



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 639

**FORÇANTES NATURAIS E ANTRÓPICAS SOBRE OS
MANGUEZAIS DE SALINÓPOLIS-PARÁ**

Dissertação apresentada por:

IZABELLE CAROLINE GOES SERRÃO

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Cancela Lisboa Cohen (UFPA)

BELÉM – PARÁ
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

S487f Serrão, Isabelle Caroline Goes.
Forçantes naturais e antrópicas sobre os manguezais de
Salinópolis - Pará. / Isabelle Caroline Goes Serrão. — 2023.
xiii, 42 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcelo Cancela Lisboa Cohen
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em
Geologia e Geoquímica, Belém, 2023.

1. Sensoriamento remoto. 2. Manguezal. 3. Expansão
populacional. 4. Salinópolis. 5. Amazônia. I. Título.

CDD 621.3678098115



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

FORÇANTES NATURAIS E ANTRÓPICAS SOBRE OS MANGUEZAIS DE SALINÓPOLIS-PARÁ

Dissertação apresentada por:

IZABELLE CAROLINE GOES SERRÃO

**Como requisito parcial à obtenção de Grau de Mestre em Ciências na Área de
GEOLOGIA e Linha de Pesquisa GEOLOGIA MARINHA E COSTEIRA.**

Data de Aprovação: 05 / 10 / 2023

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marcelo Cancela Lisboa Cohen
(Orientador – UFPA)

Prof. Dr. José Francisco Berrêdo Reis da Silva
(Membro – MPEG)

Prof. Dr. Marlon Carlos França
(Membro – IFES)

Dedico à toda minha família e amigos, todos que estiveram envolvidos como apoio emocional e acadêmico, à Deus e Nossa Senhora.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me dar a vida, saúde e consciência, me permitindo ultrapassar todos os obstáculos, barreiras e medos encontrados ao longo da realização deste trabalho.

Aos meus pais, sempre incansáveis e dispostos a tudo por mim e meu irmão. Sem o incentivo e insistência deles, jamais teria conseguido. Minha mãe e minha melhor amiga, por todos os dias repetir que preciso enfrentar meus medos, que sou capaz e por todas as orações. Meu pai, carinhoso, direto e sábio, usou as palavras certas para me levantar. Sem vocês não estaria aqui.

Ao meu esposo, Rafael, fiel companheiro de vida, com quem dividi todo o processo e me ajudou a passar por momentos tenebrosos, segurando minha mão a cada passo. Pela sua tolerância, pelo seu apoio em cada triunfo e cada fracasso, por me dar força para seguir meu objetivo e me recordar todos os dias que eu sou capaz. Obrigada por todas as vezes em que ajudou a tornar meus sonhos realidade, preserve esse coração maravilhoso. À minha sogra, por todas as orações.

Ao meu irmão, meu segundo pai e maior exemplo de pessoa e profissional, por tanto me incentivar, apoiar e ajudar. À minha cunhada, Luiza e à minha sobrinha Cecília, luz das nossas vidas.

À toda minha família, minha base. Aos meus avós, *in memoriam*, pela contribuição na formação do meu caráter.

Ao meu orientador Professor Dr. Marcelo Cohen, pela ajuda, conselhos, orientações e pela paciência.

À Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, PPGG e ao Laboratório de Dinâmica costeira e colegas: Sérgio, Ericka, Nauza, Fernando, Bettina, Júlian e Sérgio Molano

A CAPES, pela concessão de bolsa de estudo. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior e o apoio do projeto "Impactos das mudanças climáticas nos manguezais austrais e boreais do continente americano" CNPq - Processo:307497/2018-6

Aos meus amigos, sempre companheiros, dispostos a me ajudar e apoiar: Rafael, Hellen, Rayssa, Alan, Acácio, João Paulo, Gabriel e Taynara.

RESUMO

Os manguezais se destacam pela sua resiliência e pelo importante papel no equilíbrio ambiental, porém, globalmente, as áreas de manguezais têm sofrido perdas em torno de 35% entre 1980 e 2000, causadas por mudanças nos gradientes de salinidade, ação das ondas e correntes, variação do nível relativo do mar e expansão urbana. A zona costeira brasileira está distribuída em 395 municípios, entre eles Salinópolis, localizado no litoral paraense, com ampla ocorrência de manguezais que também tem apresentado degradações. Para investigar os principais agentes controladores da dinâmica natural e antropogênica dos manguezais em Salinópolis, foram utilizadas imagens de satélites Landsat, Quickbird e de drone. Esses dados permitiram individualizar as unidades de vegetação e geomorfologia entre 2009 e 2019. Levantamento aerofotogramétrico baseado em dados de drone entre Fev/2019 e Set/2019 viabilizou a identificação das mudanças na topografia das planícies de maré e falésias. Esses dados indicaram um aumento nas áreas de manguezais em torno de 104 ha entre 2009 e 2017. No entanto, houve perda dessa floresta em torno de 52,3 ha entre 2017 e 2019, quando houve um aumento das invasões em zonas costeiras. A zona que compreende a chamada “Praia do Maçarico” apresentou perdas de manguezais em torno de 15,2 e 28,8 ha no período de 2010 - 2017 e 2017 – 2019, respectivamente. Na zona do Atalaia, ocorreu uma perda em torno de 23,5 ha entre 2017 e 2019. A expansão dos manguezais ocorreu sobre planícies costeiras mais elevadas (~2.8 m acima do nível médio do mar), distante da intervenção humana, e provavelmente causada pelo aumento do nível relativo do mar. Entretanto, a retração das áreas de manguezais ocorreu principalmente devido a expansão urbana não regulamentada sobre as planícies de maré mais elevadas. Além disso, a análise espaço-temporal indicou erosão na falésia do Maçarico, com recuo do topo da falésia de até 20 m entre Fev/2019 e Set/2019. No ano de 2022 houve uma obra de infraestrutura urbana nessa zona com aporte sedimentar para tentar estabilizar a falésia. Deve ser destacado que o material erodido da falésia causou um aumento de até 1 m na planície de maré próximo a base da falésia, onde ocorre alguns manguezais causando o soterramento das suas raízes e a morte dessas árvores. Os dados mostraram que as intervenções na costa com manguezais têm causado perdas nas áreas dessas florestas que tendem a migrar para setores topograficamente mais elevados por causa do aumento do nível relativo do mar, caracterizando um conflito entre a atual tendência de expansão desse ecossistema e as intervenções antrópicas na costa. A costa de Salinópolis com grau de vulnerabilidade entre muito alto (4,6) e alto (3,6) necessita da inclusão de projetos com uma análise quali-quantitativa da interação das

principais características dessa área (p.ex. geomorfologia, gradientes topográficos da costa, amplitude de maré, vegetação, ângulo e velocidade de ação das correntes e escoamento superficial das águas da chuva) antes da implementação de obras na costa de Salinópolis.

Palavras-chave: sensoriamento remoto; manguezal; expansão populacional; Salinópolis; Amazônia; Nordeste paraense.

ABSTRACT

Mangroves stand out for their resilience and important role in environmental balance. Still, globally, mangrove areas have suffered losses of around 35% between 1980 and 2000, caused by changes in salinity gradients, wave and current action, relative sea level changes and urban expansion. The Brazilian coastal zone is distributed in 395 municipalities, among them Salinópolis, located on the Paraense coast, with a wide occurrence of mangroves that have also presented degradation. A spatial-temporal analysis based on Landsat, Quickbird and drone images was used to investigate the main forces driving the natural and anthropogenic mangrove dynamics in Salinópolis. These data allowed for individualizing the vegetation and geomorphology units between 2009 and 2019. An aerial photogrammetric survey based on drone data between Feb / 2019 and Sep / 2019 enabled the identification of changes in the topography of the tidal flats and cliffs. These data indicated an increase in mangrove areas of around 104 ha between 2009 and 2017 in the study area. However, there was a loss of this forest of approximately 52.3 ha between 2017 and 2019, when there was an increase in unregulated urbanization of coastal areas. The area comprising the so-called “Praia do Maçarico” presented losses of mangroves of around 15.2 and 28.8 ha in 2010 - 2017 and 2017 – 2019 periods, respectively. In the Atalaia area, there was a loss of about 23.5 ha between 2017 and 2019. The expansion of the mangroves occurred over higher coastal plains (~2.8 m above mean sea level), distant from human intervention, and probably caused by a relative sea level rise. However, the retraction of mangrove areas occurred mainly due to unregulated urban expansion over the higher tidal flats. In addition, the spatio-temporal analysis indicated erosion on the Maçarico cliff, with a retreat from the top of the cliff of up to 20 m between Feb / 2019 and Sep / 2019. In the year 2022 there were urban infrastructure works in this area with new sediment input to try to stabilize the cliff. It should be highlighted that the eroded material from the cliff caused an increase of up to 1 m on the tidal flat near the base of the cliff, where some mangroves occur, causing the burial of their roots and the death of these trees. The data showed that interventions on the coast with mangroves have caused losses in these forest areas that tend to migrate to topographically higher sectors due to the relative sea level rise, characterizing a conflict between the current expansion trend of this ecosystem and anthropogenic interventions on the coast. The coast of Salinópolis, with a vulnerability degree between very high (4,6) and high (3,6) requires the inclusion of projects with a quali-quantitative analysis of the interaction of the main coastal characteristics (e.g. geomorphology, topographic gradients of the coast, tidal

range, vegetation, angle and speed of currents and surface runoff) before implementing works on the Salinópolis coast.

Keywords: remote sensing; mangrove; population expansion; Salinópolis; Amazon; Northeastern Pará.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Mapa de localização contendo o estado do Pará, Salinópolis e em destaque a região de Salinópolis mais densamente povoada que é o foco do trabalho.....	3
Figura 2- Mosaico gerado a partir de imagens de satélite retiradas do Google Earth Pro.	4
Figura 3- A) Ipad com software DJI Ground Station Pro instalado. (B) Drone Phantom 4 Advanced (C) e (D) Antenna Catalyst, GPS de alta precisão para recolecção dos GCPs.	6
Figura 4- Nuvem densa de ponto gerada no software Global Mapper.....	7
Figura 5- Fluxograma demonstrando a metodologia.....	7
Figura 6- Mapa geológico retirado de Jorge, M. (2017) com as unidades geológicas e o arcabouço estrutural principal da região nordeste paraense, em destaque a área do município de Salinópolis.	12
Figura 7- Domínios geomorfológicos do estado do Pará retirado de João et al., 2013 com destaque para Planície Costeira do Nordeste do Pará.....	13
Figura 8: Contexto tectônico regional da região Nordeste Paraense, em destaque o município- de Salinópolis. Fonte: Modificado de Silva 2016.....	14
Figura 9- Mapa mostrando em cinza a região costeira do estado do Pará com destaque para o município de Salinópolis. Fonte: Elaborado pela autora.	15
Figura 10- Mapa da zona costeira paraense subdividida em três setores: Zona costa atlântica do Salgado Paraense, Continental estuarino e a zona Insular Estuarino. Fonte: Elaborado pela autora.	16
Figura 11- Nova orla do Maçarico recém-inaugurada. Fonte: Agência Pará. Foto: Roni Moreira / Ag.Pará.....	17
Figura 12- Imagem retirada do Google Earth do ano de 2009 com destaque para uma região vegetada sendo invadida e ocupada pela população.	18
Figura 13- Modelo digital de elevação da orla do Maçarico com pontos plotados na região da falésia (a, b, c; d) e pontos de controle (e; f) para análise de parâmetros planialtimétricos, além da elaboração do perfil da área com.....	20
Figura 14- A) Perfil gerado a partir da nuvem densa de pontos para o mês 02 de 2019 e B) para o mês 09 de 2019, onde apresentamos o rebaixamento da zona erodida entre 7 meses.....	22

- Figura 15- Perfis gerados através da nuvem de pontos mostrando a diferença entre as alturas causados pela erosão e o recuo que ocorreu no topo da falésia (nesse ponto foi de 18m). Em vermelho é representado perfil de fev/2019 e em azul o perfil de set/2019..... 22
- Figura 16- Imagens de campo retiradas da praia do Maçarico (1,2,3 e 4) mostrando parte dos danos gerados durante o processo de erosão costeira do mês 09/2019. Em 5) a vista em planta com a localização das fotos. 24
- Figura 17- Análise espaço-temporal dos manguezais para os anos de 2009, 2010, 2017 e 2019 apresentando as zonas de retração, expansão e estabilidade, com destaque para uma área de inchaço populacional na região do Maçarico e contração do manguezal e uma região de planície lamosa com leve expansão. 26
- Figura 18- Perfil topográfico relacionando as áreas de expansão urbana e vegetação de manguezal em área periférica do setor do Maçarico. 27
- Figura 19- Imagens retiradas do Google Street mostram a relação de proximidade entre áreas ocupadas por construções de palafita e alvenaria e áreas vegetadas e alagadas no setor do Maçarico. Fonte: Google Street. 28
- Figura 20- A) perfis planialtimétricos gerados a partir de MDE apontam em 1 e 2) regiões onde há o acúmulo de sedimento e diminuição da vegetação de mangue. (B) Foto de campo mostrando em 3) parte dessa vegetação comprometida por soterramento; (C e D) Imagens de drone apontando em 4 e 5) o perfil da área com destaque para a diminuição visual da vegetação. 29
- Figura 21- Perfis topográficos os meses (A) fevereiro e (B) Setembro de 2019 com a) b) c) e d) indicando regiões da falésia do Maçarico. Em b) o topo e em c) a base da falésia e em d) a planície de inundação. 30
- Figura 22- Análise espaço-temporal dos anos de 2010 e 2019 mostrando zonas de expansão, retração e estabilidade da vegetação de manguezal no município de Salinópolis. 32
- Figura 23- (A) Imagens de alta resolução obtidas através de drone, mostrando a área onde a vegetação encontra-se limitada pelo avanço urbano no setor do Maçarico. Em (B) o perfil planialtimétrico 33

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Valores do índice de Vulnerabilidade costeira geral (IVCG) calculado a partir da média aritmética da classificação dos parâmetros individuais de vulnerabilidade.....	9
Tabela 2- Variáveis e valores atribuídos para a análise do Índice de Vulnerabilidade geral à ação energética do mar em Salinópolis. Fonte Braga et al, 2019 adaptado	9
Tabela 3- Dados do clima dos anos; a temperatura mínima (°C), temperatura máxima (°C), chuva (mm), umidade, dias chuvosos e dados das horas de sol do município de Salinópolis. Fonte: Climatedata.org.....	10
Tabela 4- Pontos plotados de controle da área de estudo com longitude, latitude, altitude, acurácia e erros (Lat. ,Long. Alt e total).....	21
Tabela 5- Resultados obtidos para cada parâmetro de vulnerabilidade para o cálculo de IVGC.....	23
Tabela 6- Parâmetros atribuídos para os setores da praia e falésia do Maçarico e a obtenção do Índice de Vulnerabilidade Costeira geral (IVCG).....	23
Tabela 7- Valores obtidos a partir da análise espaço-temporal das áreas dos manguezais nos setores do Maçarico e Atalaia em hectares.	25
Tabela 8- Áreas que apresentaram diferenças entre os anos de 2010 e 2019.....	32

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	x
LISTA DE TABELAS	xii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 APRESENTAÇÃO.....	1
1.2 ÁREA DE ESTUDO	2
1.3 OBJETIVO	3
1.4 MÉTODOS.....	4
1.4.1 Análise Espaço-Temporal	4
1.4.2 Nuvem De Pontos 3D	5
1.4.3 Índice de Vulnerabilidade	8
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	10
2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO, GEOMORFOLÓGICO E CLIMÁTICO.....	10
2.2 EVOLUÇÃO GEOLÓGICA.....	13
2.3 ZONA COSTEIRA, EXPANSÃO URBANA E SALINÓPOLIS	14
3 RESULTADOS	19
3.1 EROÇÃO NA FALÉSIA E PRAIA DO MAÇARICO	19
3.2 RETRAÇÃO E EXPANSÃO DO MANGUEZAIS.....	25
4 DISCUSSÃO DE DADOS	29
5 CONCLUSÃO	35
REFERÊNCIAS	36

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Os manguezais ocorrem nas zonas de intermaré dos trópicos e subtropicais (Spalding *et al.* 2010). Esse ecossistema possui um importante papel no sequestro de carbono da atmosfera, atenuando as emissões antropogênicas de CO₂ para a atmosfera (Akhand, *et al.* 2017), além de servirem de berçário natural para diversas espécies. São fonte de subsistência da população local através dos recursos naturais, pesqueiros e turismo, além de atuar na proteção costeira contra processos erosivos (Ottoni *et al.* 2021, Giri *et al.* 2011, Menezes *et al.* 2008). Entretanto, entre os anos de 1980 a 2000, aproximadamente 35% das florestas de manguezais foram perdidas e sua distribuição afetada principalmente por mudanças nos gradientes de salinidade, ação das ondas e correntes e variação do nível relativo do mar (Neves & Muehe 2008, Reis-Neto *et al.* 2009, Cohen *et al.* 2012, França *et al.* 2013, Cohen *et al.* 2016). Isso pode causar a migração dos manguezais para setores topograficamente mais elevados das planícies costeiras (Cohen *et al.* 2018). Além disso, os manguezais estão ameaçados pela expansão urbana e obras de engenharia, agricultura, carcinicultura, piscicultura (Souza 2014), tendo cerca de 37,8% das florestas de manguezal impactadas por causas antrópicas no mundo (Thomas *et al.* 2017).

