

GABRIELA GONÇALVES ROLIM DE MORAIS

**ESTRUTURA DO BOSQUE DE MANGUEZAL DO RIO CAMARATUBA, PARAÍBA,
BRASIL**



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
CURSO DE BACHARELADO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

João Pessoa
2024

GABRIELA GONÇALVES ROLIM DE MORAIS

**ESTRUTURA DO BOSQUE DE MANGUEZAL DO RIO CAMARATUBA, PARAÍBA,
BRASIL**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Biológicas (Trabalho Acadêmico de conclusão de Curso), como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Ciências Biológicas da Universidade Federal da Paraíba.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Ferreira de Moraes

Coorientador: Prof. Dr. Pablo Riul

João Pessoa
2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

M827e Moraes, Gabriela Gonçalves Rolim de.
Estrutura do bosque de manguezal do Rio Camaratuba,
Paraíba, Brasil / Gabriela Gonçalves Rolim de Moraes. -
João Pessoa, 2024.
60 p. : il.

Orientação: Fernando Ferreira de Moraes.
Coorientação: Pablo Riul.
TCC (Curso de Bacharelado em Ciências Biológicas) -
UFPB/CCEN.

1. Estrutura de bosque. 2. Estuário pequeno. 3.
Manguezal. 4. Rio Camaratuba. 5. Salinidade. I. Moraes,
Fernando Ferreira de. II. Riul, Pablo. III. Título.

UFPB/CCEN CDU 57 (043.2)

GABRIELA GONÇALVES ROLIM DE MORAIS

**ESTRUTURA DO BOSQUE DE MANGUEZAL DO RIO CAMARATUBA, PARAÍBA,
BRASIL**

Monografia apresentada ao Curso de Ciências
Biológicas, como requisito parcial à obtenção do
grau de Bacharel em Ciências Biológicas da
Universidade Federal da Paraíba.

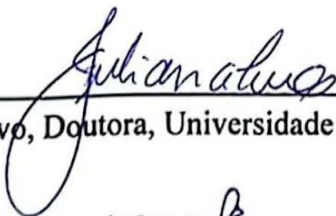
Data: 24/10/2024

Resultado: 10,0

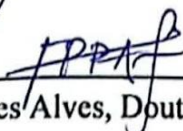
BANCA EXAMINADORA:



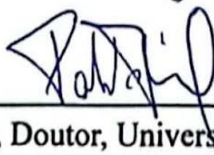
Fernando Ferreira de Moraes, Doutor, Universidade Federal da Paraíba



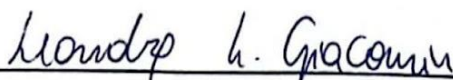
Juliana Lovo, Doutora, Universidade Federal da Paraíba



Frederico Rocha Rodrigues Alves, Doutor, Universidade Federal da Paraíba



Pablo Riul, Doutor, Universidade Federal da Paraíba



Leandro Lacerda Giacomini, Universidade Federal da Paraíba

Dedico este trabalho a Deus!

*“E essa é minha promessa
Eu gastarei minha vida pra Te coroar
Esse é o meu anseio
O meu amor por Ti não será um segredo
[...]”*

*Canção de Simeão
Drops INA*

AGRADECIMENTOS

A Deus, que esteve ao meu lado antes mesmo do início desta jornada. Foi por Sua vontade que escolhi a biologia e, por Sua graça, concluo este ciclo. Sou verdadeiramente grata pela orientação em cada passo, pelo cuidado constante e pelo amor com que me sustentou ao longo de todo o percurso. Agradeço a oportunidade de vivenciar experiências enriquecedoras e por cada pessoa valiosa que colocou em meu caminho. Embora a caminhada tenha sido desafiadora e, por vezes, tenha cogitado desistir, foi pela Tua força que permaneci firme, dedicando o meu melhor em todas as etapas, desde as atividades mais simples até a elaboração desta monografia, para que, acima de tudo, o Teu nome fosse glorificado. "Digno és tu, Senhor e Deus nosso, de receber a glória, a honra e o poder, porque criaste todas as coisas, e por tua vontade elas existem e foram criadas" (Apocalipse 4:11).

À minha mainha, Geralda Gonçalves, minha eterna gratidão. Obrigada por acreditar em mim incondicionalmente e por estar presente em todos os momentos da minha vida, especialmente nesta jornada. Sou profundamente grata pelo seu cuidado nos períodos mais desafiadores e por celebrar comigo cada conquista. Seus gestos, como preparar um simples cafezinho para que eu enfrentasse a rotina, e sua paciência ao me ouvir, seja em desabafos ou nos ensaios de seminários, foram essenciais. Obrigada por me aconselhar em cada decisão, por suas orações constantes e por sempre se desdobrar para que eu pudesse alcançar este momento. Esta conquista também é da senhora. Amo a senhora infinitamente!

À minha irmã Roberta Gonçalves, minha enorme gratidão por toda a sua dedicação, ajuda e motivação ao longo desta fase da minha vida. Desde o início, quando eu ainda não conhecia a vida acadêmica, você esteve ao meu lado. Acompanhou-me desde a matrícula no curso, me ensinou, buscou artigos que pudessem me auxiliar e revisou incansavelmente meus textos, opinando sempre que necessário. Foi minha companhia nas madrugadas de estudo e, acima de tudo, acreditou no meu potencial. Muito obrigada por tornar esse processo mais fácil. Agradeço também ao meu pai, Roberto Adriano, e a todos os meus familiares pelo apoio e carinho durante essa etapa. Amo vocês!

Ao professor Fernando Ferreira, meu orientador desde o final do primeiro período, minha profunda gratidão. Sua orientação, incentivo constante, respeito e acolhimento no LABOAA (Laboratório de Botânica Aplicada à Agroecologia) foram essenciais para meu crescimento acadêmico e pessoal. No LABOAA, aprendi o valor do trabalho em equipe, e tive a oportunidade de vivenciar os três pilares da universidade: ensino, pesquisa e extensão. Foi com seu apoio que publiquei meu primeiro artigo científico e encontrei minha verdadeira paixão

na biologia, o trabalho com comunidades tradicionais. Agradeço sinceramente por me guiar com tanto cuidado e por ter me acolhido como uma filha ao longo dessa jornada.

Ao meu coorientador, Pablo Riul, meu sincero agradecimento por toda a atenção, disponibilidade, paciência e pelas valiosas contribuições feitas a este trabalho. Agradeço também a Juliana, Aline e Emily por toda ajuda durante o trabalho de campo. Vivenciar essa experiência no manguezal com vocês foi incrível, e a colaboração de cada um foi essencial para a conclusão desta etapa tão importante da minha vida.

Aos professores Juliana Lovo e Frederico Alves, com quem tive a honra de ser aluna e o privilégio de trabalhar na Barraca da Ciência, e ao professor Leandro Giacomini, por aceitarem o convite para compor a banca examinadora, dedicando tempo e oferecendo valiosas contribuições para o aprimoramento deste trabalho. Minha gratidão a todos.

À minha amiga de infância, Maria Rita Oliveira. Nunca me esquecerei do dia em que liguei para contar sobre minha aprovação na universidade e da sua alegria genuína com minha conquista. Obrigada por estar sempre presente ao longo dessa jornada, aparecendo nos momentos de sobrecarga para cuidar de mim e celebrando minhas vitórias com o maior orgulho. Sou imensamente grata por todo o carinho que você tem por mim e por minha família. Amo você!

Às meninas do Ministério Sal e Luz, sou grata por todos os sábados me ouvirem falar sobre este TCC, pelos conselhos valiosos e pelas orações constantes por minha vida. Em especial, à Tamara Alves, lembro claramente de quando aguardávamos juntas o resultado do ENEM, e você dizia com tanta certeza de que, no final, tudo valeria a pena. Suas palavras sempre ecoaram no meu coração, especialmente nos momentos mais difíceis dessa jornada, me ajudando a continuar. Hoje, ao concluir esse ciclo, posso afirmar com convicção: valeu a pena enfrentar cada etapa. Muito obrigada por sempre estar disponível para me ouvir e ajudar. É maravilhoso saber que posso contar com você, tanto nos momentos de dificuldade quanto nas horas de alegria. Sei que uma página inteira de agradecimentos não seria suficiente para expressar a honra que sinto pela sua amizade. Você é, sem dúvida, uma resposta de oração, e isso ficou ainda mais claro nessa reta final da monografia. Mesmo quando, em desespero, apareci de última hora pedindo ajuda com o mapa, você abriu mão de tudo para me ajudar, sem medir esforços. Agradeço de todo o coração pela sua vida.

Às pessoas que cativei ao longo da graduação. O futuro é incerto, mas tenho certeza de que conhecer vocês foi uma das maiores riquezas dessa jornada. Começando com Michael Douglas, que surgiu inesperadamente no meio do caminho e se tornou uma parte tão importante da minha história. Sua disposição em ajudar, cuidar e sempre se preocupar comigo, mesmo nos

momentos em que pareço ter esgotado meus neurônios, é algo que admiro. Sua generosidade, sem buscar reconhecimento, reflete a grandeza de seu coração. Desde que nos conhecemos, você esteve ao meu lado em cada etapa, seja na execução dos projetos, na nossa competição pela maior nota em anatomia, ao empréstimo do seu notebook, que não resistiu à monografia, ou em me ouvir e trazer calma nos momentos de maior preocupação. Muito obrigada por tudo!

À Thais Lins, agradeço profundamente por estar ao meu lado durante todos esses anos. Sua vida é uma prova do amor e cuidado de Deus por mim, Ele sabia o quanto eu iria surtar se estivesse sozinha e me presenteou com uma irmã de coração, em quem confio e adoro perturbar. Caminhar ao seu lado desde o início tornou tudo mais leve, juntas dividimos muitas risadas, preocupações, seminários, provas e tantos momentos intensos, e agora, a conclusão dessa jornada. Estarei sempre torcendo pelo seu crescimento e conquistas, e quero celebrar cada uma delas com você.

À Rayanne Mayara, minha parceira de ônibus e de tantas jornadas, sou grata por sempre embarcar comigo em cada ideia, projeto e disciplina, tornando o percurso mais divertido. Seus gestos simples, como as balinhas que me mantinham acordada nas aulas, e a alegria de compartilharmos nossa primeira publicação, são lembranças que guardarei com carinho. Sua companhia e incentivo foram fundamentais em cada passo dessa caminhada.

Por fim, mas não menos importante, agradeço a todos(as) que contribuíram para a minha formação. Muito obrigada a equipe da limpeza, aos técnicos(as) de laboratórios, professores(as) e coordenadores(as). Cada um de vocês desempenhou um papel crucial nessa jornada, e sou imensamente grata por isso.

RESUMO

Os manguezais são ecossistemas tropicais e subtropicais distribuídos por 118 países e territórios, cobrindo aproximadamente 137.600 km². Esses ambientes se desenvolvem principalmente em estuários, os quais podem ser divididos em três zonas: alto, médio e baixo estuário. Esses ambientes incluem feições características como o lavado, apicum e o bosque de mangue, que abrigam as áreas de franja e interior. A salinidade é um fator ambiental determinante, atuando como agente de estresse nesse ecossistema, influenciando o desenvolvimento, distribuição, crescimento e produtividade das espécies. No Brasil, embora a diversidade de espécies de mangue seja relativamente baixa, com destaque para *Rhizophora mangle* L., *Laguncularia racemosa* (L.) C.F.Gaertn., *Avicennia germinans* (L.) L. e *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm. ex Moldenke, o país apresenta uma ampla variação estrutural e de distribuição das espécies ao longo de sua costa. Estudos fitossociológicos têm sido conduzidos, visando analisar a composição e dinâmica do bosque dos manguezais em relação aos fatores ambientais. O presente estudo teve o objetivo de descrever a estrutura dos bosques de manguezal do Rio Camaratuba, Paraíba, comparando as regiões do estuário e os bosques, e testando a hipótese de que os parâmetros estruturais estão relacionados negativamente à salinidade, utilizando o método de parcelas. As espécies encontradas foram *R. mangle* (89,16%), *L. racemosa* (6,40%) e *A. schaueriana* (4,43%). Os resultados registrados em média foram: densidade (1.200-2.150 ind/ha); DAP (4,36-20,50 cm); área basal (3,62-42,75 m²/ha); altura (4,05-7,65 m); e biomassa aérea (25,12-511,21 Mg/ha). Não foram observadas diferenças significativas entre as regiões estuarinas devido à uniformidade da área associada ao pequeno tamanho do estuário. No entanto, o bosque de franja apresentou médias significativamente maiores de DAP, área basal, altura e biomassa aérea, devido à maior salinidade. Portanto, o estudo cujos resultados serão divulgados em artigo científico na revista *Acta Botanica Brasilica* contribui para o preenchimento da lacuna de informações sobre a estrutura do manguezal na Paraíba, sendo relevante para futuras pesquisas fitossociológicas, bem como de conservação e manejo sustentável.

Palavras-chave: Estrutura de bosque. Estuário pequeno. Manguezal. Rio Camaratuba. Salinidade.

ABSTRACT

Mangroves are tropical and subtropical ecosystems found across 118 countries and territories, covering approximately 137,600 km². These environments mainly develop in estuaries, which can be divided into three zones: upper, middle, and lower estuary. They include characteristic features such as mudflats, salt flats, and mangrove forests, which contain fringe and interior areas. Salinity is a critical environmental factor, acting as a stress agent in this ecosystem, influencing the development, distribution, growth, and productivity of species. In Brazil, although mangrove species diversity is relatively low, with species like *Rhizophora mangle* L., *Laguncularia racemosa* (L.) C.F.Gaertn., *Avicennia germinans* (L.) L., and *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm. ex Moldenke standing out, the country exhibits a broad structural variation and species distribution along its coast. Phytosociological studies have been conducted to analyze the composition and dynamics of mangrove forests in relation to environmental factors. This study aimed to describe the structure of the mangrove forests in the Camaratuba River, Paraíba, comparing estuarine regions and forest zones, and testing the hypothesis that structural parameters are negatively related to salinity, using the plot method. The species found were *R. mangle* (89.16%), *L. racemosa* (6.40%), and *A. schaueriana* (4.43%). The recorded averages were: density (1,200-2,150 ind/ha); DBH (4.36-20.50 cm); basal area (3.62-42.75 m²/ha); height (4.05-7.65 m); and above-ground biomass (25.12-511.21 Mg/ha). No significant differences were observed between the estuarine regions due to the uniformity of the area associated with the small size of the estuary. However, the fringe forest presented significantly higher averages of DBH, basal area, height, and above-ground biomass, due to higher salinity. Therefore, this study, with results to be published in a scientific article in the journal *Acta Botanica Brasilica*, contributes to filling the information gap on mangrove structure in Paraíba, proving relevant for future phytosociological research as well as for conservation and sustainable management efforts.

