



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO – UFMA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE – CCBS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA – DEOLI
CURSO DE OCEANOGRAFIA**

JOSÉ MAGNO PINHEIRO ALVES

**DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE MANGUE *Laguncularia racemosa* E
Rhizophora mangle EM SEDIMENTO DE ÁREAS POLUÍDAS EM SÃO LUÍS,
MARANHÃO**

**SÃO LUÍS/MA
2025**

JOSÉ MAGNO PINHEIRO ALVES

**DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE MANGUE *Laguncularia racemosa* E
Rhizophora mangle EM SEDIMENTO DE ÁREAS POLUÍDAS EM SÃO LUÍS,
MARANHÃO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de Oceanografia da
Universidade Federal do Maranhão para
obtenção do grau de bacharelado em
Oceanografia.

Orientador: Profa. Dra. Flávia Rebelo
Mochel

SÃO LUÍS/MA
2025

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

Pinheiro Alves, José Magno.

DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE MANGUE *Laguncularia racemosa* E *Rhizophora mangle* EM SEDIMENTO DE ÁREAS POLUÍDAS EM SÃO LUÍS, MARANHÃO / José Magno Pinheiro Alves. - 2025.

51 p.

Orientador(a): Flávia Rebelo Mochel.

Curso de Oceanografia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2025.

1. Manguezais. 2. Poluição Industrial. 3. Metais Pesados. 4. Biomarcadores. 5. Restauração. I. Rebelo Mochel, Flávia. II. Título.

**DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE MANGUE *Laguncularia racemosa* E
Rhizophora mangle EM SEDIMENTO DE ÁREAS POLUÍDAS EM SÃO LUÍS,
MARANHÃO**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao curso de Oceanografia da
Universidade Federal do Maranhão para
obtenção do grau de bacharelado em
Oceanografia.

Aprovado em: / /

BANCA EXAMINADORA

Profa Dra. Flávia Rebelo Mochel

Nome do orientador. (Orientador)
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

Profa Dra. Ilisandra Zanandrea

Nome do(a) examinador(a) (Titular)
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

Prof.Dr. Denilson Bezerra

Nome do(a) examinador(a) (Titular)
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

Prof.Dra. Samara Eschrique

Nome do(a) examinador(a) (Suplente)
Universidade Federal do Maranhão - UFMA

Agradeço e dedico este trabalho aos meus pais, cuja dedicação e investimento foram essenciais para a realização desta monografia, que representa a concretização de seus esforços e o resultado de todo o apoio por eles oferecido. Estendo, ainda, meu reconhecimento ao café, fiel aliado em cada etapa deste percurso, presente em cada palavra redigida, em cada parágrafo revisado e em cada momento de superação diante dos desafios enfrentados.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Jean e Rosy, por serem não apenas meus pais, mas meus melhores amigos e guias nesta jornada acadêmica. Sem o amor e o suporte de vocês, nada disso seria possível. Agradecimento especial ao meu irmão, por ser meu parceiro de risadas, lembrando-me sempre do meu potencial.

À memória do meu tio, que não pôde estar presente nesta conquista, mas cuja influência foi fundamental na minha trajetória, com todos os incentivos e ajudas. Espero que ai de cima o senhor veja o que me ajudou a conquistar e se orgulhe tanto quanto eu me orgulho de ter o senhor como tio e exemplo. Entrego hoje meu trabalho a banca com lágrimas nos olhos sabendo que hoje o senhor completaria 40 anos. Obrigado por tudo.

Agradeço a Deus por me conceder força, sabedoria e perseverança para concluir esta etapa da minha vida.

À minha namorada e melhor amiga, Suzany, que foi tanto minha terapeuta quanto minha cúmplice em escapadas que sempre me trouxeram de volta ao foco. Sua amizade, amor, carinho e dedicação foram meu porto seguro. Obrigado por todos os conselhos úteis, bem como palavras motivacionais e puxões de orelha.

Ao meu melhor amigo, Nalbert por ser meu parceiro nos crimes de procrastinação e sempre me trazer de volta com um lembrete gentil de que poderíamos sobreviver a isso juntos. As risadas que compartilhei durante esse momento difícil na faculdade, também me ajudaram a passar o dia. Obrigado por tudo. Este TCC também é seu!

