

RESSALVA

Atendendo solicitação do(a)
autor(a), o texto completo desta tese
será disponibilizado somente a partir
de **29/09/2027**

LETÍCIA STELA BISPO DA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE FORMAÇÃO E
RECUPERAÇÃO DE CLAREIRAS NATURAIS FRENTE A
OCORRÊNCIA DE EVENTOS CLIMÁTICOS EM FLORESTAS DE
MANGUE NO MOSAICO LAGAMAR**

SÃO VICENTE

2025



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Instituto de Biociências (IB)
Campus do Litoral Paulista



LETÍCIA STELA BISPO DA SILVA

**CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE FORMAÇÃO E
RECUPERAÇÃO DE CLAREIRAS NATURAIS FRENTE A
OCORRÊNCIA DE EVENTOS CLIMÁTICOS EM FLORESTAS DE
MANGUE NO MOSAICO LAGAMAR**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Campus do Litoral Paulista, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de Concentração: Processos Ecológicos e Gestão de Ecossistemas Aquáticos

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Marília Cunha-Lignon
Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª. Nádia Gilma Beserra de Lima

SÃO VICENTE

2025

FICHA CATALOGRÁFICA

S586c Silva, Leticia Stela Bispo da
Caracterização do Processo de Formação e Recuperação de Clareiras
Naturais Frente a Ocorrência de Eventos Climáticos em Florestas de Mangue
no Mosaico Lagamar / Leticia Stela Bispo da Silva. -- São Vicente, 2025
51 p. : il., tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto
de Biociências, São Vicente
Orientadora: Marília Cunha-Lignon
Coorientadora: Nádia Gilma Beserra de Lima

1. Manguezal. 2. Estrutura Vegetal. 3. Dinâmica Florestal. 4. Perturbações
Naturais. 5. Mudança Climática. I. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE LETICIA STELA BISPO DA SILVA, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE DE AMBIENTES COSTEIROS, DO INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS - CÂMPUS DO LITORAL PAULISTA.

Aos 29 dias do mês de setembro do ano de 2025, às 14h, por meio de Videoconferência, realizou-se a defesa de DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de LETICIA STELA BISPO DA SILVA, intitulada **Caracterização do Processo de Formação e Recuperação de Clareiras Naturais Frente a Ocorrência de Eventos Climáticos em Florestas de Mangue no Mosaico Lagamar**. A Comissão Examinadora foi constituída pelos seguintes membros: Profa. Dra. MARÍLIA CUNHA LIGNON (Orientador(a) - Participação Virtual) do(a) Depto de Recursos Pesqueiros e Aquicultura / UNESP Registro, Prof. Dr. CLEMENTE COELHO JUNIOR (Participação Virtual) do(a) Universidade de Pernambuco, Profa. Dra. TÂNIA MARCIA COSTA (Participação Virtual) do(a) Departamento de Ciências Biológicas e Ambientais / IB/CLP - UNESP. Após a exposição pela mestranda e arguição pelos membros da Comissão Examinadora que participaram do ato, de forma presencial e/ou virtual, a discente recebeu o conceito final: APROVADA . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que após lida e aprovada, foi assinada pelo(a) Presidente(a) da Comissão Examinadora.

Profa. Dra. MARÍLIA CUNHA LIGNON

Documento assinado digitalmente
 MARILIA CUNHA LIGNON
Data: 29/09/2025 17:44:40-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

AGRADECIMENTOS

A minha orientadora, Marília Cunha-Lignon, agradeço a confiança, orientação paciente e ensinamentos ao longo de todo este processo. Agradeço também pelo acolhimento no Grupo de Pesquisa Monitoramento Integrado de Manguezais (MIM), lugar onde pude realizar o sonho de pesquisar sobre meu ecossistema favorito, o manguezal. A minha coorientadora Nádia Gilma Beserra de Lima, agradeço a valiosa colaboração, pelas discussões enriquecedoras e por todo apoio que me foi ofertado neste período. Ambas são mulheres inspiradoras das quais considero um privilégio poder trabalhar tão próxima.