Keywords: Camaratuba River. Forest structure. Mangrove. Salinity. Small estuary.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1** - Mapa do estuário do Rio Camaratuba, com destaque dos pontos amostrados.....34
- Figura 2** - Médias das variáveis de estrutura de bosque. Densidade (A), DAP (B), área basal (C), altura (D) e biomassa aérea (E), considerando os fatores de região (alto, médio e baixo estuário) e fisionomia de bosque (franja e interior) no estuário do Rio Camaratuba. Barras verticais indicam o erro padrão..... 38
- Figura 3** - Análise de regressão linear relacionando o logaritmo da salinidade e das variáveis de estrutura de bosque, densidade, DAP (Diâmetro à Altura do Peito), área basal, altura e biomassa aérea, no estuário do Rio Camaratuba.....41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Análises de Variâncias (ANOVA) da estrutura de bosque no estuário do Rio Camaratuba.....	40
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANOVA : Análises de Variâncias

AI_s : Alto estuário Interior

AF_s : Alto estuário Franja

As' : Clima tropical com uma estação seca no inverno

Bo : Fisionomia de bosque

BI_s : Baixo estuário Interior

BF_s : Baixo estuário Franja

°C : Graus Celsius

CAP : Circunferência à Altura do Peito

cm : Centímetro

DAP : Diâmetro à Altura do Peito

F : Valor da estatística F

GL : Graus de Liberdade

GPS : Sistema de Posicionamento Geográfico

ha : Hectare

H₂S : Sulfeto de hidrogênio

ICMBio : Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

ind : Indivíduo

km : Quilômetro

LAFIC : Laboratório de Ficologia: Ecologia e Taxonomia de Macroalgas Marinhas

ln : Logaritmo natural

log : Logaritmo

m : Metro

Mg : Megagrama

mm : Milímetros

MI_s : Médio estuário Interior

MF_s : Médio estuário Franja

p : Probabilidade

pH : Potencial hidrogeniônico

ppm : Partes por milhão

PVC : Policloreto de Vinila

QM : Quadrado médio

Re : Fatores de região

SQ : Soma dos quadrados

SNK : Student-Neuman-Keuls

Ψ_s : Potencial osmótico

Ψ_w : Potencial hídrico

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	16
1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
1.1 ECOSISTEMA MANGUEZAL.....	18
1.1.1 IMPORTÂNCIA ECOLÓGICA E SOCIOECONÔMICA.....	19
1.2 FISIONOMIAS DE ESTUÁRIOS.....	20
1.3 FISIONOMIAS DE BOSQUES DE MANGUEZAIS.....	20
1.4 ESTRUTURA DOS BOSQUES.....	21
1.5 DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA.....	22
1.5.1 ZONAÇÃO FITOGEOGRÁFICA.....	22
1.6 SALINIDADE.....	23
1.6.1 ADAPTAÇÕES AO ESTRESSE SALINO.....	24
2 REFERÊNCIAS	25
3 ARTIGO CIENTÍFICO	30
RESUMO	30
ABSTRACT	30
INTRODUÇÃO.....	31
MATERIAL E MÉTODOS.....	33
DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	33
COLETA DE DADOS	35
ESTRUTURA DE BOSQUE	35
SALINIDADE.....	36
ANÁLISE ESTATÍSTICA	36
RESULTADOS.....	37
DISCUSSÃO.....	41
AGRADECIMENTOS.....	46
CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES	46
CONFLITO DE INTERESSES	46
REFERÊNCIAS	46
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	52
ANEXO	53

INTRODUÇÃO

O manguezal é um ecossistema costeiro encontrado em terrenos baixos e lodosos, caracterizado pelo solo escuro, rico em sais e anóxico devido ao alagamento periódico e à elevada concentração de matéria orgânica em decomposição, fatores que reduzem a taxa de difusão do oxigênio no substrato (Brasil, 2012; Andrade, 2013; Souza *et al.*, 2018). Esse ambiente desempenha um papel crucial nas esferas social, econômica e ecológica (Bernini e Rezende, 2004), oferecendo a proteção da linha costeira, a atuação como berçário natural, a filtragem biológica, o sequestro de carbono, a produção de alimentos e a provisão de recursos para povos e comunidades tradicionais (Albuquerque *et al.*, 2015).

Esse ecossistema se desenvolve em áreas costeiras, margeando baías, deltas, lagunas e, sobretudo, estuários (Silva *et al.*, 2005; Twilley *et al.*, 2018), os quais podem ser subdivididos em três regiões principais: alto estuário, dominado por água doce continental; médio estuário, caracterizado pela mistura entre águas continentais e marinhas; e baixo estuário, próximo à desembocadura do rio, onde prevalecem águas salgadas do oceano (Schettini, 2002).

O manguezal apresenta três feições principais: lavado, *apicum* e, em destaque, os bosques de mangue, caracterizados pela cobertura vegetal típica, constituída por espécies lenhosas adaptadas às condições ambientais, conhecidas como mangues (Bernini e Rezende, 2004; Schaeffer-Novelli e Cintrón-Molero, 2015; ICMBio, 2018). Estes bosques são divididos em duas zonas fisiográficas: o bosque de franja, encontrado em margens do rio e dos canais com salinidade mais semelhante à da água do mar; e o bosque de interior, localizado em áreas mais elevadas, com baixa ciclagem de nutrientes e alta salinidade, que é determinada pela frequência de inundação da maré associada a precipitação anual e evaporação (Schaeffer-Novelli *et al.*, 2000; Nascimento Filho, 2007; Lima e Tognella, 2012; Silva *et al.*, 2020).

Entre as condições determinantes para o desenvolvimento do mangue, a salinidade se destaca, uma vez que a vegetação se distribui conforme os gradientes ambientais de salinidade (Souza, 2019). Diante disso, diversos estudos têm sido conduzidos, visando entender a estrutura do bosque de manguezais, a partir da identificação das espécies e densidade de indivíduos, medidas do diâmetro à altura do peito (DAP), área basal, altura e biomassa aérea (Schaeffer-Novelli e Cintrón-Molero, 1986; Santos, 2018).

Os manguezais são encontrados em diversas regiões do mundo (Correia e Sovierzoski, 2005), sendo o Brasil o segundo país com a maior extensão desses ecossistemas, com uma área de cobertura com cerca de 7.663 km², distribuídos de forma descontínua entre o Estado do Amapá até Santa Catarina (Rovai *et al.*, 2021b; Brasil, 2012). No Estado da Paraíba, os

manguezais cobrem aproximadamente 120,93 km², distribuídos em dezoito estuários (Morais, 2014), incluindo o Rio Camaratuba, onde a cobertura de mangue se estende em cerca de 1,2672 km² (Souza, 2019). No entanto, os estudos fitossociológicos ainda são limitados (Silva *et al.*, 2016), embora sejam importantes para avaliar o grau de desenvolvimento da vegetação e realizar comparações entre os bosques (Schaeffer-Novelli *et al.*, 2015).

Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivos: 1) Descrever a estrutura dos bosques do estuário do Rio Camaratuba; 2) Comparar a estrutura dos bosques de mangue (densidade, DAP, área basal, altura e biomassa aérea) entre as regiões alto, médio, e baixo estuário, na franja e no interior, e testar a hipótese de que níveis mais altos de salinidade reduzem as médias dos parâmetros estruturais (densidade, DAP, área basal, altura e biomassa aérea), estando relacionados negativamente (Costa *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2020). Os resultados serão divulgados em artigo científico na revista *Acta Botanica Brasilica*.

1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

1.1 ECOSSISTEMA MANGUEZAL

O termo "manguezal" é formado a partir da palavra "mangue" (Kathiresan e Bingham, 2001) e, embora sua etimologia seja desconhecida, é amplamente reconhecido como um substantivo coletivo que designa um ecossistema marginal, característico de terras baixas, áreas úmidas de transição, cuja extensão é delimitada pelos níveis das marés (Vannucci, 2003; Souza *et al.*, 2018; ICMBio, 2018).

O desenvolvimento desse ecossistema é condicionado pela interação de diversos fatores ambientais essenciais, entre os quais se destacam a temperatura, a precipitação anual, a presença de água salobra e a deposição de sedimentos finos e inconsolidados (Andrade, 2013; Correia e Sovierzoski, 2005; Santana *et al.*, 2020). Outro aspecto importante na formação dos manguezais são os solos, que se destacam por sua consistência lodosa, condições anóxicas e altos níveis de matéria orgânica e sulfeto de hidrogênio (H₂S), o que resulta em um intenso odor de putrefação, semelhante ao de ovo em decomposição (Kathiresan e Bingham, 2001; Souza *et al.*, 2018).

Além disso, há a variação na entrada e saída de água doce e salgada, já que esses ecossistemas atuam como zonas de transição entre ambientes marinhos, terrestres e de água doce (Laurentino e Souza, 2013). Essa variação constante é determinante para características ecológicas importantes, como o pH, a salinidade e a temperatura, além da composição do substrato por meio da deposição de detritos como silte e argilas, que consequentemente influenciam na abundância e distribuição dos organismos que vivem no manguezal (Albuquerque *et al.*, 2015).

Adaptada morfológicamente e fisiologicamente a essas condições inóspitas, a flora dos manguezais evoluiu a partir de espécies surgidas do Terciário Superior (Vannucci, 2003). Atualmente, existem mundialmente cerca de noventa espécies, pertencentes a aproximadamente dezoito famílias de plantas vasculares exclusivas desse ecossistema (Vannucci, 2001; Duke e Schmitt, 2015). No Brasil, ocorrem principalmente quatro espécies de árvores de manguezal, sendo elas: *Rhizophora mangle* L., *Laguncularia racemosa* (L.) C.F.Gaertn., *Avicennia germinans* (L.) L. e *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm. ex Moldenke (Lacerda, 2002).

Associada à vegetação, encontra-se uma diversidade de animais igualmente adaptados (Andrade, 2013). Estes podem ser classificados em dois grupos principais: os visitantes ou oportunistas, que utilizam temporariamente o manguezal para abrigo, alimentação e reprodução; e os endêmicos, que permanecem nesse ecossistema. Entre os exemplos da fauna

do manguezal, com destaque para as espécies de interesse pesqueiro, estão *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763), também conhecido por caranguejo-uçá, o *Cardisoma guanhumi* (Latreille, 1828), referido popularmente ao guaiamú e *Mytella falcata* (d'Orbigny, 1846), chamado de sururu (Souza *et al.*, 2018; Almeida, 2008).

1.1.1 IMPORTÂNCIA ECOLÓGICA E SOCIOECONÔMICA

O manguezal funciona como um berçário natural, área de nidificação de aves e abrigo, proporcionando um ambiente protegido contra predadores e com abundância de recursos alimentares, com condições ideais para a reprodução e o desenvolvimento de diversas espécies, tanto endêmicas quanto visitantes, principalmente para peixes e crustáceos (Albuquerque *et al.*, 2015).

Outra importante função ecossistêmica dos manguezais é a de filtro biológico. Nesse processo, as bactérias presentes no sedimento atuam na decomposição da matéria orgânica, resultando na criação de um ambiente anóxico. A ausência de oxigênio desencadeia a produção de sulfetos, os quais se ligam a partículas contaminantes, tais como metais pesados, retendo-os no sedimento e evitando sua dispersão na água (Almeida, 2008; Souza *et al.*, 2018).

A vegetação dos manguezais tem se estabelecido como a primeira linha de defesa costeira contra tempestades, erosão, inundações e assoreamento. O sistema de raízes dos mangues contribui para a compactação do sedimento e age como uma barreira que reduz a intensidade das ondas e ventos (Barbier, 2016; ICMBio, 2018). Esse serviço de proteção costeira tem um elevado valor, com estimativas, como na Tailândia, indicando cerca de 15.997 dólares por hectare (Menéndez *et al.*, 2018). Em contraste, os danos causados pelo desmatamento desses ecossistemas foram avaliados em aproximadamente 1.879 dólares por hectare (Barbier, 2016).

Além disso, o sequestro de carbono emerge como uma função crucial dos manguezais na mitigação das mudanças climáticas (Duke e Schmitt, 2015), posicionando-os como um dos ecossistemas mais eficazes no combate ao aquecimento global. As florestas de mangue têm a capacidade de capturar o carbono atmosférico durante o processo fotossintético e armazená-lo sob a forma de celulose e açúcares, contribuindo significativamente para a redução dessa substância gasosa prejudicial para a biodiversidade (Souza *et al.*, 2018). No Brasil, os manguezais se destacam como ecossistema com maior capacidade de armazenamento de carbono por área, acumulando entre 2,2 e 4,3 vezes mais carbono em comparação aos biomas do país (Rovai *et al.*, 2022).

Essa notável capacidade de retenção de carbono é refletida em estimativas de que os manguezais sequestram aproximadamente 22,8 milhões de toneladas de carbono anualmente (Giri *et al.*, 2011), o que corresponde a uma média de 1.023 Mg de carbono por hectare (Duke e Schmitt, 2015). A valoração desse sequestro de carbono varia conforme o tipo fisiográfico do manguezal, com valores que oscilam entre 10,00 e 82,28 dólares/ha por ano (Estrada *et al.*, 2014). Por outro lado, a perda desse ecossistema pode resultar em danos econômicos significativos, estimados entre 6 e 42 bilhões de dólares anuais (Beaumont *et al.*, 2014).

Além das importâncias já mencionadas, os manguezais desempenham um papel crucial nos aspectos culturais, educacionais, econômicos e medicinais. Esses ecossistemas oferecem materiais para artesanato e proporcionam oportunidades para recreação, turismo e lazer, ao mesmo tempo em que sustentam e preservam mais de 4,1 milhões de pescadores de subsistência dos povos e das comunidades tradicionais costeiras em todo o mundo, fornecendo anualmente cerca de 80 milhões de toneladas de peixes, com um valor estimado superior a 50 mil dólares por hectares (Andrade, 2013; Alberto *et al.*, 2024).

1.2 FISIONOMIAS DE ESTUÁRIOS

Os manguezais ocorrem em ambientes costeiros, como estuários (Silva *et al.*, 2005), que são áreas de transição situadas no interior da região costeira, caracterizadas pelo encontro entre águas oceânicas e dulcícolas (Miranda, 2002). Devido à sua elevada diversidade fisiográfica, os estuários podem ser subdivididos em três setores principais: 1) Alto estuário, localizado mais distante da foz do rio, onde predominam as águas continentais, sendo apenas observados os efeitos das marés; 2) Médio estuário, onde ocorre uma maior interação entre águas continentais e marinhas; e 3) Baixo estuário, situado próximo a foz do rio, com predominância de processos marinhos (Schettini, 2002).

1.3 FISIONOMIAS DE BOSQUES DE MANGUEZAIS

O manguezal é composto por três principais feições que se sucedem: lavado, bosque de mangue e *apicum*. Dentre elas, o bosque de mangue se destaca por possuir uma cobertura vegetal vascularizada, caracterizado pelo mangue, espécies arbóreas com estruturas incomuns em plantas terrestres, como as raízes-escoras e os pneumatóforos, que conferem ao ambiente sua fisionomia peculiar (Schaeffer-Novelli e Cintrón-Molero, 2015; ICMBio, 2018).

Os bosques de mangue são classificados em duas zonas fisiográficas (Schaeffer-Novelli *et al.*, 2000), de acordo com a topografia e gradiente de inundação (Oliveira e Tognella, 2014). O bosque de franja, localizado ao longo das margens dos rios e dos canais, está mais exposto

às inundações diárias das marés, o que resulta em uma salinidade similar à da água do mar e maior exportação de detritos. Em contraste, o bosque de interior, situado atrás da franja, em áreas mais elevadas e planas, é caracterizado por inundações sazonais, ocorrendo apenas durante marés de maiores amplitudes. Essa condição promove uma baixa ciclagem de nutrientes e uma salinidade geralmente superior à da franja, dependente da evaporação, precipitação e frequência das inundações (Nascimento Filho, 2007; Lima e Tognella, 2012; Silva *et al.*, 2020).

1.4 ESTRUTURA DOS BOSQUES

A fitossociologia, dedica-se ao estudo das comunidades vegetais, analisando seus padrões estruturais, composição e dinâmicas sucessionais em relação aos fatores ambientais (Felfili *et al.*, 2011; Vidyasagaran *et al.*, 2011). No Brasil, essa área se consolidou como uma ferramenta essencial para a classificação e caracterização da vegetação do país, especialmente por meio da aplicação de métodos padronizados voltados para o levantamento da vegetação predominantemente lenhosa (Hargreaves, 2008).

Nos ecossistemas de manguezais, os parâmetros estruturais utilizados no estudo fitossociológico geralmente incluem a identificação da espécie, contagem da densidade de indivíduos, diâmetro à altura do peito (DAP), área basal e altura da árvore, e biomassa aérea (Schaeffer-Novelli e Cintrón-Molero, 1986; Santos, 2018), permitindo, assim, avaliar o grau de desenvolvimento da vegetação e realizar comparações entre os bosques (Schaeffer-Novelli *et al.*, 2015). Esse método é amplamente empregado em diversas pesquisas brasileiras, como as de Bernini e Rezende (2004), Martins *et al.* (2011), Petri *et al.* (2011), Silva *et al.* (2016), Souza (2019) e Rovai *et al.* (2021a).