Estimado professora/orientadora Flávia Mochel, é com muita admiração e carinho que gostaria de expressar meu agradecimento por tudo que você faz por mim e pela dedicação que deposita em seus conselhos e orientações.

As minhas grandes amigas e parceiras de laboratório, Jade, Lays, Suellen e Deuzanir que sempre estiveram presentes com palavras de encorajamento e força. Vocês também fazem parte da minha jornada durante este tempo de minha vida.

Ao meu refúgio de escrita, LABIRPESQ, pontualmente as pessoas de Alef, Daniella técnica, vulgo Mada, Filipe França, Scarleth, Danielle, Larissa e demais intregantes, por me acolherem nos momentos em que precisei de concentração para escrever, pelas inúmeras xícaras de café e incentivos nos últimos meses.

Obrigado Mestra Josélia, grande instrutora e conselheira. Agradeço sua confiança e dedicação inabalável.

Agradeço a todas a pessoas que indiretamente me ajudaram nessa jornada, mesmo que se fazendo presentes da minha cidade natal, perguntando como estavam as coisas, as pesquisas, se eu precisava de algo. A todos vocês meu mais profundo agradecimento.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte de minha formação, o meu muito obrigado.

“Não há fatos eternos, como não há verdades absolutas.”

Friedrich Nietzsche

RESUMO

Este estudo analisou o desenvolvimento de mudas de *Laguncularia racemosa* (mangue-branco) e *Rhizophora mangle* (mangue-vermelho) em sedimentos de áreas poluídas da zona industrial-portuária de São Luís, Maranhão, comparando-as com mudas cultivadas em uma área de controle (Mangue Seco, Raposa). O objetivo foi avaliar os impactos da contaminação ambiental, especialmente por metais pesados, sobre o crescimento, estrutura anatômica e respostas bioquímicas dessas espécies. Para isso, propágulos de ambas as espécies foram coletados em áreas contaminadas e não contaminadas e cultivados em viveiros sob condições controladas. Foram realizadas medições periódicas de altura e diâmetro da base das mudas, além da análise físico-química da água e do sedimento, incluindo parâmetros como turbidez, matéria orgânica, concentração de nutrientes e presença de metais pesados. Em laboratório, amostras das folhas das mudas foram analisadas quanto a biomarcadores de estresse oxidativo, como metalotioneína, glutatona reduzida, peróxido de hidrogênio e peroxidação lipídica, indicadores da resposta fisiológica das plantas à poluição. Os resultados mostraram que *Laguncularia racemosa* apresentou maior sensibilidade à contaminação, com crescimento reduzido em altura e diâmetro da base, sugerindo dificuldades na absorção de nutrientes e maior vulnerabilidade ao estresse ambiental. Por outro lado, *Rhizophora mangle* demonstrou maior resiliência, mantendo um crescimento mais estável mesmo em sedimentos poluídos, provavelmente devido a mecanismos bioquímicos de tolerância. A análise dos biomarcadores revelou uma maior ativação de respostas antioxidantes nas mudas expostas à poluição, especialmente em *Rhizophora mangle*, reforçando seu potencial para projetos de restauração ecológica. Os achados deste estudo destacam a necessidade de monitoramento contínuo da qualidade ambiental dos manguezais e fornecem subsídios para estratégias de manejo e conservação. Além disso, indicam que *Rhizophora mangle* pode ser uma espécie mais adequada para recuperação de áreas degradadas devido à sua maior capacidade de adaptação às condições adversas mesmo ainda como mudas.

Palavras-chave: Manguezais, poluição industrial, metais pesados, biomarcadores, restauração ecológica, ecotoxicologia, qualidade ambiental.

