



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

JULIANA SALES DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DOS MANGUEZAIS NO ENTORNO DO PARQUE
NACIONAL DOS LENÇÓIS MARANHENSES (BRASIL)**

São Luís - MA
2022

JULIANA SALES DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DOS MANGUEZAIS NO ENTORNO DO PARQUE
NACIONAL DOS LENÇÓIS MARANHENSES (BRASIL)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Maranhão como requisito para obtenção do grau de Mestre em Geografia.

Linha de Pesquisa: Ambiente e Análise Espacial.

Orientador: Prof. Dr. André Luís Silva dos Santos.

Coorientadora: Cláudia Klose Parise.

São Luís - MA

2022

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

Sales dos Santos, Juliana.

AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DOS MANGUEZAIS NO ENTORNO DO
PARQUE NACIONAL DOS LENÇÓIS MARANHENSES BRASIL / Juliana
Sales dos Santos. - 2022.

42 p.

Coorientador(a): Claudia Klose Parise.

Orientador(a): André Luís Silva dos Santos.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em
Geografia, Universidade Federal do Maranhão, Lençóis
Maranhenses, 2022.

1. Mangue. 2. Mapbiomas. 3. Mudanças Climáticas. 4.
Sensoriamento Remoto. I. Klose Parise, Claudia. II.
Silva dos Santos, André Luís. III. Título.

JULIANA SALES DOS SANTOS

**AVALIAÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DOS MANGUEZAIS NO ENTORNO DO PARQUE
NACIONAL DOS LENÇÓIS MARANHENSES (BRASIL)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Maranhão como requisito para obtenção do grau de Mestre em Geografia.

Aprovada em 15/07/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof.Dr. André Luís Silva dos Santos
Instituto Federal do Maranhão - IFMA

ORIENTADOR

Prof.Dra. Cláudia Klose Parise
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

COORIENTADORA

Prof.Dra. Taíssa Caroline Silva Rodrigues
Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão - UEMASUL

MEMBRO INTERNO

Prof.Dr. Fabrício Brito Silva
Universidade Ceuma - CEUMA

MEMBRO EXTERNO

Dedicatória

“Deleite-se no Senhor, e ele atenderá aos desejos do teu coração.”

(Salmo 37:4)

Agradecimentos

Em primeiro lugar agradeço ao bom Deus pelo seu infinito amor e misericórdia, pois é pela sua graça derramada que vivo e estou concluindo mais uma etapa importante em minha vida, pois certamente não mereço.

Agradeço aos meus pais Simeir Sales e Cleomar Santos, assim como também a minha avó Vitória Sales (In Memoriam), por nunca medirem esforços para minha formação, pelos ensinamentos, dedicação, pelo amor, compreensão e constante estímulo em todas as etapas da minha vida. A vocês, a quem devo tudo o que sou hoje, expresso meu reconhecimento e agradecimentos.

Ao meu esposo Manoel Pinheiro por estar sempre ao meu lado, me apoiando, incentivando e ajudando a cada dia. A você, a quem tanto admiro e amo, expresso meu amor, carinho e gratidão por me estimular na conquista de mais este degrau em minha vida.

Aos meus filhos Emanuel Sales e Joel Sales, que participam desta etapa em minha vida, com inúmeras demonstrações de amor e carinho. Vocês são a maior razão por tudo que luto nesta vida, meus amores.

A todos da minha família, pelas orações, suporte e torcida.

À Universidade Federal do Maranhão e ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGEO/UFMA), pela oportunidade de realização do curso de Mestrado e aos amigos que conheci através do curso, Richard Jardim e Ludmila Natasha, obrigada pelo ombro amigo de vocês.

Aos meus orientadores Prof. Dr. André Luís Silva dos Santos e a Prof. Dra. Claudia Klose Parise, dos quais tenho muito apreço pelo modelo de liderança que exercem, no respeito às pessoas, pela generosidade e, sobretudo, pela amizade de ambos. Obrigado pela confiança depositada, pelas palavras de incentivo e pela orientação, bem como coorientação ímpar e imprescindível para o andamento deste trabalho.

Aos amigos biólogos e geógrafo, grandes contribuintes para a logística de trabalho campo (Ana Santos, Alex Viegas, Milena Rocha, Vitória Sousa e Ulisses Denache). E aos amigos que fiz no (LACLIMA), Adilson Machado e Thalita Furtado que foram muito solícitos e importantes para o processamento de alguns dados para a conclusão deste trabalho.

As minhas grandes amigas, obrigada pelo apoio emocional durante a execução desse trabalho, Juliana Lopes, Marcela Pyles e em especial à Maria Elizabeth Vasconcelos, pelos ensinamentos de como viver a vida com mais amor e gratidão. Pelos conselhos valiosos e principalmente, pela paciência nos dias de aflição (afinal, não foi fácil conciliar família, trabalho e estudo) e pela amizade que se firmou.

Lista de Figuras

- Figura 1** – Mapa da área de estudo destacando as florestas de mangues avaliadas no entorno do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses. Classificação de uso e cobertura da Terra, Projeto MapBiomias 5 e as parcelas de mangue realizadas nos povoados de Vassouras, Caburé, Praia do Atins e Canto do Atins.....11
- Figura 2** - (a) Classes de mangue e duna durante o período de estudo como porcentagem da cobertura da terra total em cada ano. (b) Cobertura florestal de mangue e duna anual entre 1985 e 2019 no entorno dos Lençóis Maranhenses, Brasil.....15
- Figura 3** - (a-b) Área anual da classe de mangue como porcentagem da cobertura da terra entre 1985 e 2019. Observe que as figuras representam o ganho, a estabilidade e a perda de mangue em diferentes escalas cores.....16
- Figura 4** - (a-b) Área anual da classe de duna como porcentagem da cobertura da terra entre 1985 e 2019. Observe que as figuras representam o ganho, a estabilidade e a perda de duna em diferentes escalas cores.....17
- Figura 5** – (a – i) Distribuição das florestas de mangue no entorno dos Lençóis maranhenses, sob aplicação dos índices de vegetação NDVI, MNDWI e MMRI para os anos de 1985 e 2019 (LANDSAT 5 e LANDSAT 8 OLI) respectivamente. (e – j) Observe que as figuras representam a distribuição do manguezal fornecida pela assinatura de alta qualidade do índice MMRI e em comparação aos dados para classe de mangue Mapbiomas 5.....18
- Figura 6** – Representação gráfica da distribuição e estado qualitativo das espécies de mangue, nos arredores dos povoados de Barreirinhas - MA, Canto do Atins, Praia do Atins, Vassouras e Caburé no ano de 2020.....19
- Figura 7** – (a - c) Os dados de direção (°) e intensidade (m/s) do vento para cada ano do período estudado 1985 (a), 2019 (b) e 1980 – 2020 (c) apresentados graficamente, sob forma de Rosa dos ventos.....21
- Figura S1** – As sete espécies arbóreas de mangues comuns encontradas na região dos Lençóis Maranhenses; (A): *Rhizophora mangle*; (B): *Rhizophora racemosa*; (C): *Rizophora harrisonii*; (D) *Laguncularia racemosa*; (E): *Canocarpus erectus*; (F) *Avicennia schaueriana* e (G) *Avicennia germinans*.....26
- Figura S2** – (A): Delimitação do bosque de *Canocarpus erectus* para avaliação do manguezal; (B): Medição dendrométrica, do diâmetro da árvore de mangue; (C): Avaliação em um bosque de mangue

de predominância *Langularia racemosa*; (D) Macaco-prego (*Sapajus xanthosternos*) sobre os caules de *Rizophora mangle*, expostos em maré baixa; (E): Jiboia (*Boa constrictor*), encontrada em árvore de mangue da espécie *Langularia racemosa*; (F) Caranguejo da espécie aratu-vermelho (*Goniopsis cruentata*) próximo à entrada de uma toca no substrato lamoso do manguezal.....27

Figura S3 – (A - B): Espécie *Rizophora mangle* encontradas nas bordas da Praia do Atins em fase de senescência ocasionado pelo aporte de areia; (C): Espécie *Avicennia germinans* encontrada próximo ao povoado de Caburé, em fase de senescência ocasionada pelo aporte de areia; (D) Mangues jovens encontrados próximo ao povoado de Canto do Atins, da espécie do tipo *Canocarpus erectus*; (E): Uma floresta de mangue com características de franja e consolidada, composta por espécies do tipo *Rizophora mangle*, as margens do Rio Preguiças; (F) Pneumatófaros da espécie *Avicennia* em substrato lamoso, responsáveis pelas suas trocas gasosas.....28

Figura S4 – (A): Lixo depositado próximo aos arbustos de mangue da espécie *Canocarpus Erectus*; (B): Mulheres lavando nas margens do Rio Preguiças; (C): Retiro de pesca, construídos com madeira extraída do manguezal, nas proximidades da comunidade de Caburé (D) Turistas, em passeio de lancha voadeira no Rio Preguiças (E): Prática esportiva com Jet-Ski, no Rio Preguiças; (F) Família de pescadores, desenvolvendo a pesca artesanal no Rio Preguiças.....29

Lista de Abreviaturas e Siglas

DP – Divisão de Pesquisa

ECMWF – *European Center for Medium Range Weather Forecast*

ICEA – do Instituto de Controle do Espaço Aéreo

LANDSAT5 – *Land Remote Sensing Satellite 5*

LANDSAT8 – *Land Remote Sensing Satellite 8*

MA – Maranhão

MAPBIOMAS – Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil

MMRI – *Modular Índice de Reconhecimento de Mangue*

MNDWI – *Modified Normalized Difference Water Index*

NDVI – Índice de Vegetação de Diferenças Normalizadas

OLI – *Operational Terra Imager*

PNLM – Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses

PPMA – Seção de Meteorologia Aeronáutica

UTC – *Tempo Universal Coordenado*

RESUMO

Os manguezais dos Lençóis Maranhenses são altamente produtivos e fornecem muitos serviços ecossistêmicos, tais como melhoria da qualidade da água, redução da erosão costeira e apoio das redes alimentares costeiras, bem como, produtos florestais utilizados no desenvolvimento econômico local. Diante disso, a avaliação dos manguezais e sua distribuição, relacionada da dinâmica de dunas que compõem a região, são cruciais para fornecer aos tomadores de decisão as ferramentas necessárias para a elaboração de políticas e estratégias voltadas para o manejo e conservação das florestas de mangue na região do litoral oriental. O objetivo desse trabalho, foi avaliar a distribuição das florestas nos anos de 1985 e 2019 e averiguar os impactos, bem como, a perda, a estabilidade e o ganho dessas florestas de mangue em decorrência da dinâmica dunar na região do entorno dos Lençóis Maranhenses. Nossos resultados revelaram que a cobertura florestal de mangue na área de estudo, apresentou uma redução líquida de 3.72 km², identificada em (2019 – 1985). Foi identificado ainda, um aumento de duna em torno de 15.34 km², considerando os dois anos analisados, sendo superior a 100% o aumento de areia sobre a floresta de mangue no entorno dos Lençóis Maranhenses. Uma análise detalhada de ganho, estabilidade e perda de cada classe, mangue e duna, demonstrou áreas de migração de dunas, soterramento e consequente morte do mangue para os anos aqui estudados. A área total de floresta de mangue perdida foi de 8.27 km² em 1985 para 2019 (8% de perda), com estabilidade significativa de 26.32 km² de área de mangue (26% de estabilidade). Por outro lado, foi possível observar o surgimento de novas áreas de floresta de mangue, com aproximadamente 3.74 km² em 1985 para 2019 (4% de ganho). O cálculo do índice de vegetação MMRI (Índice Modular de Reconhecimento de Mangue), permitiu a visualização de outras pequenas faixas de mangue, próximo a região da foz do Rio Preguiças, em áreas não demonstradas ou classificadas pelos dados do Mapbiomas, confirmando a confiabilidade e eficácia dos dados de uso e cobertura da terra Mapbiomas, entorno de 94,80%, de acordo com a literatura. Além disso, constatou-se que o aumento do campo de dunas, que atinge principalmente os povoados de Caburé e Praia do Atins, apresentam maior fragilidade do mangue, com registros das observações em *in situ*, de espécies em fase de senescência. O aumento da morraria de areia, está diretamente relacionado aos regimes de ventos alísios, que caracterizam a região e que têm deslocado grande parte do sedimento arenoso da costa para o continente, com intensidade maiores registradas no ano de 1985. Assim, medidas que contribuam para a conservação das florestas de mangue da região, tanto com medidas para controle das mudanças climáticas de modo geral e ainda antrópica, terão um reflexo positivo para as florestas de mangue da área de estudo.