Na região Norte, a microrregião do Salgado paraense é composta por 11 municípios ao longo da costa do Pará, totalizando uma área com mais de 5800 km². Entre eles está Salinópolis, que se destaca na Amazônia Atlântica por ser uma cidade muito procurada para veraneio. Com ótima infraestrutura, possui forte especulação imobiliária e apresentou aumento entre 2015 e 2019 de 1200% de trabalhadores contratados no setor de construção (Santos & Costa 2021). Salinópolis também possui cobertura vegetal de manguezais com predominância de três espécies principais: *Rhizophora mangle* L., *Avicennia germinans* e *Laguncularia recemosa* (Proisy *et al.* 2003, Souza *et al.* 2006) que vem sendo impactadas e degradadas pela expansão urbana e aumento populacional, principalmente na periferia e em setores topograficamente mais baixos, como descritos por Cohen *et al.* (2018) para a zona Bragantina, 70 km a sudeste da área de estudo.

Além disso, o município por ser muito procurado para turismo e possuir uma grande visibilidade, recentemente foi realizada uma importante obra na orla do Maçarico. Nesta reforma, uma área de 1.200m da antiga pracinha recebeu 800 metros de calçadas, muro de arrimo que, segundo a Secretaria de Estado de Desenvolvimento e Obras

Públicas (Sedop), tem durabilidade de 10 anos e preserva a área dos efeitos da erosão. A nova orla conta ainda com quadra de tênis, academia, quadra poliesportiva, pracinha e intervenções urbanísticas. Foram gastos em torno de 56 milhões nessa obra. No entanto, no início de fevereiro de 2023 foi noticiado que a orla sofreu danos devido as chuvas.

O sensoriamento remoto permite o monitoramento e gestão ambiental que pode ser usado para rastrear mudanças no uso da terra e cobertura vegetal, ajudando a identificar áreas em risco à degradação ambiental. É uma técnica de obtenção de imagens por satélite que usa a radiação solar refletida pela superfície da Terra captada pelo sensor remoto. Para o estudo e diagnóstico sobre as tendências de migração dos manguezais diante das adversidades aos quais estão sujeitos, o sensoriamento remoto via imagens de satélite e drone permite a análise espaço-temporal e avaliação dessas mudanças. A aerofotogrametria por drone contribui para o monitoramento de áreas costeiras ameaçadas pela erosão, pressionadas pela urbanização e áreas que apresentam crescimento ou retração da vegetação com custo mais baixo, maior velocidade, em escala mais ampla do que as medições de campo (Pham *et al.* 2019). Essas técnicas são eficientes para mapear e monitorar os manguezais devido às suas assinaturas espectrais, permitindo a interpretação sobre a distribuição e mudanças ocorridas nas unidades de vegetação costeira (Oliveira 2018, Maia *et al.* 2005).

1.2 ÁREA DE ESTUDO

As áreas estudadas estão localizadas no Município de Salinópolis, inserido na mesorregião do Nordeste paraense, microrregião do Salgado, cujas coordenadas geográficas são: 00°36'49'' sul e a uma longitude 47°21'22" oeste. O acesso é feito através de carro, viagem que dura em torno de 3h30 ou mais, ou avião com voos diretos de cerca de 1h30 saindo do aeroporto de Belém (BEL) para o aeroporto de Salinópolis (OPP). De carro a rota se dá pela rodovia BR 316, acessando a rodovia PA-324 e posteriormente PA-124 até Salinópolis, distante 230 Km da capital paraense. O mapa de localização do município é apresentado na figura 1.

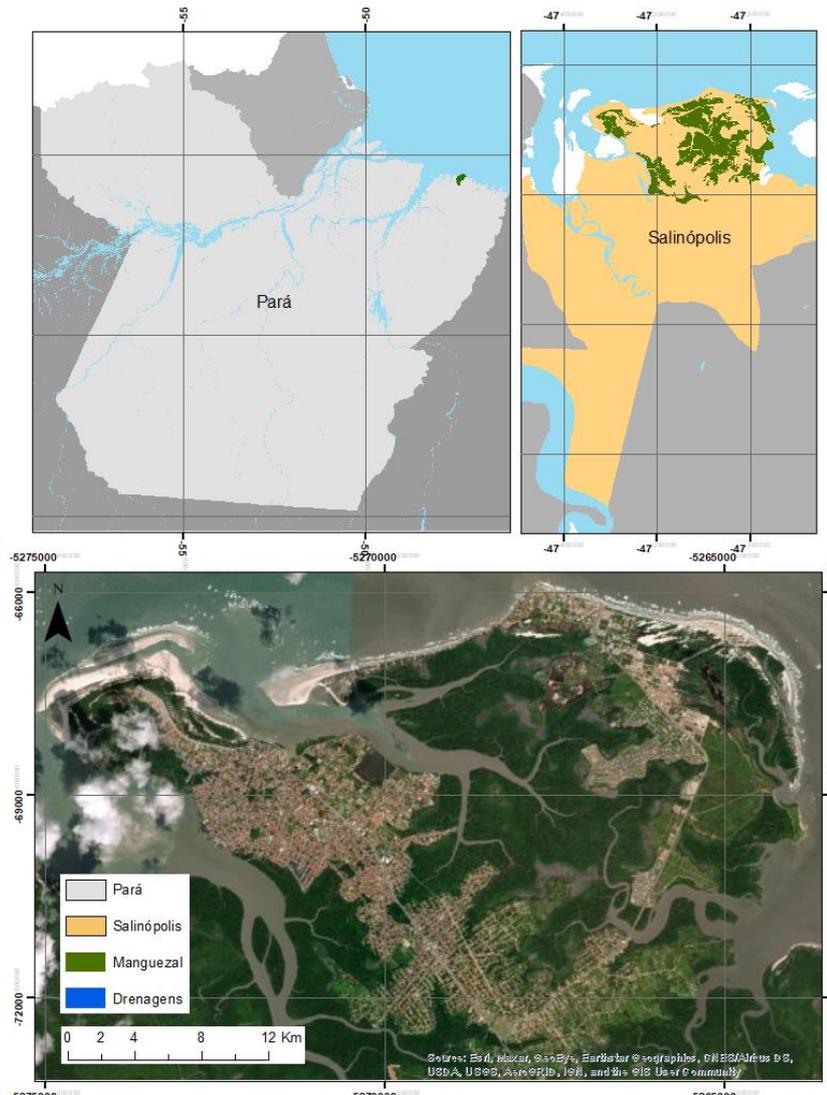


Figura 1- Mapa de localização contendo o estado do Pará, o município de Salinópolis e em destaque a região de Salinópolis mais densamente povoada que é o foco do trabalho.

1.3 OBJETIVO

O principal objetivo deste trabalho é analisar o conflito entre a expansão urbana de Salinópolis para o interior das planícies de maré e a dinâmica dos manguezais nas últimas décadas. Para alcançar esse objetivo foi necessário: 1) individualizar as unidades de vegetação; 2) determinar áreas com expansão e contração dos manguezais; 3) definir zonas com expansão urbana; e 4) comparar os resultados obtidos com a topografia da planície costeira.

1.4 MÉTODOS

1.4.1 Análise Espaço-Temporal

Imagens de satélite Landsat e Quickbird foram usadas para a análise espaço-temporal, geração dos mosaicos e individualização de unidades de vegetação através do software Global Mapper 18. Com a utilização do software ArcGis 10.5, disponível no Laboratório de Dinâmica Costeiras (LADIC), foi elaborado um mapa de ocorrência dos manguezais em diferentes anos. Imagens de satélite Landsat e Quickbird foram adquiridas gratuitamente no catálogo de imagens do Google Earth (Oliveira 2017, Pham *et al.* 2019, Ribeiro *et al.* 2009). Imagens dos anos de 2009, 2010, 2017 e 2019 foram usadas. Os mosaicos de imagens foram georreferenciados com base principalmente nas imagens de drone. O georreferenciamento consistiu em atribuir coordenadas geográficas aos mosaicos e alinhá-los com outras fontes de dados espaciais, corrigindo distorções. Para isso, foram usados pontos de controle distribuídos uniformemente pela extensão da imagem, que indicavam a mesma localização em imagens que já estavam georreferenciada, por exemplo imagens de drone. As imagens foram salvas em formato Geotiff. Em seguida, foi realizada a interpretação visual das imagens, comparando as diferentes feições em diferentes anos. A interpretação visual considerou vários aspectos das imagens, como cor, textura, tamanho, forma, padrão, contexto e semelhança (Oliveira 2017, Maurya *et al.* 2021, Ribeiro *et al.* 2009, Ribeiro *et al.* 2012, Vasconcellos 2002). A imagem abaixo mostra os mosaicos gerados da área estudada na região do Maçarico (fig. 2).

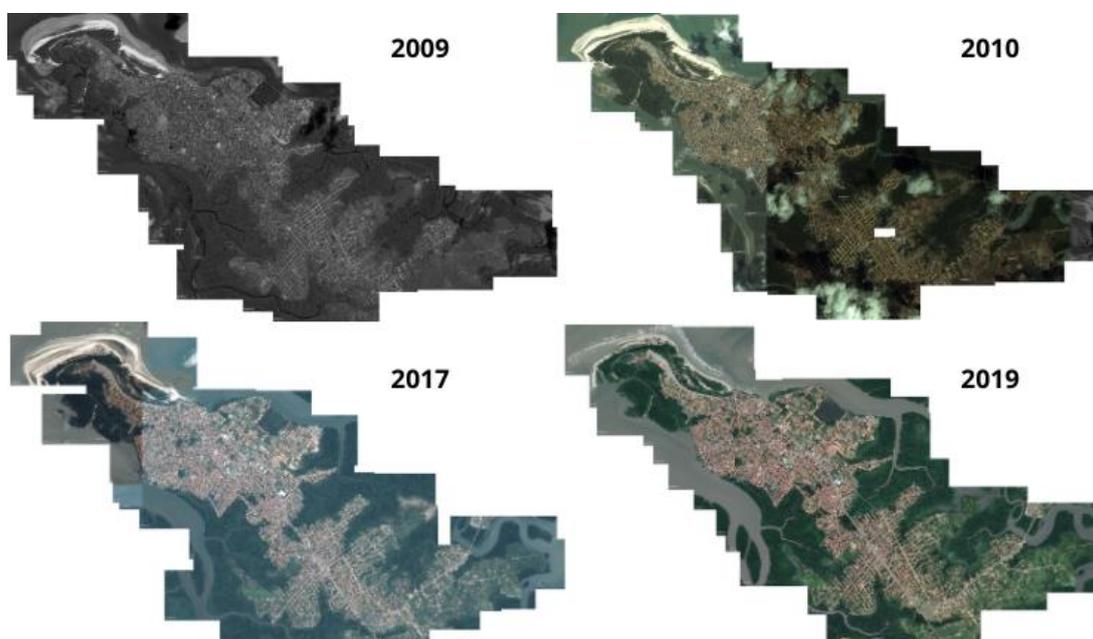


Figura 2- Mosaico gerado a partir de imagens de satélite retiradas do Google Earth Pro.

1.4.2 Nuvem de Pontos 3D

Imagens de alta resolução e dados topográficos foram obtidos durante a realização da fase de campo, ocorrido em duas campanhas em fevereiro de 2019 e setembro de 2019. As imagens foram obtidas através de um drone Phantom 4 DJI com uma câmera digital FC 330 4K/12MP posicionada em um gimbal de movimento compensador, acessório com o objetivo de estabilizar a imagem das câmeras acopladas a eles e calibrada pelo software DJI Assistant 2. As missões do drone foram elaboradas e realizadas através do software DJI Ground Station Pro instalado em um tablet Ipad Air com missões definidas na fase pré-campo e implementadas de forma autônoma com ângulo de câmera de 90° e com superposição de imagens frontal e lateral de 85% e 70%, respectivamente. Os sobrevoos foram executados com 100 m de altitude que permitiram obter resolução de 4 cm/pixel. Imagens coloridas sintéticas acessíveis pelo Google Earth foram usadas como orientação para delimitar as áreas que foram mapeadas pelo drone (Hu & Wu 2013). Cada missão scaneou aproximadamente 0,48 km², com duração entre 15 a 20 minutos, sendo a autonomia de voo do drone é de no máximo 30 minutos. As missões individuais exigiram de 10 a 15% de sobreposição para garantir a qualidade dos dados. As imagens do drone foram processadas usando o Agisoft PhotoScan, que realizou o processamento fotogramétrico de imagens digitais e gerou dados espaciais 3D, nuvem de pontos e ortomosaicos com alto nível de precisão. Os ortomosaicos das duas missões ano de 2019 foram usados na análise de séries temporais (Cohen *et al.* 2018).

O processamento incluiu a geração de nuvem de pontos e de modelos digitais de elevação e validação feita com base na análise dos parâmetros internos e externos que se relacionam com a orientação da câmera no Agisoft Metashape Professional. Este software possibilita definir um sistema de resolução usando dados planimétricos e altimétricos dos GCPs, baseados em uma Antena Trimble Catalyst com um Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) e teodolito. A precisão altimétrica dos GCPs ficou na ordem de 30 cm (fig. 3). Pontos de validação e controle são apresentados nos resultados.



Figura 3- A) Ipad com software DJI Ground Station Pro instalado. (B) Drone Phantom 4 Advanced (C) e (D) Antenna Catalyst, GPS de alta precisão para recolecção dos GCPs.

Após a avaliação dos parâmetros internos e externos de cada imagem pelo software Agisoft PhotoScan, o produto foi uma nuvem de pontos esparsa criada a partir de imagens (4 - 5 Mbs cada imagem). Este software permite configurar o sistema de referência usando as coordenadas dos pontos de controle do solo (GCPs) baseados no GPS, carregados de um arquivo externo. O PhotoScan estima os parâmetros internos e externos de orientação da câmera durante o alinhamento da foto (http://www.agisoft.com/pdf/photoscanpro_1_4_en.pdf). Essa estimativa é realizada usando apenas dados de imagem. A precisão das estimativas finais depende principalmente da sobreposição entre fotos vizinhas e a forma da superfície do objeto. Esses erros levam à deformação não linear do modelo final. Portanto, os GCPs foram usados para melhorar o posicionamento da imagem e os parâmetros internos da câmera para compensar a deformação do modelo não-linear. Os pontos da nuvem foram filtrados da seguinte forma: a) remoção de pontos com localização deficiente para evitar erros de reprojeção altos a fim de aumentar a precisão da etapa de otimização subsequente; b) reconstrução de pontos com alta incerteza de fotos próximas com pequena linha de base para evitar ruído na nuvem de pontos; c) remoção de pontos não confiáveis de baixa precisão da nuvem; e d) filtragem de pontos com baixa projeção devido ao seu tamanho maior (Cohen *et al.* 2018). Para obter uma reconstituição 3D baseada em uma nuvem de pontos com pontos de espaçamento de 3 a 5 cm, uma nuvem de pontos densa foi

executada em alta resolução (fig. 4). Em seguida, pontos de verificação, medidos durante o trabalho de campo com um teodolito e uma antena catalyst foram utilizados para avaliar a precisão da nuvem de pontos densa. Esses pontos de verificação foram posicionados em locais distintos dos GCPs. Uma análise quantitativa baseada nas divergências verticais entre os pontos de verificação do teodolito e as nuvens de pontos densa foi obtida usando a seguinte equação 1:

$$Z_{dif} = Z_{3D} - Z_{grd};$$

Onde, Z_{dif} = diferenças verticais.

Z_{3D} = o valor Z da nuvem de pontos densa.

Z_{grd} = o valor Z do ponto de verificação com base no teodolito.



Figura 4- Nuvem densa de ponto gerada no software Global Mapper



Figura 5- Fluxograma demonstrando a metodologia.

1.4.3 Índice de Vulnerabilidade

O índice de vulnerabilidade costeira é um indicador que avalia o grau de exposição e de sensibilidade das zonas costeiras aos impactos das mudanças climáticas, como a elevação do nível do mar, a erosão, a inundação e a salinização. O IVG é calculado a partir de três componentes: o índice de exposição física (IEF), o índice de sensibilidade socioeconômica (ISE) e o índice de capacidade adaptativa (ICA). O IEF mede a vulnerabilidade física da costa, considerando fatores como a geomorfologia, a topografia, a largura da praia, a taxa de erosão e a taxa de elevação do nível do mar. Já o ISE mede a vulnerabilidade socioeconômica da costa e o ICA mede a capacidade adaptativa da costa.

Para a abordagem da área de estudo, a metodologia usada foi retirada de Braga *et al.* (2019) que apresenta o Índice de Vulnerabilidade Costeira-IVC baseado no índice de exposição física (IEF) a partir das seguintes características físicas: a variação na dissipação de energia das ondas, amplitude de marés semidiúrnas, inclinação do terreno, aspectos geológicos e geomorfológicos e forma fisiográfica.

