis impactos antes que os mesmos ocorram.

Referências

Barbosa., D., L., S., Almeida., K., S., Júnior., E., L., S., Morais., R., C., S., Iwata., B., F., 2021. Padrões espaciais e usos da terra em manguezais

do delta do Parnaíba. Revista Brasileira de Geografia Física 14, 3881-3890.

Basáñez-Muñoz, A.D.J., Jordán-Garza, A.G., Serrano, A., 2021. Forest Structure and Projections of *Avicennia germinans* (L.) L. at Three Levels of Perturbation in a Southwestern

- Gulf of Mexico Mangrove. *Forests* 12, 989. <https://doi.org/10.3390/f12080989>.
- Bezerra, D.S., Araújo, N.A., 2019. Simulação de Inundação em uma Bacia Hidrográfica Costeira. *Journal of Applied Hydro-Environment and Climate*, 1, -24. Disponível em: <https://jahec.ufra.edu.br/index.php?journal=JAHEC&page=article&op=view&path%5B%5D=9&path%5B%5D=5>. Acesso em: 5 maio 2020.
- Bezerra, D.S., 2014. Modelagem da dinâmica do manguezal frente à elevação do nível do mar. São José dos Campos, Tese (Doutorado em Ciência do Sistema Terrestre) – INPE.
- Bezerra, D.S., Amaral, S., Kampel, M., 2013. Impactos da elevação do nível médio do mar sobre o ecossistema manguezal: a contribuição do sensoriamento remoto e modelos computacionais. *Ciência e Natura*. 35. 152-162. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/articloe/view/12569>.
- Bezerra, D.S., Brito, V.G., Costa, V.R.M., Farias, M.F.L., 2017. Procedimentos de simulação computacional da elevação do nível do mar como ferramenta para tomada de decisão na Zona Costeira Brasileira. 14º Congresso Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.meioambientepocos.com.br/anais-simposio/anais-simposio/trabalhos/398.pdf>. Acesso em: 10 Out. 2020.
- Caldwell, K., 2020. Sea Level Rise Vulnerability Analysis of Mangrove Ecosystems Using GIS. Master's thesis. Nova Southeastern University. Retrieved from NSU Works. (526) https://nsuworks.nova.edu/occ_stuetd/526. Acesso em: 5 jan. 2022.
- Doyle, T.W., Girod, G.F., Books, M.A., 2003. Modeling mangrove forest migration along the southwest coast of Florida under climate change. Gulf Coast Climate Change Assessment Council (GCRCC) and Louisiana State University (LSU) Graphic Services. Disponível em: <http://www.climateimpacts.org/us-climate-assess-2000/regions/gulf-coast/gulfcoast-chapter12.pdf>. Acesso em: 5 out. 2020.
- Duarte, T.L.S., Rezende, V.A., 2019. Degradação dos manguezais em Aracaju/SE (Brasil): impactos socioeconomicos na atividade de catador do caranguejo-uçá (*Ucides cordatus*). *Revista Brasileira de Meio Ambiente*. V. 7, n.1. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3522468>.
- Kh'ng, X.Y. Teh, S.Y., Koh, H.L., 2021. Modeling Sea Level Rise Impact on Coot Bay Hammock, Florida Everglades. *International Journal of Mathematics and Computer Science*, 16, no. 3, 989–1001. Disponível em: <http://ijmcs.future-in-tech.net/16.3/R-Kh'ng-Teh-Koh.pdf>. Acesso em: 05 Jan. 2022.
- Wilson, R., 2017. Impacts of Climate Change on Mangrove Ecosystems in the Coastal and Marine Environments of Caribbean Small Island and Developing States (SIDS). *Science Review*. p. 60-82. 7. Disponível em: https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/607715/7.Mangroves_combined.pdf. Acesso em: 12 Jan. 2022.
- Khan, A.S.; Ramachandran, A.; Palanivelu, K.; Selvam, A., 2016. Climate change induced sea-level rise projections for the Pichavaram mangrove region of the Tamil Nadu coast, India: A way forward for framing time-based adaptation strategies. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*. Vol. 45(2), February, p. 296-303. Disponível em: <http://59.160.153.188/library/sites/default/files/IJMS%2045%282%29%20296-303.pdf>. Acesso em: 15 Jan. 2022.
- Ghosh, M.K.; Kumar, L.; Langat, P.K., 2019. Geospatial modelling of the inundation levels in the Sundarbans mangrove forests due to the impact of sea level rise and identification of affected species and regions. *Geomatics, Natural Hazards And Risk*, 10, 1028–1046. <https://doi.org/10.1080/19475705.2018.1564373>. Acesso em: 05 Jan. 2022.
- Godoy, M.D.P. Lacerda, L.D., 2015. Mangroves Response to Climate Change: A Review of Recent Findings on Mangrove Extension and Distribution. *An Acad Bras Cienc*. 87 (2). Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201520150055>. Acesso em: 10 Jan. 2022.
- Gruber, N.L.S, Barboza, E.G., Nicolodi, J.L., 2003. Geografia dos Sistemas Costeiros e Oceanográficos: Subsídios para Gestão Integrada da Zona Costeira. Gravel, Porto Alegre. https://www.ufrgs.br/gravel/1/Gravel_1_07.pdf. Acesso em: 10 Jan. 2022.
- Gilman, E.H., Ellison, J., Coleman, R., 2007. Assessment of mangrove response to projected relative sea-level rise and recent historical reconstruction of shoreline position. *Environmental Monitoring and Assessment*, 124, 105-130.
- ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Reserva Extrativista Baía do Iguaçu. 2017. Disponível em:

- <https://uc.socioambiental.org/pt-br/arp/2584>. Acesso em: 10 Jan. 2022.
- IPCC, Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 151p.
- IPCC. Impactos Regionales del Cambio Climático: Evaluación de la Vulnerabilidad. Resumen para responsables de políticas. Informe Especial del IPCC. Zimbabwe. IPCC. 1997. 17p.
- Iwama, A.Y., Batistella, M., Ferreira, L.C., 2014. Riscos geotécnicos e vulnerabilidade social em zonas costeiras: desigualdades e mudanças climáticas. *Ambiente & Sociedade*. São Paulo v. XVII, n. 4 p. 251-274.
- Lacerda, L.D., Menezes, M.O.T., & Molisani, M. M., 2004. Changes in mangrove extension at the Pacoti River estuary, CE, NE Brazil due to regional environmental changes between 1958 and. *Biota Neotropica* Sep/Dez 2007 vol. 7, no. 3. Disponível em: <http://www.biotaneotropica.org.br/v7n3/pt/abstract?article+bn00807032007>. Acesso em: 12 Jan. 2022.
- Lymburner, L. Bunting, P. Lucas, R. Scarth, P. Alama, I. Phillips, C. Ticehurst, C. Held, A., 2020. Mapping the multi-decadal mangrove dynamics of the Australian coastline. *Remote Sensing of Environment* 238. 111852. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425719301890?via%3Dihub>.
- Mapas de Conflitos: Injustiça ambiental e saúde no Brasil. Quilombolas e comunidades tradicionais lutam contra prejuízos causados por UHE Pedra do Cavalo. 2021. Disponível em: <http://mapadeconflitos.ensp.fiocruz.br/conflito/quilombolas-e-comunidades-tradicionais-lutam-contraprejuizos-causados-por-barragem/>. Acesso: 30 jan. 2022.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. 2013. Base de Dados. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/seguranca-quimica/cartas-de-sensibilidade-ao-oleo/atlas,-cartas-e-mapas.html>. Acesso em: 10 de set. 2021.
- Mota, T.A, Rocha, S.S, Barreto, N.S.E., 2020. Caranguejo-uçá: bioecologia, pesca e conservação. In: Bagaldo, A. R.; Ribeiro, O. L. Perinotto, W. M. S. (Orgs.) *Ciência animal em debate*. Cruz das Almas, BA: EDUFRB, 2020. P. 175-197.
- Marengo, J.A., 2006. Mudanças Climáticas Globais e seus Efeitos sobre a Biodiversidade, Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/imprensa/_arquivos/livro%20completo.pdf. Acesso em: Set. 2020.
- Miguens, A.P., 1996. Navegação: a ciência e a arte, volume I: Navegação Costeira, Estimada e em águas restritas.
- Muslim, T., O., Ahmed, A., N., Malek, M.A., Afan, H.A., Ibrahim, R., K.; El-Shafie, A., Sapitang, M., Sherif, M., Sefelnasr, A., EL-Shafie, A., 2020. Investigating the Influence of Meteorological Parameters on the Accuracy of Sea-Level Prediction Models in Sabah, Malaysia. *Sustainability*, 12.
- Nguyen, H.T.T., Hardy, G.E.S., LE, T.V., Nguyen, H.Q., Nguyen, H. H., Nguyen, T.V., Dell, B., 2020. Mangrove Forest Landcover Changes in Coastal Vietnam: A Case Study from 1973 to 2020 in Thanh Hoa and Nghe An Provinces. *Forests*. 2021, 12, 637. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/f12050637>.
- Oliveira, J. Souza, R.M., Sobral, I.S, 2017. A carcinicultura marinha e seus impactos no manguezal do Vaza-Barris em São Cristóvão-SE. *REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA* Fortaleza, Brasil, 11, 30-45, ISSN: 1982-5528. Disponível em: <http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/422>. Acesso em: 10 Jan. 2022.
- Rojas, O., Mardones, M., Martínez, C., Flores, L., Sáez, K., Araneda, A., 2018. Flooding in Central Chile: Implications of Tides and Sea Level Increase in the 21st Century. *Sustainability*, 10, 4335; doi: 10.3390/su10124335.
- Santos, S.S.C., Araújo, E.D.A., Souza, M.S., 2021. Análise dos Tensores Antropogênicos dos Mangues no Complexo Estuarino Real- Piauí-Fundo, sul de Sergipe, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 14, 1690-1706. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/245203/38885>. Acesso em: 28 Dez. 2021.
- Santos, E., Fook, K.D., Santos, A.L.S., Borges, H.P., Bezerra, D.S., Conceição, D.V., 2019. Raposa View: Ferramenta para visualização 3D de cenários de inundação. In: SANTOS, A. L. S.; (Orgs.) *Dinâmica Espacial de Manguezais*. Curitiba, Editora Íthala. P. 123-143.
- Souza, A.P.S., Souza, I.S., Olavo, G., Lobão, J.S. B., São José, R.V., 2019. Mapeamento e identificação de vetores responsáveis pela supressão do manguezal na Zona Costeira do