SUMÁRIO

I. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	7
II. CAPÍTULO 1.....	8
1. INTRODUÇÃO.....	9
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
2.1. Área de Estudo.....	11
2.2. Conjuntos de Dados.....	12
2.2.1. Dados de Uso e Cobertura da Terra Medidos por Satélites.....	12
2.2.2. Dados Morfométricos das Florestas de Mangue Medidos <i>in situ</i>	12
2.2.3. Dados de Ventos em Superfície.....	12
2.3. Processamento e Análise dos Dados.....	13
2.3.1. Análise Espacial.....	13
2.3.2. Análise In-Situ.....	14
2.3.3. Análise da Dinâmica dos Ventos.....	14
3. RESULTADOS.....	15
3.1. Dinâmica das Florestas de Mangue e Duna em 1985 e 2019.....	15
3.2. Distribuição dos Manguezais em in-situ.....	19
3.3. Avaliação do Regime de Ventos.....	20
4. DISCUSSÃO.....	22
5. CONCLUSÃO.....	25
Agradecimentos.....	26
MATERIAL SUPLEMENTAR.....	27
REFERENCIAS.....	31
III. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	35
REFERÊNCIAS.....	36
APÊNDICES.....	36
Quadro-Sumário das Normas da Revista para submissão do artigo.....	36

I. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Essa dissertação foi elaborada na forma de Artigo Científico, o qual será submetido 01 artigo, aos **Anais da Academia Brasileira de Ciências – AABC** (Qualis Capes A2), ainda em julho de 2022, após as considerações que forem apresentadas pela banca e tradução para o idioma (inglês), conforme já estão as figuras e gráficos no corpo do trabalho. As normas de publicação da revista e o e-mail de submissão do artigo estão nos Anexos deste documento.

Este estudo baseou-se em técnicas geoespaciais de modo a auxiliar no levantamento de dados pretéritos e de campo para a investigação da dinâmica dos manguezais no entorno dos Lençóis Maranhenses, que é uma região altamente dinâmica e apresenta poucos estudos científicos. Na região dos Lençóis Maranhenses, o regime de ventos é o fator climático principal responsável pela dinâmica de dunas e modelação da paisagem. Além disso, os mangues encontrados na região são altamente produtivos e fornecem muitos bens e serviços ecossistêmicos como a melhora da qualidade da água, o fornecimento de frutos do mar e produtos florestais utilizados no desenvolvimento econômico regional, a redução da erosão costeira, o apoio às redes alimentares costeiras, a atenuação dos impactos à inundações e o sequestro carbono (IBAMA, 1989; REBELO-MOCHEL, 1995). Assim, dada a importância social, econômica e ambiental desse ecossistema para o bem-estar e desenvolvimento da população da região dos Lençóis Maranhenses, estudos que busquem conhecer os reais efeitos da dinâmica de dunas sobre esse ecossistema, são primordiais. O presente estudo busca antecipar as possíveis respostas dos mangues aos efeitos interativos da dinâmica de dunas, bem como, fornecer subsídio científico para tomadas de decisões que minimizem os impactos negativos e que garantam a continuidade do fornecimento dos serviços ecossistêmicos nessa região.

Somada a essas **I. Considerações Iniciais** (relatando o formato e importância do trabalho) este documento segue com o **II. Capítulo 1**, constando, na íntegra (o artigo científico a ser submetido), seguido das **III. Considerações Finais**, e as **Referências e Anexos** (Normas da Revista).

II. CAPÍTULO 1

PERDA E GANHO DAS ÁREAS DE MANGUE NO ENTORNO DOS LENÇÓIS MARANHENSES: UMA ABORDAGEM INTEGRADA UTILIZANDO DADOS DE SENSORIMENTO REMOTO E SIG

Juliana S. dos Santos^{1*} <https://orcid.org/0000-0003-0134-3438>

André L. S. dos Santos² <https://orcid.org/0000-0002-9590-6686>

Claudia K. Parise³ <https://orcid.org/0000-0002-9466-788X>

Thalita Miriam Santos Furtado³ <https://orcid.org/0000-0002-3704-0511>

Adilson M. B. Machado³ <https://orcid.org/0000-0002-4838-6913>

Ulisses D. V. Souza⁴ <https://orcid.org/0000-0002-4964-9017>

Juliana Lopes Almeida⁵ <https://orcid.org/0000-0002-5490-5572>

Ana C. S. Santos¹ <https://orcid.org/0000-0002-3361-3124>

Milena da Silva Rocha² <https://orcid.org/0000-0002-8579-0114>

Vitória R. S. R. Santos¹ <https://orcid.org/0000-0002-7798-8331>

¹Departamento de Geociências, Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Avenida dos Portugueses, 1966, Vila Bacanga, 65080805, São Luís – MA – Brasil.

²Grupo de Informática Aplicada e Geoprocessamento (GIAGEO), Instituto Federal do Maranhão (IFMA), Avenida Getúlio Vargas, 04, Monte Castelo, 65030005, São Luís – MA – Brasil.

³Laboratório de Estudos de Modelagem Climática (LACLIMA), Departamento de Oceanografia e Limnologia (DEOLI), Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Avenida dos Portugueses, 1966, Vila Bacanga, 65080805, São Luís – MA – Brasil.

⁴Laboratório de Aerofotogrametria e Sensoriamento Remoto (LASERE), Avenida Professor Lineu Prestes, 338, Cidade Universitária, Butantã, 05508000, São Paulo – SP – Brasil.

⁵Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Pará (UFPA), Rua Augusto Corrêa, 01 Guamá, 66075-110, Belém – PA – Brasil.

*Juliana Sales dos Santos, Departamento de Geociências, Universidade Federal do Maranhão (UFMA), Avenida dos Portugueses, 1966, Vila Bacanga, 65080805, São Luís, MA, Brasil. Telefone: +55 (98) 98568-5742. E-mail: juliana.sales@discente.ufma.br

RESUMO

Os manguezais dos Lençóis Maranhenses são altamente produtivos e fornecem muitos serviços ecossistêmicos. Diante disso, a avaliação dos manguezais e sua distribuição, relacionada da dinâmica de dunas que compõem a região, são cruciais para fornecer aos tomadores de decisão, políticas e estratégias voltadas para o manejo e conservação das florestas de mangue na região do litoral oriental. O objetivo desse trabalho, foi avaliar a distribuição das florestas nos anos de 1985 e 2019 e averiguar os impactos, bem como, a perda, a estabilidade e o ganho dessas florestas de mangue em decorrência da dinâmica dunar na região do entorno dos Lençóis Maranhenses. Nossos resultados revelaram que a cobertura florestal de mangue na área de estudo, apresentou uma redução líquida de 3.72 km², identificada em (2019 – 1985). Foi identificado ainda, um aumento de duna em torno de 15.34 km², considerando os dois anos analisados, sendo superior a 100% o aumento de areia sobre a floresta de mangue no entorno dos Lençóis Maranhenses. Por outro lado, foi possível observar o surgimento de novas áreas de floresta de mangue, com aproximadamente 3.74 km² em 1985 para 2019 (4% de ganho). Além disso, constatou-se que o aumento do campo de dunas, que atinge principalmente os povoados de Caburé e Praia do Atins, apresentam maior fragilidade do mangue, com registros das observações em *in situ*, de espécies em fase de senescência. O aumento da morraria de areia, está diretamente relacionado aos regimes de ventos alísios, que caracterizam a região e que têm deslocado grande parte do sedimento arenoso da costa para o continente, com intensidade maiores registradas no ano de 1985.

Keywords: Lençóis Maranhenses, Mangue, Sensoriamento Remoto, Mapbiomas, Mudanças Climáticas.

1. INTRODUÇÃO

Os manguezais são conhecidos como um dos ecossistemas mais produtivos do planeta, desempenhando diversas funções ecológicas e interesses econômicos, como a proteção contra a erosão e danos causados pelas tempestades, fornecimento de habitats críticos, apoio às cadeias alimentares estuarinas e são capazes de sequestrar cinco vezes a quantidade de carbono que as florestas tropicais desenvolvidas (Wang et al., 2004; Giri and Muhlhausen, 2008; Ellison, 2008; Das; Vincent, 2009; Siikamaki et al., 2012). Esses ecossistemas, normalmente são encontrados em regiões de clima tropical ou temperado quente ao longo da zona intertidal de ambientes costeiros ou margens estuarinas (Amarasinghe and Balasubramaniam, 1992; Myint et al., 2008; Duke, 2006). Globalmente são

encontrados nos trópicos, onde a segunda maior extensão territorial de manguezais do mundo está no Brasil, perdendo apenas para a Indonésia. Em uma escala regional, o estado do Maranhão apresenta aproximadamente 36% da área total do manguezais brasileiros, sendo parte localizada no litoral oriental do estado, nos Lençóis Maranhenses. Os mangues dessa região são altamente produtivos e fornecem muitos serviços ecossistêmicos, tais como melhoria da qualidade da água, redução da erosão costeira e apoio das redes alimentares costeiras, bem como, produtos florestais utilizados no desenvolvimento econômico local (Ibama, 1989; Vanucci, 2003).

Segundo Janzen (1985) e Krauss et al., (2008) apesar de apresentar diversas potencialidades, esse ambiente é considerado frágil. Diferentemente das florestas terrestres, precisam de plantas de sub-bosque como condições favoráveis mediante às duras condições ambientais, que inclui a mudança do estado fisiológico, principalmente em casos de eventos climáticos extremos, ou seja, as variações ou intensificações dos gradientes atmosféricos são uns dos principais fatores que afetam a dinâmica desse ecossistema, além dos fatores antrópicos (Lee, 1999; Das; Vincent, 2009; Siikamaki et al., 2012). Nesse contexto, Santos et al. (2019) caracterizaram o regime de ventos nos Lençóis Maranhenses como um intenso agente climático e um dos principais responsáveis pela dinâmica de dunas local, com ventos soprando de nordeste com velocidade média de 70 km/h.

Dados provenientes de sensoriamento remoto tem sido amplamente utilizados para monitorar e entender as mudanças no uso e cobertura da terra, bem como a distribuição da vegetação de mangue ao longo das últimas décadas, oferecendo importantes vantagens, como a observação indireta das florestas de mangue que normalmente são de difícil acesso (Green et al., 1998; Giri et al., 2007; Giri et al., 2011; Clinton et al., 2014). Por exemplo, (Rodriguez et al., 2016; Cavanaugh et al., 2018; Osland et al., 2018 e Songsom et al., 2019). Outra alternativa para o estudo dos fatores climáticos reguladores da dinâmica do manguezal é o uso de dados de reanálises atmosféricas, bases de dados que assimilam *medições in situ* fornecidos por radares meteorológicos e sensores a bordo de satélites (ECMWF, 2009; Couto et al. 2015). Assim, dados de reanálise se apresentam como uma excelente ferramenta na análise do clima global, principalmente por resolver problemas associados à calibração de sensores, à baixa densidade de estações meteorológicas, à descontinuidade de séries temporais, a defeitos em equipamentos ou erros de coleta ou medição.