A determinação do índice de vulnerabilidade geral costeira em Salinópolis foi realizada a partir da caracterização das variáveis apresentadas na Tabela 1, onde a altura das ondas ao longo da costa de Salinópolis varia de 0,6 a 1,2 metros foi retirada de Ranieri & El-Robrini (2016) a geologia e geomorfologia foram confirmadas em campo e análise de sensoriamento remoto, a declividade (DC) e cota topográfica (CT) foram efetuadas a partir da elaboração do Modelo Digital de Terreno (MDT) e a amplitude de maré foram calculados a partir das Tábuas de Marés do Departamento de Hidrografia e Navegação-DHN da Marinha do Brasil. A equação da amplitude de maré é dada por:

Equação 2:

$$P = \frac{1}{8} \cdot \rho g H^2 \cdot \sqrt{g \cdot h}$$

ρ : densidade da água (kg/m³)

g : aceleração gravítica (9,8 m/s²)

H : altura da onda em metros

h : profundidade/batimetria local em metros

O índice de Vulnerabilidade costeira geral (IVCG) foi calculado a partir da média aritmética (eq. 3) da classificação dos parâmetros individuais de vulnerabilidade que são: geomorfologia (GM), geologia (GL), declividade da costa (DC) (%), cota topográfica

(CT) (metros), altura máxima significativa da onda (AO) (m) e amplitude da maré (AM) (m) (Braga *et al.* 2019) obtendo valores classificados em:

Tabela 1- Valores do índice de Vulnerabilidade costeira geral (IVCG) calculado a partir da média aritmética da classificação dos parâmetros individuais de vulnerabilidade.

<i>Muito baixa</i>	<i>Baixa</i>	<i>Moderada</i>	<i>Alta</i>	<i>Muito Alta</i>
$(IVGC \leq 1)$	$(IVGC > 1 e \leq 2)$	$(IVGC > 2 e \leq 3)$	$(IVGC > 3 e \leq 4)$	$(IVGC > 4)$

As variáveis estão descritas na tabela 2 e a equação do índice geral em seguida (Eq. 3).

Tabela 2- Variáveis e valores atribuídos para a análise do Índice de Vulnerabilidade geral à ação energética do mar em Salinópolis.

<i>Variáveis</i>	<i>Muito Baixa 1</i>	<i>Baixa 2</i>	<i>Moderada 3</i>	<i>Alta 4</i>	<i>Muito Alta 5</i>
<i>Geomorfologia (GM)</i>	Costa de falésias alta passivas	Costa de Falésias médias passivas	Costa de Falésias baixas passivas	Costa de falésias ativas	Praias arenosas e planícies de marés
<i>Geologia (GL)</i>	Rochas magmáticas	Rochas metamórficas	Rochas sedimentares	Rochas sedimentares com sedimentos	Sedimentos arenosos ou argilosos
<i>Declividade da costa (DC) (%)</i>	>1,2 Alta declividade	1,2 a 0,9 Alta declividade	0,9 a 0,6 Média declividade	0,6 a 0,3 Baixa declividade	< 0,3 Muito baixa declividade
<i>Cota Topográfica (CT) (metros)</i>	> 30	> 20 ≤ 30	> 10 ≤ 20	> 5 ≤ 10	≤ 5
<i>Amplitude da Maré (AM) (m)</i>	< 1	1 – 2	2 – 4	4 – 6	> 6
<i>Altura significativa da Onda (m) (AO)</i>	<0,55	0,55 a 0,85	0,85 a 1,05	1,05 a 1,25	> 1, 25

Equação 3:

$$IVCG = \frac{GM + GL + DC + CT + AO + AM}{6}$$

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONTEXTO GEOLÓGICO, GEOMORFOLÓGICO E CLIMÁTICO

Grande parte do território paraense está inserido no Domínio Morfoclimático das Terras Baixas Equatoriais da Amazônia, com terras baixas, depressões, planícies aluviais e planaltos como característica principal, além da cobertura extensa da floresta latifoliada equatorial amazônica (Jorge *et al.* 2017).

Com cerca de 54 km de litoral, o município de Salinópolis possui clima quente úmido, que propicia alta precipitação de até 3.300 mm anuais em períodos chuvosos, causado por sistema meteorológico de Zona de Convergência Intertropical. Na tabela 3, são apresentados os dados do clima ao longo do ano, a temperatura mínima (°C), temperatura máxima (°C), chuva (mm), umidade, dias chuvosos (com a média de dados de 1991 – 2021) e dados das horas de sol do município de Salinópolis de 1999 a 2019 (Fernandes 2016, Braga & Pimentel 2019; Site: Climatedata.org).

Tabela 3- Dados do clima dos anos; a temperatura mínima (°C), temperatura máxima (°C), chuva (mm), umidade, dias chuvosos e dados das horas de sol do município de Salinópolis.

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Temp méd. (°C)	26,1	25,6	25,6	26,7	26,1	26,3	26,4	26,9	27,2	27,5	27,6	27
Temp min. (°C)	24,7	24,4	24,4	24,5	24,8	24,8	24,9	25,5	25,7	25,9	26	25,5
Temp max. (°C)	27,9	27,3	27,3	27,4	28	28,3	28,5	29,1	29,6	30	30,1	29,1
Chuva (mm)	298	408	507	459	322	157	114	49	24	19	29	109
Umidade (%)	86%	88%	88%	89%	87%	85%	83%	79%	76%	74%	75%	81%
Dias chuvosos (d)	21	20	22	21	21	19	18	13	6	4	6	15
Horas de sol (h)	7.2	6.5	6.2	6.5	7.3	8.2	8.5	8.5	7.9	8.0	8.2	8.2

De acordo com dados apresentados na tabela, os meses de fevereiro, março e abril tem maior precipitação e dias chuvosos. Os meses menos chuvosos são setembro, outubro e novembro e conseqüentemente, menor número de dias chuvosos. Esses dados são importantes para analisarmos ao longo dos anos pesquisados, a relação entre a clima, precipitação e temperatura e a relação de retração, expansão dos manguezais, além de fenômenos de erosão e acreção.

Geologicamente, essa área é caracterizada por depósitos miocênicos. Tais depósitos se estendem por uma faixa litorânea do Amapá ao Rio de Janeiro tendo ocorrências mais significativas no nordeste do Pará e o litoral do Maranhão. Em

Salinópolis, ocorrem as seguintes formações: Pirabas e Barreiras, além do pós-Barreiras e a cobertura sedimentar recente (Quaternários Pleistocênicos e Holocênicos). A Formação Pirabas tem datação do Neo-Oligoceno/Eomioceno, ocorre descontinuamente nos estados do Pará, Maranhão e Piauí e possui afloramentos dispostos em cortes de estradas, minas a céu aberto e falésias costeiras. A formação possui fácies siliciclásticas (biocalcirruditos, calciarenitos não estratificados e estratificados, margas, folhelhos negros e verdes, biohermitos e calcilutitos) e carbonáticas (wackestones a rudstones, mas também por floatstones e mudstones). Há também presença de dolomitos neomorfizados. As litologias estão ligadas à invasão marinha ocorrida no mioceno. (Távora *et al.* 2010).

Enquanto a Formação Barreiras é datada do Meso a Neomioceno, geograficamente extensa, ocorre do Amapá até o Rio de Janeiro, caracterizada por depósitos siliciclásticos, eólicos e aluvionares e quaternários com variação de cores e granulometria. Nesta Formação, nota-se uma carência de fósseis, porém com boa ocorrência em icnofósseis, que se constituem como elementos auxiliares na caracterização paleoambiental, definindo assembleias típicas de ambientes marinho-transicionais (Rossetti 2006). Essa formação está geneticamente relacionada com a Formação Pirabas, onde é possível observar a passagem de fácies carbonáticas-siliciclásticas para fácies siliciclásticas da Formação Barreiras, caracterizada pela presença de arenitos quartzosos, depósitos heterolíticos, argilitos e conglomerados de colorações negra, verde oliva ou cinza. Ela é bem exposta ao longo do norte da bacia de São Luis, centro-leste da sub-bacia de Cameté na porção leste do Sistema de Graben do Marajó, Bacia de Bragança-Vizeu, e nas plataformas Bragantina e do Pará (fig.6) (Rossetti 2006, Souza Filho *et al.* 2005, Santos Junior 2021).

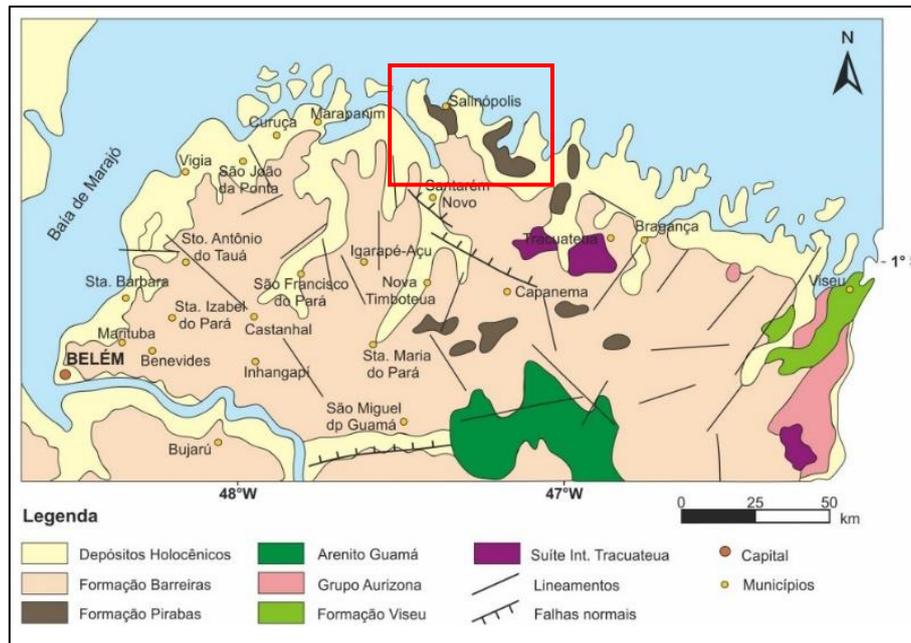


Figura 6- Mapa geológico retirado de Jorge (2017) com as unidades geológicas e o arcabouço estrutural principal da região nordeste paraense, em destaque a área do município de Salinópolis.

A geomorfologia do estado Pará é bastante diversa, com destaque para as planícies de inundação e terraços fluviais das várzeas amazônicas; planaltos e serras modelados em coberturas plataformais ou litologias mais resistentes à erosão tabuleiros e baixos platôs modelados em rochas sedimentares pouco litificadas; superfícies de aplainamento das áreas cratônicas. Essa diversidade permite a divisão do estado em 18 domínios geomorfológicos (fig. 7), a área estudada está inserida na Planície Costeira do Nordeste do Pará. A ampla planície costeira (com até 70 km de largura), o baixo relevo (0 a 80 m) e extensa plataforma continental adjacente (~ 200 km de largura) compõe as características geomorfológica dessa região. O domínio se estende entre as baías de Guajará e Viseu, sendo caracterizado por planície costeira e um conjunto de sistema flúvio-estuarinos, de direção NW-SE, com pontas e reentrâncias, praias, barras arenosas, falésias e planícies lamosas com áreas baixas e inundáveis, dominada por manguezais, ecossistema extremamente produtivos e importantes do ponto de vista ecológico e geográfico. Os afloramentos da formação Pirabas, expostos nas praias do Maçarico, Farol Velho e Atalaia correspondem ao domínio geomorfológico Planalto Costeiro, evidenciado por falésias e reentrâncias. Ocorre também sedimentos holocênicos da planície arenosa com vegetação de restinga e planície lamosa (mangue) (Souza-Filho *et al.* 2005, João *et al.* 2013, Ranieri & El-Robrini 2015).

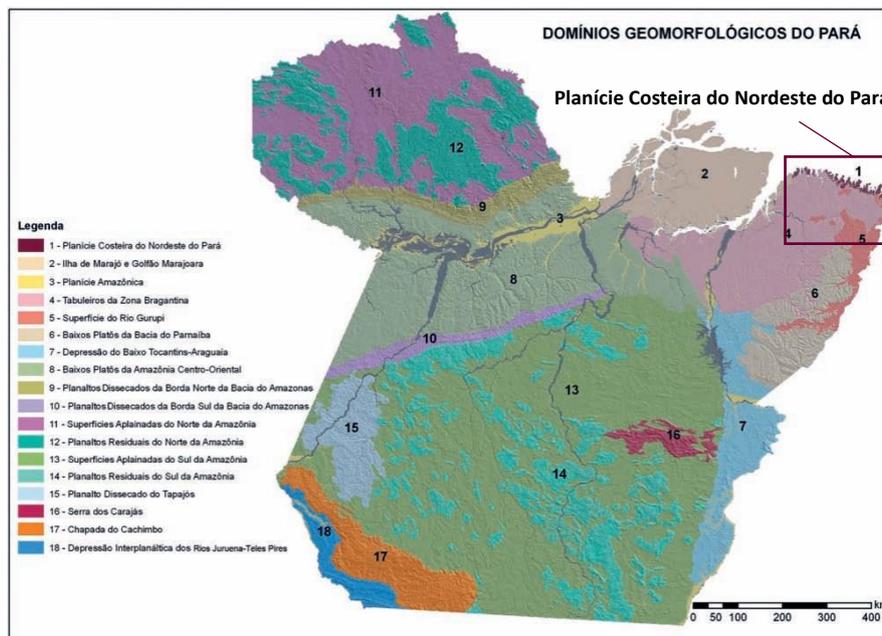


Figura 7- Domínios geomorfológicos do estado do Pará retirado de João et al., 2013 com destaque para Planície Costeira do Nordeste do Pará.

2.2 EVOLUÇÃO GEOLÓGICA

O surgimento da margem Atlântica Equatorial iniciou-se a partir da desagregação do paleocontinente Pangéia, dando origem à bacias sedimentares ao longo da região norte do Brasil. A geologia da área foi afetada por evento estrutural transcorrente (E-W) com falhas normais (NW-SE), formando um sistema de grábens, semigrábens e bacia sedimentares da margem atlântica equatorial (Silva 2016). Foram três estágios de riftiamento, resultando na sedimentação de diversas bacias, tais como: no Neotriásico houve a formação da Bacia da Foz do Amazonas, no Berriasiano formou-se a Bacia do Marajó e no Valangianiano até Aptiano depositou-se as Bacias de Bragança-Viseu, São Luis, Ilha Nova e Barreirinha. Por fim, na terceira fase, formou-se as Bacias de Barreirinhas (final da deposição) e Pará-Maranhão (Silva 2016, Trosdorf Júnior *et al.* 2007). A sedimentação da Formação Pirabas ocorreu durante o desenvolvimento deste contexto tectônico de margem distensiva, caracterizada pela deposição o de sedimentos carbonáticos durante o surgimento do oceano Atlântico e posteriormente, a deposição da formação Barreiras, que mostra a passagem de fácies carbonáticas-siliciclásticas para fácies predominantemente siliciclásticas da Formação Barreiras. Estas unidades encontram-se inseridas na Plataforma Bragantina, nordeste do Pará (Ranieri & El-Robrini

2015, Silva 2016). A figura 8 mostra o contexto tectônico regional nordeste paraense e em destaque o município de Salinópolis.

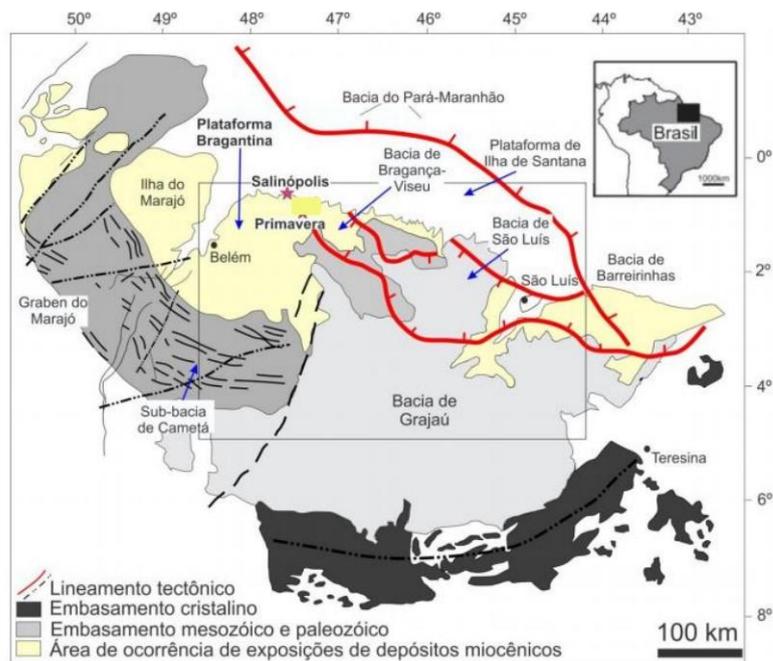


Figura 8- Contexto tectônico regional da região Nordeste Paraense, em destaque o município de Salinópolis. Fonte: Modificado de Silva (2016).