Na região Nordeste do Brasil, estudos fitossociológicos em manguezais identificaram que as árvores de *R. mangle* são as mais comuns nesses bosques, podendo atingir uma altura máxima de 25 m e um DAP de 60 cm. *L. racemosa* pode alcançar uma altura de até 12 m e 30 cm de DAP. *A. germinans* e *A. schaueriana* variam em altura de 20 a 30 m, com um DAP de até 65 cm. *Conocarpus erectus* é registrado com menor frequência, alcançando uma altura máxima de 10 m e um DAP de 30 cm (Fruehauf, 2005; Souza, 2019).

1.5 DISTRIBUIÇÃO GEOGRÁFICA

Os manguezais encontram-se distribuídos mundialmente de regiões tropicais a subtropicais entre as coordenadas 32° Norte e 38° Sul, sendo mais desenvolvidos nas proximidades do Equador (Correia e Sovierzoski, 2005; Almeida, 2008). Esses ecossistemas ocupam uma área total de 137.600 km², presentes por cerca de 118 países e territórios (Bunting

et al., 2018). A maior extensão de manguezais está localizada na Ásia, que abriga 42% dessa área, enquanto a África possui 20%, América do Norte e Central com 15%, Oceania com 12% e América do Sul com 11% (Giri *et al.*, 2011). Na América do Sul, os manguezais estão situados ao longo das costas dos oceanos Atlântico e Pacífico em oito países, sendo no Brasil a maior extensão (50%), seguido da Colômbia (18%), Venezuela (11%), Equador (8%) e Suriname (6%) (Bashi, 2016).

1.5.1 ZONAÇÃO FITOGEOGRÁFICA

Diversos fatores geográficos, como temperatura e precipitação (Cavanaugh *et al.*, 2018), além da variação das marés, fornecimento de água salobra e doce, propriedades físico-químicas dos sedimentos, e características da fisiografia e topografia da região, desempenham um papel decisivo na diversidade fitogeográfica dos manguezais (Vannucci, 2003; Twilley *et al.*, 2018; Rovai *et al.*, 2018). Cada espécie de mangue apresenta uma distribuição característica, seja restrita a uma região ou presente em várias, de acordo com a capacidade de tolerar a combinação desses fatores locais (Duke e Schmitt, 2015).

Conforme já mencionado, a salinidade se destaca como um fator determinante na composição dos bosques. Nesse sentido, as respostas específicas das diferentes espécies de mangue aos gradientes de salinidade resultam na formação de uma zonação horizontal no ecossistema (Oliveira e Tognella, 2014).

No Brasil, a *Rhizophora mangle* (mangue-vermelho), caracterizada por suas “raízes-espora”, que são prolongamentos do caule, desenvolve-se predominantemente em áreas próximas à água, com solos pouco compactos e salinidade de 35 ppm, podendo tolerar até 55 ppm. Por outro lado, a *Avicennia schaueriana* (mangue-preto), que possui pneumatóforos, raízes aéreas que auxiliam na respiração da planta, pertence ao gênero mais tolerante à salinidade, ocorrendo em regiões mais interiores, afastadas do mar e com menos inundação, suportando até 90 ppm (Andrade, 2013; Peiró *et al.*, 2018). A *Laguncularia racemosa* (mangue-branco), que apresenta um menor número e tamanho de pneumatóforos, é também encontrada em áreas onde a inundação ocorre apenas durante as marés mais altas, sendo banhadas por águas de alta salinidade. Além disso, a *Conocarpus erectus* (mangue-de-botão) é observada nas zonas de transição e é acompanhada por espécies com menor frequência e distribuição (Correia e Sovierzoski, 2005; Peiró *et al.*, 2018).

Devido a diversidade fitogeográfica dos manguezais, o mapeamento desses ecossistemas tem sido amplamente desenvolvido em todo o mundo nos últimos anos (Souza,

2005), incluindo os estudos de Schaeffer-Novelli *et al.* (1990), Cordeiro-Marino *et al.* (1992), Cintrón-Molero e Schaeffer-Novelli (1992) e Kjerfve *et al.* (2002).

1.6 SALINIDADE

A salinidade é uma das condições ambientais mais determinantes da estrutura dos bosques de manguezais e é considerada o principal causador de estresse nesse ecossistema, devido à sua interferência nos processos fisiológicos, no desenvolvimento e sobrevivência das espécies de mangue (Costa *et al.*, 2014; Albuquerque, 2015; Rodrigues, 2020). Essa característica resulta da interação entre a frequência das inundações das marés, a evapotranspiração, a hidrologia e a topografia dos ambientes (Silva e Amarasinghe, 2021).

Nesses ecossistemas com alta salinidade, o transporte de água e nutrientes do solo para o interior das células radiculares das plantas é comprometido devido à influência da concentração de sais sobre o potencial osmótico (Ψ_s), e consequentemente, sobre o potencial hídrico (Ψ_w), visto que quanto maior a concentração dos solutos, mais negativo são esses potenciais. Desse modo, nos manguezais, caso não haja adaptações fisiológicas de resposta ao baixo Ψ_w , o deslocamento de água e substâncias ocorre do meio intracelular para o solo, uma vez que o Ψ_w externo é inferior ao interno e a condutividade hidráulica ocorre do meio de maior para o menor potencial hídrico (Fruehauf, 2005; Rodrigues, 2020).

O desafio em absorver água do substrato reduz a pressão de turgor nas células, o que compromete a abertura dos estômatos e a troca gasosa, prejudicando o processo de fotossíntese. Esse estresse também pode causar o acúmulo excessivo de sais nas células foliares, o que altera a integridade das membranas celulares. Como resultado, divisão, formação e alongamento das células são inibidos, refletindo na atrofia dos ramos, inibição do crescimento, redução do tamanho da superfície foliar, e no amarelamento e degeneração das folhas (Rodrigues, 2020; Soares *et al.*, 2020; Naskar e Palit, 2015). Além disso, o aumento da salinidade causa toxicidade por íons, desequilíbrio nos nutrientes e a reduções no peso da parte aérea, na altura da planta, no número de folhas, no comprimento das raízes e na área superficial das raízes (Esteves e Suzuki, 2008).

1.6.1 ADAPTAÇÕES AO ESTRESSE SALINO

Os mangues são classificados como halófitos, plantas capazes de se desenvolver e completar seu ciclo de vida em ambientes com altos níveis de salinidade (Esteves e Suzuki, 2008). Essa tolerância ao estresse salino é alcançada por meio de mecanismos morfológicos e

fisiológicos que trabalham em conjunto, desenvolvendo estratégias bioquímicas e moleculares. Essas estratégias podem ser agrupadas em três categorias principais (Vannucci, 2003):

- 1) Barreira à penetração de sais: O gênero *Rhizophora* possui filtros nas raízes que controlam a entrada de sais durante a absorção de água do solo (Kathiresan e Bingham, 2001).
- 2) Secreção do excesso de sais: O gênero *Avicennia* absorve os sais e excreta-os a nível celular, através dos vacúolos, e a nível estrutural, por meio de glândulas salinas nas folhas (Esteves e Suzuki, 2008).
- 3) Acumulação e imobilização de sais: O gênero *Laguncularia* pode acumular manitol e prolina para regular o equilíbrio osmótico (Kathiresan e Bingham, 2001). O armazenamento de solutos nos vacúolos das células foliares mantém o potencial hídrico mais baixo do que nas raízes e facilita o fluxo de água (Rodrigues, 2020).

Outras adaptações a esse estresse incluem o envolvimento das raízes por parênquima, um tecido esponjoso que facilita a troca gasosa e a viviparidade, uma estratégia adaptativa importante para diversos estresses, incluindo o salino, onde as sementes germinam ainda na árvore-mãe e se desprendem quando maduras, na forma de propágulos, o que facilita o rápido enraizamento ao atingir o substrato (Rodrigues, 2020; Vannucci, 2003).

2 REFERÊNCIAS

- ALBERTO, R. P.; TEANO, J. A.; PAZ-ALBERTO, A. M.; TANGONAN, M. A. B.; VILLAMAR, H. J. E.; CLEMENT, S.; MORSE, A. P. Impacts of climate change on mangrove subsistence fisheries: a global review. **Marine Life Science & Technology**, p. 1-21, 2024.
- ALBUQUERQUE, A. G. B. M.; FREITAS, E. M. N.; MOURA-FÉ, M. M.; BARBOSA, W. R. A proteção do ecossistema manguezal pela legislação ambiental brasileira. **GEOfographia**, v. 17, n. 33, p. 126-153, 2015.
- ALMEIDA, F. C. **A história da devastação dos manguezais aracajuano**s. 2008. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2008.
- ANDRADE, K. V.S. D. **A dinâmica físico-química de solos de florestas de mangue em Sergipe, Nordeste do Brasil**. 2013. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2013.
- BRASIL. Lei Federal n. 12.651, de 25 de maio de 2012. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 2012. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2012/lei/12651.htm. Acesso em: 29 ago. 2024.
- BARBIER, E. B. The protective service of mangrove ecosystems: A review of valuation methods. **Marine pollution bulletin**, v. 109, n. 2, p. 676-681, 2016.
- BEAUMONT, N. J.; JONES, L.; GARBUTT, A.; HANSOM, J. D.; TOBERMAN, M. The value of carbon sequestration and storage in coastal habitats. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 137, p. 32-40, 2014.
- BERNINI, E.; REZENDE, C. E. Estrutura da vegetação em florestas de mangue do estuário do rio Paraíba do Sul, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 18, p. 491-502, 2004.
- BUNTING, P.; ROSENQVIST, A.; LUCAS, R. M.; REBELO, L. M.; HILARIDES, L.; THOMAS, N.; HARDY, A.; ITOH, T.; SHIMADA, M.; FINLAYSON, C. M. The global mangrove watch—a new 2010 global baseline of mangrove extent. **Remote Sensing**, v. 10, n. 10, p. 1669, 2018.
- CAVANAUGH, K. C.; OSLAND, M. J.; BARDOU, R.; HINOJOSA-ARANGO, G.; LÓPEZ-VIVAS, J. M.; PARKER, J. D.; ROVAI, A. S. Sensitivity of mangrove range limits to climate variability. **Global Ecology and Biogeography**, v. 27, n. 8, p. 925-935, 2018.
- CINTRÓN-MOLERO, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Ecology and management of New World mangroves. **Coastal plant communities of Latin America**. Academic Press, 1992. cap. 15, p. 233-258.
- CORDEIRO-MARINO, M.; BRAGA, M. R. A.; ESTON, V. R.; FUJII, M. T.; YOKOYA, N. S. Mangrove macroalgal communities of Latin America: the state of art and perspectives. **Coastal plant communities of Latin America**. Academic Press, 1992, cap. 3, p. 51-64.

- CORREIA, M. D.; SOVIERZOSKI, H. H. Ecossistemas marinhos: recifes, praias e manguezais. Maceió: **EDUFAL**, 2005.
- COSTA, D. F. S.; ROCHA, R. M.; CESTARO, L. A. Análise fitoecológica e zonação de manguezal em estuário hipersalino. **Mercator (Fortaleza)**, v. 13, p. 119-126, 2014.
- DUKE, N. C.; SCHMITT, K. Manguezais: florestas incomuns na orla do mar. **Tropical forestry handbook**, v. 1, 2015.
- ESTEVES, B. S.; SUZUKI, M. S. Efeito da salinidade sobre as plantas. **Oecologia brasiliensis**, v. 12, n. 4, p. 6, 2008.
- ESTRADA, G. C. D.; SOARES, M. L. G.; SANTOS, D. M. C.; FERNANDEZ, V.; DE ALMEIDA, P. M. M.; ESTEVAM, M. R. M.; MACHADO, M. R. O. Allometric models for aboveground biomass estimation of the mangrove *Avicennia schaueriana*. **Hydrobiologia**, p. 171-185, 2014.
- FELFILI, J. M.; EISENLOHR, P. V.; MELO, M. M. R. F.; ANDRADE, L. A.; MEIRA NETO, J. A. A. Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de casos. **Viçosa: UFV**, v. 1, p. 556, 2011.
- FRUEHAUF, S. P. ***Rhizophora mangle* (Mangue vermelho) em áreas contaminadas de manguezal na Baixada Santista**. 2005. Tese (Doutorado em Ecologia de Agroecossistemas) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.
- GIRI, C.; OCHIENG, E.; TIESZEN, L. L.; ZHU, Z.; SINGH, A.; LOVELAND, T.; J.; MASEK, J.; DUKE, N. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. **Global Ecology and Biogeography**, 2011.
- HARGREAVES, P. Phytosociology in Brazil. **J Plant Sci Biotechnol**, v. 2, p. 12-20, 2008.
- ICMBio. Atlas dos Manguezais do Brasil. Brasília. **Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio)**, 2018.
- KATHIRESAN, K.; BINGHAM, B. L. Biologia de manguezais e ecossistemas de manguezais. **Avanços em Biologia Marinha**, v. 40, p. 81-251, 2001.
- KJERFVE, B.; PERILLO, G. M. E.; GARDNER, L. R.; RINE, J. M.; DIAS, G. T. M.; MOCHEL, F. R. Morphodynamics of muddy environments along the Atlantic coasts of North and South America. **Proceedings in marine science**. Elsevier, Nova York, 2002, cap. 20, p. 479-532.
- LACERDA, L. D. Mangrove ecosystems: function and management. **Springer Science & Business Media**, 2002.
- LAURENTINO, I. C.; SOUZA, S. C. Uma análise do plano de recuperação de área degradada com vegetação de mangue no rio Apodi Mossoró do projeto margem viva. **HOLOS**, v. 3, p. 161-170, 2013.
- LIMA, T.; TOGNELLA, M. Estrutura e Função dos Manguezais: revisão conceitual. **Enciclopedia Biosfera**, v. 8, n. 15, 2012.
- MARTINS, P. T. A.; COUTO, E. C. G.; DELABIE, J. H. C. Fitossociologia e estrutura vegetal do Manguezal do rio Cururupe (Ilhéus, Bahia, Brasil). **Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 11, n. 2, p. 163-169, 2011.

MENÉNDEZ, P.; LOSADA, I. J.; BECK, M. W.; TORRES-ORTEGA, S.; ESPEJO, A.; NARAYAN, S.; LANGE, G. M. Valuing the protection services of mangroves at national scale: The Philippines. **Ecosystem services**, v. 34, p. 24-36, 2018.

MIRANDA, L. B. Princípios de Oceanografia Física de Estuários. **Edusp**, v. 42, 2002.

MORAIS, R. D. **Análise espaço-temporal da vegetação de mangue na Paraíba: sensoriamento remoto e geoprocessamento como ferramentas de coleta e análises**. 2014. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.

NASCIMENTO FILHO, G. A. **Desenvolvimento estrutural e padrão de zonação dos bosques de mangue no rio Ariquindá, Baía de Tamandaré, Pernambuco, Brasil**. 2007. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

NASKAR, S.; PALIT, P. K. Anatomical and physiological adaptations of mangroves. **Wetlands ecology and management**, v. 23, n. 3, p. 357-370, 2015.

OLIVEIRA, R. G.; TOGNELLA, M. M. P. Processo de colonização do manguezal do rio Tavares por análise da estrutura de diferentes bosques. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 18, n. 1, p. 9-18, 2014.

PEIRÓ, D. F.; SALMAZO, J. R.; SEMPREBOM, T. R. Revista Biologia Marinha de divulgação científica. **Editora Bióicos**, Ubatuba-SP, Brasil, v. 1, n. 1, 2018.

PETRI, D. J. C.; BERNINI, E.; SOUZA, L. M. D.; REZENDE, C. E. Distribuição das espécies e estrutura do manguezal do rio Benevente, Anchieta, ES. **Biota Neotropica**, v. 11, p. 107-116, 2011.