- Baixo Sul da Bahia, Brasil. Revista Brasileira de Geografia Física. 12, 2503-2521. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/241663>. Acesso em: 12 dez. 2021.
- Souza, A.P.S., Souza, I.S., Olavo, G., Lobão, J.S. B., São José, R.V., 2021. Detecção remota do avanço da carcinicultura sobre os manguezais na Bahia: estudo de caso nas comunidades de São Francisco e Barra dos Carvalhos, município de Nilo Peçanha. Revista Brasileira de Geografia Física. 14, 2242-2252. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/244500>.
- Souza, I.S. Geotecnologia aplicada ao estudo das artes fixas da pesca artesanal na zona costeira do Baixo Sul da Bahia e Recôncavo Baiano. Feira de Santana- BA. Dissertação (Mestrado em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente) -Programa de Pós -Graduação em Modelagem em Ciências da Terra e do Ambiente, Universidade Estadual de Feira de Santana.
- Tomaz, R.B., Santos, A.L.S., Borges, H.P.; Silva Júnior, C.H.L., Bezerra, D.S., 2019. Predicting the impacts of sea-level rise on the Amazon macrotidal mangrove coast. Revista Brasileira de Climatologia. ISSN: 2237-8642 (Eletrônica). Ano 15 – Vol. 25. <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/60891>. Acesso em: 20 Jan. 2021.
- Tomaz, R.B., 2018. Simulação dos impactos da elevação do nível do mar na costa de manguezais de macromarés da Amazônia Maranhense. São Luís. Tese (Mestrado em Meio Ambiente
- Wang, Y., Dong, P., HU, W., Chen, G., Zhang, D., Chen, B., Lei, G., 2022. Modeling the Climate Suitability of Northernmost Mangroves in China under Climate Change Scenarios. Forests 13, 64. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1999-4907/13/1/64/pdf>. Acesso em: 12 Jan. 2022.