2.3 ZONA COSTEIRA, EXPANSÃO URBANA E SALINÓPOLIS

A Zona Costeira é definida pelo Decreto N° 5.300/2004 como:

Art. 3º - A zona costeira brasileira, considerada patrimônio nacional pela Constituição de 1988, corresponde ao espaço geográfico de interação do ar, do mar e da terra, incluindo seus recursos renováveis ou não, abrangendo uma faixa marítima e uma faixa terrestre.

Ainda no que diz respeito à definição de zona costeira, em 2019 o IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, delimitou o Sistema Costeiro e Marinho, que em sua porção terrestre é determinado por características de solo (geologia e geomorfologia) e vegetação. Portanto, a zona costeira é definida como a área de transição entre o continente e o oceano. De acordo com o Ministério de Meio Ambiente, no Brasil os ambientes costeiros e marinhos, possuem uma diversidade única, com grande variação climática, geomorfológica e oceanográfica causado pela ampla variação latitudinal, se estendendo da foz do rio Oiapoque/AP (04° 52' 45" N) com águas quentes, no norte e nordeste, até a foz do rio Chuí/RS (33° 45' 10" S) geralmente composto por águas frias,

no sul e sudeste. Além disso a zona costeira está em contato com diversos biomas como a Amazônia, Mata Atlântica, Caatinga, Cerrado e Pampa, além de uma grande variação de ambientes e ecossistemas (Gerling *et al.* 2016, Prates *et al.* 2012).

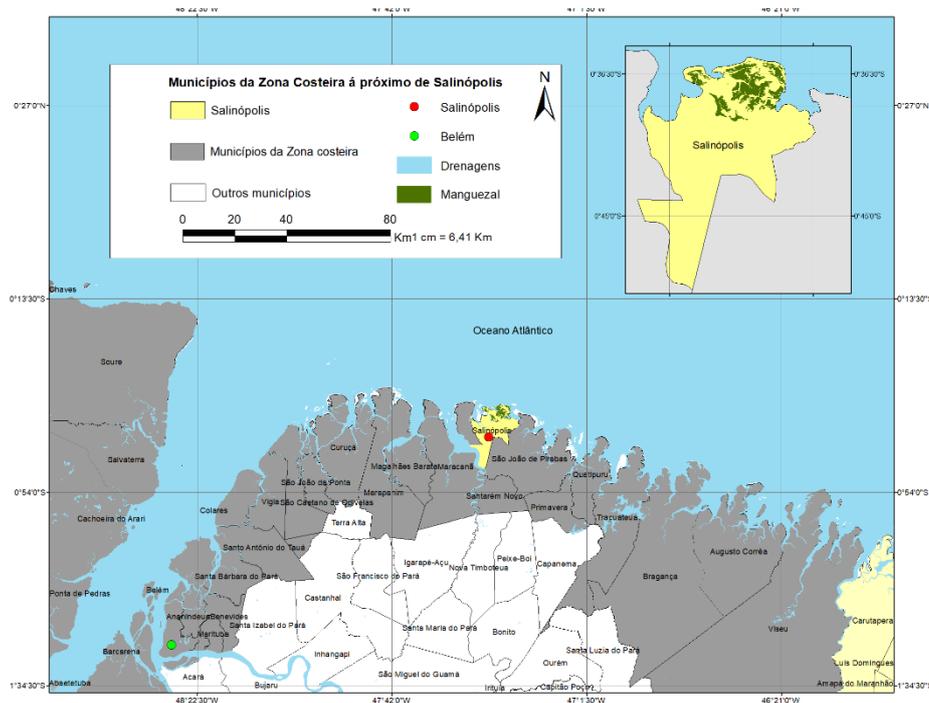


Figura 9- Mapa mostrando em cinza a região costeira do estado do Pará com destaque para o município de Salinópolis. Fonte: Elaborado pela autora.

A zona costeira é um ambiente sensível e muitas vezes suscetível, com diversos ecossistemas importantes e únicos, que fazem dela uma zona de grande valor ambiental, tais como praias arenosas, dunas, restingas, costões rochosos, recifes de corais, falésias, lagunas, estuários, marismas, manguezais. Além disso, é uma área com grande diversidade de espécies animais, com mamíferos aquáticos, peixes, cetáceos e corais. (Prates *et al.* 2012). A costa amazônica apresenta vulnerabilidade ambiental pois tem características físicas que a tornam mais suscetível à ação do mar (fig. 09 e 10). Entre essas características estão: variação na dissipação de energia das ondas, grande amplitude de marés semidiurnas, baixa altura e inclinação do terreno, aspectos geológicos e geomorfológicos e forma fisiográfica, como as “Rias” que corroboram com a suscetibilidade dessa área. Apesar de apresentar partes da costa amazônica conservada, há muitos locais que sofrem com a erosão costeira, que provoca o recuo da linha de costa (Braga *et al.* 2019, Prost *et al.* 2013, França & Souza Filho 2003, Souza Filho 2005, El-Robrini *et al.* 2006). As variáveis para a análise do Índice de Vulnerabilidade à ação energética do mar são: Geomorfologia (GM), Geologia (GL), Declividade da costa (DC) (%), Cota Topográfica (CT), Altura máxima significativa da onda (AO) e Amplitude da

Maré (AM) (tabela 2). A partir desses parâmetros, o Índice de Vulnerabilidade Geral da Costa (IVGC) é obtido pela média aritmética simples da classificação de cada fator de vulnerabilidade individual, obtendo valores classificados em: Muito baixa (IVGC ≤ 1) Baixa (IVGC > 1 e ≤ 2) Moderada (IVGC > 2 e ≤ 3) Alta (IVGC > 3 e ≤ 4) e Muito Alta (IVGC > 4) (Braga *et al.* 2019).

No Pará, a zona costeira é dividida em 3 setores: a Costa Atlântica do Salgado Paraense, Continental estuarino e a Zona Insular Estuarino, conforme mostra o mapa da figura 10. Salinópolis está inserido no contexto da Costa Atlântica do Salgado Paraense e é umas principais cidades desse setor.

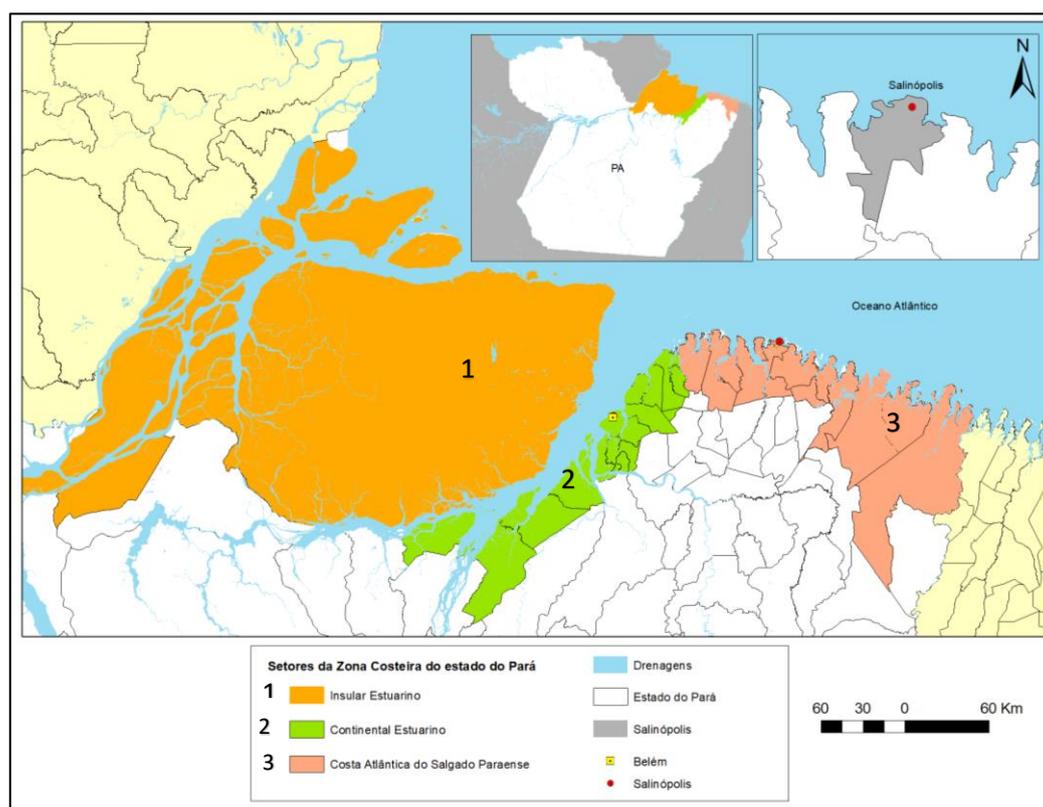


Figura 10- Mapa da zona costeira paraense subdividida em três setores: Zona costa atlântica do Salgado Paraense, Continental estuarino e a zona Insular Estuarino. Fonte: Elaborado pela autora.

Os manguezais ocorrem próximo à linha de costa, em áreas de transição entre os rios e os mares. São importantes locais de reprodução de algumas espécies, atuam como proteção costeira e são extremamente biodiversos, abrigando grande variedade de vegetação, organismos entre, algas, aves, quelônios, artrópodes. Além disso, possui um papel importante na subsistência da população, através do pescado, coleta de caranguejo e turismo, sendo uma região de grande interesse econômico pelo lazer, transporte, habitação, indústria, produção de energia. Essa interação de processos antrópicos, formas de ocupação e desenvolvimento com processos naturais, podem gerar danos a esse

ambiente. Consequentemente, é um ecossistema sob grande estresse ambiental (Dias-Oliveira & Vestena 2013, Ranieri & El-Robrini 2015, Granziera & Gonçalves 2012).

Estudos apontam que no Brasil aproximadamente 27% da população vivem em municípios costeiros, tendo sido um dos primeiros ambientes a sentir diretamente os impactos do desenvolvimento das atividades econômicas e do consequente adensamento demográfico, com especulação imobiliárias, polos industriais, portos, empreendimentos diversos, falta de saneamento correto, poluição etc. (Thiollent & Silva 2007, IBGE 2011, Vale *et al.* 2019, Granziera & Gonçalves 2012).

Salinópolis, município estudado, está inserido nesse contexto ambiental, econômico e social, com intensa urbanização da região e considerado o principal destino de veraneio, principalmente de pessoas de classe média e alta da capital do estado. Segundo a SEMMA de Salinópolis (Sec. Municipal de Meio Ambiente) em torno de 300 mil visitantes são atraídos em alta temporada (Salinópolis 2015). A grande visibilidade alcançada pelo município, atraiu diversos investimentos, principalmente no setor de construção, comércio, hotelaria e serviço. Nesse contexto, a orla do Maçarico passou por uma obra no ano de 2022 para a construção de uma nova área turística (fig. 11). Deve ser destacado que essa zona possui histórico de erosão.



Figura 11- Nova orla do Maçarico recém-inaugurada. Fonte: Agência Pará. Foto: Roni Moreira / Ag.Pará

O desenvolvimento urbano gera emprego, renda e melhoria da infraestrutura, porém o crescimento populacional desorganizado causa a degradação da paisagem, aumento da criminalidade, produção de lixo, destruição da fauna e flora e poluição (Souza 2008, Santos & Kadota 2012). A figura 12 mostra a ocupação urbana ‘avançando’ sobre

uma área com predominância de mangue, ilustrando uma questão negativa do crescimento urbano em Salinópolis.



Figura 12- Imagem retirada do Google Earth do ano de 2009 com destaque para uma região vegetada sendo invadida e ocupada pela população.

A costa de manguezais está presente em grande parte da zona costeira paraense, incluindo Salinópolis. Na praia do Maçarico, com conexão com a praia da Corvina, localiza-se adjacente à foz do rio Sampaio e uma menor exposição ao oceano Atlântico, sendo marcada pela presença da orla do Maçarico, dunas, restingas, falésias (Formação Barreiras) e fragmentos de manguezais. Já a praia do Farol Velho está exposta ao oceano assim como a Praia do Atalaia, em ambas está a maior parte da ocupação mais atual e o aumento da especulação imobiliária. No Farol Velho, ocorrem afloramentos rochosos e vegetação de manguezal, já no Atalaia ocorrem dunas frontais, vegetação de restinga e diversas construções.

3 RESULTADOS

3.1 EROSIÃO NA FALÉSIA E PRAIA DO MAÇARICO

A análise espaço temporal no período entre Fev/2019 e Set/2019 mostrou elevações máximas em torno de 50 metros que representam prédios concentrados principalmente na região de falésia da orla do Maçarico. Já a vegetação de manguezal possui altura média de 15 metros chegando a 25 metros em áreas interiores e mais protegidas, em geral em regiões topograficamente mais baixas (2,8 – 1 m acima do nível médio do mar) e próximo de rios e corpos de água.

A figura 13 apresenta o resultado da análise espaço temporal através de um MDE (modelo digital de elevação) com pontos georreferenciados nas imagens de Fev/2019 e Set/2019 que vão desde o topo da falésia até a planície de maré. Esses dados mostram que em Fev/2019 o ponto B na falésia sofreu erosão, causando uma perda de elevação de 14,3 para 12,4 em Set/2019. Por outro lado, os pontos C e D, na base da falésia, tiveram um aumento na elevação em torno de 1 m. Nesse valor tende a diminuir com o distanciamento da base da falésia. A margem de erro de longitude, latitude e elevação foram de 0,73; 0,56 e 0,12 m. Esses dados estão expostos na tabela 4.

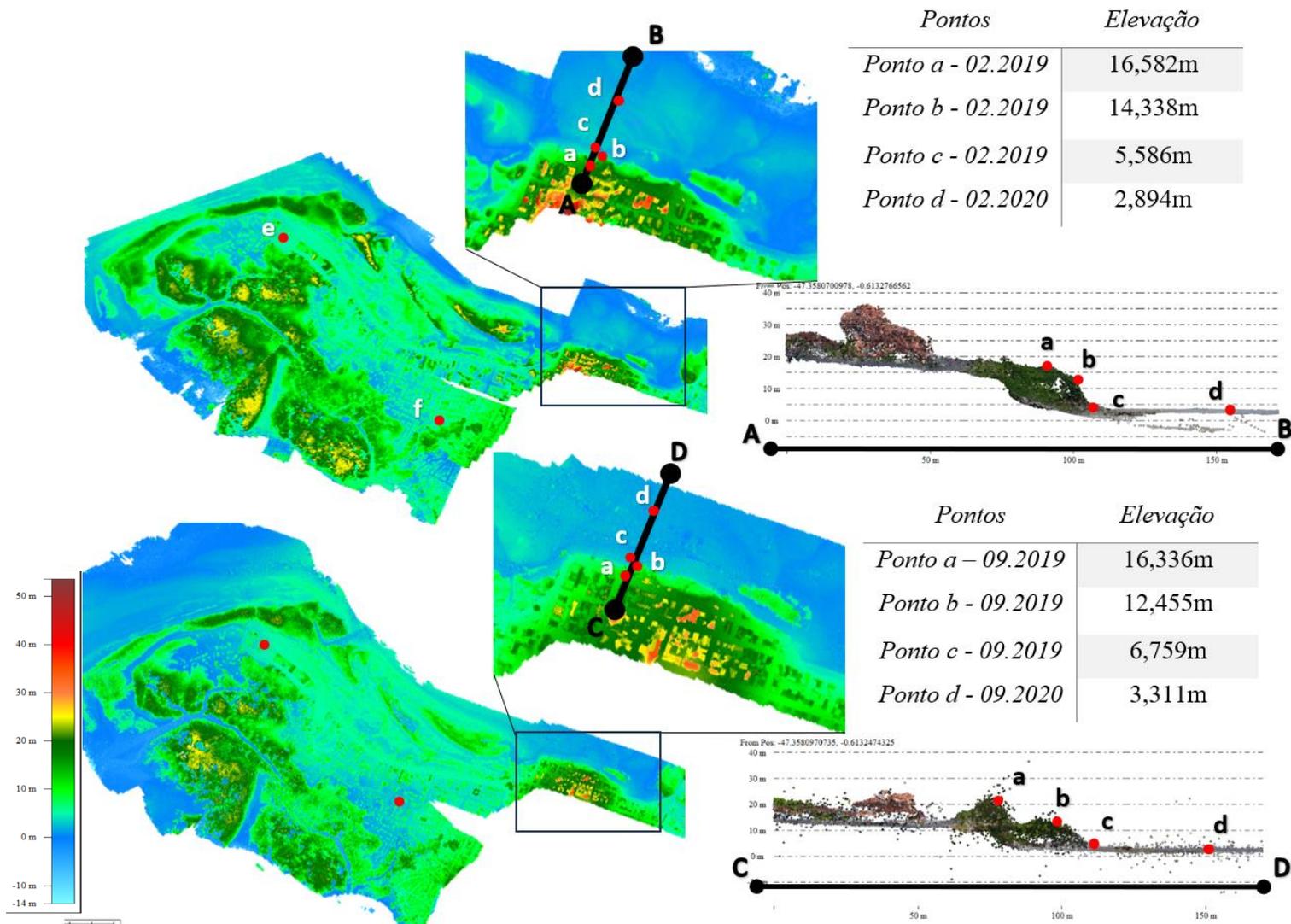


Figura 13- Modelo digital de elevação da orla do Maçarico com pontos plotados na região da falésia (a, b, c; d) e pontos de controle (e; f) para análise de parâmetros planialtimétricos, além da elaboração do perfil planialtimétrico.