RODRIGUES, V. N. **Respostas ecofisiológicas de mudas de manguezal a um gradiente de salinidade e desenvolvimento de sensor de baixo custo para mensuração de salinidade do solo**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas/Botânica Tropical) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2020.

ROVAI, A. S.; COELHO-JR, C.; ALMEIDA, R.; CUNHA-LIGNON, M.; MENGHINI, R. P.; TWILLEY, R. R.; CINTRÓN-MOLERO, G.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Ecosystem-level carbon stocks and sequestration rates in mangroves in the Cananéia-Iguape lagoon estuarine system, southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 479, 2021b.

ROVAI, A. S.; TWILLEY, R. R.; CASTAÑEDA-MOYA, E.; RIUL, P.; CIFUENTES-JARA, M.; MANROW-VILLALOBOS, M.; HORTA, P. A.; SIMONASSI, J. C.; FONSECA, A. L.; PAGLIOSA, P. R. Global controls on carbon storage in mangrove soils. **Nature Climate Change**, v. 8, n. 6, p. 534-538, 2018.

ROVAI, A. S.; TWILLEY, R. R.; CASTAÑEDA-MOYA, E.; MIDWAY, S. R.; FRIESS, D. A.; TRETTIN, C. C.; BUKOSKI, J. J.; STOVALL, A. E. L.; PAGLIOSA, P. R.; FONSECA, A. L.; MACKENZIE, R. A.; ASLAN, A.; SASMITO, S. D.; SILLANPÄÄ, M.; COLE, T. G.; PURBOPUSPITO, J.; WARREN, M. W.; MURDIYARSO, D.; MOFU, W.; SHARMA, S.; TINH, P. H.; RIUL, P. Macroecological patterns of forest structure and allometric scaling in mangrove forests. **Global Ecology and Biogeography**, v. 30, n. 5, p. 1000-1013, 2021a.

ROVAL, A. S.; TWILLEY, R. R.; WORTHINGTON, T. A.; RIUL, P. Brazilian mangroves: blue carbon hotspots of national and global relevance to natural climate solutions. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 4, 2022.

SANTANA, J. P.; OLIVEIRA, E. V. S.; DANTAS, T. V. P.; LANDIM, M. F.; ROCHA, P. A. Fitossociologia de manguezais em zonas urbanas: um estudo de caso em Aracaju, Sergipe. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 05, p. 2103-2113, 2020.

SANTOS, E. C. **A influência de gradientes ambientais na diversidade de teredinídeos em um manguezal estuarino**. 2018. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN-MOLERO, G. Guia para estudo de áreas de manguezal: estrutura, função e flora. **Caribbean Ecological Research**, São Paulo, 1986.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRON-MOLERO, G.; ADAIME, R. R.; CAMARGO, T. M. Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. **Estuaries**, v. 13, n. 2, p. 204-218, 1990.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRÓN-MOLERO, G.; SOARES, M. L. G.; DE-ROSA, T. Brazilian mangroves. **Aquatic Ecosystem Health & Management**, v. 3, n. 4, p. 561-570, 2000.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; VALE, C.C.; CINTRÓN-MOLERO, G. Monitoramento do Ecossistema Manguezal: Estrutura e características funcionais. **Protocolos de Campo para o Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros: Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros—ReBentos**. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2015, cap. 4, p. 62-83.

SCHETTINI, C. A. F. Caracterização física do estuário do rio Itajaí-açu, SC. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 7, n. 1, p. 123-142, 2002.

SILVA, M. A. B.; BERNINI, E.; CARMO, T. M. S. Características estruturais de bosques de mangue do estuário do rio São Mateus, ES, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, p. 465-471, 2005.

SILVA, S. F. L.; SANTOS, M. A.; LAGE-PINTO, F.; BERNINI, E. Fitossociologia de uma floresta de mangue adjacente a uma planície hipersalina no estuário do rio Miriri, Paraíba, Brasil. **Revista Nordestina de Biologia**, v. 24, n. 2, p. 3-12, 2016.

SILVA, W.; AMARASINGHE, M. Response of mangrove plant species to a saline gradient: Implications for ecological restoration. **Acta Botanica Brasilica**, v. 35, n. 1, p. 151-160, 2021.

SOARES, S. R. F.; GURGEL, M. T.; MIRANDA, N. O.; TRAVASSOS, K. D.; PIMENTA, A. S. Mudanças de Mangue Branco Irrigadas com Água de Rejeito de Salina Solar em Substrato Areia de Restinga para Replante de Manguezais Degradados. **Ensaios e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde**, v. 24, n. 3, p. 298-304, 2020.

SOUZA, C. A.; DUARTE, L. F. A.; JOÃO, M. C.; PINHEIRO, M. A Biodiversidade e conservação dos manguezais: importância bioecológica e econômica. **Educação Ambiental sobre Manguezais**. São Vicente: Unesp, p. 16-56, 2018.

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

SOUZA, Y. G. **Análise zonal/espacial dos bosques de mangue no estuário do Rio Camaratuba, Paraíba, Brasil**: um estudo a partir do sensoriamento remoto. 2019. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geografia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2019.

TWILLEY, R. R.; ROVAI, A. S.; RIUL, P. Coastal morphology explains global blue carbon distributions. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 16, n. 9, p. 503-508, 2018.

VANNUCCI, M. Os manguezais e nós: uma síntese de percepções. **Editores da Universidade de São Paulo**, São Paulo, 2ª ed., 2003.

VANNUCCI, M. What is so special about mangroves?. **Brazilian Journal of Biology**, v. 61, p. 599-603, 2001.

VIDYASAGARAN, K.; RANJAN, M. V.; MANEESHKUMAR, M.; PRASEEDA, T. P. Phytosociological analysis of Mangroves at Kannur district, Kerala. **International journal of environmental sciences**, v. 2, n. 2, p. 671-677, 2011.

3 ARTIGO CIENTÍFICO

Artigo original

ESTRUTURA DO BOSQUE DE MANGUEZAL DO RIO CAMARATUBA, PARAÍBA, BRASIL

Gabriela Gonçalves Rolim de Moraes^{1,*} , Pablo Riul²  e Fernando Ferreira de Moraes¹ 

¹ Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Laboratório de Botânica Aplicada à Agroecologia, PB, Brasil.

² Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Laboratório de Ficologia: Ecologia e Taxonomia de Macroalgas Marinhas, PB, Brasil.

*Autor correspondente: gabriela.morais@academico.ufpb.br

RESUMO

Os manguezais são ecossistemas costeiros tropicais e subtropicais essenciais para serviços socioeconômicos e ecológicos. Este estudo analisou a estrutura dos bosques de manguezal do Rio Camaratuba, Paraíba, utilizando o método de parcelas para comparar as regiões de alto, médio e baixo estuário, além dos bosques de franja e interior, testando a hipótese de que os parâmetros estruturais estão relacionados negativamente à salinidade. As espécies encontradas foram *Rhizophora mangle* L. (89,16%), *Laguncularia racemosa* (L.) C.F.Gaertn. (6,40%) e *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm. ex Moldenke (4,43%). Os resultados mostraram valores médios de densidade (1.200-2.150 ind/ha), Diâmetro à Altura do Peito (4,36-20,50 cm), área basal (3,62-42,75 m²/ha), altura (4,05-7,65 m) e biomassa aérea (25,12-511,21 Mg/ha). Não foram observadas diferenças significativas entre as regiões estuarinas devido à uniformidade da área associada ao pequeno tamanho do estuário. No entanto, o bosque de franja apresentou médias significativamente maiores de DAP, área basal, altura e biomassa aérea, devido à maior salinidade. Portanto, o estudo contribui para o preenchimento da lacuna de informações sobre a estrutura do manguezal, sendo relevante para futuras pesquisas, conservação e manejo sustentável.

Palavras-chave: Bosque de franja. Estrutura de bosque. Estuário pequeno. Manguezal. Rio Camaratuba. *Rhizophora*. Salinidade.

ABSTRACT

Mangroves are essential tropical and subtropical coastal ecosystems that provide valuable socio-economic and ecological services. This study analyzed the structure of the mangrove forests in the Camaratuba River, Paraíba, using the plot method to compare the upper, middle,

and lower estuary regions, as well as fringe and interior forests, testing the hypothesis that structural parameters are negatively related to salinity. The species found were *Rhizophora mangle* L. (89.16%), *Laguncularia racemosa* (L.) C.F.Gaertn. (6.40%), and *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm. ex Moldenke (4.43%). The results showed mean values for density (1,200-2,150 ind/ha), Diameter at Breast Height (4.36-20.50 cm), basal area (3.62-42.75 m²/ha), height (4.05-7.65 m), and aboveground biomass (25.12-511.21 Mg/ha). No significant differences were observed between the estuarine regions due to the uniformity of the area associated with the small size of the estuary. However, the fringe forest presented significantly higher averages of DBH, basal area, height, and above-ground biomass, due to higher salinity. Therefore, this study contributes to filling the information gap on mangrove structure, offering relevance for future research, conservation, and sustainable management.

Keywords: Camaratuba River. Forest structure. Fringe forest. Mangrove. Salinity. Small estuary. *Rhizophora*.

INTRODUÇÃO

Os manguezais, ecossistemas costeiros típicos de territórios tropicais e subtropicais (Giri *et al.*, 2011), são caracterizados pelo substrato lodoso, rico em sais e anóxico, devido à elevada decomposição de matéria orgânica e alagamento periódico (Brasil, 2012; Andrade, 2013; Souza *et al.*, 2018). Esses ambientes oferecem importantes serviços ecológicos e socioeconômicos (Souza *et al.*, 2018), como filtragem de contaminantes (Almeida, 2008), proteção costeira (Barbier, 2016; ICMBio, 2018), sequestro de carbono (Duke e Schmitt, 2015), provisão de recursos para povos e comunidades tradicionais (Albuquerque *et al.*, 2015), e funcionam como berçários naturais, essenciais para a conservação da biodiversidade (Silva *et al.*, 2005; Costa *et al.*, 2014; Souza, 2019).

Esses ecossistemas são também considerados zonas úmidas de transição entre ambientes terrestres, marinhos e de água doce (ICMBio, 2018; Rovai *et al.*, 2022), uma vez que se desenvolvem em áreas costeiras, como baías, deltas de rios, lagunas e, sobretudo, estuários (Calegario *et al.*, 2015; Twilley *et al.*, 2018), os quais conforme a diversidade fisiográfica podem ser subdivididos em três regiões principais: alto estuário, localizado mais distante da foz dos rios, dominado por águas continentais; médio estuário, onde ocorre a maior interação entre águas continentais e marinhas; e baixo estuário, próximo à desembocadura do rio, caracterizado pela predominância de águas salgadas (Schettini, 2002).

A cobertura vegetal predominante dos manguezais é composta por espécies lenhosas, conhecidas popularmente como mangues (Schaeffer-Novelli & Cintrón-Molero, 2015), adaptadas morfológica e fisiologicamente às condições ambientais desse ecossistema (Santana *et al.*, 2020). Essa vegetação organiza-se principalmente em bosques de mangue, divididos em duas zonas fisiográficas (Schaeffer-Novelli *et al.*, 2000): o bosque de franja, situado nas margens do rio e dos canais, onde a inundação diária da maré resulta na salinidade semelhante à das águas marinhas e maior exportação de detritos; e o bosque de interior, localizado em áreas planas e mais elevadas, atrás da franja, é caracterizado pela inundação sazonal, baixa ciclagem de nutrientes e alta salinidade, dependente da evaporação, precipitação e frequência das inundações (Nascimento Filho, 2007; Lima & Tognella, 2012; Silva *et al.*, 2020).

O desenvolvimento do mangue é condicionado por fatores espaciais que incluem o tipo de substrato, nível de oxigênio dissolvido, marés, pH, nutrientes, temperatura e salinidade (Albuquerque *et al.*, 2015), sendo este último determinante na distribuição e estrutura das espécies (Lima & Tognella, 2012; Souza, 2019). Diante disso, a análise estrutural desses bosques é crucial para avaliar seu desenvolvimento, degradação e a influência ambiental, além de possibilitar comparações entre áreas (Felfili *et al.*, 2011; Martins *et al.*, 2011; Schaeffer-Novelli *et al.*, 2015; Fonsêca & Rebelo-Mochel, 2016). Dentre os principais parâmetros estruturais utilizados, destacam-se: a identificação das espécies e densidade de indivíduos, medidas do diâmetro à altura do peito (DAP), área basal e altura da árvore, e biomassa aérea (Schaeffer-Novelli & Cintrón-Molero, 1986; Santos, 2018).

A costa brasileira abriga a segunda maior faixa de mangues do mundo, com uma cobertura de aproximadamente 7.663 km², que se estende do Estado do Amapá até Santa Catarina (Martins *et al.*, 2011; Rovai *et al.*, 2021). Os manguezais do Brasil se destacam pela notável variabilidade de padrões estruturais e de distribuição das espécies em zonas distintas (Lima & Tognella, 2012; Silva *et al.*, 2016), apesar de apresentarem baixa diversidade de

espécies, sendo apenas quatro mais comuns: *Rhizophora mangle* L., *Laguncularia racemosa* (L.) C.F.Gaertn., *Avicennia germinans* (L.) L. e *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm. ex Moldenke (Lacerda, 2002).

No Estado da Paraíba, a vegetação de mangue ocupa uma área de aproximadamente 120,93 km², distribuída em dezoito estuários que se estendem desde o rio Goiana, no extremo sul até o rio Guaju, no litoral norte (Morais, 2014), incluindo o Rio Camaratuba, com cerca de 1,2672 km² (Souza, 2019). No entanto, há uma escassez de informações nessa região do país (Silva *et al.*, 2016), embora sejam importantes para avaliar o grau de desenvolvimento das espécies de mangue e realizar comparações entre os bosques (Schaeffer-Novelli *et al.*, 2015). Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivos: 1) Descrever a estrutura dos bosques do estuário do Rio Camaratuba; 2) Comparar a estrutura dos bosques de mangue (densidade, DAP, área basal, altura e biomassa aérea) entre as regiões alto, médio, e baixo estuário, na franja e no interior, e testar a hipótese de que níveis mais altos de salinidade reduzem as médias dos parâmetros estruturais, estando relacionados negativamente (Costa *et al.*, 2014; Silva *et al.*, 2020).

MATERIAL E MÉTODOS

DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O manguezal do estuário do Rio Camaratuba está localizado no litoral norte do estado da Paraíba, nordeste do Brasil, nas coordenadas geográficas entre as longitudes 34°57'49'' e 35°27'59'' oeste e as latitudes 6°32'49'' e 6°46'2'' sul, situado no distrito de Barra de Camaratuba, entre os municípios de Mataraca e Baía da Traição (Fig. 1), a uma distância de 110 km da capital, João Pessoa (Martins & Vendel, 2014; Alves & Araújo, 2015).