A Universidade Estadual Paulista (UNESP) e a instituições parceiras, como a Universidade de São Paulo (USP), agradeço a oportunidade de incluí-las em minha formação e por todo suporte técnico ofertado durante essa caminhada acadêmica. A CAPES, agradeço o suporte financeiro por meio da bolsa de pesquisa, indispensável em boa parte do curso de mestrado para a dedicação integral e realização deste trabalho.

Ao Programa de Recuperação da Biodiversidade Marinha (REBIMAR), pela parceria e suporte técnico na realização de atividades em campo para coleta de dados.

Aos (as) meus (minhas) colegas e amigos(as) do Grupo de Pesquisa Monitoramento Integrado de Manguezais e da UNESP- IB/CLP, meus singelos agradecimentos. Foi muito importante contar com vocês em momentos de desconstrução e nos mais desafiadores.

Agradeço aos meus ancestrais por toda a força e potência que carrego comigo. A minha família, em especial minha Mãe Alzira, minha vó Ieda e minhas tias Mariana e Rosana, por serem minha referência e base. Obrigada pelo amor e incentivo nesta longa jornada universitária.

Ao meu companheiro e futuro esposo Rodrigo, agradeço por sempre caminhar ao meu lado acreditando em todos os meus sonhos. Em muitos momentos, seu amor foi como casa na qual corri quando me senti perdida, obrigada por me acolher com esse teu coração tão precioso.

E a todas e todos que de alguma forma contribuíram com a minha caminhada, meu muito obrigada!

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	4
LISTA DE FIGURAS.....	6
LISTA DE TABELAS	7
ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	8
RESUMO.....	9
ABSTRACT	10
INTRODUÇÃO GERAL	11
Capítulo 1	13
1. Introdução	14
2. Materiais e Métodos	15
2.1. Área de Estudo	15
2.2. Clima da Região	17
2.3. Coleta de Dados e Caracterização da Estrutura Vegetal	18
2.4. Mapeamento e Caracterização de Clareiras por Imagem de Satélite	20
2.5. Processamento de Imagem e Caracterização da Clareira	21
2.6. Análise Morfométrica da Clareira	23
2.7. Avaliação da Recuperação Vegetal por Índice de Vegetação	24
3. Resultados	25
3.1. Dinâmica estrutural da floresta no processo de formação de clareira	25
3.2. Dinâmica Espaço-temporal no processo de formação da clareira	28
3.3. Avaliação da Recuperação Vegetal por Índice de Vegetação	33
4. Discussão	39
5. Conclusão	43
6. Referências Bibliográficas	44
CONCLUSÃO GERAL	50
REFERÊNCIAS GERAIS	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Área de Estudo: Mosaico de Áreas Protegidas do Lagamar (Litoral Sul de São Paulo e Litoral do Paraná).	16
Figura 2 - Representação esquemática dos sistemas atmosféricos na baixa e alta troposfera atuantes na América do Sul.	18
Figura 3 - Dominância relativa (DOR%), área basal (m ² /ha) e Densidade Relativa (DER%) de troncos vivos e mortos por espécie na parcela permanente localizada na Ilha dos Papagaios (IPAP).	26
Figura 4 - Dominância relativa (DOR%), área basal (m ² /ha) e Densidade Relativa (DER%) de troncos vivos e mortos por espécie na parcela permanente localizada no Icapara (ICA1P3).	26
Figura 5 - Dominância relativa (DOR%), área basal (m ² /ha) e Densidade Relativa (DER%) de troncos vivos e mortos por espécie na parcela permanente no Baguaçu (BAGAP).	27
Figura 6 - Dominância relativa (DOR%), área basal (m ² /ha) e Densidade Relativa (DER%) de troncos vivos e mortos por espécie na parcela permanente do Baguaçu (BAP5).	27
Figura 7 - Dominância relativa (DOR%), área basal (m ² /ha) e Densidade Relativa (DER%) de troncos vivos e mortos por espécie na parcela permanente do Superagui (SUP1).	28
Figura 8 - Delimitação de clareira em imagem RGB na parcela IPAP em escala temporal de 3 anos.	29
Figura 9 - Delimitação de clareira em imagem RGB na parcela ICA1P3 em escala temporal de 4 anos.	30
Figura 10 - Delimitação de clareira em imagem RGB na parcela BAGAP em escala temporal de 8 anos.	31
Figura 11 - Delimitação de clareira em imagem RGB na parcela BAP5 em escala temporal de 8 anos.	32
Figura 12 - Delimitação de clareira em imagem RGB na parcela IPAP em escala temporal de 3 anos.	33
Figura 13 - Avaliação da Recuperação Vegetal por Índices de Vegetação NDVI e SAVI para a Parcela Permanentes da Ilha dos Papagaios (IPAP).	34
Figura 14 - Avaliação da Recuperação Vegetal por Índices de Vegetação NDVI e SAVI para a Parcela Permanentes do Icapara (ICA1P3).	35
Figura 15 - Avaliação da Recuperação Vegetal por Índices de Vegetação NDVI e SAVI para a Parcela Permanentes do Baguaçu (BAGAP e BAP5).	36
Figura 16 - Avaliação da Recuperação Vegetal por Índices de Vegetação NDVI e SAVI para as Parcela Permanentes do Superagui (SUP1).	37
Figura 17 - Valores de NDVI e SAVI para as parcelas permanentes da área de estudo.	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Localização das clareiras consideradas no estudo, onde: Parcela e Local - região onde a parcela permanente está localizada, assim como a unidade de conservação correspondente.....	20
Tabela 2 - Compilação de informações para caracterização por imagem de satélite e para o cálculo de índices de vegetação.....	21
Tabela 3 - Características dos satélites CBERS 4A e Sentinel 2A e suas bandas espectrais.	23
Tabela 4 - Classificação do formato da clareira através do cálculo de excentricidade.	24
Tabela 5 - Características temporais das clareiras.....	29
Tabela 6 - Cálculo dos valores de NDVI e SAVI para as parcelas permanentes da área de estudo.....	38
Tabela 7 - Cálculo dos valores de área de NDVI e SAVI por classes para as Regiões das Parcelas Permanentes.	39
Tabela 8 - Escala de Danos.....	40

ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação foi elaborada no formato para submissão de um único artigo, por considerarmos que as metodologias apresentadas são intrínsecas a compreensão do processo de dinâmica espaço-temporal da florestal de mangue. Neste sentido, a análise integrada dos resultados obtidos enriquece as discussões e conclusões obtidas neste estudo.

- **Introdução Geral**
- **Capítulo 1** - Caracterização do Processo de Formação e Recuperação de Clareiras Naturais Frente a Ocorrência de Eventos Climáticos em Florestas de Mangue no Mosaico Lagamar que deverá ser submetido para a Regional Studies in Marine Science (<https://www.sciencedirect.com/journal/regional-studies-in-marine-science>).
- **Conclusão Geral**

RESUMO

Manguezais são ecossistemas dinâmicos que estão susceptíveis a uma variedade de eventos naturais que diferem em escalas, intensidade e frequência. Tais eventos, além de produzirem clareiras a partir de perturbações significativas na estrutura vegetal, têm registrado maior frequência e intensidade, dado o atual cenário de mudança climática. O presente estudo analisa a dinâmica de formação e recuperação de clareiras frente à ocorrência de eventos climáticos em florestas de mangue da região do Mosaico de Áreas Protegidas do Lagamar, litoral sul de São Paulo e litoral do Paraná. Para isso, cinco clareiras foram mapeadas e caracterizadas, considerando a sua visualização geoespacial por imagem de satélite, seguindo modelo de Brokaw (1982), com auxílio do software QGIS®. A estrutura vegetal analisada seguiu metodologia de Schaeffer-Novelli *et al.* (2015) e utilizou informações do banco de dados do grupo de pesquisa ‘Monitoramento Integrado de Manguezais’. Os índices NDVI e SAVI também calculados no QGIS®, avaliaram a recuperação das florestas de mangue. A análise da dinâmica espaço-temporal evidenciou formação de clareira com recuperação natural em mais da metade das florestas de mangue monitoradas em parcelas permanentes analisadas. A espécie *R. mangle* foi a dominante nas áreas estudadas e por consequência a mais impactada. Eventos de tempestade, ventos fortes e queda de raios foram os principais responsáveis pela formação de clareiras grandes (> 41 ha) e pequenas (< 27 m²) no Mosaico de Áreas Protegidas do Lagamar. A avaliação da recuperação da vegetação de mangue apresentou variações significativas entre as áreas estudadas. Este estudo salienta a importância de abordagens integradas frente ao impacto de eventos climáticos de florestas de mangue.