Diante da dificuldade de obter informações sobre o clima da região do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (PNLM), a análise da distribuição dos manguezais e correlações com a dinâmica das dunas são cruciais para fornecer aos tomadores de decisão as ferramentas necessárias para a elaboração de políticas e estratégias voltadas para o manejo e prevenção das florestas de mangue na região do litoral maranhense oriental. Este estudo contribui para tal entendimento ao identificar áreas de ganho, perda e estabilidade das florestas de mangue no entorno no PNLM para os anos de 1985 e 2019, fornecendo mapas explícitos das mudanças espaciais ocorridas nos manguezais, buscando determinar

os impactos dos regimes de ventos na região sobre a migração e atenuação do mangue. Isso permitirá que os tomadores de decisão definam áreas prioritárias para o manejo e restauração e preservação do ecossistema manguezal.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

O Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses (PNLM) está localizado na região nordeste do Brasil, mais precisamente na zona costeira do litoral oriental do estado do Maranhão. O PNLM possui uma área de 155.000 ha e está inserida no decreto nº 86.060, de 02 de junho de 1981, sendo formado por um dos campos de dunas mais expressivos do mundo, com lagoas temporárias e perenes associadas à vegetação de restinga, rios de água quente, praias desertas, e manguezais exuberantes (Ibama, 1989).

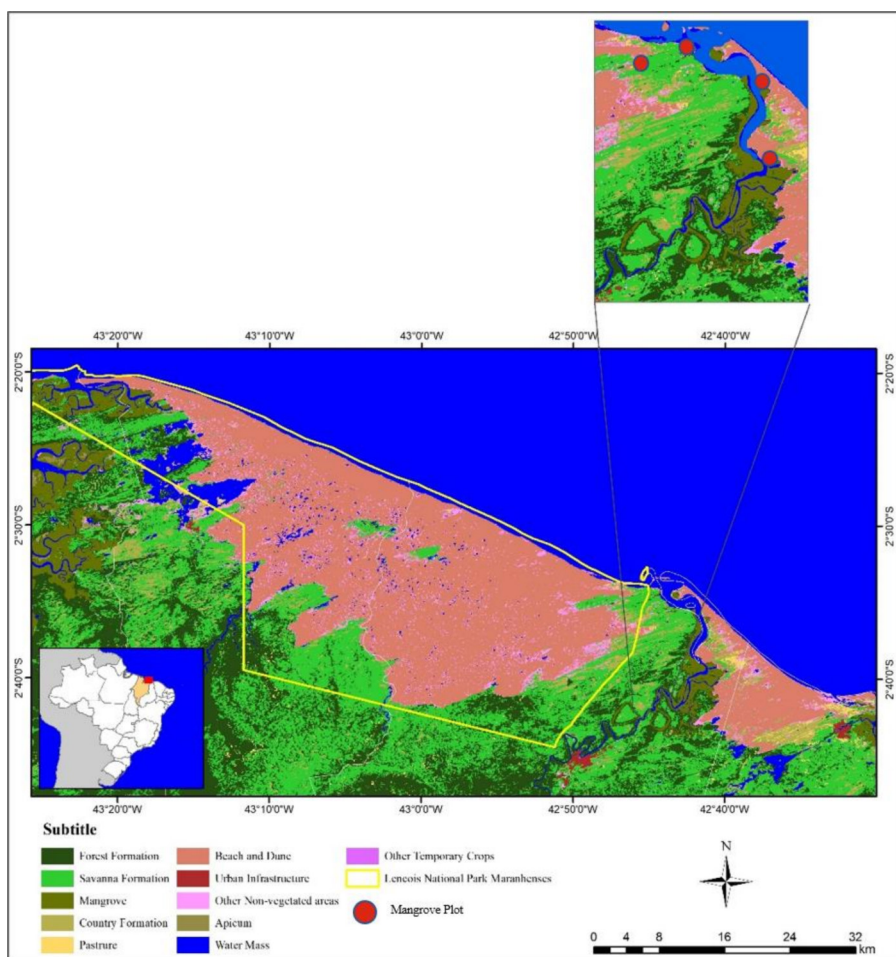


Figura 1 – Mapa da área de estudo destacando as florestas de mangues avaliadas no entorno do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses. Classificação de uso e cobertura da Terra, Projeto MapBiomias 5 e as parcelas de mangue realizadas nos povoados de Vassouras, Caburé, Praia do Atins e Canto do Atins.

Nossa área de estudo segue o curso do Rio Preguiças (Figura 1, no detalhe), onde são encontrados os quatro gêneros e as sete espécies arbóreas de mangues comuns, a saber: *Rhizophora mangle*, *Rhizophora racemosa* e *Rhizophora harrisonii* (mangue vermelho), *Avicennia germinans* e *Avicennia schaueriana* (mangue preto), *Laguncularia racemosa* (mangue branco) e *Conocarpus erectus* (mangue de botão) (Mochel, 1995).

2.2. Conjunto de Dados

Um total de dois conjuntos de dados de sensoriamento remoto foi usado neste estudo, incluindo uso da terra e cobertura da terra e ventos em superfície. Além disso, foi realizada uma visita técnica *in loco* no período de 14 a 18 de dezembro de 2020, para identificação, distribuição das espécies de mangue nos Lençóis Maranhenses.

2.2.1. Dados de Uso e Cobertura da Terra Medidos por Satélites

Os dados de uso e cobertura da terra foram obtidos do Projeto MapBiomas, Coleção 5. Foram utilizados mapas anuais para os anos de 1985 e 2019. Este conjunto de dados foi obtido pela classificação de imagens de satélite *Landsat* com resolução espacial e temporal de 30 m e de 16 dias, respectivamente (Wulder et al., 2019). Os dados do Mapbiomas possuem uma precisão geral de 94,80%, desacordo de alocação com 2,80% e discordância de área com 2,40% (Silva Junior et al, 2020). Além disso, foram adquiridas imagens *Landsat 5* e *Landsat 8* OLI pela plataforma *Earth Explorer* (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) brutas e não classificadas da área de estudo, para análises comparativas, com os dados Mapbiomas.

2.2.2. Dados Morfométricos das Florestas de Mangue Medidos *in situ*

O levantamento de campo foi feito a partir de incursões à floresta de mangue realizando a delimitação de quadrantes de 25 m x 25 m (área de 625 m²), onde todas as árvores pertencentes a esse quadrante tiveram sua altura e circunferência na altura do peito medidas e catalogadas. As regiões ao longo do Rio Preguiças escolhidas para a medição dessas informações foram Vassouras, Canto do Atins, Praia de Atins (Moana) e Caburé, todos povoados de Barreirinhas – MA. Essas áreas foram selecionadas com base em dois critérios: a homogeneidade da floresta de mangue, com espécies e biomassa semelhantes.

2.2.3. Dados de Ventos em Superfície

Dados horários de ventos a 10 m foram obtidos da reanálise ERA 5 (<https://cds.climate.copernicus.eu/>), a quinta e mais recente geração de reanálises atmosféricas do

European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) de clima global, para o período de 1980 a 2020. Os dados da ERA5 foram extraídos para a área de estudo (Lat: 02° 45' 00" S – Long: 042° 40' 00" W / Lat: 02° 32' 30" S – Long: 042° 47' 30" W).

2.3. Processamento e Análise de Dados

2.3.2. Medidas *in situ* da Floresta de Mangue

As parcelas de floresta de mangue foram medidas com auxílio de trena, com os fios esticados fixados em piquetes ou em árvores cujos troncos representavam os vértices das parcelas. Após a delimitação das parcelas (625 km²), foram medidas com fita métrica as circunferências na altura do peito das árvores contidas no perímetro e com trena de infravermelho a altura das plantas medidas. Essas medidas foram submetidas ao cálculo da biomassa total e à quantificação de espécies vivas e mortas de mangue.

2.3.1. Classificação Espacial do Mangue

Primeiramente, classificamos os mapas originais de uso e cobertura da terra do MapBiomas para a área de estudo com o código de classes e legendas disponíveis para a coleção 5. Em seguida, consideramos a classe “mangue” em ambos os anos analisados, considerando a faixa de mangue de 1985 como antiga e a faixa de mangue de 2019 como atual. A classe “praia e duna” fornecida pelos mapas de uso e cobertura da terra do Mapbiomas também foi considerada e extraída para a análise de sua dinâmica e influência sobre o ecossistema manguezal. Para a análise espacial, utilizou-se uma grade regular de pixels com resolução espacial de 30 km. Os resultados da classificação de mangue para a região entre a delimitação do PNLM e os pequenos Lençóis foram quantificados como a área (km²) para cada pixel de 1985 e 2019. Além disso, calculamos a área (km²) da classificação de duna dos pequenos Lençóis, mais próxima da floresta de mangue analisada, devido a sua interferência natural observa e especialmente entre os anos 1985 e 2019.

2.3.2 Índices Espectrais para o Mangue

Foram utilizados ainda, índices espectrais que podem ser descritos como equações matemáticas entre diferentes bandas e que foram destinados à análise da vegetação, especialmente na detecção dos manguezais e de mudanças potenciais, com comparação da classificação para mangue Mapbiomas. Em relação aos manguezais, existem vários índices indicadores que permitem discriminá-los. Primeiro, o NDVI (Índice de Vegetação de Diferenças Normalizadas) é um índice usado para detecção de vegetação e é derivado das bandas do vermelho e do infravermelho próximo (1). Em segundo lugar, o MNDWI (Índice Hídrico de Diferenças Normalizadas Modificado) é um índice de detecção de água derivado das

bandas do verde e do infravermelho médio (2). Por fim, o MMRI (Índice Modular de Reconhecimento de Mangue) é atualmente o índice mais eficaz para detecção de mangue de acordo com o coeficiente Bhattacharya e é o resultado da operação entre o NDVI e o MNDWI (Índice Hídrico de Diferenças Normalizadas Modificado) (3). O processamento de imagens foi realizado através de ferramentas geoespaciais, em nuvem, pela plataforma Google Earth Engine (<https://earthengine.google.com/>) e dos softwares ENVI 5.0 (Environment for Visualizing Images) e Qgis 3.10, empregados para análises e representações cartográficas (Gorelick, Noel et al, 2017; Souza, Carlos M. et al, 2020).

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (1)$$

$$MNDWI = \frac{(Green - SWIR)}{(Green + SWIR)} \quad (2)$$

$$MMRI = \frac{(MNDWI - NDVI)}{(MNDWI + NDVI)} \quad (3)$$

2.3.3. Análise da Dinâmica dos Ventos

Para a análise dos ventos foi utilizado o software de processamento de dados MATLAB®, para gerar gráficos dos tipo rosa dos ventos, para representar a média dos ventos para a região de interesse. A velocidade e direção do vento foram calculadas para as séries horárias e anuais, com frequência de 1 hora (UTC), para área estudada. Além disso, é relevante esclarecer que a direção do vento nos dados de reanálise é definida como a direção de onde o vento sopra e a sua medida é feita no sentido horário, a partir do norte geográfico (verdadeiro), no sentido do movimento dos ponteiros do relógio. Assim, de acordo com os graus da circunferência, e tendo por referência os pontos cardeais, 360° indica o norte, 90° o leste, 180° o sul e 270° o oeste. Como o ERA5 fornece apenas as componentes zonal (oeste-leste, denotada por u) e meridional (sul-norte, denotada por v) do vento, foram utilizadas as Equações 1 e 2 para obtenção da velocidade ($\bar{V}$) e da direção ($\bar{D}$) do vento (STÜKER et al., 2016), respectivamente:

$$\bar{V} = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (4)$$

$$\bar{D} = - \arctg \left(\frac{u}{v} \right) \quad (5)$$

3. RESULTADOS

3.1. Dinâmica das Florestas de Mangue e Duna nos anos de 1985 e 2019

A cobertura florestal de mangue na área de estudo, apresentou uma redução líquida de 3.72 km² (4%), com uma área de 34.0 km² identificada em 1985 para 30.28 km² em 2019 (Figura 2a). Foi identificada ainda, um aumento de duna em torno de 15.34 km² (15%), considerando os dois anos analisados (Figura 2b). Em 1985 a área de duna correspondia a cerca de 90.53 km² (91%) e em 2019, cerca de 105.87 km², sendo superior a 100% o aumento de areia sobre a floresta de mangue no entorno dos Lençóis Maranhenses.