ABSTRACT

This study analyzed the development of *Laguncularia racemosa* (white mangrove) and *Rhizophora mangle* (red mangrove) seedlings in sediments from polluted areas of the industrial-port zone of São Luís, Maranhão, comparing them with seedlings grown in a control area (Mangue Seco, Raposa). The objective was to assess the impacts of environmental contamination, especially heavy metals, on the growth, anatomical structure, and biochemical responses of these species. For this purpose, propagules of both species were collected from polluted and non-polluted areas and cultivated in nurseries under controlled conditions. Periodic measurements of seedling height and stem diameter were taken, in addition to physicochemical analyses of water and sediment, including parameters such as turbidity, organic matter, nutrient concentrations, and heavy metal presence. In the laboratory, leaf samples from the seedlings were analyzed for oxidative stress biomarkers, such as metallothionein, reduced glutathione, hydrogen peroxide, and lipid peroxidation, which indicate the physiological responses of plants to pollution. The results showed that *Laguncularia racemosa* exhibited greater sensitivity to contamination, with reduced growth in height and stem diameter, suggesting difficulties in nutrient absorption and greater vulnerability to environmental stress. In contrast, *Rhizophora mangle* demonstrated higher resilience, maintaining more stable growth even in polluted sediments, likely due to biochemical tolerance mechanisms. Biomarker analysis revealed greater activation of antioxidant responses in seedlings exposed to pollution, especially in *Rhizophora mangle*, reinforcing its potential for ecological restoration projects. The findings of this study highlight the need for continuous environmental monitoring of mangrove ecosystems and provide insights for conservation and management strategies. Additionally, they suggest that *Rhizophora mangle* may be a more suitable species for the recovery of degraded areas due to its greater adaptability to adverse conditions.

Keywords: Mangroves, industrial pollution, heavy metals, biomarkers, ecological restoration, ecotoxicology, environmental quality.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

2.2 Objetivos Específicos

3 REVISÃO DE LITERATURA

CAPÍTULO 1 – ARTIGO

1. INTRODUÇÃO

2. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Área de estudo

4.2 Atividades de campo

4.2.1 Coletas

4.2.2 Cultivo de mudas em viveiro

4.3 Atividades de Laboratório

4.4 Análise de dados

4.4.1 Medidas de viveiro

4.4.2 Tratamento estatístico dos dados

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6. CONCLUSÃO

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS GERAIS

ANEXO

1. INTRODUÇÃO

Dentre os estuários existentes no Brasil, o da Baía de São Marcos, localizado ao norte do Estado do Maranhão é, possivelmente, um dos menos estudados. É um estuário típico, com canal central bem desenvolvido, abrindo-se largamente sobre a Plataforma Continental Maranhense. Muitos dos atributos físicos e biológicos mais importantes dos estuários, contudo, não são transicionais e sim exclusivos, possuindo características físicas, químicas e biológicas encontradas apenas nesses ambientes (ODUM, 1983)

Nesse amplo estuário, que é a Baía de São Marcos, está situada a área Portuária da Ilha de São Luís que abrange o Terminal Portuário da Ponta da Madeira (TPPM), da Vale SA, o Porto de Itaqui, da EMAP – Empresa Maranhense de Administração Portuária, o Porto da ALUMAR – Consórcio de Alumínio do Maranhão e o Porto de Ponta da Espera. A área portuária do Maranhão constitui-se no segundo maior complexo portuário da América Latina e um dos maiores do mundo em termos de movimentação de carga (GARCIA, 2007). Esta área tem sofrido inúmeras pressões antrópicas levando a contaminação deste sistema estuarino, principalmente o aumento populacional e urbano (ARAÚJO et al., 2017), com descargas de resíduos industriais ricos em poluentes diversos como hidrocarbonetos, metais, fármacos, resíduos sólidos diversos.

A análise dos impactos desses poluentes sobre os ecossistemas de manguezais da área portuária da Baía de São Marcos são de fundamental relevância para a conservação ecológica e para a sustentabilidade econômica da pesca e promoção da saúde humana, uma vez que, diversos alimentos consumidos pela população, como ostras, sururus, peixes e camarões, podem estar contaminados e afetarem as pessoas através das teias tróficas

Os sedimentos dos manguezais favorecem a retenção de poluentes como metais, por sua natureza anóxica, reduzida, rica em matéria orgânica e sulfetos. (KAMARUZZAMAN, et al, 2008). Muitos manguezais estão próximos a áreas urbanas e industriais e impactados por efluentes contendo poluentes dissolvidos e particulados que levam a sérios problemas por sua bioacumulação, persistência e toxicidade (KAMARUZZAMAN, et al, 2008).