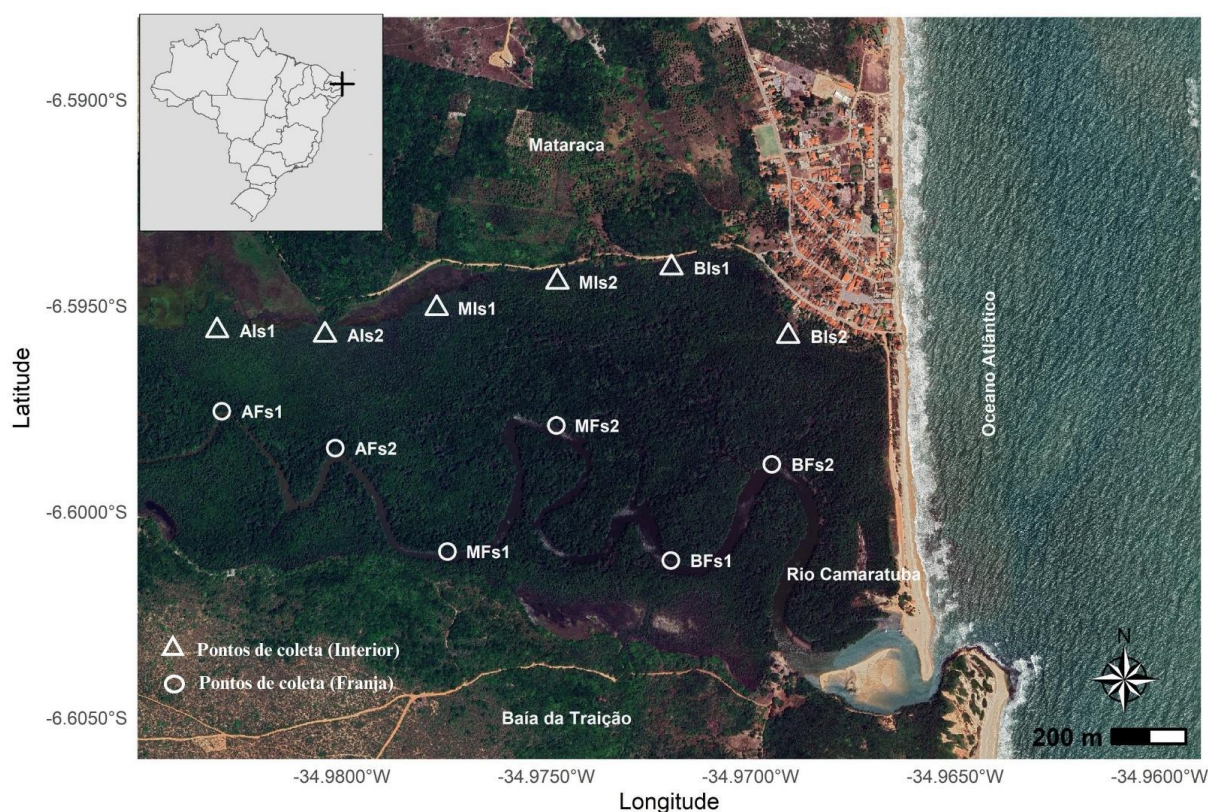


Figura 1 - Mapa do estuário do Rio Camaratuba, com destaque dos pontos amostrados: AIs (Alto estuário Interior); AFs (Alto estuário Franja); BIs (Baixo estuário Interior); BFs (Baixo estuário Franja); MIs (Médio estuário Interior); e MFs (Médio estuário Franja).

Conforme a classificação de Köppen, o clima da área é do tipo As', caracterizado por ser quente e úmido, com chuvas concentradas no outono e inverno, especificamente no período de abril a junho. A pluviosidade média anual varia entre 1000 a 1500 mm, com temperaturas mínimas entre 20 °C e 24 °C e máximas de 28 °C a 33 °C. O manguezal abrange cerca de 4,7 km e possui uma área de 126,72 hectares de floresta de mangue. Ao norte do rio, a Formação Barreiras, composta por sedimentos de depósitos flúvio-marinhos e Tabuleiros Litorâneos, apresenta altitudes máximas entre 59 e 82 m (Furrier *et al.*, 2006; Martins & Vendel, 2014; Souza, 2019).

COLETA DE DADOS

ESTRUTURA DE BOSQUE

As coletas de dados foram realizadas nos meses de abril e junho de 2024, utilizando a metodologia proposta por Schaeffer-Novelli & Cintrón-Molero (1986) para descrever a estrutura do bosque do manguezal a partir do uso de parcelas. Para a amostragem da vegetação foram delimitados 12 sítios de estudo (Fig. 1), alternados entre as regiões do estuário (alto, médio e baixo) e os tipos de bosques (franja e interior), exigindo o uso de um aparelho do Sistema de Posicionamento Geográfico (GPS) para georreferenciamento e uma embarcação a motor (Santos, 2018).

Em cada sítio, demarcou-se uma parcela de 100 m² com o auxílio de uma corda, onde, utilizando uma fita métrica e uma planilha para registro (Santos, 2018), todas as árvores vivas com mais de 2,5 cm de diâmetro foram contabilizadas, identificadas e tiveram a Circunferência à Altura do Peito (CAP) medida a uma altura de 1,3 metros (Bernini & Rezende, 2004; Kauffman & Donato, 2012). A densidade, determinada pela contagem do número de árvores de cada espécie por unidade de área (Schaeffer-Novelli *et al.*, 2015), foi posteriormente ajustada para indivíduos por hectare.

Com base nos dados, o CAP foi convertido em Diâmetro à Altura do Peito (DAP) através da equação: $DAP (cm) = CAP/\pi$ (Bernini & Rezende, 2004). Em seguida, os dados transformados em DAP foram utilizados para calcular a área basal, altura e biomassa aérea. A área basal de cada árvore foi calculada utilizando a fórmula: $\text{área basal (m}^2\text{/ha)} = \pi/4 * DAP^2$ (Santos, 2018). Com relação à altura das árvores, foi estimada utilizando equações alométricas desenvolvidas por Coelho-Jr & Schaeffer-Novelli (2003), ajustadas especificamente para cada gênero. Para *Avicennia*, foi calculada pela equação: $\text{altura (m)} = 2,7514 * \ln(\text{diâmetro}) + 1,3596$. No caso de *Laguncularia*, aplicou-se a fórmula: $\text{altura (m)} = 0,5727 * \text{diâmetro} + 0,917$.

Já para *Rhizophora*, a altura foi determinada pela equação: altura (m) = $2,2262 * \ln(\text{diâmetro}) + 0,981$.

Para estimar a biomassa aérea, foram aplicadas equações específicas para cada gênero, as quais foram adaptadas para obtenção dos valores em Mg. Para *Avicennia*, utilizou-se a fórmula proposta por Estrada *et al.* (2014): biomassa (Mg) = $\exp(4,8017 + 2,5282 * \ln(\text{diâmetro})) / 1.000.000$. Para *Laguncularia*, Medeiros & Sampaio (2008) propuseram: biomassa (Mg) = $0,1442 * \text{diâmetro}^{2,325} / 1000$. Já para *Rhizophora*, Santos (2012) apresentou o cálculo: biomassa (Mg) = $\exp(5,534244 + 2,404770 * \ln(\text{diâmetro})) / 1.000.000$.

SALINIDADE

A salinidade foi medida para cada parcela seguindo o método proposto por Silva *et al.* (2016). Foram coletadas aleatoriamente 3 amostras de água intersticial a aproximadamente 30 cm de profundidade, usando um cano PVC e uma seringa, as quais foram analisadas no Laboratório de Ficologia: Ecologia e Taxonomia de Macroalgas Marinhas (LAFIC) através de um salinômetro.

ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para comparar a estrutura do bosque, foram utilizadas Análises de Variâncias (ANOVA) com as variáveis independentes região (alto, médio e baixo estuário - fator fixo) e fisionomia (franja e interior, fator fixo ortogonal à região) para cada uma das variáveis dependentes da estrutura do bosque (densidade, DAP, área basal, altura e biomassa aérea) (Underwood, 1997). O teste de Cochran foi utilizado para verificar a homoscedasticidade das variâncias e quando diferenças significativas foram encontradas foi utilizado o teste de Student-Neuman-Keuls (SNK) para detalhar onde há a diferença (Underwood, 1997; Mendonça & Lana, 2021). Para testar a hipótese de influência da salinidade nos descritores da estrutura do bosque foram utilizados modelos lineares com base nas variáveis salinidade (independente) e em cada variável da estrutura do bosque (variáveis dependentes), as variáveis foram transformadas

$\log(x+1)$. As análises foram realizadas no software R (R Core Team, 2024), utilizando os pacotes GAD (Sandrini-Neto *et al.*, 2024), dplyr (Wickham *et al.*, 2022), e os gráficos foram construídos utilizando os pacotes ggplot2 (Aye *et al.*, 2023) e ggpubr (Kassambara, 2023).

RESULTADOS

No estuário do Rio Camaratuba, foram amostrados 203 indivíduos vivos pertencentes a três espécies de mangue: *Rhizophora mangle* L., *Laguncularia racemosa* (L.) C.F.Gaertn. e *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm. ex Moldenke. Sendo *R. mangle* a mais abundante, com 181 indivíduos (89,16%), predominando no baixo estuário (35,91%), seguida pelo médio (34,25%) e alto estuário (29,83%), com maior ocorrência no bosque de franja (54,69%) e menor no bosque de interior (45,31%). Em seguida, *L. racemosa* apresentou 13 indivíduos (6,40%), encontrados exclusivamente no interior dos bosques do médio (46,15%) e baixo estuário (53,84%). Por fim, *A. schaueriana* foi registrada com 9 indivíduos (4,43%), distribuídas exclusivamente na franja da região média (88,88%) e no interior do baixo estuário (11,11%).

As médias das variáveis de estrutura de bosque foram apresentadas separadamente por região e tipo de bosque (Fig. 2). A densidade média observada (Fig. 2A) variou entre 1.200 ind/ha a 2.150 ind/ha, com valores menores na franja do alto estuário e maiores na região média do mesmo bosque. Em relação ao Diâmetro à Altura do Peito (Fig. 2B), as médias observadas foram de 4,36 cm a 20,50 cm, sendo os menores resultados registrados no interior do alto estuário e os maiores na franja da mesma região.

A análise da área basal (Fig. 2C) indicou que as médias observadas variam entre 3,62 m²/ha e 42,75 m²/ha, com a menor média encontrada no interior da região alta e a maior na franja da mesma região. No que se refere à altura das árvores (Fig. 2D), as médias oscilaram entre 4,05 m e 7,65 m, sendo a menor registrada no interior da região média e a maior na franja da região alta. Já a análise da biomassa aérea (Fig. 2E) mostrou que as médias observadas

variaram entre 25,12 Mg/ha e 511,21 Mg/ha, sendo a menor média encontrada no interior da região alta e a maior na franja da mesma região.

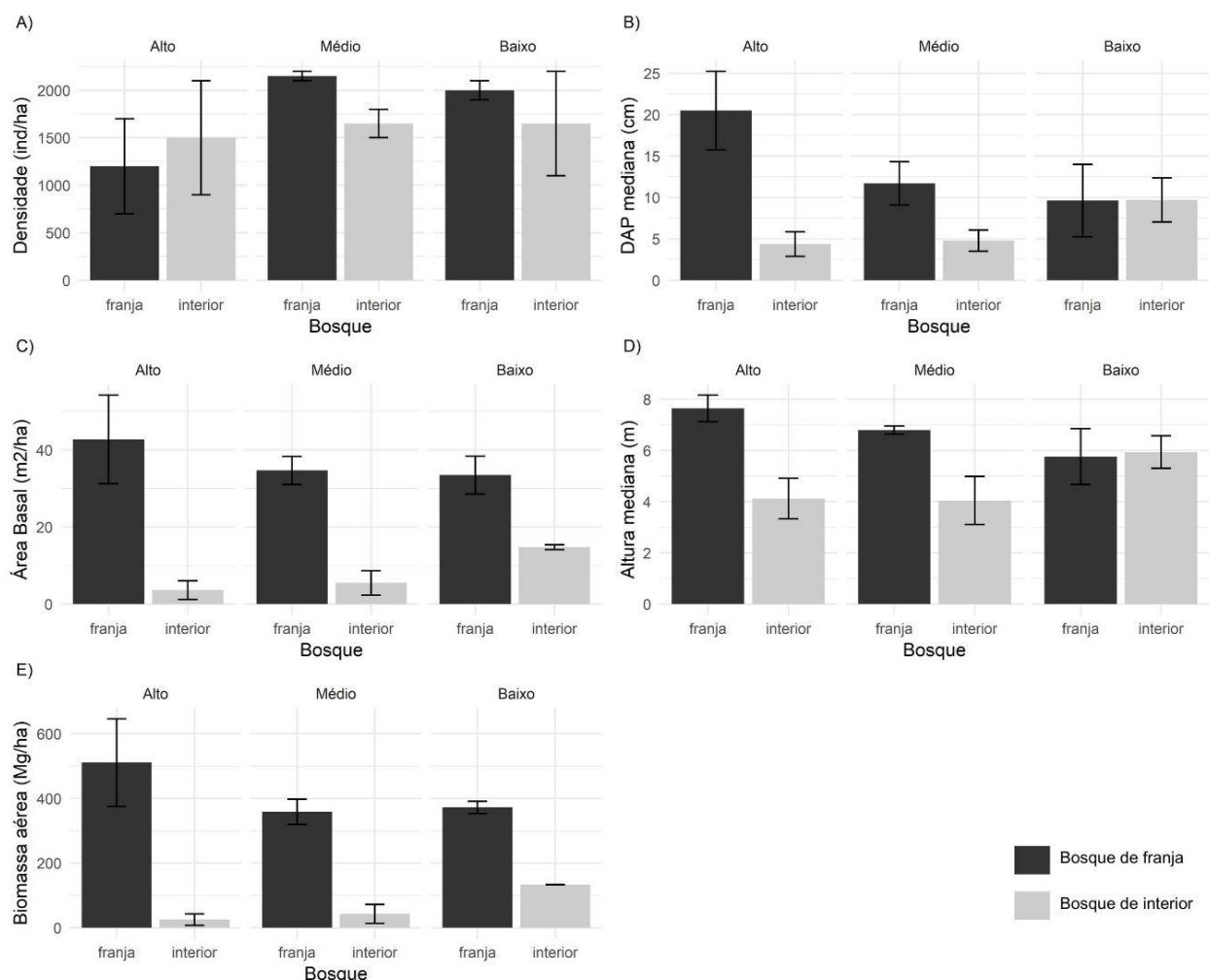


Figura 2 - Médias das variáveis de estrutura de bosque. Densidade (A), DAP (B), área basal (C), altura (D) e biomassa aérea (E), considerando os fatores de região (alto, médio e baixo estuário) e fisionomia de bosque (franja e interior) no estuário do Rio Camaratuba. Barras verticais indicam o erro padrão.

O teste de Cochran indicou que os dados para densidade ($p = 0,84$), DAP ($p = 0,85$), área basal ($p = 0,10$) e altura ($p = 0,98$) apresentaram homogeneidade, com exceção da biomassa aérea ($p = 0,52$), cujos dados precisaram ser transformados logaritmicamente para atender a esse critério.

A ANOVA (Tab. 1), demonstrou que não foram observadas diferenças significativas ($p > 0,05$) para a densidade quando comparadas as regiões ou fisionomias. No entanto, indicou que existem diferenças significativas para o DAP ($p = 0,024$), área basal ($p = 0,001$), altura (p

= 0,016) e biomassa aérea ($p = 0,001$) entre as fisionomias. O teste de SNK confirmou que, em todos os casos, as fisionomias de franja apresentaram valores médios maiores para DAP, área basal, altura e biomassa aérea em comparação aos tipos do interior do bosque.

Tabela 1 - Análises de Variâncias (ANOVA) da estrutura de bosque no estuário do Rio Camaratuba.