Tabela 4- Pontos plotados de controle da área de estudo com longitude, latitude, altitude, acurácia e erros (Lat., Long. Alt e total).

<i>Pontos</i>	<i>Coordenada X</i>	<i>Coordenada Y</i>	<i>Elevação</i>	<i>Acurácia</i>	
<i>Ponto a - 02.2019</i>	-47.357.641.984	-0.6125740615	16,582m	0,00500	
<i>Ponto b - 02.2019</i>	-47.357.609.235	-0.6125153865	14,338m	0,00500	
<i>Ponto c - 02.2019</i>	-47.357.609.235	-0.6124657385	5,586m	0,00500	
<i>Ponto d - 02.2020</i>	-47.357.091.972	-0.6115886235	2,894m	0,00500	
<i>Ponto a - 09.2019</i>	-47.357.710.540	-0.6126795965	16,336m	0,00500	
<i>Ponto b - 09.2019</i>	-47.357.618.877	-0.6125193729	12,455m	0,00500	
<i>Ponto c - 09.2019</i>	-47.357.559.210	-0.6124150764	6,759m	0,00500	
<i>Ponto d - 09.2019</i>	-47.357.352.536	-0.6120538176	3,311m	0,00500	
	<i>Long. Err (m)</i>	<i>Lat. Err (m)</i>	<i>Alt. Err (m)</i>	-	
	-0,407885	0,585647	0,21805	-	
	-0,461739	-0,535553	0,046488	-	
	-0,447108	-0,092609	-0,061315	-	
	0,61324	-0,865462	-0,19676	-	
	<i>Coordenada X</i>	<i>Coordenada Y</i>	<i>Long. err (m)</i>	<i>Lat. err (m)</i>	<i>Alt. err (m)</i>
<i>P. controle e</i>	-47.365.049.0133	-0.61551096781	1,343990	0,687376	-0,005960
<i>P. controle f</i>	-47.373729	-0.605313	-0,650332	0,221348	0,010620
<i>Total erro</i>	-	-	0,729699	0,564045	0,124049

Neste mesmo setor, outro perfil planialtimétrico foi traçado da zona urbanizada no topo da falésia para a planície de maré na orla do Maçarico e confirmou forte erosão das falésias sustentadas pela Formação Barreiras com recuo de até 20 m em sete meses (Fig. 14 e 15). Nesse período as elevações das planícies de maré em contato com a base da falésia erodida aumentaram em até 2,1 m. As diferenças nas elevações dessas planícies de maré no período analisado também tenderam a diminuir com a distância da falésia. Deve ser destacada a presença de manguezais próximo a base das falésias (Fig. 14), que tende a proteger a costa da ação das ondas e correntes. Entretanto, essas árvores estão sofrendo soterramento de suas raízes, causando sua diminuição e morte, aumentando a vulnerabilidade costeira.

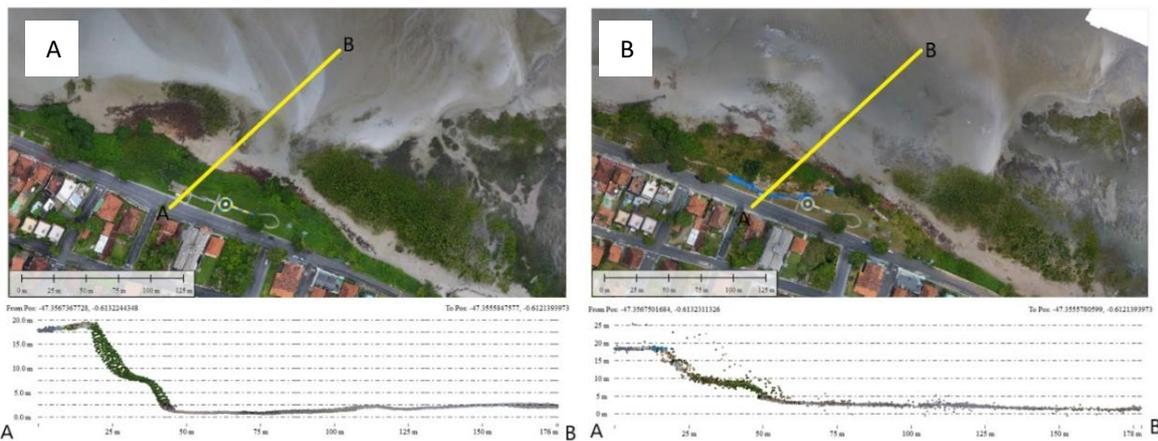


Figura 14- A) Perfil gerado a partir da nuvem densa de pontos para o mês 02 de 2019 e B) para o mês 09 de 2019, onde apresentamos o rebaixamento da zona erodida no intervalo de 7 meses.

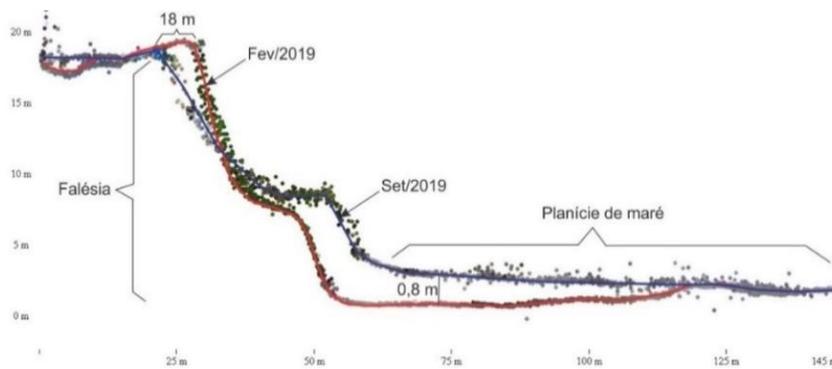


Figura 15- Perfis gerados através da nuvem de pontos mostrando a diferença entre as alturas causados pela erosão e o recuo que ocorreu no topo da falésia (nesse ponto foi de 18m). Em vermelho é representado perfil de fev/2019 e em azul o perfil de set/2019.

Os setores costeiros possuem graus de vulnerabilidade que variam de acordo com os fatores físicos que influenciam a dinâmica costeira. As variações regionais no clima e na oceanografia afetam os diferentes ambientes geológicos e geomorfológicos que contribuem para este fenômeno (Muehe 2005, Negrão *et al.* 2022). Com isso, utilizou-se os dados obtidos através dos perfis planialtimétricos e Modelo digital de Terreno que demonstraram alterações significativas na região da falésia do Maçarico, onde apresentam o grau de vulnerabilidade entre alto e muito alto nos setores da falésia e praia do Maçarico. Na tabela 5 os resultados obtidos para cada parâmetro de vulnerabilidade na praia e falésia do Maçarico para o cálculo do índice de vulnerabilidade geral costeira.

Tabela 5- Resultados obtidos para cada parâmetro de vulnerabilidade para o cálculo de IVGC.

<i>Variáveis/ Setores</i>	<i>Unidades morfológicas</i>	<i>Geomorfo- logia (GM)</i>	<i>Geologia (GL)</i>	<i>Declividade (DC) (%)</i>	<i>Cota Topográfica (CT) (m)</i>	<i>Amplitude da Maré (AM) (m)</i>	<i>Altura da Onda (m) (AO)</i>
<i>Praia do Maçarico</i>	Praia arenosa/ manguezais e dunas veg.	Praias arenosas e planícies de marés	Sedimentos arenosos ou argilosos	< 2 Muito baixa declividade	≤ 5m	3-4m	<0,55
<i>Falésias do Maçarico</i>	Falésias Altas e Médias Ativas	Costa de falésias ativas	Rochas sedimentares c/ sedimentos	30 Alta declividade	≤20m	3-4m	0,55 a 0,85

A partir dos parâmetros atribuído aos setores da praia do Maçarico e a falésia, apresentados na tabela 5, a vulnerabilidade é calculada. Na praia do Maçarico uma praia arenosa limitada por manguezais e dunas vegetadas e a vulnerabilidade é muito alta (IVC 5). Já as unidades geológicas e geomorfológicas são: sedimentos arenosos inconsolidados holocênicos (vulnerabilidade muito alta IVC 5), as cotas topográficas ≤ 5 (vulnerabilidade muito alta IVC 5), a altura das ondas são 0,6m a 1,2 atribuindo-se uma vulnerabilidade alta (IVC 4) e a amplitude de maré é 3-4 m (IVC 3). Para a falésia do Maçarico, temos as unidades geomorfológicas: falésias altas e médias ativas com vulnerabilidade alta (IVC 4), as unidades geológicas e geomorfológicas são: Falésias ativas (IVC 4) e rocha sedimentares do Grupo Barreiras com sedimentos (vulnerabilidade alta IVC 4), as cotas topográficas ≤ 20 m (vulnerabilidade moderada IVC 3) e as alturas das ondas 0,6m a 1,2 com vulnerabilidade alta (IVC 4). A declividade da falésia é de 30%, atribuindo uma vulnerabilidade moderada (IVC 3). De acordo com Pereira e Coelho (2013), quando a região costeira é menos íngreme, sua vulnerabilidade à elevação do nível do mar e a ação energética do mar é maior. Logo, conforme a Tabela 1 e 2 (apresentada na metodologia) e na tabela 5, os índices de vulnerabilidade na praia do Maçarico e na Falésia do Maçarico são obtidos pela média aritmética simples da classificação de cada fator de vulnerabilidade individual, obtendo valores apresentados na tabela 6.

Tabela 6- Parâmetros atribuídos para os setores da praia e falésia do Maçarico e a obtenção do Índice de Vulnerabilidade Costeira geral (IVCG).

<i>Parâmetros de Vulnerabilidade</i>	<i>Geomorfologia (GM)</i>	<i>Geologia (GL)</i>	<i>Declividade da costa (DC)</i>	<i>Cota Topográfica (CT)</i>	<i>Altura máxima da onda (AO)</i>	<i>Amplitude da Maré (AM)</i>	<i>Índice de Vulnerabilidade Costeira geral (IVCG)</i>
<i>Praia do Maçarico</i>	5	5	5	5	4	4	4,66 (Muito alto)
<i>Falésia do Maçarico</i>	4	4	3	3	4	4	3,6 (Alto)

Os dados mostram que a área apresenta índice de vulnerabilidade costeira geral (IVCG) de muito alta (4,6) a alta (3,6). Para Braga *et al.* (2019), isso se deve aos aspectos geomorfológicos e geológicos da costa que são desfavoráveis. A geomorfologia, a geologia, a inclinação e a altura da costa são fatores que aumentam a vulnerabilidade, conforme mostram os perfis da figura 13.

Na região da praia do Maçarico, área que apresentou alto índice de vulnerabilidade, devido principalmente à ação de corrente de maré diárias e com cerca de três metros de amplitude. As ondas transferem energia para a costa, causando erosão costeira. Os setores da falésia têm vulnerabilidade alta que se deve principalmente à sua altura, que chega a mais de 17 metros e a sua posição relativamente mais abrigada, pois ficam mais de canais (Braga *et al.* 2019, Pereira & Coelho 2013). No entanto, a ação das ondas causada pela maré resulta na erosão da base da falésia (fig. 16).

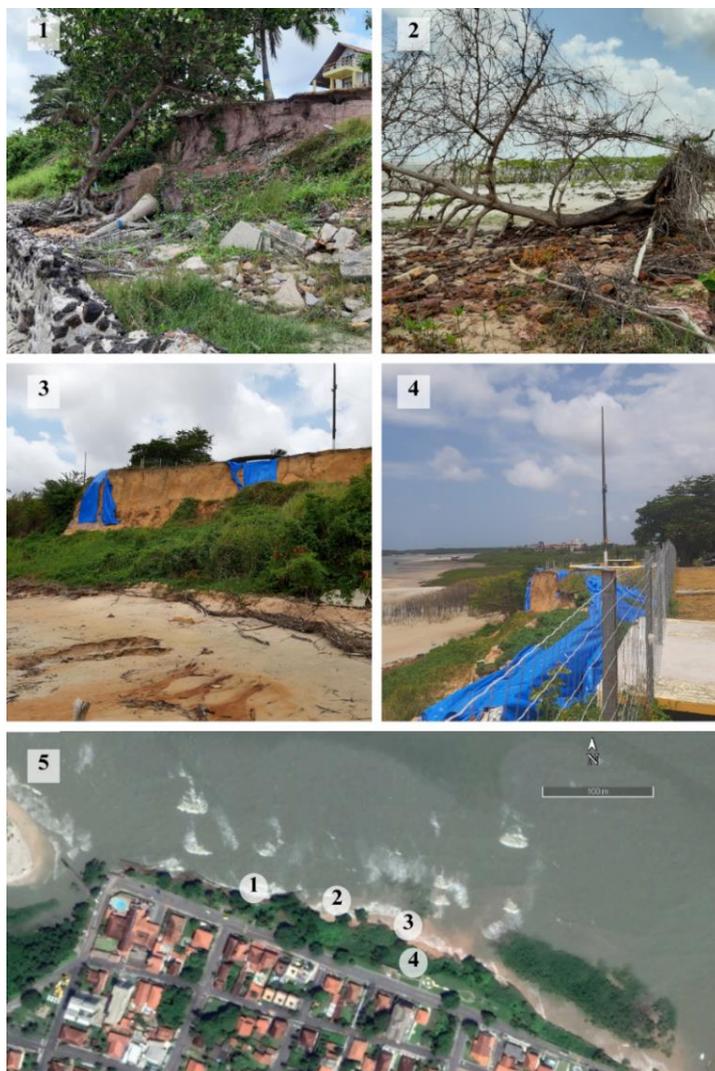


Figura 16- Imagens de campo retiradas da praia do Maçarico (1,2,3 e 4) mostrando parte dos danos gerados durante o processo de erosão costeira do mês 09/2019. Em 5) a vista em planta com a localização das fotos.

3.2 RETRAÇÃO E EXPANSÃO DO MANGUEZAIS.

A análise espaço-temporal indicou um aumento de 104 ha nas áreas ocupadas por manguezais entre 2009 e 2017, principalmente em áreas distantes das zonas urbanizadas. Entretanto, ocorreu perda de áreas dessa floresta em torno de 52,3 ha entre 2017 e 2019, principalmente próximo das zonas urbanas (Fig. 17). A ocupação urbana desordenada ocorre principalmente em planícies sob influência das marés. Perdas de manguezais ocorreram também nas zonas topograficamente mais baixas sob intensa ação das ondas e correntes, causando a desestabilização do substrato lamoso e queda das árvores (Fig. 17). Já a expansão dos manguezais ocorreu sobre superfícies mais elevadas (2,8 m acima do nível médio do mar) e ainda não influenciadas pelos assentamentos urbanos. Na região do Maçarico houve uma perda de manguezal de 15,2 e 28,8 ha entre 2010 e 2017 e entre 2017 e 2019, respectivamente. Já na região do Atalaia, perdas nas áreas de manguezal ocorreram entre 2017 e 2019 com diminuição de 23,5 ha (Tabela 7).

Tabela 7- Valores obtidos a partir da análise espaço-temporal das áreas dos manguezais nos setores do Maçarico e Atalaia em hectares.