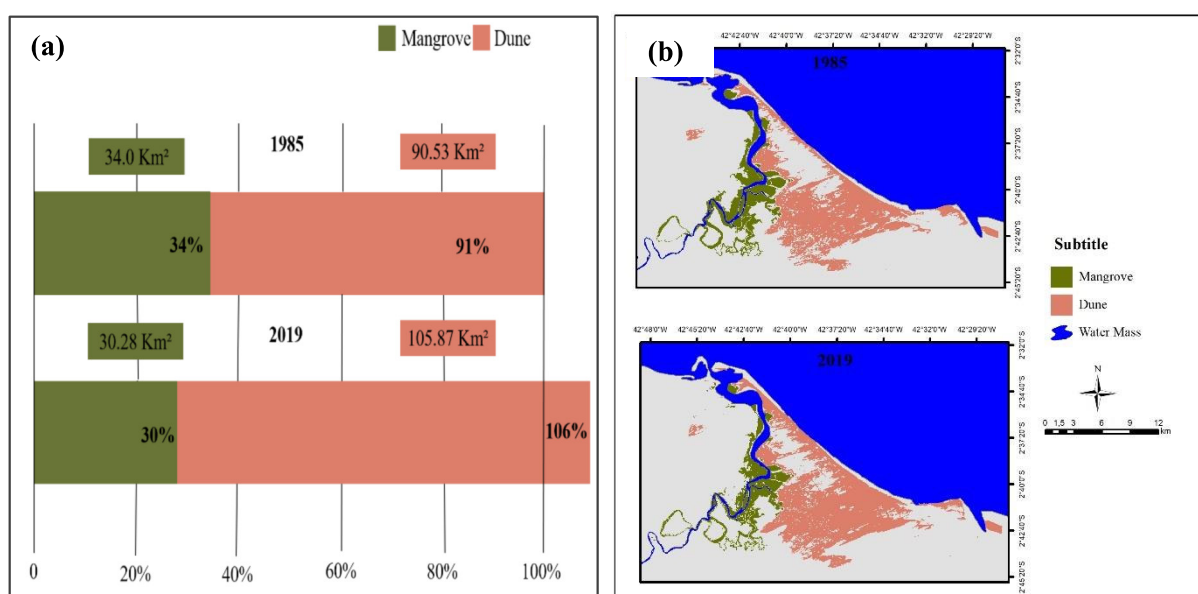


Figura 2 - (a) Classes de mangue e duna durante o período de estudo como porcentagem da cobertura da terra total em cada ano. **(b)** Cobertura florestal de mangue e duna anual em 1985 e 2019 no entorno do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses – Brasil.

Embora a movimentação da duna em curso tenha induzido a diminuição da floresta de mangue e a modificação geral da paisagem da área de estudo, uma análise detalhada de ganho, estabilidade e perda de cada classe, mangue e duna, revela áreas de migração de dunas, soterramento e consequente morte do mangue para os anos aqui estudados (Figura 3a–b). A área total de floresta de mangue perdida foi de 8.27 km² em 1985 para 2019 (8% de perda), com estabilidade significativa de 26.32 km² de área de mangue (26% de estabilidade). Por outro lado, foi possível observar novas áreas de floresta de mangue, com aproximadamente 3.74 km² em 1985 para 2019 (4% de ganho).

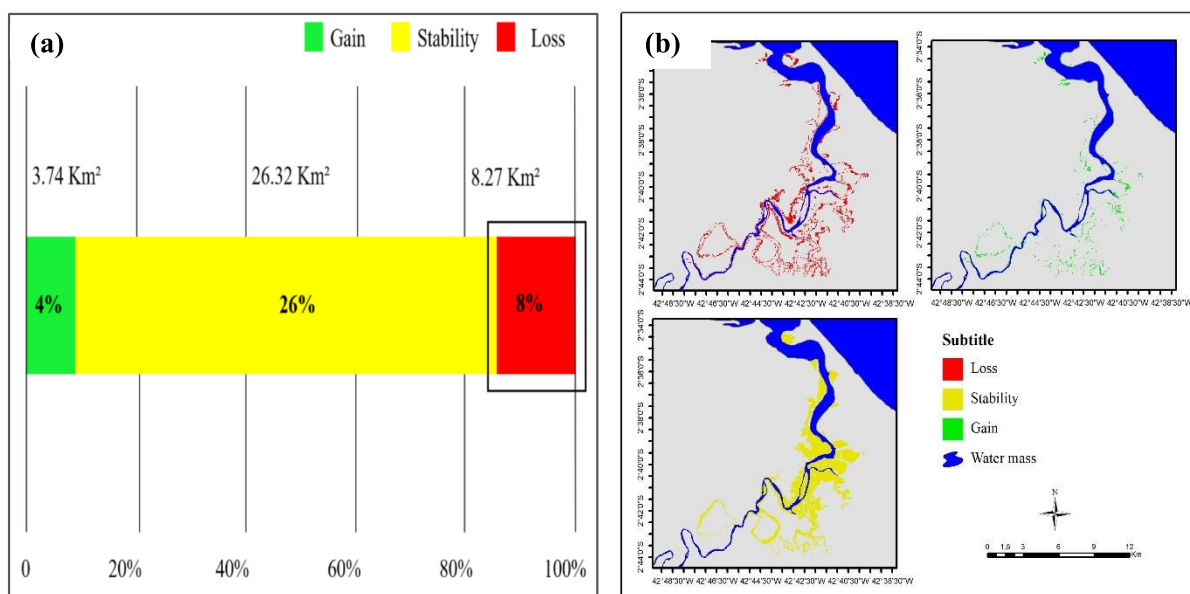


Figura 3 - (a-b) Área anual da classe de mangue como porcentagem da cobertura da terra em 1985 e 2019. As figuras representam o ganho, a estabilidade e a perda de mangue em diferentes escalas de cores.

A análise para a classe de duna (Figura 4a-b) gerou representações gerais semelhantes às listadas acima. Essa configuração espacial também revelou as diferentes trajetórias temporais da movimentação da classe de duna. A área de ganho de duna foi de 31.92 km² (32%) em 1985 para 2019. Apesar de haver clara movimentação do campo de dunas em resposta à sazonalidade dos ventos na região, 73.96 km² (74%) das dunas se manteve estável entre os dois anos analisados.

A área de perda de duna parece concentrar-se mais afastadas das áreas de florestas de mangue, e mais próximas à Praia de Caburé, onde é possível de observar um alto grau de erosão costeira ao longo dos últimos anos. A classe de perda de duna também apresentou tendência significativa indicando mais perda de duna. A classe de ganho de duna apresentou tendência espacial crescente nas bordas das florestas de mangue, com início em Vassouras, povoado de Barreirinhas, se estendendo até a região de Caburé também povoado de Barreirinhas. A área de estabilidade dunar se manteve concentrada principalmente na região central próximo ao litoral e nas áreas do entorno dos pequenos Lençóis Maranhenses (Figura 4b).

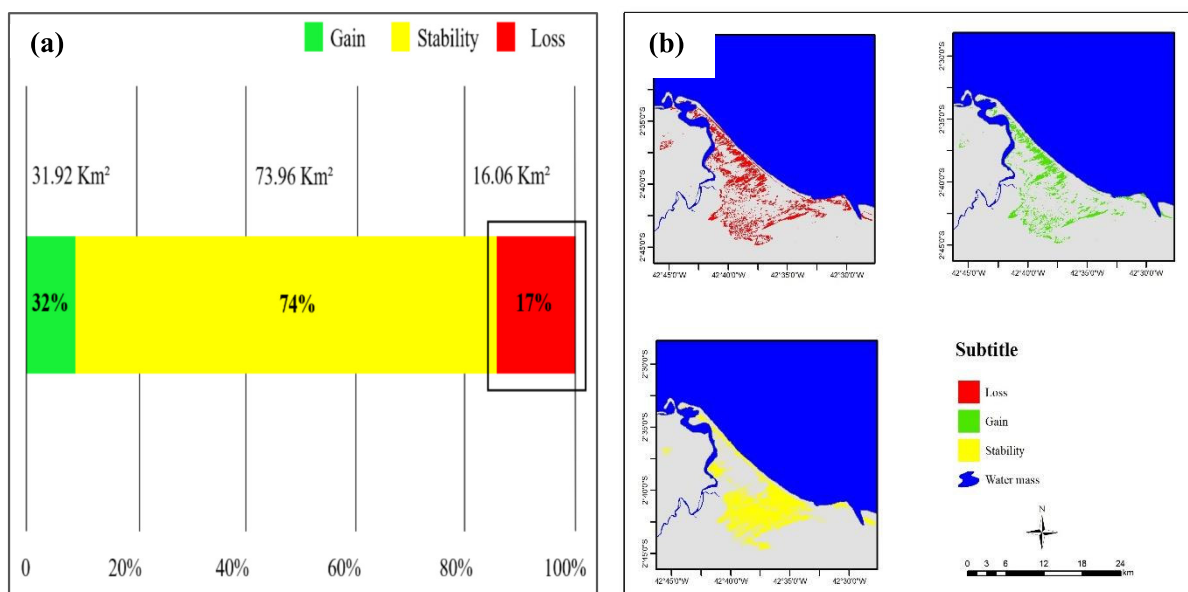


Figura 4 - (a-b) Área anual da classe de duna como porcentagem da cobertura da terra em 1985 e 2019. As figuras representam o ganho, a estabilidade e a perda de duna em diferentes escalas de cores.

O processamento digital para as imagens *Landsat 5* e *Landsat 8 OLI* (Figura 5 a-j) foi capaz de revelar a presença dos manguezais de forma mais pontual. Através dos índices de vegetação utilizados podemos observar que existem outras pequenas faixas de mangues, que estão localizadas próximo ao litoral, nas margens da foz do rio, que não foram identificadas e classificadas pelos dados Mapbiomas. A visibilidade no interior dos manguezais foram muito baixas para os índices NDVI e MNDWI e essas anomalias são certamente devido ao baixo desempenho desse índices para áreas de mangue ou inundáveis, porque os pixels intermediários entre a nuvem e a superfície foram perceptíveis e apresentaram um bom desempenho dentro do alcance para o mangue no índice MMRI. Embora os dados *Landsat* adquiridos pela plataforma USGS permitam um processamento e classificação personalizada de acordo com o interesse a ser estudado, foi possível encontrar um resultado particular para a classe de mangue em relação aos dados Mapbiomas, quando comparados à formação de uma unidade coerente de manguezais próximos à superfície da água, resultando em uma diferença significativa na heterogeneidade da classe. Assim, existem diferenças significativas relacionadas à conversão de informação qualitativa contínua na classe extraída para o mangue, particularmente na região da foz do Rio Preguiças. Nesse sentido, o produto Mapbiomas mostrou uma perda de informação na classificação dentro dos limites de suas chamadas superfícies e respectivas classes.