As espécies de planta encontradas no manguezal brasileiro são marcadas com um alto grau de especificidade devido às condições em que estão situadas, possuindo características morfológicas distintas (LACERDA, 2003), essas plantas desenvolveram sistemas antioxidantes eficientes para se protegerem dos estresses causados pelos mais diversos poluentes (KAVITHA et al., 2008; QUAN et al., 2008). Dentre esses sistemas, destacam-se a atuação de

biomarcadores que podem ser detectáveis por meio do perfil fitoquímico e que podem propiciar o entendimento de alguns processos adaptativos frente a poluição, responsáveis por conferir aos manguezais a capacidade de sobreviver em áreas poluídas.

Na costa amazônica há a maior diversidade de espécies arbóreas de manguezais das Américas, são elas: *Avicennia schaueriana*, *Avicennia germinans* (mangue negro ou siriba), *Rhizophora mangle*, *Rhizophora harisonii*, *Rhizophora racemosa* (mangue vermelho), *Conocarpus erectus* (mangue-de-botão) e *Laguncularia racemosa* (mangue branco ou tinteira) (Mochel, 2011). Embora as áreas de manguezais no Maranhão estejam preservadas, Mochel et al. (2002) enfatiza que houve uma perda de cerca de 10.000 ha entre 1972 e 2002 nos manguezais.

Portanto, é de grande importância analisar o desenvolvimento de mudas de mangue *Laguncularia racemosa* (descrita por Linnaeus em 1759 e mais tarde reclassificada por C.F.Gaertn em 1807) e *Rhizophora mangle* (descrita por Linnaeus em 1753) em sedimento obtido de áreas poluídas da zona industrial-portuária de São Luís, por meio do perfil fitoquímico de folhas, caule e raízes, como forma de detectar possíveis substâncias poluidoras que as plantas absorvem a partir de suas interações com os sedimentos.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Analisar o desenvolvimento de mudas de mangue *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle* em sedimento obtido de áreas poluídas da zona industrial-portuária de São Luís, com a finalidade de detectar os efeitos da presença de substâncias poluentes

2.2. Objetivos Específicos

- Analisar sedimento das áreas de coleta no Porto do Itaqui e em área controle no Mangue Seco, Raposa, MA
- Analisar água coletada nos pontos 1 e 2 localizados na região portuária e em área controle.
- Analisar o desenvolvimento estrutural e a anatomia foliar das mudas de mangue (*Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*), tanto desenvolvidas em sedimento contaminado, quanto em sedimento controle.
- Analisar metais em mudas de *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle*, desenvolvidas em sedimento de área controle e sedimento contaminado de área portuária

3. REVISÃO DE LITERATURA

Os manguezais são ecossistemas costeiros de extrema importância ecológica, especialmente no que diz respeito à proteção das zonas litorâneas, à filtragem de poluentes e ao fornecimento de habitat para várias espécies de fauna e flora (Alongi, 2015). As espécies *Laguncularia racemosa* (mangue-branco) e *Rhizophora mangle* (mangue-vermelho) são comuns no Brasil e estão adaptadas a condições adversas, como solos salinos e baixa concentração de oxigênio, típicas de ambientes intertidais. No entanto, o aumento da poluição, especialmente em áreas urbanas e industriais, coloca em risco a integridade desses ecossistemas. Em São Luís, Maranhão, a degradação das áreas de mangue, causada principalmente por resíduos industriais, esgoto doméstico e poluentes químicos, afeta diretamente o desenvolvimento de mudas dessas espécies, comprometendo sua função ecológica e a recuperação de áreas degradadas.

Os manguezais desempenham uma série de funções essenciais para os ecossistemas costeiros, incluindo a proteção contra a erosão, a filtragem de poluentes da água e a promoção da biodiversidade local (Mitsch & Gosselink, 2015). A vegetação de mangue, com suas raízes adaptadas ao ambiente salino e anaeróbico, é fundamental na estabilização dos sedimentos e na criação de um ambiente que sustenta uma rica fauna marinha e terrestre. As espécies *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle* são predominantes nos manguezais tropicais brasileiros, sendo responsáveis pela maior parte da biomassa vegetal nessas regiões. Essas espécies, apesar de suas adaptações, enfrentam desafios com a crescente poluição de seus habitats, que afeta seu crescimento e reprodução.