<i>Ano/Praia</i>	<i>Maçarico</i>	<i>Atalaia</i>	<i>Total</i>
2009	722,2 ha	931,8 ha	1654 ha
2010	775,6 ha	981,7 ha	1707,3 ha
2017	760,4 ha	997,6 ha	1758 ha
2019	731,6 ha	974,1 ha	1705,7 ha

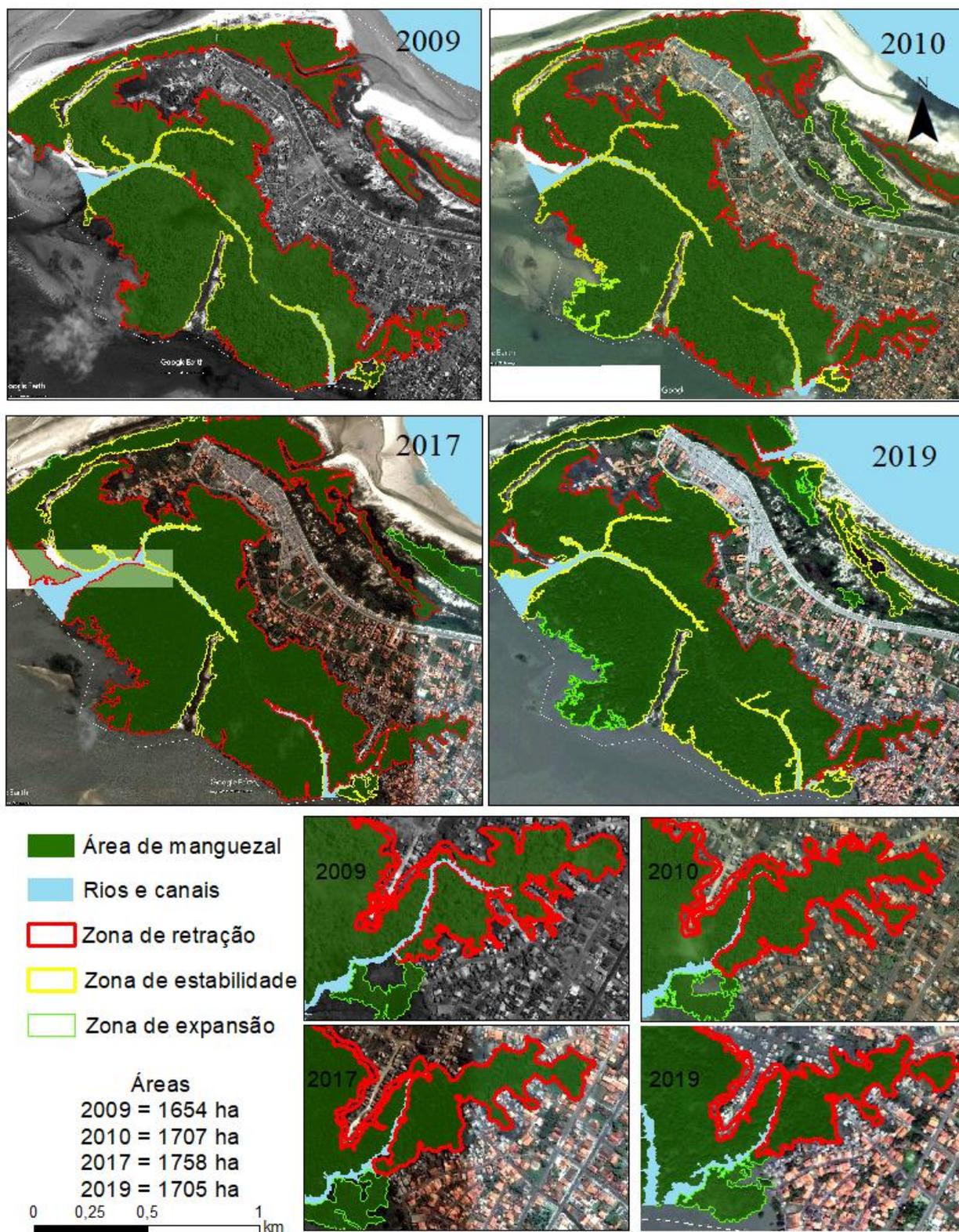


Figura 17- Análise espaço-temporal dos manguezais para os anos de 2009, 2010, 2017 e 2019 apresentando as zonas de retração, expansão e estabilidade, com destaque para uma área de inchaço populacional na região do Maçarico e contração do manguezal e uma região de planície lamosa com leve expansão.

A retração dos limites dos manguezais geralmente coincide com a expansão urbana através da construção de moradias tipo palafitas de alvenaria ou madeira, sobre planícies de maré lamosas (Figuras 18 e 19). As áreas de expansão urbana observadas nesse ponto são periféricas e desordenadas, o que pode intensificar o dano, devido à ausência de saneamento básico e coleta de lixo. Portanto, perda de manguezais em Salinópolis é a combinação de fatores ambientais, tais como a ação de ondas e correntes nas planícies de maré mais baixas (~ 1 m acima do nível do mar), acresção de sedimentos arenosos produto da erosão das falésias, e intervenções humanas relacionadas ao desmatamento e urbanização. A perda dos manguezais em Salinópolis aumenta a vulnerabilidade de uma costa já sob intensa erosão costeira. Planícies de maré mais elevadas (~2.8 m acima do nível médio do mar) e distantes da influência urbana apresentam um ambiente sedimentar favorável para a expansão dos manguezais, enquanto setores que apresentam expansão urbana, apresentam retração dessa vegetação.

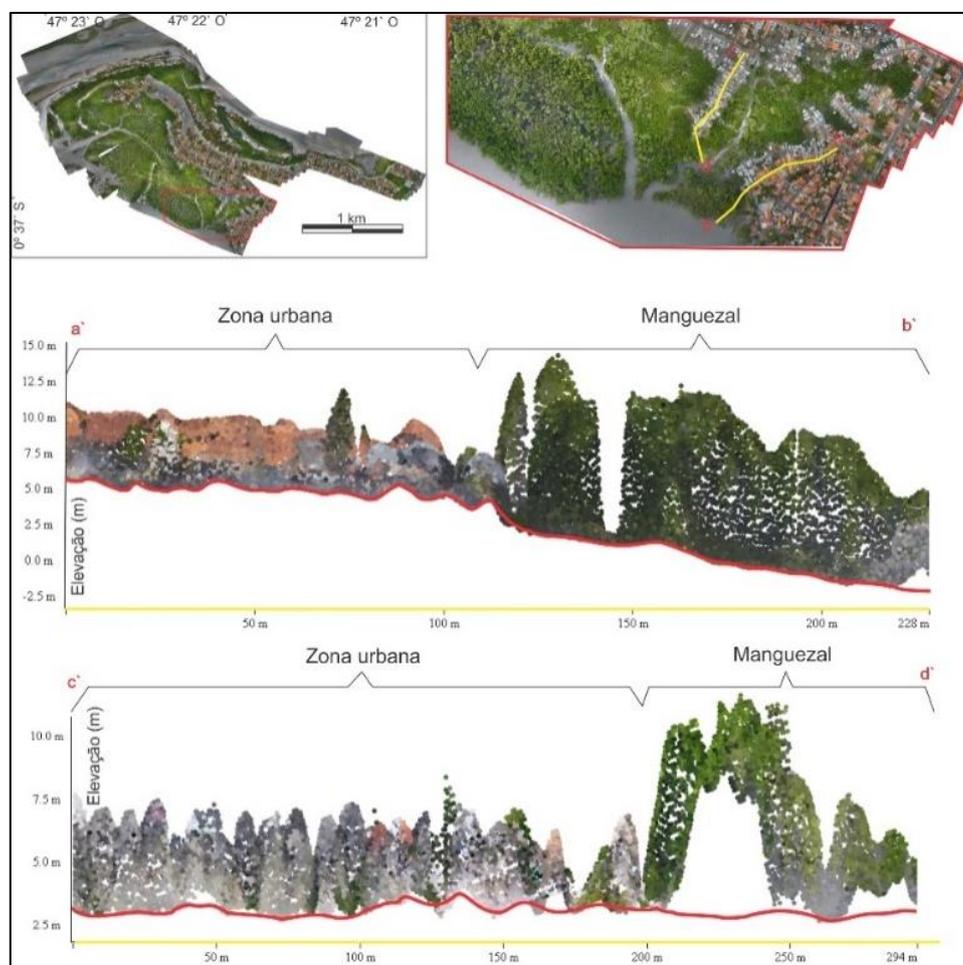


Figura 18- Perfil topográfico relacionando as áreas de expansão urbana e vegetação de manguezal em área periférica do setor do Maçarico.

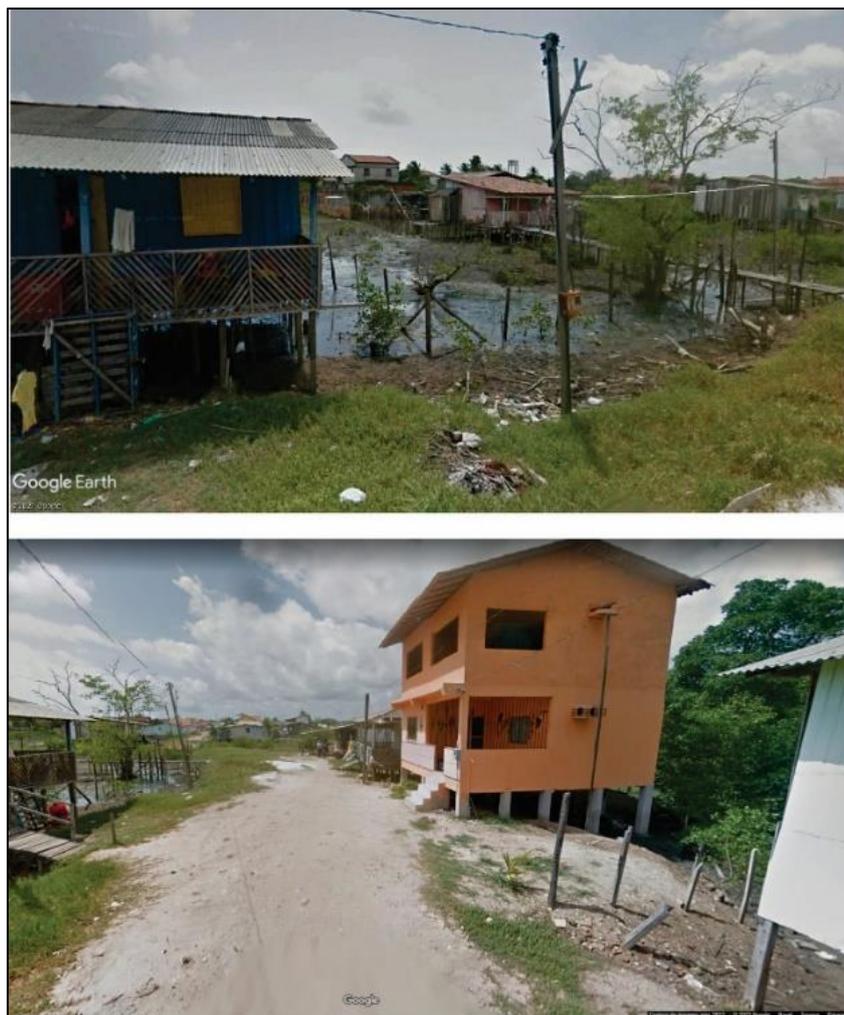


Figura 19- Imagens retiradas do Google Street mostram a relação de proximidade entre áreas ocupadas por construções de palafita e alvenaria e áreas vegetadas e alagadas no setor do Maçarico. Fonte: Google Street.

4 DISCUSSÃO

4.1 EROSÃO NA FALÉSIA E PRAIA DO MAÇARICO

Provavelmente, o recuo de até 20 m da falésia da orla do maçarico foi causado pela interação das ondas e correntes intensificados pelas marés de sizígia de março e setembro, assim como pelas fortes chuvas (1700 mm, tabela 3) entre os meses de fevereiro e maio de 2019, causando a desestabilização das rochas que compõe as falésias. A presença dos manguezais desempenha um importante papel na redução da erosão costeira, atenuando a ação das ondas e correntes e os efeitos do aumento do nível relativo do mar através da trama de raízes aéreas que captura sedimentos e promove a acreção vertical, contribuindo para que as planícies de maré mantenham uma elevação constante em relação do nível do mar (Spalding *et al.* 2014, Bulhões *et al.* 2020). Entretanto, no caso das planícies de maré do Maçarico, o material erodido da falésia foi retrabalhado e depositado sobre a planície de maré lamosa com manguezais, causando um aumento na elevação de até 1 m, porém gerando o soterramento das raízes dos manguezais. Esse processo impede as trocas gasosas das raízes com a atmosfera. Os impactos podem variar desde a redução do vigor até a morte das árvores do mangue, dependendo da quantidade e tipo de sedimento, e da espécie envolvida (Ellison 1999, Okello *et al.* 2020). No caso estudado, foi registrada a morte de manguezais (Figura 20). O soterramento das raízes dos manguezais causou a perda de ~28,8 ha dessas florestas entre 2017 e 2019.

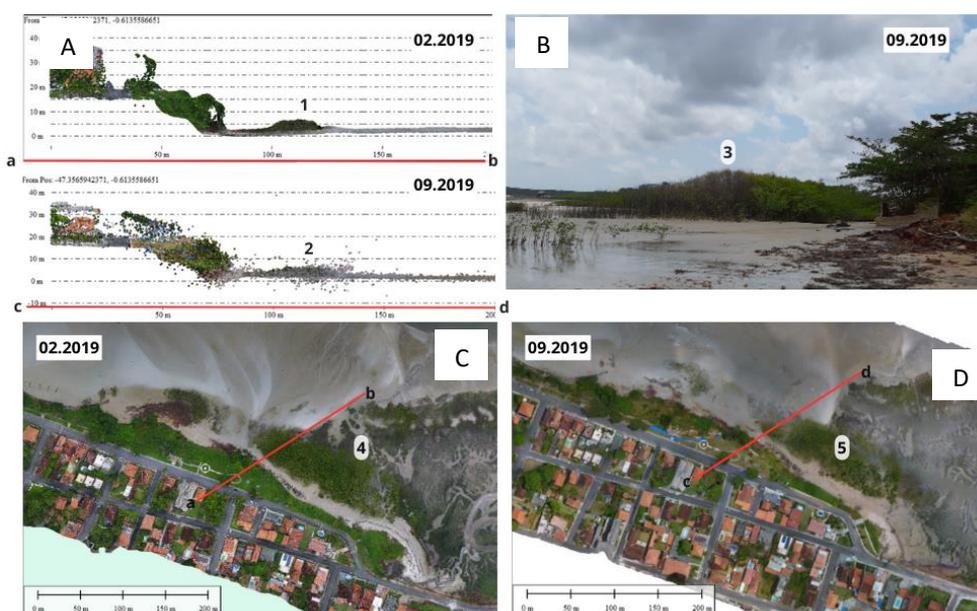


Figura 20- A) perfis planialtimétricos gerados a partir de MDE apontam em 1 e 2 regiões onde há o acúmulo de sedimento e diminuição da vegetação. (B) Foto de campo mostrando em 3 parte dessa vegetação comprometida por soterramento; (C e D) Imagens de drone apontando em 4 e 5 o perfil da área com destaque a vegetação menor.

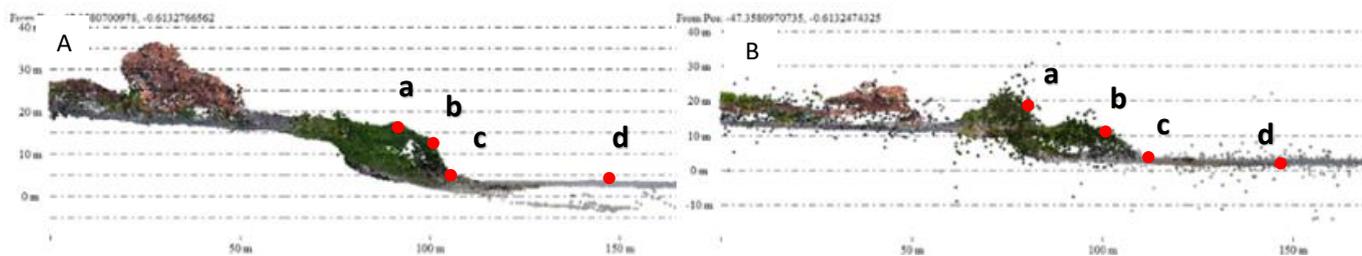


Figura 21- Perfis topográficos os meses (A) fevereiro e (B) setembro de 2019 com a) b) c) e d) indicando regiões da falésia do Maçarico. Em b) o topo e em c) a base da falésia e em d) a planície de inundação.

A comparação dos modelos de elevação digital obtidos entre fev/2019 e set/2019 indicou forte erosão da falésia do Maçarico com acúmulo de sedimentos arenosos nas planícies de maré adjacentes a base da falésia. Esse processo pode estar sendo regulado pelo equilíbrio entre a mudança no espaço de acomodação dos sedimentos, causada por mudanças no nível do mar relativo e a disponibilidade de sedimentos, provenientes da erosão da falésia (Posamentier *et al.* 1992). Mais recentemente, estudos identificaram uma aceleração histórica na taxa de elevação do nível do mar como uma das causas de mudanças na zona costeira. De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (International Panel on Climate Change – IPCC) e Lindsey (2022), o nível do mar global poderia aumentar entre 0,3 e 3,9 metros até o final deste século, dependendo do cenário climático e ambiental. (Lindsey R. 2022, Meeder *et al.* 2017, Parkinson *et al.* 2017, Moore *et al.* 2013, Woodroffe *et al.* 2016, Reinman 2012)

A linha de costa pode se mover, avançando ou recuando, dependendo de dois fatores: o espaço disponível para os sedimentos se depositarem e a quantidade de sedimentos que chegam à costa. O espaço de acomodação de sedimentos disponível é afetado pelo nível do mar. Caso o nível do mar suba, o espaço de acomodação aumenta. Já a quantidade de sedimentos é afetada por vários processos, como rios, ondas, correntes, ventos, erosão etc. Se há um equilíbrio entre o espaço e os sedimentos, a linha de costa fica estável; se há mais espaço do que sedimentos, a linha de costa recua (o mar avança); se há mais sedimentos do que espaço, a linha de costa avança (o mar recua) (Posamentier & Allen 1999). Esse movimento está diretamente relacionado com a profundidade da antepraia inferior e depende da altura das ondas que chegam à praia: se as ondas são altas, elas cavam mais fundo; se as ondas são baixas, elas cavam menos fundo. Se a profundidade da antepraia inferior é menor e as ondas altas, os sedimentos são retrabalhados para regiões mais profundas, fazendo com que a praia fique mais larga e

avance em direção ao mar. Se a profundidade da antepraia inferior é maior do que a altura das ondas, os sedimentos são levados para fora da praia, fazendo com que ela fique mais estreita e recue em direção ao continente (reduzindo a área continental, chamado de transgressão marinha). Se o nível do mar está subindo, há menos espaço disponível para os sedimentos se depositarem na praia, e ela tende a recuar em direção ao interior. Portanto, o gradual aumento na elevação da planície de maré, entre os meses de fevereiro e setembro de 2019, pode ser uma resposta ao aumento do nível do mar intensificado os efeitos da ação das ondas e correntes na base da falésia, redistribuindo o material arenoso erodido na zona de intermaré. A ocorrência de erosão nesse setor da costa demanda por estudos mais detalhados da relação entre o aumento do nível relativo do mar e a erosão das falésias, principalmente por se tratar de uma costa densamente urbanizada (Cozannet *et al.* 2014, Reinman 2012, Braga *et al.* 2019, Braga & Pimentel. 2019).