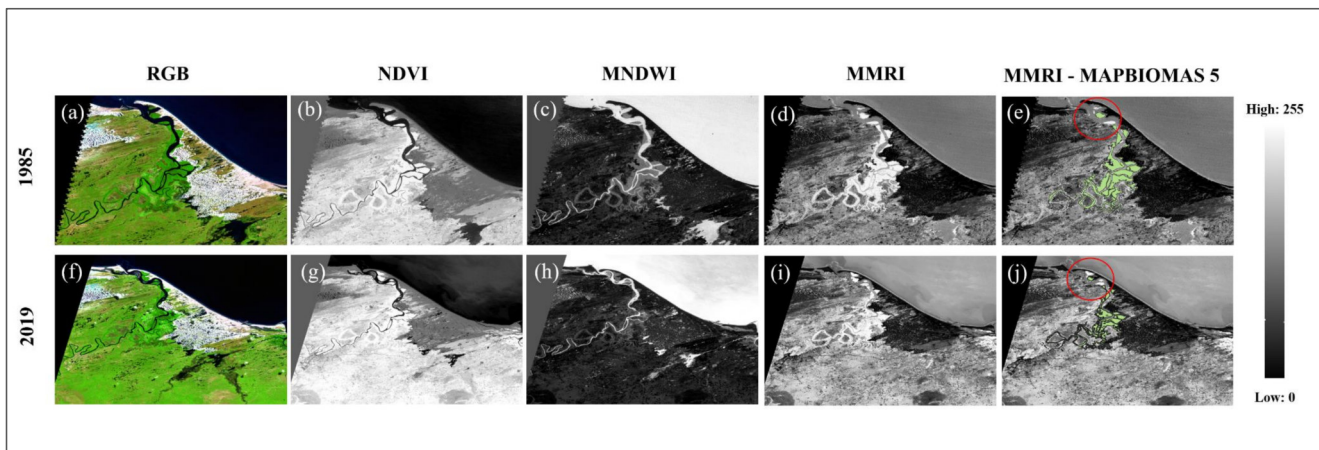


Figura 5 – (a – i) Distribuição das florestas de mangue no entorno dos Lençóis maranhenses, sob aplicação dos índices de vegetação NDVI, MNDWI e MMRI para os anos de 1985 e 2019 (*Landsat 5* e *Landsat 8 OLI*) respectivamente. **(e – j)** Observe que as figuras representam a distribuição do manguezal fornecida pela assinatura de alta qualidade do índice MMRI e em comparação aos dados para classe de mangue Mapbiomas 5, destacado em verde.

3.2. Distribuição dos Manguezais *in-situ*

Compreender a relevância das características fisiológicas das espécies que integram o ecossistema manguezal da região estudada, foi necessário para entender como fatores físicos potencializam ou limitam a distribuição ou até mesmo o desenvolvimento das espécies neste ambiente. A avaliação das florestas de mangue (Figura 6), na região de Canto do Atins, revelou uma espécie do tipo arbustiva, bastante densa e lenhosa, identificada como *Canocarpus erectus* (mangue de botão), com um índice significativamente alto de mangue jovem, medindo aproximadamente (4,00 metros de altura) e (circunferência em torno de 0,20 centímetros), devido as condições disponíveis e favoráveis do solo arenoso e salino, com baixas taxas de mortalidade sobre essa espécie em um total de aproximadamente 180 plantas quantificadas. As taxas de mortalidade dessa espécie tem associação com as atividades antrópicas local, para uso em atividades domésticas e medicinais.

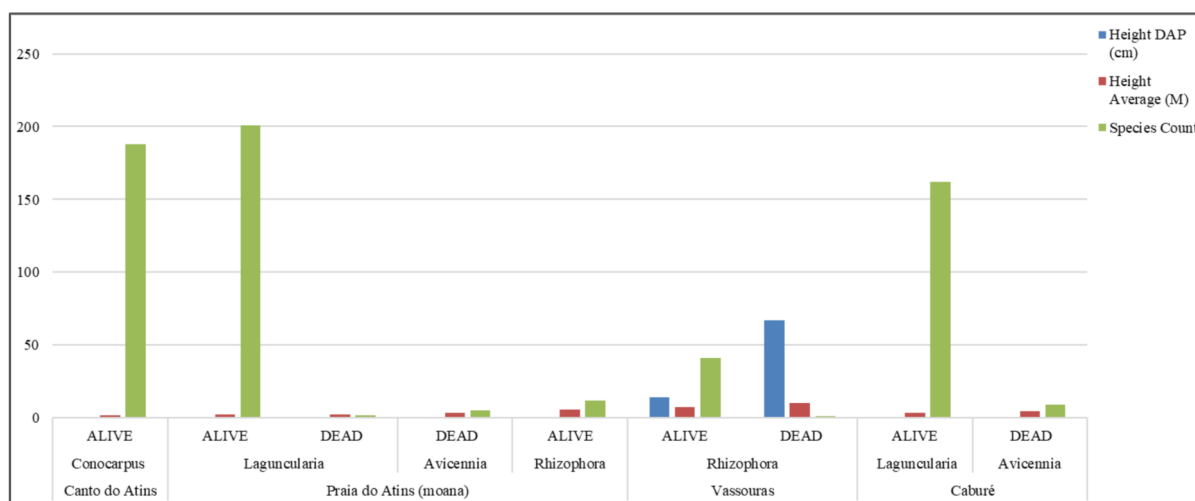


Figura 6 – Representação gráfica da distribuição e estado qualitativo das espécies de mangue, nos arredores dos povoados de Barreirinhas - MA, Canto do Atins, Praia do Atins, Vassouras e Caburé no ano de 2020.

A parcela de mangue avaliada na Praia do Atins apresentou um cenário composto por três espécies mais frequentes, do tipo *Languncularia racemosa* (mangue branco), *Avicennia germinans* (mangue preto), *Rhizophora mangle* e *Rhizophora racemosa* (mangue vermelho) em um bosque esparso, onde a maior taxa de espécie vivas e de características jovem encontradas foi a *Languncularia racemosa*, com (altura que varia de 0,50 a 6,00 metros) e (circunferência de 0,3 a 0,24 centímetros). Em seguida, algumas espécies da planta de mangue *Avicennia germinans* foram encontradas no interior do bosque com (altura entre 2,50 a 4,00 metros) e (circunferência em torno de 0,12 a 0,17 centímetros) e apresentavam estágio de senescência pelo aporte de areia em suas raízes e consequentemente o comprometimento das suas funções fisiológicas. A espécie *Rhizophora mangle*, também apresentou algumas de suas plantas em fase jovem e em estágio de senescência, pelos mesmos fatores que a

Avicennia germinans, localizadas próximo as bordas do bosque, com (altura mediana de 1,60 a 4,00) e (circunferência mediana de 0,3 a 0,10 centímetros). Algumas poucas espécies de *Rhizophora racemosa* foi mais encontrada no interior do bosque, em um estágio alto de amadurecimento com árvores medindo aproximadamente (6,00 a 8,00 metros de altura) e duas plantas dessa espécie em específico, chamaram a atenção, pelo desempenho da sua (circunferência de 0,73 a 0,97 centímetros). Foi possível constatar nessa parcela, que a grande maioria do bosque era composta pelas espécies do tipo *Languncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*, em um total de 200 plantas quantificadas.

Na parcela realizada em Vassouras, o mangue avaliado contou com a contagem de apenas aproximadamente 70 plantas de mangue, devido a sua densidade, bem como, suas condições que eram difícil acesso. As espécies mais dominantes, são do tipo *Rhizophora mangle* com (altura em torno de 1,70 a 10,0 metros) e (circunferência de 0,6 a 21,0 centímetros), compõem um manguezal mais consolidado que os demais avaliados, devido as condições favoráveis a essa espécie, um solo regularmente lamoso e salino, em um ambiente de transição com um rio Preguiças. A fauna local dominante encontrada, foram de macacos pregos da espécie (*Sajajus libidinosus*) e do carangueijo aratu-vermelho (*Goniopsis cruentata*), que atestaram o equilíbrio do ecossistema para esse povoado em específico. Embora, esse povoado esteja em uma área adjacente, a área de influência dunar, identificada no estudo. Ainda nas margens e próximo a foz do rio Preguiças, no povoado de Caburé, a parcela de mangue avaliada foi composta pela contagem de 160 plantas, em um manguezal relativamente denso, que apresentou as espécie dominantes do tipo *Languncularia racemosa*, demonstrando e representando a maior quantidade de mangue jovem e consolidado, com árvores que variam de (0,50 a 7,00 de altura) e com (circunferência de 0,3 a 0,39 centímetros). Algumas poucas plantas de mangue, da espécie *Avicennia germinans* também foram encontradas, com (altura de aproximadamente 2,50 a 3,00 metros) e (circunferência de 0,12 a 0,19 centímetros), localizadas próximo as bordas do bosque e a grande maioria apresentavam um alto estágio de senescência e alto teor de sedimento arenoso em suas raízes.

3.3. Avaliação do Regime de Ventos

A rosa dos ventos (Figura 7 a-c) mostra a predominância dos ventos de nordeste na região, seguido de uma pequena rotação para leste-nordeste para ambos os anos analisados. Na análise para todo o período estudado, é possível observar ainda uma pequena rotação de nordeste-sudeste, que é característica dos ventos alísios que convergem para o equador meteorológico. Além disso, é possível observar que o ano de 1985 apresentou ventos mais intensos que 2019, podendo estar correlacionado a ocorrências de evento climáticos para esse ano.

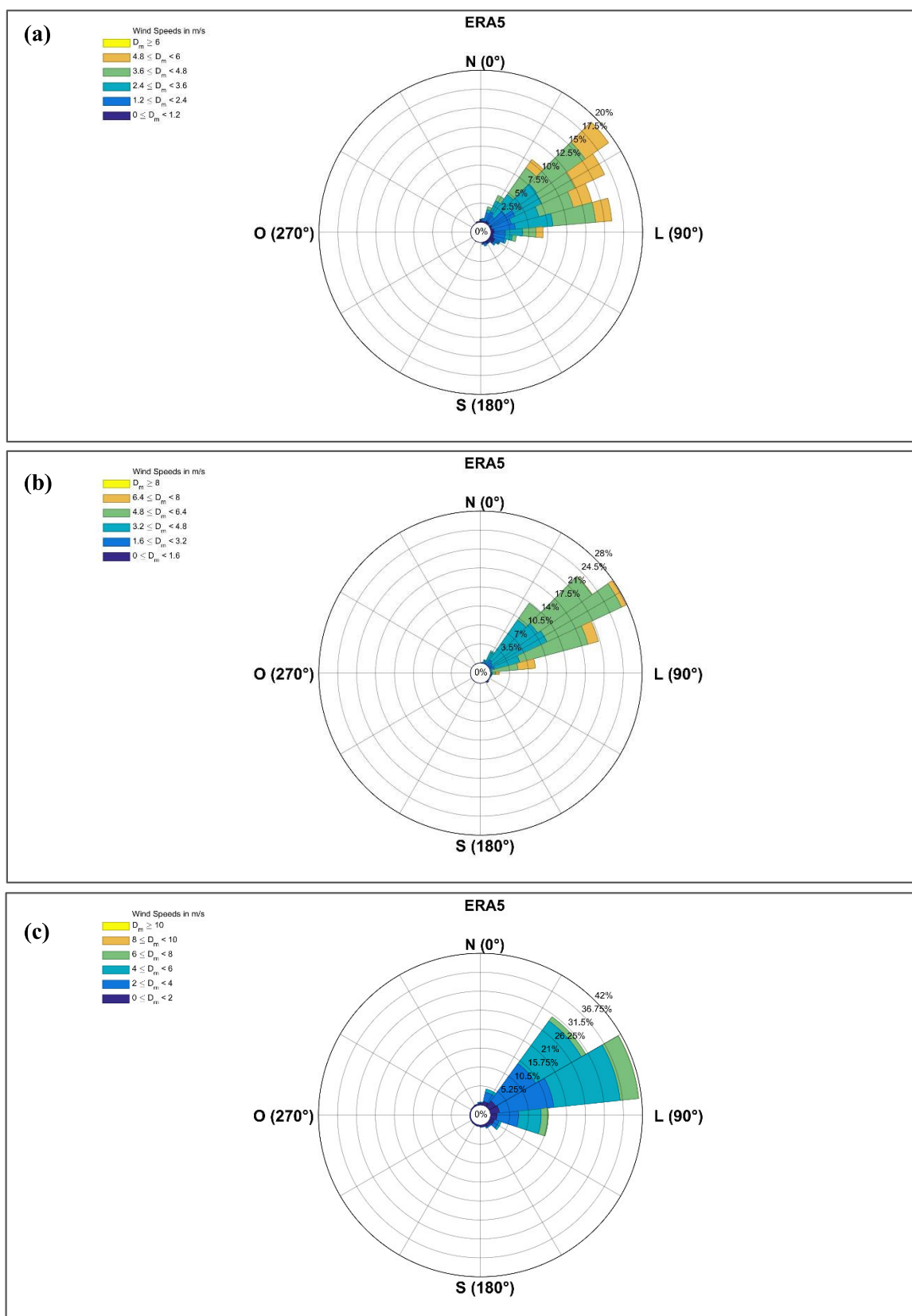


Figura 7 – (a) Rosa dos ventos (direção em ° e intensidade em m/s) do vento a 10 m em 1985, (b) 2019 e (c) 2020-1980 .