A poluição em áreas de manguezais, principalmente em zonas urbanas como São Luís, é uma preocupação crescente. Resíduos industriais, metais pesados, e efluentes domésticos contribuem para a degradação da qualidade da água e do solo, impactando negativamente a saúde dos manguezais (Barros et al., 2020). Estudos indicam que os poluentes, como metais pesados (exemplo: mercúrio, chumbo, cádmio), podem ser absorvidos pelas raízes das plantas, resultando em acúmulo de toxinas e prejudicando seu desenvolvimento (Machado et al., 2019). Esse acúmulo de poluentes afeta não apenas o crescimento das mudas, mas também a sua capacidade de se reproduzir, comprometendo a regeneração do ecossistema de mangue.

Além disso, a poluição orgânica, como o esgoto doméstico e o aumento dos nutrientes na água (nitrogênio e fósforo), pode levar à eutrofização do ambiente. Embora esse fenômeno possa inicialmente promover o crescimento de plantas aquáticas, ele também favorece o

crescimento de algas que competem com as mudas de mangue pela luz e oxigênio (Araujo et al., 2021). Isso pode resultar em uma diminuição na taxa de sobrevivência das mudas plantadas em áreas poluídas.

As espécies de mangue-branco e mangue-vermelho têm mostrado certa resistência a condições de salinidade e a níveis moderados de poluentes. No entanto, a exposição prolongada a altos níveis de metais pesados e outros poluentes orgânicos compromete seu crescimento. *Rhizophora mangle*, por exemplo, é mais sensível a altos níveis de contaminantes e metais pesados, enquanto *Laguncularia racemosa* parece ser mais tolerante a ambientes de salinidade extrema e a concentrações moderadas de poluentes (Santos et al., 2021). No entanto, mesmo as espécies mais tolerantes enfrentam desafios em ambientes altamente contaminados.

Estudos realizados em outros manguezais tropicais, como os de Pernambuco e Bahia, têm mostrado que o uso de mudas adaptadas e a realização de monitoramento contínuo da qualidade da água são estratégias eficazes para promover a recuperação de áreas degradadas. A escolha de espécies nativas e tolerantes a certos níveis de poluentes, como *Laguncularia racemosa*, tem sido recomendada para restauração ecológica em áreas de mangue poluídas (Oliveira et al., 2018). O processo de restauração de manguezais poluídos em São Luís exige uma abordagem integrada que leve em conta tanto as características naturais do ambiente quanto os fatores antropogênicos que afetam a área. A escolha de mudas adequadas é um dos primeiros passos, sendo necessário priorizar espécies que possuam maior capacidade de adaptação aos níveis de salinidade e poluentes presentes no solo e na água. *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle* são as mais comuns para projetos de restauração no Brasil devido à sua ampla distribuição e adaptação ao ambiente intertidal (Lacerda et al., 2020).

Além disso, a aplicação de técnicas como a adição de matéria orgânica ao solo e o uso de biofertilizantes pode melhorar as condições para o crescimento das mudas, ajudando a minimizar os impactos da poluição (Vieira et al., 2019). Monitoramento contínuo da qualidade da água e dos sedimentos também é essencial para garantir o sucesso da restauração, uma vez que alterações nos níveis de pH, salinidade e concentração de nutrientes podem afetar diretamente a viabilidade das mudas. Em São Luís, o desenvolvimento de mudas de mangue em áreas poluídas apresenta desafios significativos, mas também oportunidades de recuperação ambiental. A *L.racemosa* e *R.mangle* possuem grande potencial para a restauração de áreas degradadas, desde que sejam aplicadas práticas de manejo adequadas e monitoramento contínuo. A recuperação de manguezais em áreas poluídas não apenas contribuirá para a proteção da biodiversidade local, mas também ajudará a melhorar a

qualidade ambiental da região, proporcionando benefícios à saúde pública e à economia local.

A combinação de pesquisa científica, práticas de manejo sustentáveis e políticas públicas de controle da poluição será crucial para garantir que os manguezais de São Luís e de outras regiões costeiras brasileiras possam prosperar diante das crescentes pressões ambientais.