4.2 RETRAÇÃO E EXPANSÃO DOS MANGUEZAIS

A análise espaço temporal das imagens e dados planialtimétricos também indicaram retração dos limites dos manguezais como produto do avanço da urbanização de Salinópolis, principalmente na periferia e em setores topograficamente mais baixos. Essas ocupações irregulares sobre as planícies de maré demandam a remoção das árvores dessas florestas com um progressivo avanço para zonas mais baixas. Esse processo é resultado da grande demanda de pessoas por moradias, gerando pressão sobre os manguezais. A figura 22 apresenta um mapa com as regiões do Maçarico e Atalaia com perdas de manguezais. Entre 2010 e 2019, mais de 50 hectares dessas florestas foram perdidos (Figura 22, Tabela 8). A área identificada como 5 (Figura 22) apresentou mais de 24 hectares de retração nos manguezais. Um perfil planialtimétrico evidencia o avanço da expansão urbana sobre a planície de maré com manguezal (Figura 23).

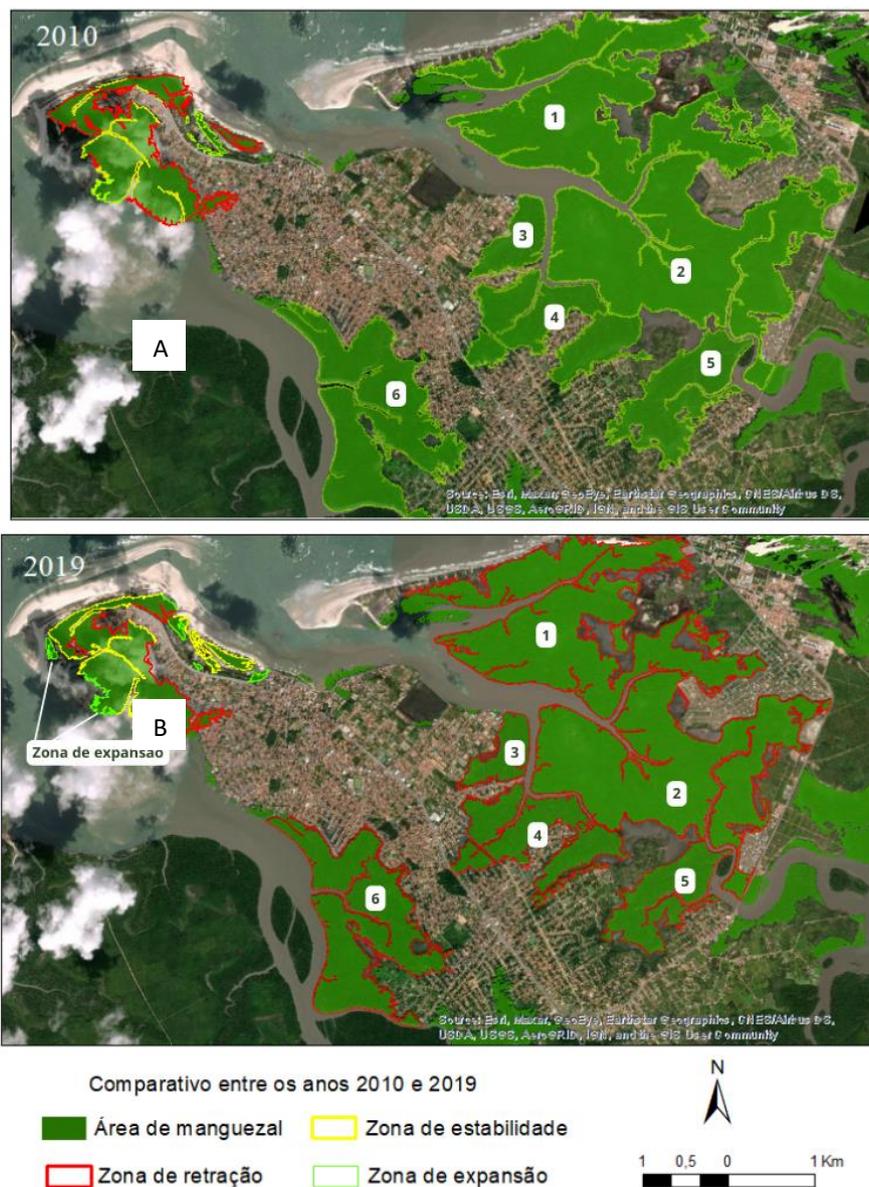


Figura 22- Análise espaço-temporal dos anos de 2010 e 2019 mostrando zonas de expansão, retração e estabilidade da vegetação de manguezal no município de Salinópolis.

Tabela 8- Áreas que apresentaram diferenças entre os anos de 2010 e 2019.

Áreas (ha)	2010	2019	Perdas (ha)
1	396,003	389,532	8,879
2	398,411	384,759	11,244
3	42,815	39,104	3,711
4	122,734	115,954	6,780
5	110,938	86,605	24,333
6	226,963	214,138	12,772

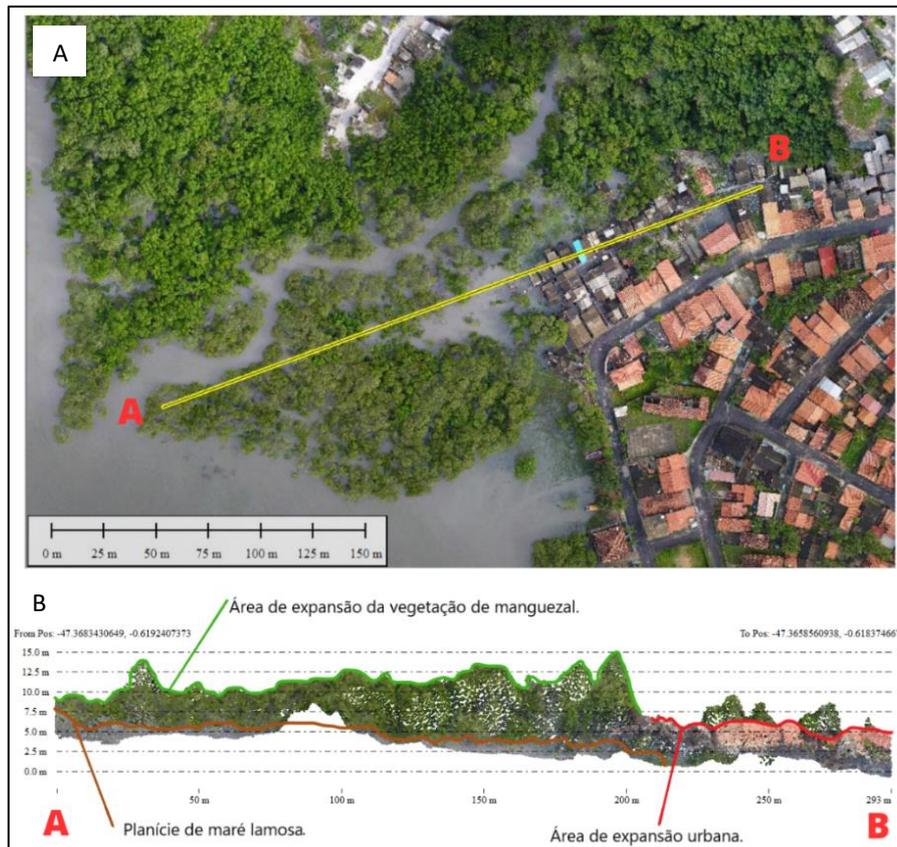


Figura 23- (A) Imagens de alta resolução obtidas através de drone, mostrando a área onde a vegetação encontra-se limitada pelo avanço urbano no setor do Maçarico. Em (B) o perfil planialtimétrico

Portanto, os dados revelaram uma expressiva perda de manguezal em Salinópolis resultado da intervenção humana. Setores topograficamente mais baixos das planícies de maré também apresentaram perdas de áreas de manguezais devido a ação de ondas e correntes, porém, tais perdas deveriam ser compensadas com o avanço dos manguezais para planícies mais elevadas. Perdas de manguezais nas planícies mais baixas têm sido relatadas ao longo da costa brasileira (Bozi *et al.* 2021, Cohen *et al.* 2020, Nunes *et al.* 2023). O aumento do nível do mar contribuiu para a expansão dos manguezais em setores mais elevados das planícies de maré (Cohen *et al.* 2018, 2021, Cohen & Lara 2003, Nascimento *et al.* 2013). Infelizmente, os setores mais elevados das planícies de maré em Salinópolis estão sendo rapidamente ocupados por moradias não regulamentadas que avançam sobre atuais e futuras áreas de ocupação de manguezais. Portanto, a pressão sobre os manguezais ocorre nas zonas topograficamente mais baixas das planícies de maré, resultado do aumento do nível do mar, e nos setores mais elevados, resultado da expansão urbana. Assim, os manguezais próximos de cidades têm sua expansão para setores topograficamente mais elevados ameaçados pela expansão urbana e as planícies

de maré mais baixas ocupadas por manguezais, ameaçadas pelo aumento do nível do mar, erosão e acúmulo de areia sobre os substratos de manguezais.

Intervenções humanas degradando mangueais na costa paraense tem ocorrido também durante a construção de rodovias, como ocorreu na Península de Bragança, distante 80 km de Salinópolis. Esses manguezais foram impactados pela construção de uma rodovia (PA-458) na década de 70 que alterou as características hidrodinâmicas da península, provocando a morte de 430 ha de árvores do mangue na região central da península. Entretanto, a ausência de novas intervenções humanas nesse setor da Península associado ao alto grau de resiliência dos manguezais e aumento no nível relativo do mar têm causado a recolonização dos manguezais nos setores mais elevados da Península de Bragança (Cardenas *et al.* 2022, Cohen *et al.* 2018). Análises espaço temporais baseadas em imagens Landsat (1986 – 2019) indicaram redução na área de manguezal degradado de 247,96 ha. Dados de alta resolução espacial mostraram também uma redução da área degradada de 211,65 ha entre os anos de 2003 e 2019 (Cardenas *et al.* 2022).

Portanto, o delicado equilíbrio entre os manguezais e o ambiente onde ele ocorre com características hidrodinâmicas envolvendo amplitude de maré, aporte de sedimentos finos, gradientes de salinidade e topografia pré-existente, pode ser facilmente afetado pela direta e indireta intervenção humana, conduzindo a perda dessas importantes florestas para a economia das comunidades costeiras. Tais questões precisam ser amplamente divulgadas para conscientizar as autoridades e a população da necessidade de preservar essas florestas e tentar minimizar as consequências ecológicas e econômicas para as próprias comunidades que degradam, mas também dependem dos manguezais (Cohen *et al.* 1999, Dittmar *et al.* 2006, 2001, Glaser 2003).

5 CONCLUSÃO

A análise espaço temporal de imagens e dados planialtimétricos permitiu identificar expressiva erosão das falésias do maçarico com recuos de até 20 m. O material sedimentar, produto da erosão, tem se acumulado sobre as raízes dos manguezais levando a asfixia dessas florestas próximas das zonas erodidas. A expansão dos manguezais ocorreu em planícies de lama, distante das zonas vulneráveis à erosão e da ocupação urbana. A urbanização de Salinópolis tem ocorrido sobre as planícies de maré lamosas ocupadas por manguezais com perdas em torno de 40 ha dessas florestas na área do maçarico entre 2010 e 2019. Em contrapartida, houve expansão dos manguezais em zonas topograficamente mais elevadas, distante da intervenção humana e do acúmulo de sedimentos arenosos oriundos da erosão costeira. A expansão dos manguezais para planícies costeiras mais elevadas pode estar relacionada com o aumento do nível relativo do mar que favorece a salinização das planícies e a gradual migração dessas florestas para zonas mais elevadas. Entretanto, as planícies topograficamente mais elevadas estão também sendo urbanizadas, causando um conflito entre a natural expansão dos manguezais e o crescimento urbano desordenado e não regulamentado na zona de supramaré e intermaré. Esse processo compromete a função ecológica e socioeconômica dos manguezais, interferindo na capacidade dessas florestas de se adaptar ao aumento do nível do mar, e consequentemente, de fornecer ambiente para procriação de peixes, mariscos e crustáceos, essenciais para economia das comunidades costeiras. Portanto, a expansão urbana desordenada ameaça os manguezais e a principal fonte de subsistência das comunidades que dependem da coleta de caranguejos e pesca.

REFERÊNCIAS

- Akhand M.A.H., Sayim M.I., Roy S., Siddique N. 2017. Human age prediction from facial image using transfer learning in deep convolutional neural networks. *Proceedings of International Joint Conference on Computational Intelligence*, p. 217-236.
- Bozi B.S., Figueiredo B.L., Rodrigues E., Cohen M.C., Pessenda L.C., Alves E.E., Adriana V. De Souza, José A. Bendassolli, Kita Macario, Pablo Azevedo, Nicholas Culligan 2021, Impacts of sea-level changes on mangroves from southeastern Brazil during the Holocene and Anthropocene using a multi-proxy approach. *Geomorphology*, **390**: 107860. doi.org/10.1016/j.geomorph.2021.107860
- Braga R. C., Pimentel M. A.da Silva, Coelho C., Szlafsztein C. F., Rollnic M. 2019. Vulnerabilidade diante da ação energética do mar: Estudo de caso no Município de Salinópolis, Zona Costeira Amazônica, Brasil. *Journal of Integrated Coastal Zone Management/Revista de Gestão Costeira Integrada*, **19** (4): 245-264.
- Brasil. *Decreto Nº 5.300*, de 7 de dezembro de 2004. Regulamenta a Lei no 7.661, de 16 de maio de 1988, que institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro - PNGC, dispõe sobre regras de uso e ocupação da zona costeira e estabelece critérios de gestão da orla marítima. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 dez. 2004.
- Bulhões E. 2020. Erosão costeira e soluções para a defesa do litoral. *In: Muehe D., Lins-de-Barros F.M., Pinheiro L. (eds.). Geografia marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos*. Rio de Janeiro, PGGM. p.655-688.
- Cardenas S. M., Cohen M. C., Ruiz D. P., Souza A. V., Gomez-Neita J. S., Pessenda L. C., Culligan N. 2022. Death and Regeneration of an Amazonian Mangrove Forest by Anthropogenic and Natural Forces. *Remote Sensing*, **14** (24): e6197.
- Climatedata.Org. *Climate data for countries of the world*. Disponível em: <https://climatedata.org/>. Acesso em: 20 dez. 2022.
- Cohen M.C. & Lara R.J. 2003. Temporal changes of mangrove vegetation boundaries in Amazonia: application of GIS and remote sensing techniques. *Wetlands Ecology and Management*, **11**: 223-231.
- Cohen M.C.L., Lara R.J., Ramos J.D.F., Dittmar, T. 1999. Factors influencing the variability of Mg, Ca and K in waters of a mangrove creek in Bragança, North Brazil. *Mangroves and Salt Marshes*, **3**, 9, 15.
- Cohen M. C. L., Pessenda L.C.R., Behling H., Rosseti D. F., França M. C., Guimarães J. T.F., Friaes Y. S., Smith C. B. 2012. Holocene palaeoenvironmental history of the Amazonian mangrove belt. *Quaternary Science Reviews*, **55**: 50-58.
- Cohen M.L., França M.C., Pessenda L.C.R. 2016. Impacts of climate and sea-level changes on mangroves from Brazilian littoral in a millennial, secular, and decadal time scale. *The International Journal of Climate Change: impacts and responses*. **8**: 51-64.