Palavras Chaves: manguezal, estrutura vegetal, dinâmica florestal, perturbações naturais, mudanças climáticas.

ABSTRACT

Mangrove forests are dynamic ecosystems susceptible to a variety of natural events that differ in scale, intensity, and frequency. Such events, in addition to creating gaps resulting from significant disturbances in the vegetation structure, have been exhibiting increased frequency and intensity due to the current scenario of climate change. This study analyzes the dynamics of gap formation in response to the occurrence of climatic events in mangrove forests located within the Mosaico de Áreas Protegidas do Lagamar (Lagamar Protected Areas Mosaic), on the southern coast of São Paulo and the coast of Paraná. To this end, five gaps were mapped and characterized based on their geospatial visualization using satellite imagery, following the Brokaw (1982) model, with the aid of QGIS® software. The analysis of the vegetation structure followed the methodology of Schaeffer-Novelli *et al.* (2015) and utilized data from the research group's database, 'Monitoramento Integrado de Manguezais' (Integrated Mangrove Monitoring). The NDVI and SAVI indices, also calculated in QGIS®, were used to assess the recovery of the mangrove forests. The spatiotemporal dynamics analysis revealed gap formation with natural recovery in more than half of the monitored mangrove forests located in the analyzed permanent plots. The species *Rhizophora mangle* was dominant in the studied areas and, consequently, the most impacted. Storm events, strong winds, and lightning strikes were the primary causes of large (> 41 ha) and small (< 27 m²) gap formation within the Lagamar Protected Areas Mosaic. The assessment of mangrove vegetation recovery showed significant variations among the studied areas. This study underscores the importance of integrated approaches for addressing the impact of climatic events on mangrove forests.

Key Words: Mangrove; Vegetation structure; Forest dynamics; Natural disturbances; and Climate change

INTRODUÇÃO GERAL

Manguezais são ecossistemas costeiros altamente produtivos de relevância global (Kathiresan, 2021; Pirasteh *et al* 2024), que garantem uma ampla gama de serviços ecológicos, incluindo sua eficiência no sequestro de carbono e na mitigação das mudanças climáticas (Kathiresan, 2021). Em todo o mundo, florestas de mangue possuem distribuição associada aos trópicos com restrição a latitudes 30°N e 30°S (Giri *et al.*, 2011; Spalding, 2010), totalizando 145 km² (Jia *et al.*, 2023). Os desafios adaptativos impostos pela localização na interface terra-mar (UNEP, 2014), tornam o arranjo da estrutura florestal restrito a um pequeno grupo (Spalding, 2010), configurando uma comunidade com baixa riqueza de espécies quando comparada a ecossistemas mais terrestres (Mori *et al.*, 2010; Souza; Dangremond, 2011).

No Brasil, mais precisamente na região sudeste, três gêneros (*Rhizophora*, *Avicennia* e *Laguncularia*) compõem a estrutura vegetal do manguezal, sendo as espécies *Rhizophora mangle* (mangue vermelho), *Avicennia schaueriana* (mangue preto) e *Laguncularia racemosa* (mangue branco), comumente encontradas ao longo do Litoral Sul (Moitinho *et al.*, 2022). O desenvolvimento na zona entre marés de regiões tropicais e subtropicais, tornam os manguezais propensos a distúrbios naturais (Makowski; Finkl, 2018). Mudanças na área de mangue podem ocorrer devido a uma série de dinâmicas costeiras naturais que empurram os manguezais além das tolerâncias específicas da espécie às condições naturais (Fries *et al.*, 2024). Tempestades tropicais, geadas, infestações por insetos, descargas atmosféricas, furacões e grandes secas, podem produzir perturbações físicas de média e grande proporção (Amir; Duke, 2019; Vogt *et al.*, 2014; Ward *et al.*, 2006).