CAPÍTULO 1

DESENVOLVIMENTO DE MUDAS DE MANGUE *Laguncularia racemosa* E *Rhizophora mangle* EM SEDIMENTO DE ÁREAS POLUÍDAS EM SÃO LUÍS, MARANHÃO

José Magno Pinheiro Alves¹, Flávia Rebelo Mochel²

^{1,2}*Universidade Federal do Maranhão, Departamento de Oceanografia e Limnologia*

Resumo

Este estudo analisou o desenvolvimento de mudas de *Laguncularia racemosa* (C.F.Gaertn. 1807) e *Rhizophora mangle* (Linnaeus 1753) em sedimentos poluídos da zona industrial-portuária de São Luís, Maranhão, comparando-as com uma área de controle. O objetivo foi avaliar os impactos da contaminação ambiental no crescimento, estrutura anatômica e respostas bioquímicas dessas espécies. Propágulos foram cultivados em viveiros sob condições controladas, com medições periódicas de altura e diâmetro da base. A análise físico-química da água e do sedimento incluiu turbidez, matéria orgânica, nutrientes e metais pesados. Biomarcadores de estresse oxidativo foram avaliados para entender a resposta fisiológica das plantas. Os resultados mostraram que *L. racemosa* apresentou maior sensibilidade, com crescimento reduzido e dificuldades na absorção de nutrientes. Já *R. mangle* demonstrou maior resiliência, mantendo um crescimento mais estável devido a mecanismos bioquímicos de tolerância. As mudas expostas à poluição ativaram respostas antioxidantes, especialmente *R. mangle*. Esses achados reforçam a necessidade de monitoramento ambiental e estratégias de manejo. Além disso, indicam *R. mangle* como uma espécie promissora para a recuperação de áreas degradadas.

Palavras-chaves: Manguezais; poluição industrial; metais pesados; biomarcadores; restauração ecológica.

DEVELOPMENT OF MANGROVE SEEDLINGS *LAGUNCULARIA RACEMOSA* AND *RHIZOPHORA MANGLE* IN SEDIMENT FROM POLLUTED AREAS IN SÃO LUÍS, MARANHÃO

Abstract

This study analyzed the development of *Laguncularia racemosa* (C.F.Gaertn. 1807) and *Rhizophora mangle* (Linnaeus 1753) seedlings in polluted sediments from the industrial-port zone of São Luís, Maranhão, comparing them with a control area. The objective was to assess the impact of environmental contamination on growth, anatomical structure, and biochemical responses.

Propagules were cultivated in nurseries under controlled conditions, with periodic measurements of height and basal diameter. The physicochemical analysis of water and sediment included turbidity, organic matter, nutrients, and heavy metals. Oxidative stress biomarkers were evaluated to understand the plants' physiological responses. The results showed that *L. racemosa* was more sensitive, with reduced growth and nutrient absorption difficulties. Meanwhile, *R. mangle* showed greater resilience, maintaining stable growth due to biochemical tolerance mechanisms. Seedlings exposed to pollution activated antioxidant responses, especially *R. mangle*. These findings highlight the need for environmental monitoring and management strategies. Moreover, they suggest *R. mangle* as a promising species for the recovery of degraded areas.

Key words: Mangroves; industrial pollution; heavy metals; biomarkers; ecological restoration.

DESARROLLO DE PLÁNTULAS DE MANGLE *LAGUNCULARIA RACEMOSA* Y *RHIZOPHORA MANGLE* EN SEDIMENTOS DE ÁREAS CONTAMINADAS EN SÃO LUÍS, MARANHÃO

Resumen

Este estudio analizó el desarrollo de plántulas de *Laguncularia racemosa* (C.F.Gaertn. 1807) y *Rhizophora mangle* (Linnaeus 1753) en sedimentos contaminados de la zona industrial-portuaria de São Luís, Maranhão, comparándolas con un área de control. El objetivo fue evaluar el impacto de la contaminación ambiental en el crecimiento, la estructura anatómica y las respuestas bioquímicas. Se cultivaron propágulos en viveros bajo condiciones controladas, con mediciones periódicas de altura y diámetro basal. El análisis fisicoquímico del agua y sedimento incluyó turbidez, materia orgánica, nutrientes y metales pesados. Se evaluaron biomarcadores de estrés oxidativo para comprender la respuesta fisiológica de las plantas. Los resultados mostraron que *L. racemosa* fue más sensible, con un crecimiento reducido y dificultades en la absorción de nutrientes. En cambio, *R. mangle* mostró mayor resiliencia, manteniendo un crecimiento estable gracias a mecanismos bioquímicos de tolerancia. Las plántulas expuestas a la contaminación activaron respuestas antioxidantes, especialmente *R. mangle*. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de monitoreo ambiental y estrategias de manejo. Además, indican a *R. mangle* como una especie prometedora para la recuperación de áreas degradadas.