Variável	Efeito	GL	SQ	QM	F	p
Densidade	Re	2	711666,7	355833,3	1,126649	0,384212
	Bo	1	100833,3	100833,3	0,319261	0,592534
	Re:Bo	2	361666,7	180833,3	0,572559	0,592141
	Resíduos	6	1895000	315833,3		
DAP	Re	2	36,38038	18,19019	0,917616	0,449054
	Bo	1	176,3001	176,3001	8,893577	0,024566
	Re:Bo	2	132,0788	66,0394	3,331401	0,106381
	Resíduos	6	118,9399	19,82331		
Área Basal	Re	2	35,48726	17,74363	0,285405	0,761372
	Bo	1	2529,555	2529,555	40,6877	0,000698
	Re:Bo	2	207,5763	103,7881	1,669424	0,2652
	Resíduos	6	373,0201	62,17002		
Altura	Re	2	0,532378	0,266189	0,23365	0,798518
	Bo	1	12,39984	12,39984	10,8841	0,016426
	Re:Bo	2	7,610836	3,805418	3,34025	0,105936
	Resíduos	6	6,835568	1,139261		
Biomassa	Re	2	1,644437	0,822218	1,727092	0,255612
	Bo	1	14,78882	14,78882	31,06432	0,001415
	Re:Bo	2	2,527175	1,263587	2,654199	0,149366
	Resíduos	6	2,856426	0,476071		

Bo: Fisionomia de bosque

DAP: Diâmetro à altura do peito

F: Valor da estatística F

GL: Graus de Liberdade

Fonte: Autoral (2024)

QM: Quadrado médio

Re: Fatores de região

Re:Bo: Interação dos fatores região e bosque

SQ: Soma dos quadrados

p: Probabilidade

A análise de regressão linear (Fig. 3) evidenciou uma relação positiva entre a salinidade e as variáveis estruturais, sendo significativa para o DAP ($p = 0,0459$), área basal ($p = 0,0006$), altura ($p = 0,0218$) e biomassa ($p = 0,0007$), com exceção da densidade ($p = 0,228$).

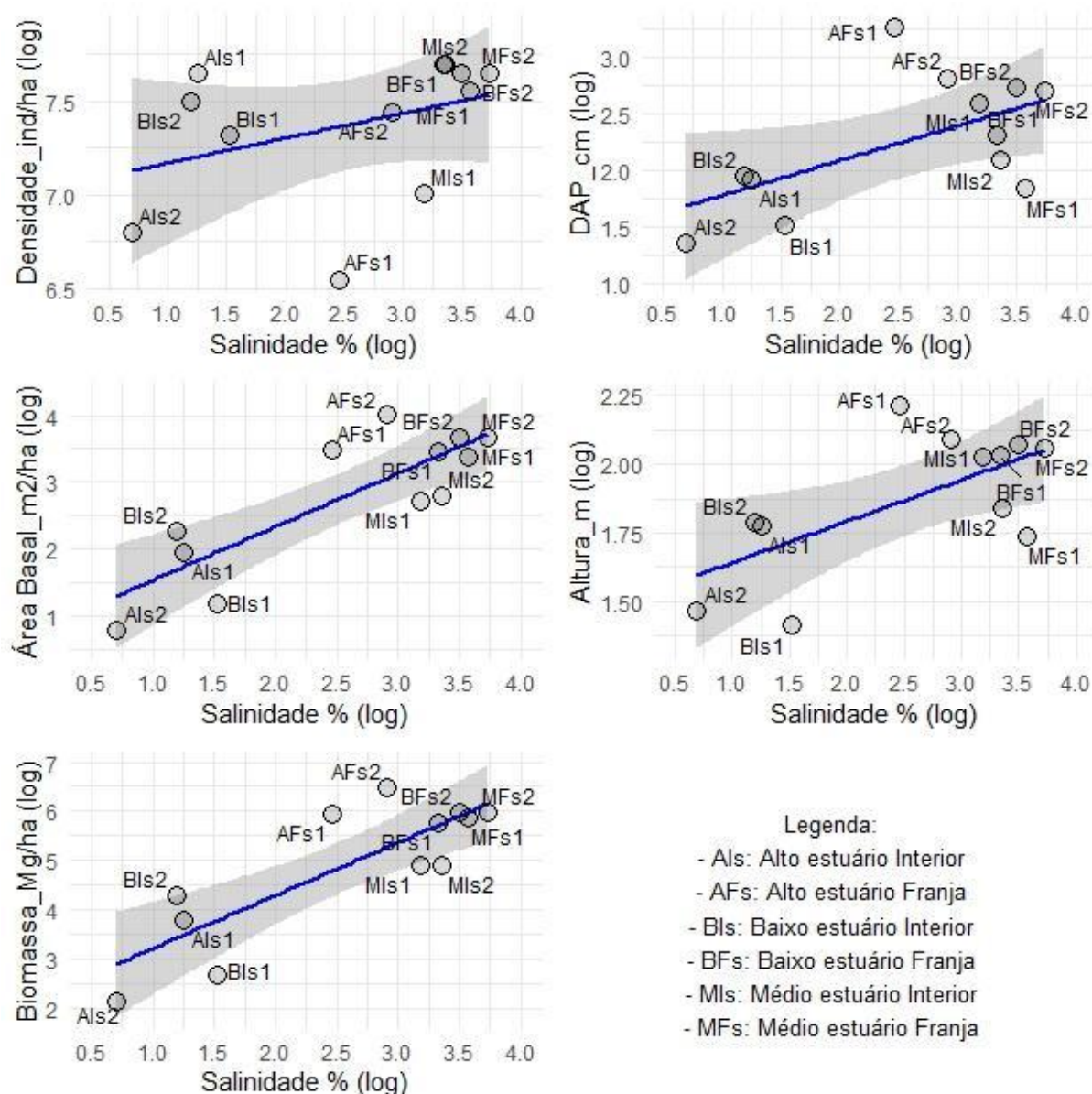


Figura 3 - Análise de regressão linear relacionando o logaritmo da salinidade e das variáveis de estrutura de bosque, densidade, DAP (Diâmetro à Altura do Peito), área basal, altura e biomassa aérea, no estuário do Rio Camaratuba.

DISCUSSÃO

As três espécies de mangue, *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* e *Avicennia schaueriana*, registradas no estuário do Rio Camaratuba, também foram encontradas em

diversas regiões do Brasil. No Estado do Espírito Santo, foram observadas nos rios São Mateus (Silva *et al.*, 2005), Tavares (Oliveira & Tognella, 2014) e Benevente (Petri *et al.*, 2011). No Estado do Rio de Janeiro, foram registradas nos rios Paraíba do Sul (Bernini & Rezende, 2004) e São João (Calegario *et al.*, 2015). Na região Nordeste, as espécies ocorrem nos rios Sergipe, Poxim e Vaza-Barris no Estado de Sergipe (Santana *et al.*, 2020), Apodi-Mossoró no Estado do Rio Grande do Norte (Costa *et al.*, 2014), Miriri (Silva *et al.*, 2016) e Mamanguape no Estado da Paraíba (Freires *et al.*, 2023).

Rhizophora mangle foi a espécie mais abundante e amplamente distribuída, corroborando sua predominância nos manguezais do Nordeste do Brasil (Fruehauf, 2005). A abundância e distribuição dos mangues observados estão relacionadas às suas adaptações às condições ambientais (Santana *et al.*, 2020). Essa espécie possui prolongamentos do caule, conhecidos como raízes-escoras, além dos propágulos e de um sistema radicular com ultrafiltros, conferindo-lhe maior tolerância às perturbações causadas pela maré (Kathiresan & Bingham, 2001; Vannucci, 2003; Andrade, 2013).

Em contraste, *L. racemosa* e *A. schaueriana* apresentaram menor abundância e distribuição restrita ao médio e baixo estuário. Essas duas espécies possuem pneumatóforos e estruturas especializadas para a excreção de sais, características que lhes permitem tolerar ambientes com baixo oxigênio e alta salinidade (Esteves & Suzuki, 2008; Souza, 2019). Essas adaptações favorecem suas ocorrências em áreas com sedimentos mais salinos (Nascimento Filho, 2007), justificando a ausência dessas espécies no alto estuário do Rio Camaratuba.

A densidade média de indivíduos registrada neste estudo (Fig. 2A) apresentou variações em relação a outras regiões brasileiras. Comparada ao Estado do Espírito Santo, foi superior à encontrada no rio São Mateus (450-1.450 ind/ha; Silva *et al.*, 2005), mas inferior à observada no Benevente (700-7.866 ind/ha; Petri *et al.*, 2011). No Estado do Rio de Janeiro, ficou abaixo das médias encontradas nos rios Paraíba do Sul (1.920-3.400 ind/ha; Bernini & Rezende, 2004)

e São João (5.240-14.720 ind/ha; Calegario *et al.*, 2015). No Nordeste, esse resultado foi inferior ao dos manguezais 13 de Julho (11.800 ind/ha), São Conrado (5.571 ind/ha), Porto Dantas (5.271 ind/ha) e Mosqueiro (3.983 ind/ha), em Sergipe (Santana *et al.*, 2020), mas superior ao do manguezal da Lagoa do Roteiro (624 ind/ha), Alagoas (Silva *et al.*, 2020). Na Paraíba, foi inferior àquelas observadas nos rios Miriri (5.267-6.867 ind/ha; Silva *et al.*, 2016) e Mamanguape (1.333-3.000 ind/ha; Freires *et al.*, 2023).

As médias de DAP obtidas neste estudo (Fig. 2B) são menores que as registradas nos rios São Mateus (8,12-29,6 cm; Silva *et al.*, 2005) e Benevente (4,7-27,3 cm; Petri *et al.*, 2011), mas superiores às dos rios Paraíba do Sul (7,44-13,4 cm; Bernini & Rezende, 2004) e São João (3,7-7,0 cm; Calegario *et al.*, 2015). No Nordeste, os resultados também ficaram acima dos valores observados nos manguezais 13 de Julho (8,7 cm), São Conrado (7,2 cm), Porto Dantas (7,4 cm) e Mosqueiro (9,3 cm; Santana *et al.*, 2020), mas próximos aos do manguezal da Lagoa do Roteiro (4,79-21,63 cm; Silva *et al.*, 2020). Entretanto, foram superiores às médias nos rios Miriri (2,3-5,0 cm; Silva *et al.*, 2016) e Mamanguape (6,3-16,0 cm; Freires *et al.*, 2023).

Com relação às médias da área basal calculadas (Fig. 2C), apresentaram variações em comparação a outras regiões brasileiras. Foram inferiores às observadas no rio Benevente (10,3-72,2 m²/ha; Petri *et al.*, 2011), mas superiores às encontradas nos rios São Mateus (7,21-31,1 m²/ha; Silva *et al.*, 2005), Paraíba do Sul (14,5-35,3 m²/ha; Bernini & Rezende, 2004), São João (8,0-35,5 m²/ha; Calegario *et al.*, 2015), Miriri (1,48 e 9,21 m²/ha; Silva *et al.*, 2016) e Mamanguape (4,8 e 30,2 m²/ha; Freires *et al.*, 2023).

Os resultados da altura média das árvores (Fig. 2D) são menores que as registradas nos rios São Mateus (5,4-12,0 m; Silva *et al.*, 2005), Benevente (2,0-16,4 m; Petri *et al.*, 2011) e Paraíba do Sul (6,3-9,9 m; Bernini & Rezende, 2004), mas superiores às médias do rio São João (3,1-6,1 m; Calegario *et al.*, 2015) e dos manguezais 13 de Julho (5,24 m), São Conrado (5,31 m), Porto Dantas (4,18 m) e Mosqueiro (4,92 m; Santana *et al.*, 2020). Assim como, foram

superiores aos resultados do rio Miriri (2,3-4,4 m; Silva *et al.*, 2016), porém menores que os valores encontrados no rio Mamanguape (5,1-11,8 m; Freires *et al.*, 2023).

A biomassa aérea média registrada nesta pesquisa (Fig. 2E) superou a média de 145 Mg/ha observada nos manguezais dos rios Jaguaribe e Acaraú, no Estado do Ceará (Kauffman *et al.*, 2018), bem como a mediana de 80 Mg/ha nos manguezais da Paraíba (Rovai *et al.*, 2022).

As diferenças dos resultados observados em comparação aos encontrados na literatura eram esperados, pois, embora os manguezais brasileiros apresentem baixa diversidade de espécies, as características estruturais variam em zonas geográficas ao longo da costa, devido às diferentes condições ambientais locais (Lima & Tognella, 2012; Albuquerque *et al.*, 2015), as quais são destacadas por Calegario *et al.* (2015), a salinidade, frequência de inundação, disponibilidade de luz e matéria orgânica.

Os valores de DAP, área basal, altura e biomassa observados no manguezal do estuário do Rio Camaratuba foram, em sua maioria, superiores aos registrados nos manguezais do país, enquanto a densidade foi inferior. Uma possível explicação para esses resultados seria a menor salinidade intersticial no manguezal estudado em relação aos encontrados na literatura (Silva *et al.*, 2016). Em ambientes com baixa salinidade, as plantas não precisam ter um alto gasto energético para tolerar e absorver água e nutrientes do substrato, o que favorece a divisão, formação e alongamento das células, promovendo o crescimento e evitando a atrofia dos ramos, redução da superfície foliar, amarelamento e degeneração das folhas (Naskar & Palit, 2015; Rodrigues, 2020; Soares *et al.*, 2020).

De acordo com Schaeffer-Novelli & Cintrón-Molero (1986), esses resultados também podem indicar a maturidade do bosque, uma vez que à medida que o bosque amadurece, a densidade de árvores diminui enquanto o diâmetro dos troncos aumenta. Isso ocorre porque a competição entre as copas e os sistemas radiculares por espaço leva a um crescimento rápido das árvores para que possam receber luz solar diretamente. Como consequência, os indivíduos

menores têm dificuldade em acessar a luz, o que provoca sua morte e reduz o número total de árvores, resultando em um bosque composto por indivíduos de maior porte.

A ausência de variações significativas na estrutura do bosque entre as diferentes regiões do estuário (Tab. 1), pode ser atribuída ao tamanho da área estudada. As características fisiográficas estão relacionadas a processos oceanográficos, como a variação da amplitude de maré, que influencia a deposição de sedimentos, o gradiente de salinidade e a circulação de massas de água, os quais definem as três regiões do estuário. Assim, a reduzida extensão do estuário do Rio Camaratuba pode ter contribuído para a uniformidade das condições físico-química observadas ao longo de sua área total (Schettini, 2002; Barroso & Molisani, 2019).

No entanto, foram verificadas influências significativas da fisionomia dos bosques sobre as variáveis estruturais analisadas, com valores médios maiores de DAP, área basal, altura e biomassa aérea na franja em comparação ao interior, exceto para a densidade. Essa diferença pode ser atribuída aos padrões ecológicos distintos entre os dois tipos de bosques (Andrade, 2013), como a concentração de nutrientes e a salinidade (Calegario *et al.*, 2015). Os bosques de franja são encontrados próximos ao canal estuarino, estando suscetível à influência diária das marés, são caracterizados pela maior mistura de água doce e salgada, a salinidade próxima à da água do mar e maior exposição aos nutrientes. Os bosques de interior, localizados mais distante da linha d'água, são atingidos sazonalmente por marés de maiores amplitudes, o que faz as áreas serem geralmente oligotróficas com alto acúmulo de sais, os quais são influenciados pela frequência de inundação associada a precipitação anual e evaporação, onde a vegetação enfrenta maior competição por recursos (Cintrón-Molero & Schaeffer-Novelli, 1992; Fruehauf, 2005; Nascimento Filho, 2007; Silva *et al.*, 2020).

A análise de regressão linear (Fig. 3) evidenciou que a salinidade é um dos principais fatores reguladores da estrutura dos bosques no manguezal do Rio Camaratuba (Coelho-Jr & Schaeffer-Novelli, 2003; Souza, 2019). Em contraste com os estudos de Costa *et al.* (2014) e

Silva *et al.* (2020), verificou-se que as concentrações mais elevadas da salinidade obtidas favorecem o crescimento em diâmetro, área basal, altura e biomassa, refutando a hipótese proposta. Esse resultado pode ser justificado pelas concentrações onde o desenvolvimento foi melhor estarem próximas a água do mar, média de 3,5%, característico dos bosques de franja, assim como pela ampla adaptação das espécies a altos níveis salinos, o que pode reduzir a competição com espécies menos tolerantes a esse fator (Antonov *et al.*, 2010; Lima & Tognella, 2012).