Cohen M.C., Camargo P.M.P., Pessenda L.C., Lorente F.L., Souza A.V.de, Corrêa J.A.M., Dietz M. 2021. Effects of the middle Holocene high sea-level stand and climate on Amazonian mangroves. *Journal of Quaternary Science*, **36** (6): 1013-1027. <https://doi.org/10.1002/jqs.3310>

Cohen M.C.L., Rossetti D.F., Pessenda L.C.R., França M.C., Lorente F.L., Buso Júnior A.A., Giannini P.C.F., Oliveira P.E., Castro D.F. 2018. Decadal-scale dynamics of an Amazonian mangrove caused by climate and sea level changes: Inferences from spatial-temporal analysis and digital elevation models. *Earth Surface Processes and Landforms*, **44** (3): 789-801.

Cohen M.C., Rodrigues E., Rocha D.O., Freitas J., Fontes N.A., Pessenda L.C., Bendassolli J.A. 2020. Southward migration of the austral limit of mangroves in South America: *Catena*, **195**: 04775.

Dias-Oliveira E. & Vestena L. R. 2013. Diagnóstico ambiental da bacia hidrográfica do rio Cascavel, Guarapuava/PR. Geoinf. *Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia (PGE/UEM)*, **5** (2): 27-47.

Dittmar T., Hertkorn N., Kattner G., Lara R.J. 2006. Mangroves, a major source of dissolved organic carbon to the oceans. *Global Biogeochemical Cycles*, **20** (1). <https://doi.org/10.1029/2005GB002570>.

Ellison J.C. 1999. Impacts of sediment burial on mangroves. *Marine Pollution Bulletin*, **37**(8-12): 420-426. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(99\)00055-0](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00055-0)

Fernandes M.E.B. 2016. Os Manguezais da costa norte brasileira. *Museu Paraense Emílio Goeldi*, Belém. **3**.

França M.C., Cohen M.C.L., Pessenda L.C.R., Rossetti D.F., Lorente F.L., Buso Júnior A.A., Macario K. 2013. Mangrove vegetation changes on Holocene terraces of the Doce River, southeastern Brazil. *Catena*, **110**: 59-69.

Gerling C., Ranieri C., Fernandes L., Gouveia M. T. J., Rocha V. 2016. *Manual de ecossistemas marinhos e costeiros para educadores*. Santos, Editora Comunicar. 144.

Giri C., Ochieng E., Tieszen L.L., Zhu Z., Singh A., Loveland T., Masek J., Duke N. 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, **20**(1): 154-159.

Glaser M., Berger U., Macedo R. 2003. Vulnerabilidade local como vantagem: manejo de manguezais no estado do Pará, norte do Brasil, em condições de ilegalidade. *Mudança Ambiental Regional*, **3**(4): 162-172.

Granziera M. L. M. & Gonçalves A. 2012. Os problemas da zona costeira no Brasil e no mundo. São Paulo: *Universitária Leopoldianum*, 240 p.

Hu Q. & Wu W. 2013. Exploring the use of Google Earth imagery and object-based methods in land use/cover mapping. *Remote Sensing*, **5** (11): 6026-6042.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. *Censo demográfico 2010*. Rio de Janeiro, IBGE, 2011. 266 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. *Cidades: Salinópolis*. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa/salinopolis>. Acesso em: 20 dez. 2022

João X. S. J., Teixeira S. G., Fonseca D. D. F. 2013. *Geodiversidade do estado do Pará*. Belém, CPRM. 224 p.

Jorge R.M., Fuck R.A., Dantas E.L., Vidotti R.M., Oliveira D.C. Almeida J.A.C. 2017. Arcabouço geológico-geofísico da região nordeste do Estado do *Pará*. *Revista Brasileira de Geofísica*, **35** (1): 1-19.

Lindsey R. 2022. Climate change: annual greenhouse gas index. *NOAA Climate*. **2**.

Maia L. P., Lacerda L. D. D., Monteiro L. H. U., Souza G. 2005. *Estudo das áreas de manguezais do nordeste do Brasil: avaliação das áreas de manguezais dos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco*. Brasília,DF, MMA/SBF,

Maurya K., Mahajan S., Chaube N. 2021. Remote sensing techniques: mapping and monitoring of mangrove ecosystem—a review. *Complex & Intelligent Systems*, **7**: 2797–2818. <https://doi.org/10.1007/s40747-021-00457-z>

Meeder J.F., Parkinson R.W., Ruiz P.L., Ross M.S. 2017. Invasão de água salgada e previsão da futura resposta do ecossistema à Transgressão Marinha do Antropoceno, Everglades Saline do Sudeste, Flórida. *Hydrobiologia*, **803**: 29-48. <https://doi.org/10.1007/s10750-017-3190-8>

Menezes M.P.M., Berger U., Mehlig U. 2008. Mangrove vegetation in Amazonia: a review of studies from the coast of Pará and Maranhão States, north Brazil. *Acta Amazônica*, **38** (3): 403-420.

Ministério do Meio Ambiente – MMA. 2006. *Plano Nacional de Recursos Hídricos*. Brasília,DF, MMA, 240p.

Moore A.C., Hierro L., Mir N., Stewart T. 2022. Valores e serviços culturais de mangue: situação atual e lacunas de conhecimento. *Pessoas e Natureza*, **4**(5): 1083-1097. <https://doi.org/10.1002/pan3.10282>

Muehe Dieter. Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. 2005. *Mercator-Revista de Geografia da UFC*. **4** (7): 97-110.

Nascimento Jr 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. *Estuarine, Coastal And Shelf Science*, **117**: 83-93. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.11.020>

Negrão Y.Souza, Sousa H. C., Ranieri L.A. 2022. Vulnerabilidade à erosão costeira em praias amazônicas e a ocupação populacional em áreas de riscos. *Revista Brasileira De Geomorfologia*, **23**(2): 1264-1284.

Neves C.F. & Muehe D. 2008. Vulnerabilidade, impactos e adaptação a mudanças do clima: a zona costeira. *Parcerias Estratégicas*, **27**: 217-295.

Nunes S.P., França M.C., Cohen M.C., Pessenda L.C., Rodrigues E.S., Magalhães E. A., Silva F.A. 2023. Assessment the Impacts of Sea-Level Changes on Mangroves of Ceará-Mirim Estuary, Northeastern Brazil, during the Holocene and Anthropocene: *Plants*. **12** (8): e1721.

Oliveira L. M. M. 2017. Identificação de mangue, salgado e apicum através da interpretação visual de imagens Landsat: evolução multitemporal da planície fluviomarina do rio Coreaú/CE. *Revista de Geografia*, **35**(2): 1-15

Otoni F.P., Rodrigues-Filho J.L., Santos R.R., Schaeffer-Novelli Y., Cintrón-Molero G., Coelho Jr., C., Menghini R.P., Soares M.L.G. 2021. Brazilian mangroves at risk. *Biota Neotropica*, **21** (2): e20201172.

Okello J.A., Kairo J.G., Dahdouh-Guebas F., Beeckman H., Koedam N. 2020. As árvores de mangue sobrevivem ao soterramento parcial de sedimentos, desenvolvendo novas raízes e adaptando a anatomia de suas raízes, galhos e caules. *Árvores*, **34**: 37-49. <https://doi.org/10.1007/s00468-019-01902-6>

Parkinson R.W., Craft C., DeLaune R.D., Donoghue J.F., Kearney M., Meeder J.F., Turner R.E. 2017. Marsh vulnerability to sea-level rise. *Nature Climate Change*, **7**(11): 756-756. <https://doi.org/10.1038/nclimate3410>

Pereira C. & Coelho C. 2013. Mapas de risco das zonas costeiras por efeito da ação energética do mar. *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, **13** (1): 27-43.

Pham T. D., Yoshino K., Bui D. T., Le Q.B., Tran H. D. 2019. Remote sensing approaches for monitoring mangrove species, structure, and biomass: Opportunities and challenges. *Remote Sensing*, **11** (3): 230.

Prates A. P. L., Gonçalves, M. A., Rosa M. R. 2012. Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos no Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, **5** (6): 1138-1153.

Proisy C., Coutron P., Fromard F. 2007. Predicting and mapping mangrove biomass from canopy grain analysis using Fourier-based textural ordination of IKONOS images. *Remote Sensing of Environment*, **109** (3): 379-392.

Prost M. T., Mendes A. C., Faure J. F., Berrêdo J. F., Sales M. E. D. C., Furtado L. G., Luz L. M. 2001. Manguezais e estuários da costa paraense: exemplo de estudo multidisciplinar integrado (Marapanim e São Caetano de Odivelas). In: Prost M. T., & Mendes A. C. *Ecossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental*. Belém, Pará, Brazil, Museu Paraense Emílio Goeldi. p.75-87.

Ranieri L. A. & El-Robrini M. 2015. Evolution of the salinópolis shoreline, northeastern of Pará. Brazil. *Pesquisas em Geociências*, **42** (3): 207-226

Reis-Neto A.S., Meireles A.J.A., Cunha-Lignon M. 2019. Natural regeneration of the mangrove vegetation on abandoned salt ponds in Ceará, in the semi-arid region of northeastern Brazil. *Diversity*, **11** (2): 27.

Reinman S.L. 2012. Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC). *Revisões de Referência*, **26**(2): 41-42.

Ribeiro G. P. 2009. *Tecnologias digitais de geoprocessamento no suporte à análise espaço-temporal em ambiente costeiro*. Rio de Janeiro, Universidade Federal Fluminense.

Ribeiro G. P., Santos A. W., Pereira M. F. M., Azevedo M. N., Moraes M. F. 2012. Mapeamento e monitoramento dos mangues fluminenses: ensaios com imagens Landsat e ortofotos (desafios metodológicos). *Revista Brasileira de Geografia Física*, **16** (2): 13-28.

Robaina L. E.de Souza. 2008. Espaço urbano: relação com os acidentes e desastres naturais no Brasil. *Ciência e Natura*, **30**(2): 93-105.

Rossetti D. de Fátima. 2006. Evolução sedimentar miocênica nos estados do Pará e Maranhão. *Geologia USP. Série Científica*, **6** (2): 7-18.

Santos G. E. D. O. & Kadota D. K. 2012. Economia do turismo. *Fundação Cecierj* **1**: 240

Santos K.P. dos & Costa S.M.F.da. 2021. Os efeitos da dispersão metropolitana na cidade de Salinópolis/PA. In: 6º Seminário do Programa de Pós-Graduação Planejamento Urbano e Regional da Univap. *Anais[...]*. Universidade do Vale do Paraíba. p. 1-4.

Santos Júnior G. C. D. 2021. *Gravimetria e estratigrafia cenozoica da porção onshore da Bacia do Marajó e Plataforma Bragantina, Nordeste do Pará*. Orientador: Afonso César Rodrigues Nogueira. MS Dissertation, Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2021. 30 p.

Silva R. R. D. 2016. *Fitólitos em depósitos de colúvio do Quaternário Superior na face nordeste da Bacia Sedimentar do Araripe/CE: significado paleoambiental*. MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Geografia – Ppgeo, Geografia, Centro de Filosofia e Ciências Humanas – CFCH, Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, 2016, 101p.

Souza Filho P. W. M. 2005. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. *Revista Brasileira de Geofísica*, **23**: 427-435.

Souza V.A., Chueiri D.M.A., Wasserman J.C. 2014. Trabalho de Educação Ambiental sobre a importância da relação entre aves e manguezal. *Interagir: Pensando a Extensão*, **17**:19- 45.

Souza A. G. C., Schaeffer-Novelli Y., Cintrón-Molero G., Coelho Jr. C., Menghini R.P. 2006. Composição e estrutura florística em bosques de manguezais paraenses. *Acta Botanica Brasilica*, **20** (2): 343-352.

Spalding M., Blasco F., Field C.D. 2010. The distribution and extent of mangrove ecosystems. Em: Spalding, M., Kainuma, M. & Collins, L. (Eds.). World Atlas of Mangroves. *Routledge*, London, **14**: 19-31.

Spalding M. D., Ruffo S., Lacambra C., Meliane I., Hale L. Z., Shepard C. C., Beck M. W. 2014. O papel dos ecossistemas na protecção costeira: Adaptação às alterações climáticas e aos perigos costeiros. *Ocean e Coastal Management*, **90**:50-57. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.02.005>

Távora V. D. A., Santos A. A. R. D., Araújo R. Neto. 2010. Localidades fossilíferas da Formação Pirabas (Mioceno Inferior). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais*, **5**(2): 207-224.

Thiollent M. & Silva G. D. O. 2007. Metodologia de pesquisa-ação na área de gestão de problemas ambientais. *Revista Eletrônica de Comunicação, Informação e Inovação da Saúde-RECIIS*, Institucional da Fiocruz ICICT, Rio de Janeiro, **1** (1): 93-100, jan.-jun.

Thomas N., Lucas R., Bunting P., Hardy A., Rosenqvist A., Simard M. 2017. Distribution and drivers of global mangrove forest change, 1996–2010. *Plos ONE*, **12** (6): e0179302.

Trosdorf Junior I., Zalán P. V., Figueiredo J. D. J. P.de, Soares E. F. 2007. Bacia de Barreirinhas. *Bol. Geociências Petrobrás*, Rio de Janeiro., **15**(2): 357-369.

Vale J. R. B., Costa L. S.da, Pimentel M. A. da Silva. 2021. Análise da morfometria e do uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Mocajuba, zona costeira Amazônica. *Geosul*, **36**(78): 537-557.

Vasconcellos R. M. D. 2002. *Geotiff*: uma abordagem resumida do formato. *Rio de Janeiro*, CPRM. p. 1-143.

Woodroffe C. D., Rogers K., McKee K. L., Lovelock C. E., Mendelsohn I. A., Saintilan N. 2016. Mangrove sedimentation and response to relative sea-level rise. *Annual Review of Marine Science*, **8**: 243-266. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-122414-034025>



Ministério da Educação
Universidade Federal do Pará
Sistema de Bibliotecas

DECLARAÇÃO DE AUTORIA

Autor: Isabelle Caroline Gyes Serrão

CPF: 009758492-47 Matrícula: 000201901770003

Telefone (91) 98209-9680 e-mail: izabellecg.serrao@gmail.com

Curso/Programa: Geologia e Geoquímica

Orientador: Marcelo Cancela Lisboa Cohen

Coorientador: _____

Data da Defesa: 13/12/2021

Título/Subtítulo: Fontes naturais e antropicas sobre os manguezais de Galinópolis - Pará

Tipo do documento: () TCC¹ () TCCE² (X) Dissertação () Tese () Artigo Científico
() Livro () Capítulo de livro () Outro: _____

Declaro que, para os devidos fins, o presente trabalho é de minha autoria e que estou ciente:

- Dos Artigos 297 a 299 do Código Penal, Decreto-Lei n. 2.848 de 7 de dezembro de 1940;
- Da Lei n. 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, que dispõe sobre os Direitos Autorais;
- Do Regimento Interno da Universidade Federal do Pará;
- Da lei 12.527 de novembro de 2011, que trata da Lei de Acesso à Informação;
- Da utilização da licença pública internacional *Creative Commons 4.0*;
- Que plágio consiste na reprodução de obra alheia e submissão da mesma como trabalho próprio ou na inclusão, em trabalho próprio, de ideias, textos, tabelas ou ilustrações transcritos de obras de terceiros sem a devida e correta citação referencial.

Isabelle Serrão

Autor

Belém, 30 de novembro de 2023

Local e Data

¹ Trabalho de Conclusão de Curso

² Trabalho de Conclusão de Especialização



Ministério da Educação
Universidade Federal do Pará
Sistema de Bibliotecas

TERMO DE AUTORIZAÇÃO E DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO EXCLUSIVA PARA PUBLICAÇÃO DIGITAL NO PORTAL INSTITUCIONAL DE ACESSO ABERTO DA UFPA

1. Tipo de documento: () TCC³ () TCCE⁴ (X) Dissertação () Tese () Artigo Científico () Livro () Capítulo de Livro () Trabalho Apresentado em evento

2. Informações sobre a obra:

Autor: Isabelle Caroline Góes Senão
RG: 5630570 CPF: 009758492-47 E-mail: izabellecg.derras@gmail.com
Telefone: (91) 982099680 Curso/Programa: Geologia e Geoquímica
Orientador: Marcelo Canela Lisboa Cohen Coorientador: _____

Título do documento:

Dissertação de mestrado

Data da defesa: 13/12/21 Área do Conhecimento: Geologia marinha e costeira
Agência de Fomento (se houver): Capes

3. Informação de disponibilização do documento:

Restrição para publicação: () Total () Parcial (X) Sem restrição

Justificativa de restrição total*: _____

Em caso de restrição parcial, especifique os capítulos restritos: _____

A partir de qual data esse documento poderá ser disponibilizado: ____/____/____

4. Permissões⁵

Permite o uso comercial da obra? (X) Sim () Não / Permitir modificações na obra? (X) Sim () Não

O documento está sujeito a patentes? () Sim (X) Não

5. T&D defendidas fora da instituição

É Tese ou Dissertação defendida fora da UFPA? () Sim (X) Não

Belém, 30 de novembro de 2023
Local e Data

Isabelle Senão
Assinatura do autor

³ Trabalho de Conclusão de Curso

⁴ Trabalho de Conclusão de Curso em Especialização

⁵ Creative Commons Internacional 4.0