Palabras-clave: Manglares; contaminación industrial; metales pesados; biomarcadores; restauración ecológica.

Introdução

Dentre os estuários existentes no Brasil, o da Baía de São Marcos, localizado ao norte do Estado do Maranhão é, possivelmente, um dos menos estudados. É um estuário típico, com canal central bem desenvolvido, abrindo-se largamente sobre a Plataforma Continental Maranhense. Muitos dos atributos físicos e biológicos mais importantes dos estuários, contudo, não são transicionais e sim exclusivos, possuindo características físicas, químicas e biológicas encontradas apenas nesses ambientes (ODUM, 1983)

Nesse amplo estuário, que é a Baía de São Marcos, está situada a área Portuária da Ilha de São Luís que abrange o Terminal Portuário da Ponta da Madeira (TPPM), da Vale SA, o Porto de Itaqui, da EMAP – Empresa Maranhense de Administração Portuária, o Porto da ALUMAR – Consórcio de Alumínio do Maranhão e o Porto de Ponta da Espera. A área portuária do Maranhão constitui-se no segundo maior complexo portuário da América Latina e um dos maiores do mundo em termos de movimentação de carga (GARCIA, 2007). Esta área tem sofrido inúmeras pressões antrópicas levando a contaminação deste sistema estuarino, principalmente o aumento populacional e urbano (ARAÚJO et al., 2017), com descargas de resíduos industriais ricos em poluentes diversos como hidrocarbonetos, metais, fármacos, resíduos sólidos diversos.

A análise dos impactos desses poluentes sobre os ecossistemas de manguezais da área portuária da Baía de São Marcos são de fundamental relevância para a conservação ecológica e para a sustentabilidade econômica da pesca e promoção da saúde humana, uma vez que, diversos alimentos consumidos pela população, como ostras, sururus, peixes e camarões, podem estar contaminados e afetarem as pessoas através das teias tróficas

Os sedimentos dos manguezais favorecem a retenção de poluentes como metais, por sua natureza anóxica, reduzida, rica em matéria orgânica e sulfetos. (KAMARUZZAMAN, et al, 2008). Muitos manguezais estão próximos a áreas urbanas e industriais e impactados por efluentes contendo poluentes dissolvidos e particulados que levam à sérios problemas por sua bioacumulação, persistência e toxicidade (KAMARUZZAMAN, et al, 2008).

As espécies de planta encontradas no manguezal brasileiro são marcadas com um alto grau de especificidade devido às condições em que estão situadas, possuindo

características morfológicas distintas (LACERDA, 2003), essas plantas desenvolveram sistemas antioxidantes eficientes para se protegerem dos estresses causados pelos mais diversos poluentes (KAVITHA et al., 2008; QUAN et al., 2008). Dentre esses sistemas, destacam-se a atuação de biomarcadores que podem ser detectáveis por meio da análise de metais que podem propiciar o entendimento de alguns processos adaptativos frente a poluição, responsáveis por conferir aos manguezais a capacidade de sobreviver em áreas poluídas.

Na costa amazônica há a maior diversidade de espécies arbóreas de manguezais das Américas, são elas: *Avicennia schaueriana*, *Avicennia germinans* (mangue negro ou siriba), *Rhizophora mangle*, *Rhizophora harisonii*, *Rhizophora racemosa* (mangue vermelho), *Conocarpus erectus* (mangue-de-botão) e *Laguncularia racemosa* (mangue branco ou tinteira) (Mochel, 2011). Embora as áreas de manguezais no Maranhão estejam preservadas, Mochel et al. (2002) enfatiza que houve uma perda de cerca de 10.000 ha entre 1972 e 2002 nos manguezais. Portanto, este trabalho teve por objetivo analisar o crescimento e a concentração de metais em folhas de mudas de mangue *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle* desenvolvidas em sedimentos provenientes das áreas urbana e portuária da ilha do Maranhão, para contribuir com a avaliação da poluição na zona costeira.