De maneira preocupante, alterações climáticas têm interferido substancialmente nos manguezais pelo aumento em frequência e intensidade de eventos climáticos extremos (Ellison, 2015; Osland *et al.*, 2015; Ward *et al.*, 2016), potencializando tempestades tropicais, queda de raios e consequentemente a abertura de clareiras. Neste sentido, o presente estudo investigou o impacto dos eventos climáticos sob o processo de formação e recuperação de clareiras naturais no mosaico de áreas protegidas do Lagamar, analisando a dinâmica da floresta de mangue a partir de banco de dados de estrutura

vegetal; caracterizando as clareiras, com base em imagens de satélite; e avaliando o processo natural de recuperação pelo uso de índices de vegetação.

CONCLUSÃO GERAL

O presente estudo demonstra que apesar dos eventos climáticos impactarem de maneira drástica a estrutura da floresta de mangue, o processo de recuperação natural é possível a depender da saúde ambiental do entorno. Os resultados reforçam a eficácia do sensoriamento remoto no monitoramento da saúde da floresta de mangue com destaque para o uso do índice SAVI, devida a inclusão de ajuste para áreas úmidas. A utilização de metodologias integradas melhorou a compreensão da dinâmica espaço-temporal da formação de clareira em florestal de mangue, sendo também ferramenta crucial para o entendimento dos impactos de eventos climáticos no ecossistema manguezal.

REFERÊNCIAS GERAIS

AMIR, A. A.; DUKE, N. C. Distinct characteristics of canopy gaps in the subtropical mangroves of Moreton Bay, Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 222, p. 66-80, 2019.

ELLISON, J. C. Vulnerability assessment of mangroves to climate change and sea-level rise impacts. *Wetlands Ecology and Management*, n. 23, p. 115-137, 2015.

FRIESS, D. A. *et al.* Mangrove forests: Their status, threats, conservation and restoration. *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, v. 6, p. 596-625, 2024.

GIRI, C. *et al.* Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, v. 20, p. 154–159, 2011.

JIA, M. *et al.* Mapping global distribution of mangrove forests at 10-m resolution. *Science Bulletin*, 2023.

KATHIRESAN, K. Mangroves: types and importance. In: _____. *Mangroves: ecology, biodiversity and management*. Singapore: Springer Singapore, 2021. p. 1-31.

MORI, G. M. *et al.* Microsatellites for the mangrove tree *Avicennia germinans* (Acanthaceae): Tools for hybridization and mating system studies. *American Journal of Botany*, v. 97, 2010.

PIRASTEH, S. *et al.* Precision in mapping and assessing mangrove Biomass: Insights from the Persian Gulf coasts. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 128, 103769, 2024.

MAKOWSKI, C.; FINKL, C. W. Threats to mangrove forests: hazards, vulnerability, and management. Springer, v. 25, 2018.

MOITINHO, M. A. *et al.* Fungal succession on the decomposition of three plant species from a Brazilian mangrove. *Scientific reports*, v. 12, n. 1, 14547, 2022.

OSLAND, M. J. *et al.* Life stage influences the resistance and resilience of black mangrove forests to winter climate extremes. *Ecosphere*, v. 6, n. 9, 15 p., 2015.

SPALDING, M. *World atlas of mangroves*. Routledge, 2010.

SOUSA, W. P.; DANGREMOND, E. M. Trophic interactions in coastal and estuarine mangrove forest ecosystems. *Treatise Estuar Coast Sci*, v. 6, p. 43-93, 2011.

VOGT, J.; PIOU, C.; BERGER, U. Comparing the influence of large- and small-scale disturbances on forest heterogeneity: A simulation study for mangroves. *Ecological Complexity*, v. 20, p. 107-115, 2014.

WARD, G. A. *et al.* Regional processes in mangrove ecosystems: spatial scaling relationships, biomass, and turnover rates following catastrophic disturbance. *Hydrobiologia*, v. 569, p. 517-527, 2006.

WARD, R. D. *et al.* Impacts of climate change on mangrove ecosystems: a region-by-region overview. *Ecosystem Health and Sustainability*, v. 2, n. 4, 2016.