4. DISCUSSÃO

Apresentamos a primeira análise de longo prazo da extensão anual da perda florestal das faixas de mangues remanescentes no entorno dos Lençóis Maranhenses. Esta região vem sendo exposta nas últimas décadas a alta atividade turística e as mudanças do clima, que levou a uma redução de 4% nas áreas de núcleo de floresta de mangue entre 1985 e 2019. Também destacamos o efeito notável dessa perda de núcleo florestal de mangues remanescentes por um surpreendente aumento, superior a 100% de duna próximo ao povoado de Caburé e Paulino Neves (Pequenos Lençóis) (áreas mais isoladas de florestas de mangues, inclusive no entorno do extremo ocidental do Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses também devem apresentar diminuição da biomassa de mangais mais central, pela alta dinâmica de dunas que ocorrem no interior e entorno do parque) devido ao vento que é o agente modelador principal nessa região. Santos et al., (2019) relatou que as dunas que se encontram com localização mais ao sul da Praia de Caburé, região próximo a área de estudo, apresentam maiores altitudes e são fortemente modeladas pelos ventos de nordeste-sudoeste, que influenciam no transporte de sedimentos da costa para o continente e que consequentemente estar resultando na erosão costeira da praia de Caburé, em uma análise de dezembro de 2015 a janeiro de 2017. Os autores constataram ainda, em um intervalo de 28 anos por imagens satélite *Landsat 5* de (1986) e *Landsat 8 OLI* (2014), o aumento das áreas de mangue e migração de dunas no entorno dos Lençóis Maranhenses. Essa descoberta, fortalece a idéia levantada por nós em nosso estudo, de os mangues dessa região não estão aumentando, mas diminuindo, bem como, migrando para regiões adjacentes que ofereçam condições saudáveis para seu desenvolvimento e um escape do alto material arenoso que tem se deslocado nos últimos tempos, que continua aumentando seu aporte sobre as faixas de manguezais. As áreas como a praia de Atins e Caburé, que estão mais expostas a transição rio-mar, são as áreas onde os manguezais são mais atingidas pelo efeito de borda, consequentes do aporte de areia. As áreas que menos sofrem com a essa exposição, são áreas mais ao interior, regiões mais centrais observadas no povoado de Vassouras e em áreas com características de ambiente de “lavado”, onde somente condições oceanográficas extremas, são capazes de comprometer esse ecossistema, sendo estes ocasionados pelas marés características do Maranhão de sigízia ou um aumento do nível do mar.

Outros autores, como Silva (2008) também observou no seu estudo sobre as práticas de atividades turísticas nos Lençóis Maranhenses, a presença de morrarias, componentes dos Pequenos Lençóis, avançando sobre os manguezais, pela constante força dos ventos. Os relatos locais descritos na sua pesquisa, revelam que o campo de areia avança a cada ano, destruindo a cobertura vegetal, em específico as florestas de mangue. As espécies de mangues observadas durante este estudo, que mais são impactadas pelo aporte de areia, são as plantas do tipo *Rhizophora mangle*, encontradas nas bordas das praias de Atins e Caburé, e a espécie do tipo *Avicennia germinans*, encontradas próximo a praia de Caburé, em fase de desenvolvimento e senescência. A espécie de mangue *Avicennia germinans*,

desmonstram maior fragilidade ao aporte de areia sobre suas raízes, devido aos seus pneumatóforos, que são uma espécie de parte da planta que cresce para cima e axilia em sua trocas gasosas, embora essa espécie de mangue seja uma das mais tolerantes aos teores de sal, o aporte de areia influencia significativamente em seu desenvolvimento.

Estudos dos manguezais por Sensoriamento Remoto, têm fornecido uma oportunidade única de observar quase simultaneamente toda a região de interesse repetidamente, dia após dia, por muitos anos, resolvendo questões como acesso, que é difícil muitas vezes nesse ecossistema. Diniz et al., (2019) avaliou os mangues brasileiros durante três décadas através de dados de sensoriamento remoto, permitindo um mapeamento sistemático e contínuo das florestas de mangue brasileiros e que consequentemente resultou no fornecimento para o banco de dados Mapbiomas para classe manguezal, fortalecendo e demonstrando a eficácia desse tipo de ferramenta para o monitoramento ambiental. O índice de vegetação MMRI, utilizado sobre a faixa de mangue analisada nesse estudo e por (Wang et al. 2018; Diniz et al., 2019; Pham et al., 2019), comparada com a faixa de mangue Mapbiomas recortada, demonstrou a robustez do índice, que ajudou no aumento da separação espectral, entre as classes de mangue e não mangue. Além disso, o índice MMRI permitiu a visualização de manchas de manguezais, em áreas não demonstradas ou mesmo classificadas pelos dados Mapbiomas, concluindo a sua eficácia já observadas em outros trabalhos em 94,80% de precisão para estudos de uso e cobertura da terra (Silva Junior, Celso HL et al., 2020). Por outro lado, os dados de reanálises de vento em superfície fornecidos pelo ERA5, representaram bem os ventos alísios característicos para a região e identificaram ventos bem mais intensos em 1985 em relação ao ano de 2019. Os episódios de El niño registrados em 1985, poderiam estar relacionado a está forçante, embora sua classificação para aquele ano foi considerada fraca. Durante a ocorrência dos episódios de El niño, é possível observar uma modificação da circulação do vento sobre o Pacífico Equatorial e as condições de aquecimento, contribui para o deslocamento do ramo ascendente para o Pacífico Centro-Leste próximo do Peru e Equador, auxiliando na formação de dois ramos descendentes e em específico sobre o Atlântico Equatorial, ao leste da Amazônia e norte do semi-árido nordestino. Os episódios de La niña, se desenvolvem no início do ano e atinge sua intensidade máxima nos períodos de novembro e dezembro, justificando os ventos de maiores intensidade observados em 1985, característicos de ventos alísios, que se mostram mais intensos durante esse evento anômalo (Silva, 2003).

Embora saibamos, a influência dos ventos no transporte de sedimento arenoso sobre os manguezais e suas complicações para esse ecossistema, outras variáveis climáticas e importantes para o seu funcionamento, devem ainda ser avaliadas. Alguns trabalhos como (Twilley; Chen, 1998; Gilman et al., 2008) já abordaram a importância dos níveis regulares de precipitação e temperatura para a distribuição e desenvolvimento, respectivamente dessas florestas de mangais. Somente nas últimas cinco décadas, as áreas de mangues diminuíram cerca de 40% em todo o mundo (Luo et al., 2018). Grande

parte dessa perda é atribuída às alterações no clima global e suas consequências (por exemplo, o aumento do nível do mar) (Lovelock et al., 2015; Kirwan; Megonigal et al., 2013). As modificações observadas ao longo dos anos na paisagem entre o rio Preguiças e praia de Caburé, fortalecem a hipótese que o aumento da erosão costeira contribuirá fortemente para o avanço mar em direção ao continente, desaparecimento das faixas de mangue e ofertará riscos as comunidades que ali vivem. Ou seja, as mudanças climáticas são um dos principais fatores que afetam os ecossistemas de mangue. De acordo com o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - IPCC (2022) está previsto um aumento de 25% nas taxas de precipitação até 2050, com uma distribuição espacial desigual, bem como, um aquecimento entre 2-4 °C até 2100, principalmente devido à atividade humana (Knutson; Tuleya, 1999, Walsh; Ryan, 2000, Houghton et al., 2001). Outra tendência preocupante observada em nosso estudo foi que áreas de maior incidência do aporte de areia sobre os manguezais, Atins e Caburé, (índicios nas bordas) apresentam hoje a maior concentração de atividade turística, perto dos poucos remanescentes florestais de mangue que ainda apresentam estado de preservação. As atividades de pesca, extração de madeira e as chamadas práticas de “ecoturismo”, estender-se profundamente na floresta anteriormente áreas intactas, expondo as áreas mais centrais das florestas de mangue, a formação de fragmentos e a efeitos de borda prejudiciais, incluindo mudanças na composição da comunidade de plantas e animais e mudanças na diversidade em taxas aumentadas e que necessitam ainda ser investigados.

Uma carta publicada na Science por Bezerra et al., (2022) aborda a vulnerabilidade das florestas de mangue do Brasil e do mundo e sugere medidas de conservação desse ecossistema tão dinâmico e importante para a nossa sobrevivência. As florestas de mangue são as maiores sequestradoras de carbono e reguladoras no efeito estufa atmosférico que nos acomete e nos condena a sofrer as duras consequências de mudanças no clima. Planos de manejo, educação sociambiental das comunidades locais e fiscalização, são algumas das medidas que auxiliariam na manutenção e equilíbrio desse ecossistema. É necessário, haver ainda um comprometimento das comunidade científica, civil, privada e pública nos esforços que condizem, em freiar mudanças que ocorrem sobre os manguezais nos Lençóis Maranhenses. Os constante fluxos de pessoas no Rio Preguiças e o seu uso intenso para atividades, além do aporte de areia sobre seu corpo hídrico por causa naturais, devem comprometer o seu curso pelo assoreamento, rompimento dos meadros e consequentemente a falta do fornecimento do ambiente de transição, afetará profundamente os manguezais da região.

5. CONCLUSÃO

O presente estudo concluiu que o avanço das dunas sobre o manguezal no entorno dos Lençóis Maranhenses tem resultado no soterramento, diminuição e ainda migração das faixas de mangue. Assim, medidas que contribuam para a conservação das florestas de mangue da região, tanto voltadas para o controle das mudanças climáticas de modo geral e que terão um reflexo positivo para a área de estudo, são importantes. Além disso, medidas que freiem a degradação resultante dos efeitos locais nas margens fluviais e os distúrbios causados pela pressão turística são necessários. Políticas ambientais, elaboradas com a cooperação entre o estado do Maranhão, a sociedade civil, o setor privado e a comunidade científica, são necessárias e importantes para a conservação das florestas primárias e secundárias dos manguezais na região do PNLM. Por outro lado, no contexto da Organização das Nações Unidas para enfrentamento das mudanças climáticas para a restauração desses ecossistemas, esta área passaria reconhecida como um *hotspot* de conservação florestal de mangue, e a conservação das florestas secundárias é necessária para compensar, em parte, o histórico de perda da floresta de mangue já observada na região.

Nosso trabalho mostra a movimentação de dunas na região leste ao PNLM. Além disso, nossos achados revelam que os manguezais dependem não apenas de fatores climáticos para sobrevivência, mas também da interação sinérgica entre a configuração da floresta de mangue remanescentes e as comunidades que ali vivem, como fontes de ignição artificiais na paisagem. No entanto, ao longo dos anos, o crescimento populacional e aumento da pressão turística nas margens do Rio Preguiças chamam a atenção para o desenvolvimento de medidas de controle e conservação dos manguezais, necessárias para evitar a perturbação desse ambiente.

Por fim, nossos achados contribuem ainda para preencher lacunas no entendimento da dinâmica dos manguezais maranhenses e suas características voltadas para avaliação do ganho, da estabilidade e da perda, relacionadas à dinâmica do campo de dunas, em um intervalo de 34 anos. Além disso, pesquisas futuras devem analisar o período após 2019 para entender, além do aumento do avanço das dunas em anos posteriores os manguezais, avaliar a fragmentação dessas florestas de mangue e perda de serviço ecossistêmicos como o sequestro de carbono, durante o recente aumento das pressões antrópicas e fatores naturais nos Lençóis Maranhenses.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro das instituições de fomento FAPEMA e FAPESP ao Projeto “Atlas Socioambiental dos Lençóis Maranhenses”. Essa publicação também contou com os apoios logístico do Grupo de Informática Aplicada e Geoprocessamento (GIAGEO/IFMA) do Instituto Federal do Maranhão – Campus Monte Castelo e do Laboratório de Estudos e Modelagem Climática (LACLIMA) do Departamento de Oceanografia e Limnologia (DEOLI/UFMA).