AGRADECIMENTOS

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ), pelo suporte financeiro indispensável, que foi fundamental para a concretização deste trabalho.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Morais GGR, Riul P e Moraes FF contribuíram com a conceituação, metodologia e condução da investigação, além da revisão e edição do manuscrito. Riul P e Moraes FF realizaram a validação, análise formal, supervisão e administração do projeto. Moraes GGR elaborou a primeira versão da redação e desenvolveu a visualização.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não haver, mesmo potencialmente, conflitos de interesse, sejam de natureza pessoal, científica, comercial, política ou financeira, que possam influenciar o manuscrito.

REFERÊNCIAS

- Albuquerque AGBM, Freitas EMN, Moura-Fé MM, Barbosa WR. 2015. A proteção do ecossistema manguezal pela legislação ambiental brasileira. *GEOgraphia*, 17 (33), 126-153. doi: <https://doi.org/10.22409/GEOgraphia2015.v17i33.a13700>
- Almeida FC. 2008. A história da devastação dos manguezais aracajuanos. Mestrado. Dissertação. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão. doi: <https://ri.ufs.br/handle/riufs/4280>

- Alves AS, Araújo LE. 2015. Avaliação climática da precipitação da bacia hidrográfica do Rio Camaratuba-PB. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 8 (5), 1556-1568. doi: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v8.5.p1556-1568>
- Andrade KVSD. 2013. A dinâmica físico-química de solos de florestas de mangue em Sergipe, Nordeste do Brasil. Mestrado. Dissertação. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.
- Antonov JI, Seidov D, Boyer TP, Locarnini RA, Mishonov AV, *et al.* 2010. *World Ocean Atlas 2009*, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. 2(69).
- Aye WN, Tong X, Li J, Tun AW. 2023. Assessing the carbon storage potential of a young mangrove plantation in Myanmar. *Forests*, 14 (4), 824. doi: <https://doi.org/10.3390/f14040824>
- Barbier EB. 2016. The protective service of mangrove ecosystems: A review of valuation methods. *Marine pollution bulletin*, 109 (2), 676-681. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.01.033>
- Barroso GC, Molisani MM. 2019. Pequenos estuários alimentados por pequenas bacias hidrográficas: estudo de caso dos estuários dos rios Macaé e das Ostras (RJ). *Engenharia e Ciências Ambientais: contribuições à gestão ecossistêmica no estado do Rio de Janeiro*. Essentia, Rio de Janeiro. Pp. 116-141. doi: <https://doi.org/10.19180/978-85-99968-58-1.6>
- Bernini E, Rezende CE. 2004. Estrutura da vegetação em florestas de mangue do estuário do rio Paraíba do Sul, Estado do Rio de Janeiro, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 18, 491-502. doi: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062004000300009>
- Brasil. 2012. Lei Federal n. 12.651, de 25 de maio de 2012. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/ato2011-2014/2012/lei/112651.htm. Acesso em: 29 ago. 2024.
- Calegario G, Salomão SMBM, Rezende CE, Bernini E. 2015. Mangrove forest structure in the São João river estuary, Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 31 (3), 653-660. doi: <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-13-00067.1>
- Cintrón-Molero G, Schaeffer-Novelli Y. 1992. Ecology and management of New World mangroves. *Coastal plant communities of Latin America*. Academic Press. Pp. 233-258. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-092567-7.50021-0>
- Coelho-Júnior C, Schaeffer-Novelli Y. 2003. Ecologia de manguezais: zonação e dinâmica da cobertura vegetal em gradientes ambientais, Cananéia, São Paulo, Brasil. Ph.D. Tese. Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Costa DFS, Rocha RM, Cestaro LA. 2014. Análise fitoecológica e zonação de manguezal em estuário hipersalino. *Mercator* (Fortaleza), 13, 119-126. doi: <https://doi.org/10.4215/RM2014.1301.0009>
- Duke NC, Schmitt K. 2015. Manguezais: florestas incomuns na orla do mar. *Tropical forestry handbook*, 1. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-642-41554-8_129-1
- Estrada GCD, Soares MLG, Santos DMC, Fernandez V, de Almeida PMM, Estevam MRM, *et al.* 2014. Allometric models for aboveground biomass estimation of the mangrove *Avicennia schaueriana*. *Hydrobiologia*, 171–185. doi: <https://doi.org/10.1007/s10750-014-1878-5>

- Esteves BS, Suzuki MS. 2008. Efeito da salinidade sobre as plantas. *Oecologia brasiliensis*, 12 (4), 6. doi: <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2008.1204.06>
- Felfili JM, Eisenlohr PV, Melo MMRF, Andrade LA, Meira Neto JAA. 2011. *Fitossociologia no Brasil: métodos e estudos de casos*. Editora UFV, Viçosa, 1, 556.
- Fonsêca ILA, Rebelo-Mochel F. 2016. Fitomassa aérea de um manguezal no estuário do rio dos cachorros, São Luís, Maranhão, Brasil. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia*.
- Freires JL, Lage-Pinto F, Bernini E. 2023. Spatial-temporal distribution of mangrove species in the estuary of the Mamanguape river in the state of Paraíba, Brazil. *Regional Studies in Marine Science*, 66,103-166. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103166>
- Fruehauf SP. 2005. *Rhizophora mangle* (Mangue vermelho) em áreas contaminadas de manguezal na Baixada Santista. Ph.D. Tese. Universidade de São Paulo, Piracicaba. doi: <https://doi.org/10.11606/T.91.2005.tde-09112005-142729>
- Furrier M, de Araújo ME, de Meneses LF. 2006. Geomorfologia e tectônica da Formação Barreiras no Estado da Paraíba. *Geologia USP. Série Científica*, 6 (2), 61-70. doi: <https://doi.org/10.5327/S1519-874X2006000300008>
- Giri C, Ochieng E, Tieszen LL, Zhu Z, Singh A, Loveland T, *et al.* 2011. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*. doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1466-8238.2010.00584.x>
- ICMBio. 2018. Atlas dos Manguezais do Brasil. Brasília. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). doi: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.17764.86403>
- Kassambara A. 2023. ggpubr: ggplot2 Based Publication Ready Plots. R package, versão 0.6.0. Disponível em: <https://rpkgs.datanovia.com/ggpubr/>. Acesso em: 21 ago. 2024.
- Kathiresan K, Bingham BL. 2001. Biologia de manguezais e ecossistemas de manguezais. *Avanços em Biologia Marinha*, 40, 81-251. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2881\(01\)40003-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0065-2881(01)40003-4)
- Kauffman JB, Bernardino AF, Ferreira TO, Bolton NW, Gomes LEDO, Nobrega GN. 2018. Shrimp ponds lead to massive loss of soil carbon and greenhouse gas emissions in northeastern Brazilian mangroves. *Ecology and evolution*, 8 (11), 5530-5540. doi: <http://dx.doi.org/10.1002/ece3.4079>
- Kauffman JB, Donato DC. 2012. Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests. Bogor, Indonesia: Cifor. doi: <https://doi.org/10.17528/cifor/003749>
- Lacerda LD. 2002. *Mangrove ecosystems: function and management*. Springer Science & Business Media. Pp. 342.
- Laurentino IC, Souza SC. 2013. Uma análise do plano de recuperação de área degradada com vegetação de mangue no rio Apodi Mossoró do projeto margem viva. *HOLOS*, 3, 161-170. doi: <https://doi.org/10.15628/holos.2013.1321>
- Lima T, Tognella M. 2012. Estrutura e Função dos Manguezais: revisão conceitual. *Enciclopedia Biosfera*, 8 (15).

- Martins PTA, Couto ECG, Delabie JHC. 2011. Fitossociologia e estrutura vegetal do Manguezal do rio Cururupe (Ilhéus, Bahia, Brasil). *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 11 (2), 163-169. doi: <http://dx.doi.org/10.5894/rgci223>
- Martins TO, Vendel AL. 2014. Fishes collected with an artisanal fish trap in Barra de Camaratuba estuary, northeastern Brazil. *Check List*, 10 (6), 1260-1263. doi: <https://doi.org/10.15560/10.6.1260>
- Mendonça IRW, Lana PC. 2021. Richness and biomass distribution of the mangrove macroalgal association in a subtropical estuary. *Ocean and Coastal Research*, 69. doi: <https://doi.org/10.1590/2675-2824069.21006irwm>
- Medeiros TCC, Sampaio EVSB. 2008. Allometry of aboveground biomasses in mangrove species in Itamaracá, Pernambuco, Brazil. *Wetl. Ecol. Manag.*, 323–330. doi: <http://dx.doi.org/10.1007/s11273-007-9069-z>
- Morais RD. 2014. Análise espaço-temporal da vegetação de mangue na Paraíba: sensoriamento remoto e geoprocessamento como ferramentas de coleta e análises. Graduação. Monografia. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- Nascimento Filho GA. 2007. Desenvolvimento estrutural e padrão de zanação dos bosques de mangue no rio Ariquindá, Baía de Tamandaré, Pernambuco, Brasil. Mestrado. Dissertação. Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- Naskar S, Palit PK. 2015. Anatomical and physiological adaptations of mangroves. *Wetlands ecology and management*, 23 (3), 357-370. doi: <https://doi.org/10.1007/s11273-014-9385-z>
- Oliveira RG, Tognella MMP. 2014. Processo de colonização do manguezal do rio Tavares por análise da estrutura de diferentes bosques. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, 18 (1), 9-18. doi: <http://dx.doi.org/10.14210/bjast.v18n1.p9-18>
- Petri DJC, Bernini E, Souza LMD, Rezende CE. 2011. Distribuição das espécies e estrutura do manguezal do rio Benevente, Anchieta, ES. *Biota Neotropica*, 11, 107-116. doi: <https://doi.org/10.1590/S1676-06032011000300009>
- R Core Team. 2024. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 5 ago. 2024.
- Rodrigues VN. 2020. Respostas ecofisiológicas de mudas de manguezal a um gradiente de salinidade e desenvolvimento de sensor de baixo custo para mensuração de salinidade do solo. Mestrado. Dissertação. Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém.
- Rovai AS, Coelho-Jr C, Almeida R, Cunha-Lignon M, Menghini RP, Twilley RR, *et al.* 2021. Ecosystem-level carbon stocks and sequestration rates in mangroves in the Cananéia-Iguape lagoon estuarine system, southeastern Brazil. *Forest Ecology and Management*, 479. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118553>
- Rovai AS, Twilley RR, Worthington TA, Riul P. 2022. Brazilian mangroves: blue carbon hotspots of national and global relevance to natural climate solutions. *Frontiers in Forests and Global Change*, 4. doi: <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.787533>

Sandrini-Neto L, Gilbert E, Camargo MG. 2024. GAD: Analysis of Variance from General Principles. R package, versão 2.0. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/packages/GAD/GAD.pdf#page5>. Acesso em: 21 ago. 2024.

Santana JP, Oliveira EVS, Dantas TVP, Landim MF, Rocha PA. 2020. Fitossociologia de manguezais em zonas urbanas: um estudo de caso em Aracaju, Sergipe. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13 (5), 2103-2113. doi: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v13.5.p2103-2113>

Santos EC. 2018. A influência de gradientes ambientais na diversidade de tereidídeos em um manguezal estuarino. Mestrado. Dissertação. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

Santos HVS. 2012. Estimativa de biomassa aérea e teor de carbono da espécie *Rhizophora mangle* L. Mestrado. Dissertação. Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.

Schaeffer-Novelli Y, Cintrón-Molero G. 1986. Guia para estudo de áreas de manguezal: estrutura, função e flora. *Caribbean Ecological Research*, São Paulo.

Schaeffer-Novelli Y, Cintrón-Molero G, Soares MLG, de-Rosa T. 2000. Brazilian mangroves. *Aquatic Ecosystem Health & Management*, 3 (4), 561-570. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/14634980008650693>

Schaeffer-Novelli Y, Vale CC, Cintrón-Molero G. 2015. Monitoramento do Ecossistema Manguezal: Estrutura e características funcionais. *Protocolos de Campo para o Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros: Rede de Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros—ReBentos*. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2015. Pp. 62-83.

Schettini CAF. 2002. Caracterização física do estuário do rio Itajaí-açu, SC. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 7 (1), 123-142. doi: <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v7n1.p123-142>

Silva MAB, Bernini E, Carmo TMS. 2005. Características estruturais de bosques de mangue do estuário do rio São Mateus, ES, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, 19, 465-471. doi: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062005000300006>

Silva SA, Barros V, Oliveira A. 2020. Estrutura fitossociológica do manguezal da Lagoa do Roteiro, Alagoas, Nordeste do Brasil. *Ciência Florestal*, 30 (2), 532-541. doi: <https://doi.org/10.5902/1980509839676>

Silva SFL, Santos MA, Lage-Pinto F, Bernini E. 2016. Fitossociologia de uma floresta de mangue adjacente a uma planície hipersalina no estuário do rio Miriri, Paraíba, Brasil. *Revista Nordestina de Biologia*, 24 (2), 3-12.

Soares SRF, Gurgel MT, Miranda NO, Travassos KD, Pimenta AS. 2020. Mudanças de Mangue Branco Irrigadas com Água de Rejeito de Salina Solar em Substrato Areia de Restinga para Replante de Manguezais Degradados. *Ensaio e Ciência C Biológicas Agrárias e da Saúde*, 24 (3), 298-304. doi: <https://doi.org/10.17921/1415-6938.2020v24n3p298-304>

Souza CA, Duarte LFA, João MC, Pinheiro M. 2018. A biodiversidade e conservação dos manguezais: importância bioecológica e econômica. *Educação Ambiental sobre Manguezais*. São Vicente: Unesp, 16-56.

Souza PWMF. 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. doi: <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2005000400006>

Souza YG. 2019. Análise zonal/espacial dos bosques de mangue no estuário do Rio Camaratuba, Paraíba, Brasil: um estudo a partir do sensoriamento remoto. Graduação. Monografia. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

Twilley RR, Rovai AS, Riul P. 2018. Coastal morphology explains global blue carbon distributions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 16 (9), 503-508. doi: <https://doi.org/10.1002/fee.1937>

Underwood AJ. 1997. Experiments in ecology: their logical design and interpretation using analysis of variance. Cambridge University Press. doi: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511806407>

Vannucci M. 2003. Os manguezais e nós: uma síntese de percepções. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2ª ed. Pp. 276.

Wickham H, François R, Henry L, Müller K. 2022. dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package, versão 1.1.4. Disponível em: <https://CRAN.Rproject.org/package=dplyr>. Acesso em 21 ago. 2024.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo conseguiu alcançar todos os objetivos inicialmente propostos, além de fornecer uma contribuição essencial ao preencher a lacuna de informações sobre a estrutura do bosque de manguezal no estuário do Rio Camaratuba. Não foram observadas diferenças significativas entre as regiões estuarinas devido à uniformidade da área associada ao pequeno tamanho do estuário. No entanto, o bosque de franja apresentou médias significativamente maiores de DAP, área basal, altura e biomassa aérea, devido à maior salinidade observada nessa fisionomia de bosque, refutando a hipótese de que a estrutura vegetal está negativamente relacionada ao gradiente salino.

A pesquisa, portanto, obteve resultados de grande relevância para o aprofundamento do conhecimento acerca das estruturas, composição e dinâmicas sucessionais dos manguezais do estuário estudado, ao considerar os fatores ambientais que influenciam esses ecossistemas. Além disso, permitem avaliar o estágio de desenvolvimento dos bosques e o nível de degradação das espécies de mangue, fornecendo uma base sólida para comparações com outros bosques e para o desenvolvimento de futuros projetos de pesquisa, conservação e manejo sustentável dos manguezais da região.

ANEXO

NORMAS DA REVISTA - ACTA BOTANICA BRASILICA

Preparação do manuscrito

Todos os manuscritos devem seguir rigorosamente as seguintes diretrizes:

- Use fonte Times New Roman, tamanho 12.
- Espaço duplo entre as linhas.
- As margens devem ter 25 mm de largura.
- Defina o tamanho do papel como A4 (210 x 297 mm).
- Todas as páginas devem ser numeradas sequencialmente.
- Cada linha de texto deve ser numerada, começando pela linha 1 no topo de cada página.