MATERIAL SUPLEMENTAR

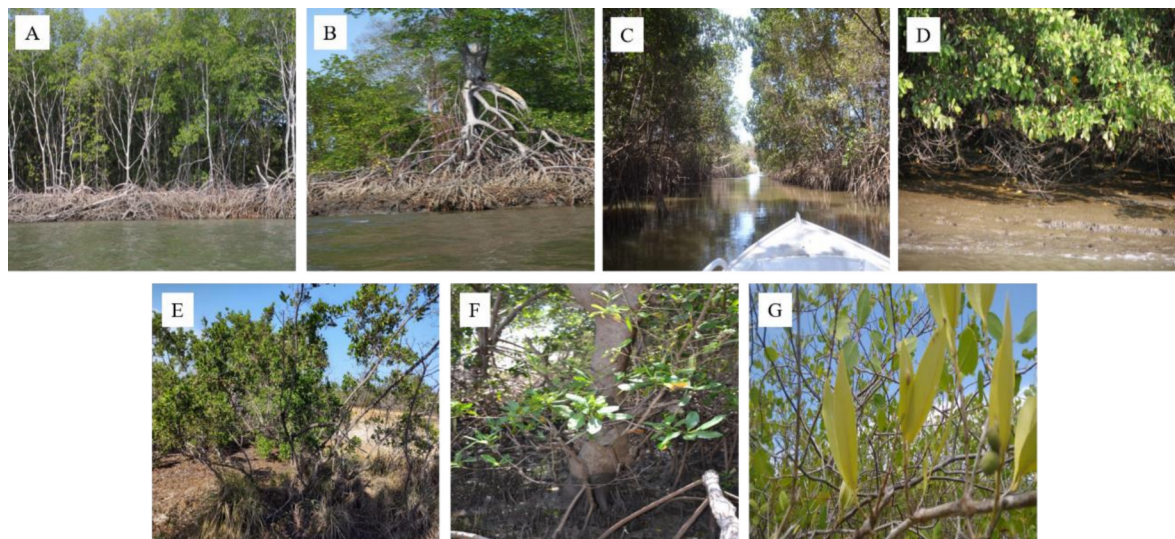


Figura S1 – As sete espécies arbóreas de mangues comuns encontradas na região dos Lençóis Maranhenses; **(A)**: *Rhizophora mangle*; **(B)**: *Rhizophora racemosa*; **(C)**: *Rhizophora harrisonii*; **(D)** *Laguncularia racemosa*; **(E)**: *Canocarpus erectus*; **(F)** *Avicennia schaueriana* e **(G)** *Avicennia germinans*.
Fonte: Acervo da pesquisa, 2020.

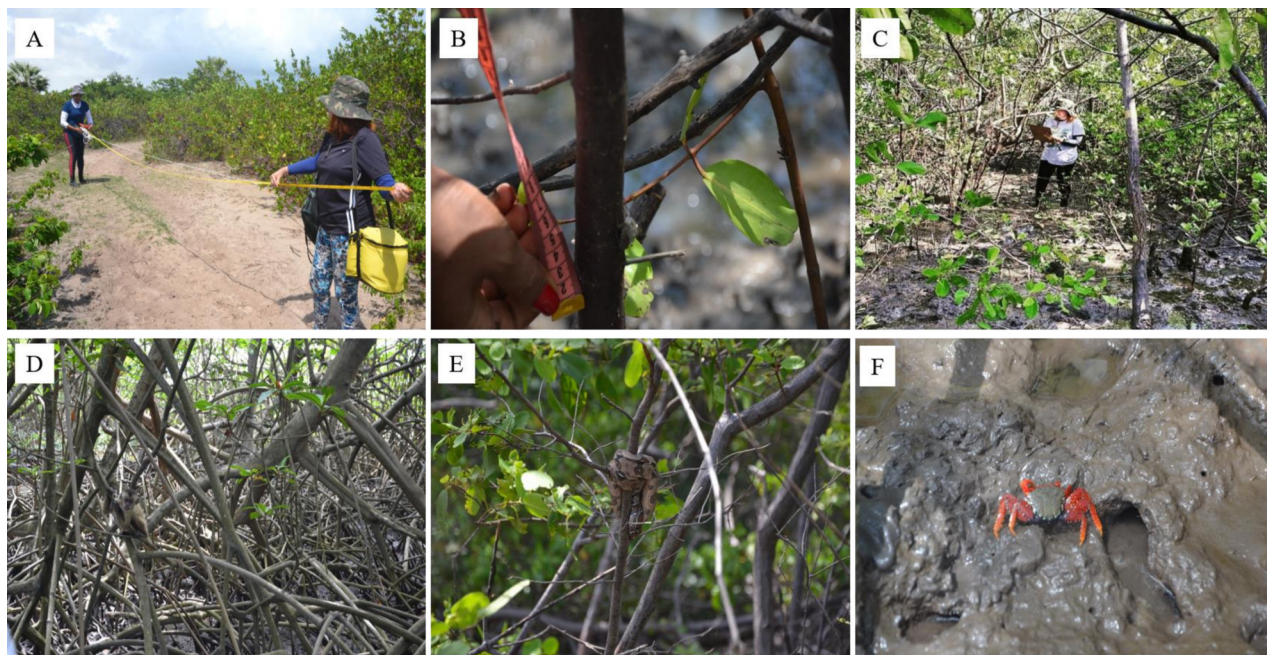


Figura S2 – (A): Delimitação do bosque de *Canocarpus erectus* para avaliação do manguezal; (B): Medição dendrométrica, do diâmetro da árvore de mangue; (C): Avaliação em um bosque de mangue de predominância *Langularia racemosa*; (D) Macaco-prego (*Sapajus xanthosternos*) sobre os caules de *Rizophora mangle*, expostos em maré baixa; (E): Jiboia (*Boa constrictor*), encontrada em árvore de mangue da espécie *Langularia racemosa*; (F) Caranguejo da espécie aratu-vermelho (*Goniopsis cruentata*) próximo à entrada de uma toca no substrato lamoso do manguezal.
 Fonte: Acervo da pesquisa, 2020.

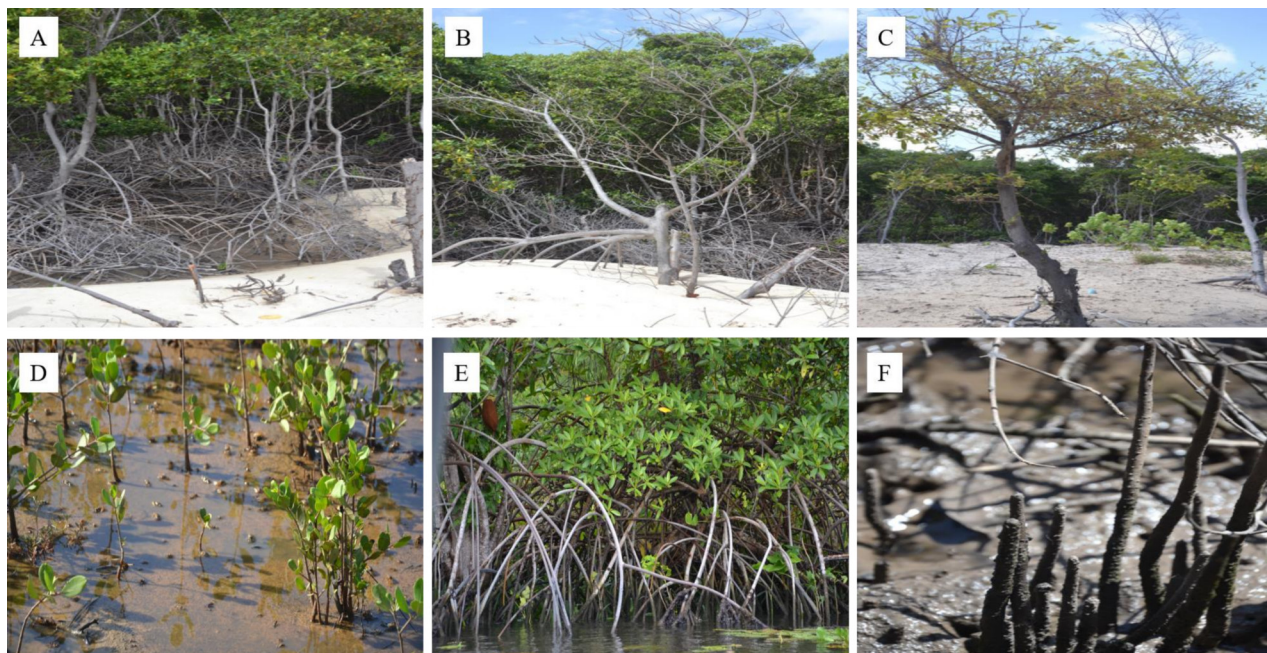


Figura S3 – (A - B): Espécie *Rizophora mangle* encontradas nas bordas da Praia do Atins em fase de senescência ocasionado pelo aporte de areia; **(C):** Espécie *Avicennia germinans* encontrada próximo ao povoado de Caburé, em fase de senescência ocasionada pelo aporte de areia; **(D)** Mangues jovens encontrados próximo ao povoado de Canto do Atins, da espécie do tipo *Canocarpus erectus*; **(E):** Uma floresta de mangue com características de franja e consolidada, composta por espécies do tipo *Rizophora mangle*, as margens do Rio Preguiças; **(F)** Pneumatófaros da espécie *Avicennia* em substrato lamoso, responsáveis pelas suas trocas gasosas.
Fonte: Acervo da pesquisa, 2020.

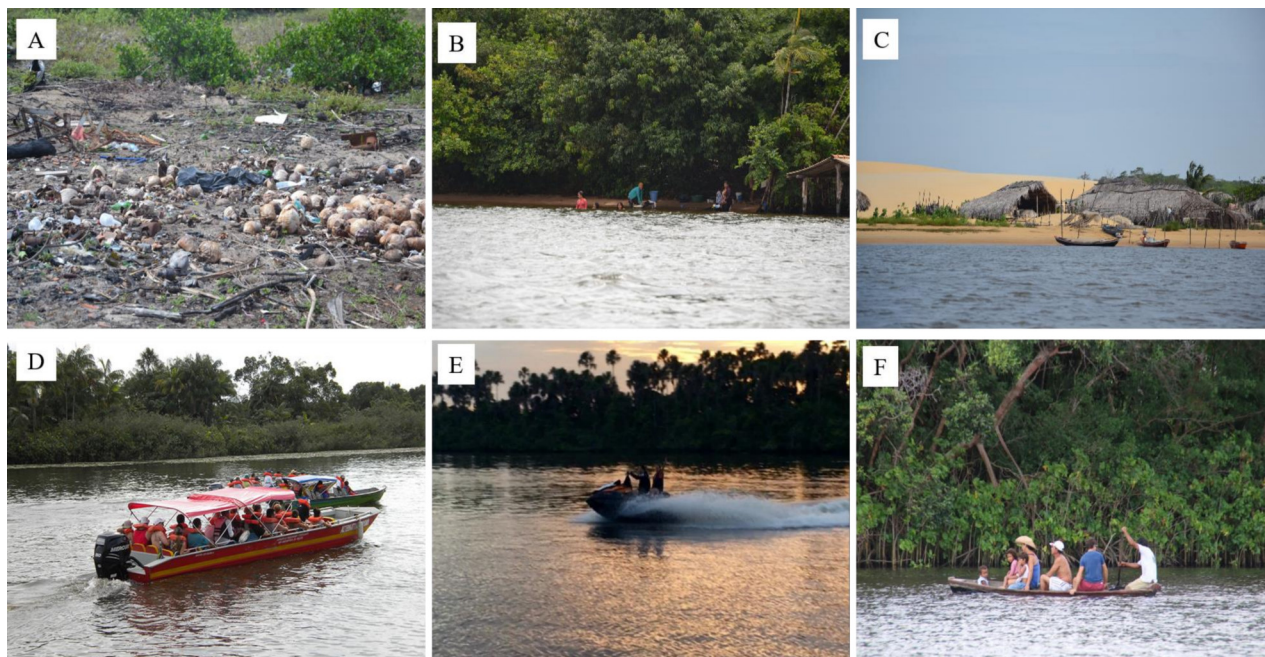


Figura S4 – (A): Lixo depositado próximo aos arbustos de mangue da espécie *Canocarpus erectus*; (B): Mulheres lavando nas margens do Rio Preguiças; (C): Retiro de pesca, construídos com madeira extraída do manguezal, nas proximidades da comunidade de Caburé (D) Turistas, em passeio de lancha voadeira no Rio Preguiças (E): Prática esportiva com Jet-Ski, no Rio Preguiças; (F) Família de pescadores, desenvolvendo a pesca artesanal no Rio Preguiças.

Fonte: Blog Viagens e Outras Histórias, 2016; Acervo da pesquisa, 2020.

REFERENCIAS

AMARASINGHE, MD; BALASUBRAMANIAM, S. Produtividade primária líquida de duas florestas de mangue na costa noroeste do Sri Lanka. *Hidrobiologia*, v. 247, n. 1, pág. 37-47, 1992.

CAVANAUGH, Kyle C. et al. Sensitivity of mangrove range limits to climate variability. *Global ecology and biogeography*, v. 27, n. 8, p. 925-935, 2018.

CLINTON, Nicholas et al. Global-scale associations of vegetation phenology with rainfall and temperature at a high spatio-temporal resolution. *Remote Sensing*, v. 6, n. 8, p. 7320-7338, 2014.

COUTO, F.T.; SALGADO, R.; COSTA, M.J.; PRIOR, V. Precipitation in the Madeira Island over a 10-year period and the meridional water vapour transport during the winter seasons. *International Journal of Climatology*, v. 35, n. 13, p. 3748-3759, 2015.

DAS, Saudamini; VINCENT, Jeffrey R. Mangroves protected villages and reduced death toll during Indian super cyclone. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 106, n. 18, p. 7357-7360, 2009.

DINIZ, César et al. Status do mangue brasileiro: três décadas de análise de dados de satélite. *Sensoriamento Remoto*, v. 11, n. 7, pág. 808, 2019.

GILMAN, E. L; ELLISON, J; DUKE, N. C; FIELD, C. Threats to mangroves from climate change and adaptation options: A review. *Aquatic Botany*, v. 89, n. 2, p.237–250, 2008.

KIRWAN, M. L.; MEGONIGAL, J. P. Tidal wetland stability in the face of human impacts and sea-level rise. *Nature*, v. 504, n. 7478, p 53–60, 2013.

LOVELOCK, C. E., D. R. Cahoon, D. A. Friess, G. R. Guntenspergen, K. W. Krauss, R. Reef, K. Rogers, et al. 2015. “The Vulnerability of Indo-Pacific Mangrove Forests to Sea-Level Rise.” *Nature* 526 (7574): 559–563. doi:10.1038/nature15538.

LUOJIA Hu et al. (2018) The role of remote sensing on studying mangrove forest extent change, *International Journal of Remote Sensing*, 39:19, 6440-6462, DOI:10.1080/01431161.2018.1455239.

PHAM, Tien Dat et al. Abordagens de sensoriamento remoto para monitorar espécies, estrutura e

biomassa de mangue: oportunidades e desafios. Sensoriamento Remoto , v. 11, n. 3, pág. 230, 2019.

SILVA, David Leonardo Bouças da. Turismo em unidades de conservação: contribuições para a prática de uma atividade turística sustentável no Parque Nacional dos Lençóis Maranhenses. 2008.

SILVA, Gustavo Rodrigues. Características de Vento da Região Nordeste: análise, modelagem e aplicações para projetos de centrais eólicas. 2003. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.

STÜKER, Eduardo et al. Comparação entre os dados de vento das reanálises meteorológicas ERA-Interim e CFSR com os dados das estações automáticas do INMET no Rio Grande do Sul. Ciência e Natura, v. 38, p. 284-290, 2016.

TWILLEY, Robert R.; CHEN, Ronghua. Um orçamento de água e modelo hidrológico de uma floresta de manguezal em Rookery Bay, Flórida. Pesquisa Marinha e de Água Doce , v. 49, n. 4, pág. 309-323, 1998.

WANG, Le et al. Researches on mangrove forest monitoring methods based on multi-source remote sensing. Biodiversity Science, v. 26, n. 8, p. 838-849, 2018.

KNUTSON, T. R.; TULEYA, R. E. Increased hurricane intensities with CO₂-induced warming as simulated using the GFDL hurricane prediction system. Climate Dynamics, v. 15, n. 7, p. 503-519, 1999.

WALSH, Kevin JE; RYAN, Brian F. Tropical cyclone intensity increase near Australia as a result of climate change. Journal of Climate, v. 13, n. 16, p. 3029-3036, 2000.

HOUGHTON, John T. et al. Climate Change 2001: The Scientific Basis, Cambridge Uni. 2001.

DA S. BEZERRA, Denilson et al. Manguezais do Brasil: armazenamento natural de carbono. Ciência , v. 375, n. 6586, pág. 1239-1239, 2022.

DUKE, Norman C. Manguezais da Austrália: o guia oficial das plantas de mangue da Austrália . ME, 2006.

ELLISON, Aaron M. Managing mangroves with benthic biodiversity in mind: moving beyond roving banditry. Journal of Sea Research, v. 59, n. 1-2, p. 2-15, 2008.

GIRI, C.; PENGRA, B.; ZHU, Z.; SINGH, A.; TIESZEN, L.L. Monitoring Mangrove forest dynamics of the Sundarbans in Bangladesh and India using multi-temporal satellite data from 1973 to 2000. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 73, p 91-100. 2007.

GIRI, Chandra et al. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, v. 20, n. 1, p. 154-159, 2011. GREEN, E.P.; MUMBY, P.J.; EDWARDS, A.J.; CLARK, C.D.; ELLIS, A.C. The assessment of mangrove areas using high resolution multispectral airborne imagery. *J. Coast. Res.*, 14, p 433- 443. 1998.

GIRI, Chandra; MUHLHAUSEN, Joseph. Distribuições e dinâmicas de manguezais em Madagascar (1975–2005). *Sensores* , v. 8, n. 4, pág. 2104-2117, 2008.

GORELICK, Noel et al. Google Earth Engine: análise geoespacial em escala planetária para todos. *Sensoriamento Remoto do Meio Ambiente* , v. 202, p. 18-27, 2017.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Unidades de Conservação do Brasil. Brasília.v.1, 1989. p.76 - 78.

JANZEN, Daniel H. Manguezais: onde está o sub-bosque?. *Journal of Tropical Ecology* , v. 1, n. 1, pág. 89-92, 1985.

KRAUSS, Ken W. et al. Environmental drivers in mangrove establishment and early development: a review. *Aquatic botany*, v. 89, n. 2, p. 105-127, 2008.

LEE, SY Ecologia dos manguezais tropicais: fatores físicos e bióticos que influenciam a estrutura e função do ecossistema. *Jornal australiano de ecologia* , v. 24, n. 4, pág. 355-366, 1999.

MYINT, Soe W. Et al. Identificando espécies de mangue e suas classes de uso e cobertura da terra ao redor usando uma abordagem orientada a objetos com uma medida espacial de lacunaridade. *GIScience & Remote Sensing* , v. 45, n. 2, pág. 188-208, 2008.

OSLAND, Michael J. et al. Mangrove forests in a rapidly changing world: Global change impacts and conservation opportunities along the Gulf of Mexico coast. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 214, p. 120-140, 2018.

RODRIGUEZ, J. M. M. et al (org.). *Geoecologia das paisagens: uma visão geossistêmica da análise ambiental*. 2 ed. Fortaleza: Edições UFC, 2007.

SIIKAMÄKI, Juha; SANCHIRICO, James N.; JARDINE, Sunny L. Global economic potential for

reducing carbon dioxide emissions from mangrove loss. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 109, n. 36, p. 14369-14374, 2012.

SONGSOM, Veeranun et al. Mangrove Phenology and Environmental Drivers Derived from Remote Sensing in Southern Thailand. *Remote Sensing*, v. 11, n. 8, p. 955, 2019.

SOUZA, Carlos M. et al. Reconstruindo três décadas de mudanças de uso e cobertura da terra nos biomas brasileiros com arquivo de satélites e motor de terra. *Sensoriamento Remoto*, v. 12, n. 17, pág. 2735, 2020.

WANG, Le et al. Comparação de imagens IKONOS e QuickBird para mapeamento de espécies de mangue na costa caribenha do Panamá. *Sensoriamento remoto do ambiente*, v. 91, n. 3-4, pág. 432-440, 2004.

WULDER, Michael A. et al. Status atual do programa Landsat, ciência e aplicativos. *Sensoriamento remoto do ambiente*, v. 225, p. 127-147, 2019.

III. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo mostrou que a redução dos manguezais tem uma grande influência na dinâmica da paisagem e fornecimento dos serviços ecossistêmicos (por exemplo, proteção do avanço do mar nas áreas de transição rio-mar). Além disso, nossas descobertas fortaleceram a idéia, de os mangues dessa região não estão aumentando, mas diminuindo, bem como, migrando para regiões adjacentes que ofereçam condições saudáveis para seu desenvolvimento e um escape do alto material arenoso que tem se deslocado nos últimos tempos, que continua aumentando seu aporte sobre as faixas de manguezais.

Ao analisar os índices para vegetação, constatou-se que os dados Mapbiomas apresentam uma eficácia desse tipo de ferramenta para o monitoramento ambiental. O índice de vegetação MMRI, utilizado sobre a faixa de mangue analisada nesse estudo e por (Wang et al. 2018; Diniz et al., 2019; Pham et al., 2019), demonstrou maior robustez do índice, em relação aos outros índices para vegetação aplicados NDVI e MNDWI, que ajudou no aumento da separação espectral, entre as classes de mangue e não mangue. Além disso, o índice MMRI permitiu a visualização de manchas de manguezais, em áreas não demonstradas ou mesmo classificadas pelos dados Mapbiomas, concluindo a sua eficácia já observadas em outros trabalhos em 94,80% de precisão para estudos de uso e cobertura da terra. Os índices NDVI e MNDWI foram importantes para observamos a robustez do MMRI e o classificarmos como instrumento de monitoramento para áreas de mangues e inundáveis.

Visto que os 34 anos de análise dos dados Mapbiomas, foram suficientes para mostrar as mudanças observadas na redução das faixas de mangue, no entorno dos Lençóis Maranhenses, como resultado do fragilidade desse ecossistema diante do avanço dunar, concluímos que o período necessário para extinguir os manguezais na região parece ser mais longo, sendo este dependente dos regimes de ventos e outros eventos climáticos extremos e ainda modificações causadas na paisagem pela população, pela exploração dos serviços ecossistêmicos.

REFERENCIAS

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Unidades de Conservação do Brasil. Brasília.v.1, 1989. p.76 - 78.

MOCHEL, et al. Degradação Dos Manguezais Na Ilha De São Luís(Ma): Processos Naturais E Impactos Antrópicos. In: Prost, M.T. & Mendes, A.C. (Org). Ecossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi. 2001. 221p.

APÊNDICES

Quadro-Sumário das Normas da Revista para submissão do artigo

Artigo: LOSS AND GAIN OF MANGROVE AREAS AROUND THE LENÇÓIS MARANHENSES: AN INTEGRATED APPROACH USING REMOTE SENSING AND GIS DATA	
Revista	Anais da Academia Brasileira de Ciências
ISSN	1678-2690
DOI	10.1590/rdg
Fator de impacto	1.753
Meio de divulgação	Online
Periodicidade	Semestral
Site	https://www.scielo.br/j/aabc/
Diretrizes para autores	https://www.scielo.br/journal/aabc/about/#instructions
Qualis CAPES 2014	A2 na área de Geografia
Indexadores	CrossReff; GeoDados; LatinDex; Periodicos; Sumarios.org; DOAJ