Os formatos de arquivo aceitáveis são .doc, .docx e .rtf. Arquivos Adobe® PDF (.pdf) não serão aceitos. Quando aplicável, o arquivo do manuscrito deve incluir uma lista de legendas de figuras e cabeçalhos de tabelas no final. O arquivo do artigo não deve conter ilustrações ou tabelas, que devem ser enviadas em arquivos separados. Todas as tabelas devem ser enviadas em um único arquivo. Não inclua o código de campo.

A primeira página deve indicar o tipo de artigo (Artigos Originais, Artigos de Revisão, Pontos de Vista, Métodos ou Notas Científicas) e fornecer um título completo, conciso e informativo. Os nomes completos de todos os autores devem ser fornecidos, com afiliação completa, incluindo instituições e o número Orcid de cada autor. Apenas um autor correspondente deve ser indicado com um asterisco e deve ser sempre o autor que envia. O endereço deve ser conciso e em inglês, incluindo instituição, código postal, cidade, estado e país. Não traduza laboratório, departamento e universidade. Títulos e cargos não devem ser mencionados. Essas informações são seguidas pelo endereço de e-mail do autor correspondente.

A segunda página deve conter um Resumo estruturado não excedendo 200 palavras, em um único parágrafo, sem referências. O Resumo deve delinear o conteúdo essencial do manuscrito, especialmente os resultados e a discussão, destacando a relevância dos principais achados.

O Resumo deve ser seguido por cinco a dez palavras-chave. Note que palavras essenciais do título devem ser repetidas nas palavras-chave.

Os artigos originais devem ser divididos em seções apresentadas na seguinte ordem:

- Introdução

- Materiais e métodos
- Resultados
- Discussão
- Agradecimentos
- Contribuições dos autores
- Conflito de interesses
- Referências
- Legendas de tabelas e figuras
- Dados suplementares (se aplicável)

Materiais, métodos e resultados devem ser claros e concisos. A seção Discussão deve evitar repetições extensas dos resultados e deve terminar com algumas conclusões. Esta seção pode excepcionalmente ser combinada com resultados (Resultados e Discussão), mas recomendamos que os autores consultem o Conselho Editorial para uma avaliação preliminar.

Nomes de algas, fungos e/ou plantas devem ser escritos por extenso no resumo e novamente no texto principal para cada organismo na primeira menção, mas o gênero só é necessário para a primeira espécie em uma lista dentro do mesmo gênero (por exemplo, *Hymenaea stigonocarpa* e *H. stilbocarpa*). A autoridade do nome científico (por exemplo, L., Mill., Benth.) é necessária apenas na seção Materiais e Métodos. Use o International Plant Names Index (www.ipni.org) para nomes de plantas corretos. Cultivares ou variedades devem ser adicionadas ao nome científico (por exemplo, *Solanum lycopersicum* 'Jumbo').

De acordo com as diretrizes do SciELO Brasil, os autores devem incluir na seção Materiais e Métodos uma referência aos espécimes voucher ou material de referência, juntamente com seus respectivos números de voucher, para todos os organismos envolvidos ou examinados no estudo. O material de referência deve ser depositado ou armazenado em coleções registradas acessíveis ao público. A não apresentação dos espécimes voucher resultará na rejeição do manuscrito. Os espécimes voucher de quaisquer organismos devem ser depositados preferencialmente em coleções que compartilhem seus dados por meio do Global Biodiversity Information Facility (GBIF).

A deposição de sequências de nucleotídeos, incluindo leituras brutas de sequenciamento de alto rendimento, é obrigatória em repositórios como o GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank>), NCBI SRA – Sequence Read Archive

(<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/sra>) e/ou outros como o Genome Sequence Archive (GSA – <http://bigd.big.ac.cn/gsa>).

Quando pertinente, os autores devem citar na seção Materiais e Métodos todas as licenças, permissões e autorizações para acesso a recursos genéticos ou conhecimento tradicional associado a recursos genéticos, coleta de material biológico dentro e fora de unidades de conservação, áreas protegidas, terras indígenas, territórios quilombolas e territórios de outros povos e comunidades tradicionais, bem como registro no Sistema Nacional de Gestão do Patrimônio Genético e do Conhecimento Tradicional Associado (SisGen), no caso de trabalho com espécies nativas do Brasil. Nos casos aplicáveis, as declarações de aprovação do comitê de ética da instituição responsável pela aprovação da pesquisa devem ser submetidas em arquivo separado no sistema de submissão.

Abreviações devem ser evitadas, exceto em casos comuns (veja edições recentes), e todos os termos, incluindo nomes científicos, devem ser escritos por extenso quando usados para iniciar uma frase. Abreviações não convencionais devem ser explicadas em sua primeira menção.

Unidades de Medida: A Acta Botanica Brasilica adota o Sistema Internacional de Unidades (SI). Para volume, use metros cúbicos (por exemplo, $1 \times 10^{-5} \text{ m}^3$) ou litro (por exemplo, 5 μL , 5 mL, 5 L). Para concentrações, use μM , $\mu\text{mol L}^{-1}$ ou mg L^{-1} . Para tamanho e distância, use metros (cm, mm, μm , etc.) e seja consistente em todo o manuscrito.

Números até nove devem ser escritos por extenso, a menos que sejam medidas. Todos os números acima de dez devem ser numerais, a menos que estejam no início de frases.

Para Comunicações Curtas, é importante ressaltar que as diretrizes editoriais aplicáveis a artigos originais devem ser rigorosamente seguidas. Em geral, a principal diferença entre artigos originais e notas científicas está na ausência de subseções no texto e no espaço limitado para ilustrações nestas últimas. Embora seja possível apresentar figuras e tabelas, é importante respeitar o limite de cinco páginas impressas para o manuscrito (material suplementar pode ser incluído se necessário). Após o resumo (conforme descrito para artigos originais), o texto deve ser apresentado em uma única seção, sem subtítulos, seguido de agradecimentos e referências.

Citações e Referências

Para citações, o periódico adota um formato bibliográfico adaptado do estilo da American Psychological Association (APA), conforme descrito abaixo. As citações no texto devem seguir o formato de Silva (2012) ou Ribeiro & Furr (1975) ou (Mayer & Wu, 1987a; b; Gonzalez,

2014; Sirano, 2014; Smith *et al.* , 2018) e ser organizadas cronologicamente. Artigos com três ou mais autores, mesmo na primeira menção, devem ser abreviados com o nome do primeiro autor seguido de *et al.* , sempre em itálico (por exemplo, Simmons *et al.* , 2014). Se dois autores diferentes tiverem o mesmo sobrenome e o artigo tiver o mesmo ano de publicação, indique as iniciais (por exemplo, JS Santos, 2003). Somente se refira aos artigos como 'no prelo' se eles tiverem sido aceitos para publicação em um periódico nomeado; caso contrário, utilize o termo “dados não publicados”, indicando as iniciais e o sobrenome da pessoa em questão (ex.: RA Santos, dados não publicados).

As referências devem ser organizadas em ordem alfabética de acordo com o sobrenome do(s) autor(es). Quando o(s) mesmo(s) autor(es) tem(têm) dois ou mais artigos listados, esses artigos devem ser agrupados em ordem de ano. As letras 'a', 'b', 'c', etc., devem ser anexadas à data de trabalhos com a mesma citação no texto. Forneça o DOI de todos os artigos, incluindo aqueles 'em impressão' e pré-impressões, sempre que possível.

Nas referências, para artigos com seis autores ou menos, forneça os nomes de todos os autores. Para artigos com sete autores ou mais, forneça apenas os nomes dos seis primeiros autores, seguidos por *et al.* A citação do DOI (Digital Object Identifier) é encorajada para todas as referências para as quais está disponível.

Por favor, siga os estilos:

Artigos científicos

Com até seis autores

da-Silva CJ, Modolo LV. 2017. Sulfeto de hidrogênio: um novo ator endógeno em um antigo mecanismo de tolerância de plantas à alta salinidade. *Acta Botanica Brasilica* 32(1): 150–160. doi: 10.1590/0102-33062017abb0229

Com sete ou mais autores

Araújo FC, Mendes CN, Souza CR, Miranda KF, Morelli MCM, Coelho PA, et al. 2022. Efeitos da fragmentação na diversidade beta de paisagens fragmentadas e conservadas: insights sobre processos de homogeneização e diferenciação. *Acta Botanica Brasilica* 36: e2020abb0261 doi: 10.1590/0102-33062020abb0261

Artigos na imprensa

Alves JJ, Sampaio MTY. 2015. Estrutura e Evolução das Flores. *Acta Botanica Brasilica* (no prelo). doi: 10.1590/0102-33062015abb3339

Livros

Willis KJ, McElwain JC. 2014. A evolução das plantas. 2. ed. Nova York, Oxford University Press.

Capítulos de livros

Hopkins MJ, Gerber S. 2017. Disparidade morfológica. Em: Nuno de la Rosa L, Müller G. (eds.) *Biologia evolutiva do desenvolvimento*. Cham, Springer. Pp. 965– 976. doi: 10.1007/978-3-319-33038-9_132-1

Revistas somente online

Wolkovich EM, Cleland EE. 2014. Nichos fenológicos e o futuro de ecossistemas invadidos com mudanças climáticas. *AoB Plants* 6: plu013. doi: 10.1093/aobpla/plu013

Tese (deve ser evitada)

Souza D. 2014. Reguladores de crescimento vegetal. Ph.D. Thesis. Universidade do Brasil, Brasil.

Outras fontes (devem ser evitadas)

Anônimo. 2011. Título do livreto, brochura, relatório, etc. Cidade, Editora ou outra fonte, País.

Sites

Flora e Funga do Brasil. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Available at: <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>>. Accessed on 29 Feb 2024

Giacomin LL, Rodrigues GA, Lima KSA, Sousa CVM, Luber J, Afonso EAL, et al. 2022. Lista de espécies de plantas vasculares da Floresta Nacional do Tapajós. In: *Catálogo de Plantas das Unidades de Conservação do Brasil*. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Available at <<https://catalogo-ucs-brasil.jbrj.gov.br>>. Accessed on 29 Feb 2024

Conjunto de dados

[conjunto de dados] Maianne M, Fieker CZ, Dias MM, Reis MG. 2022. Redes beija-flores-plantas em campos rupestres e matas ciliares em áreas altitudinais do Parque Nacional da Serra da Canastra, Minas Gerais, Brasil. Disponível em <<https://doi.org/10.48331/scielodata.PHYICG>> , SciELO Data, V1.

Software e pacotes (quando nenhum papel associado estiver disponível)

Oksanen J, Simpson G, Blanchet F, Kindt R, Legendre P, Minchin P, et al. 2022. *vegan*: Pacote de Ecologia Comunitária. Pacote R versão 2.6-4. Disponível em <<https://CRAN.R-project.org/package=vegan>>.

Os agradecimentos devem ter, de preferência, menos de 80 palavras. Seja conciso: “Agradecemos...” é preferível a “Os autores presentes gostariam de expressar sua gratidão a...”. Informações de financiamento devem ser incluídas nesta seção, incluindo nomes de patrocinadores e números de contrato (se aplicável), juntamente com explicações sobre o papel dessas fontes.

O exemplo a seguir deve ser seguido:

Agradecemos ao Centro de Microscopia (UFMG) pelo fornecimento de equipamentos e suporte técnico para experimentos envolvendo microscopia eletrônica. Agradecemos também a JS Santos pela assistência com análises estatísticas. Este trabalho foi financiado por uma bolsa de pesquisa do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq (número de identificação).

Contribuição dos autores

Após os agradecimentos, os autores devem incluir uma seção especificando a contribuição de cada autor para o trabalho, seguindo a estrutura de taxonomia do CRediT Contributor Roles (<https://credit.niso.org/>). A taxonomia é uma estrutura que identifica e define os diferentes papéis desempenhados pelos contribuidores em um projeto, fornecendo uma maneira padronizada de reconhecer suas contribuições. Por exemplo, no contexto de um projeto de pesquisa, alguém que participou principalmente da conceitualização teria concebido a ideia inicial do projeto, delineando seu escopo e objetivos. Enquanto isso, alguém envolvido na coleta e organização de dados seria responsável pela Curadoria de Dados, garantindo a qualidade e acessibilidade dos dados usados. Esses papéis, como “Conceitualização” e “Curação de Dados”, entre outros listados, são essenciais para entender quem contribuiu de que maneira para o trabalho realizado. A taxonomia facilita a atribuição de crédito apropriada a cada contribuidor com base em suas responsabilidades específicas ao longo do projeto.

Conflitos de interesse

Os autores devem incluir uma seção no manuscrito declarando que não há conflitos de interesse (pessoais, científicos, comerciais, políticos ou financeiros) no manuscrito submetido. Caso contrário, uma carta deve ser enviada diretamente ao Editor-Chefe.

Preparação de figuras, tabelas e material suplementar

Ativos Digitais

Todas as figuras (fotografias, mapas, desenhos, gráficos, diagramas, etc.) e tabelas devem ser citadas no texto em ordem crescente. Citações de figuras no texto devem aparecer de forma abreviada e em letras maiúsculas (por exemplo, Fig. 1, Fig. 2A-D, Fig. 3A, Figs. 3A, 4C, Tab.1).

As dimensões máximas de figuras individuais devem ser 170 × 240 mm. A largura de um componente individual pode ser 170 mm ou 85 mm, sem exceção, enquanto a altura pode ser ≤ 240 mm. Para imagens de tom contínuo (por exemplo, fotografias), forneça arquivos TIFF com 300 dpi. Desenhos mais complexos, como ilustrações botânicas detalhadas, não serão redesenhados e devem ser fornecidos em arquivos TIFF a 600 dpi.

Agrupar gráficos ou imagens relacionadas em uma única figura (um painel) é fortemente encorajado. Quando um bloco de material ilustrativo consiste em várias partes, cada parte deve ser rotulada com letras maiúsculas sequenciais na ordem de sua citação no texto (A, B, C, etc.). As letras que identificam imagens individuais devem ser colocadas dentro de círculos brancos no canto inferior direito. Para separar imagens agrupadas, os autores devem inserir molduras brancas (1 mm de espessura). Imagens individuais (não agrupadas em painéis) devem ser identificadas com algarismos arábicos sequenciais na ordem de sua citação no texto (Fig. 1, Fig. 2, Fig. 3, etc.), apresentadas da mesma maneira, com letras que identificam imagens individuais, conforme descrito para os painéis acima. O número que identifica uma figura agrupada (por exemplo, Fig. 2) não deve ser inserido no painel, mas referenciado apenas na legenda e no texto da figura (por exemplo, Fig. 2A-C). Barras de escala, quando necessário, devem ser posicionadas no canto inferior direito da figura. As unidades da barra de escala devem ser fornecidas no final da legenda da figura ou, quando uma figura contém várias barras de escala com unidades diferentes, acima de cada barra. Os detalhes dentro de uma figura podem ser indicados com setas, letras ou símbolos, conforme apropriado.

Devido à nossa política de inclusão para indivíduos daltônicos e com deficiência visual, recomendamos o uso de um mapa de cores perceptualmente uniforme, como viridis ou cividis; evite o vermelho, especialmente em combinação com o verde; verifique sua figura em escala de cinza ou totalmente desaturada; escolha uma paleta de cores que funcione para todos; use recursos como formas e texturas de linhas para eliminar a ambiguidade de cores.

As tabelas devem ser precedidas por títulos, indicados com algarismos arábicos sequenciais (Tabela 1, 2, 3, etc.; não abrevie). As tabelas devem ser criadas usando a função Tabela no

Microsoft Word™. Colunas e linhas devem ser visíveis, embora nenhuma linha escura deva ser usada para separá-las. Regras horizontais devem ser usadas apenas na parte superior (abaixo do título) e inferior (abaixo da linha final) da tabela. Não use preenchimentos, sombreamentos ou cores em tabelas. Todas as tabelas devem ser enviadas em um único arquivo.