Material e Métodos

2.1 Área de estudo

As coletas de propágulos, sedimentos e água em áreas poluídas de manguezal, no Maranhão, foram realizadas na zona costeira industrial e portuária, na margem leste da baía de São Marcos, em São Luís, nas coordenadas do Ponto Contaminado como visto na Figura 1, o complexo portuário do Itaqui está classificado entre os mais extensos do litoral brasileiro. Nele aportam continuamente navios de grande calado, transportando os mais diversificados produtos industrializados, além de subprodutos extraídos do petróleo como gasolina, querosene, gás, embarcando também uma grande quantidade de minério para várias partes do mundo. Contém tanques para depósito de combustíveis, pátios para armazenagem desabrigada de minérios, carvão para termelétrica, silos para grãos, fertilizantes, esteiras transportadoras, entre outros produtos. O total da intervenção do empreendimento do Porto do Itaqui sobre o manguezal é de 39.751,00 m². A área controle para coletas de propágulos, sedimento e água situa-se na praia do Mangue Seco, município

de Raposa, a noroeste do município de São Luís, Ilha de São Luís, Maranhão, na coordenada do Ponto Controle (Lat. 2°27'13.09"S e Long. 44° 9'38.01"O) visto na Figura 2. A ampla riqueza de recursos naturais do Mangue Seco contribuiu para que ali se estabelecesse uma comunidade típica de pescadores e marisqueiras, com seus petrechos tradicionais. A beleza cênica da região é, também, um atrativo para turistas locais e visitantes de outros destinos. No entanto, o crescimento desordenado coloca em risco o ecossistema manguezal presente, principalmente pelo desmatamento, poluição, assoreamento e construções irregulares para construção de pequenas pousadas e bares. A fiscalização de órgãos públicos, em dezembro de 2023, retirou cercas e lacrou construções irregulares no interior de áreas de mangue.

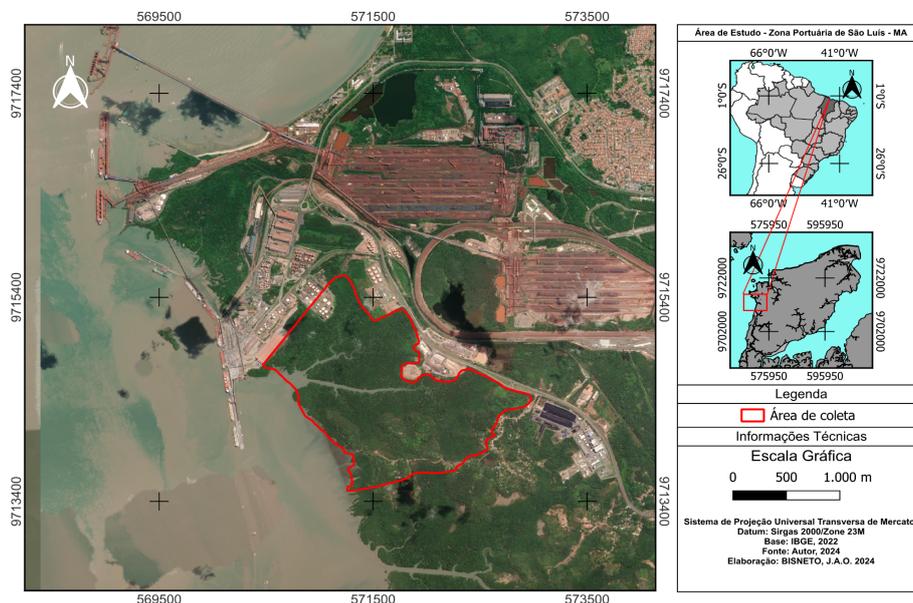


Figura 1 - Localização do ponto de coleta na Zona Portuária, município de São Luís– MA.
Fonte: Oliveira-Bisneto (2024).

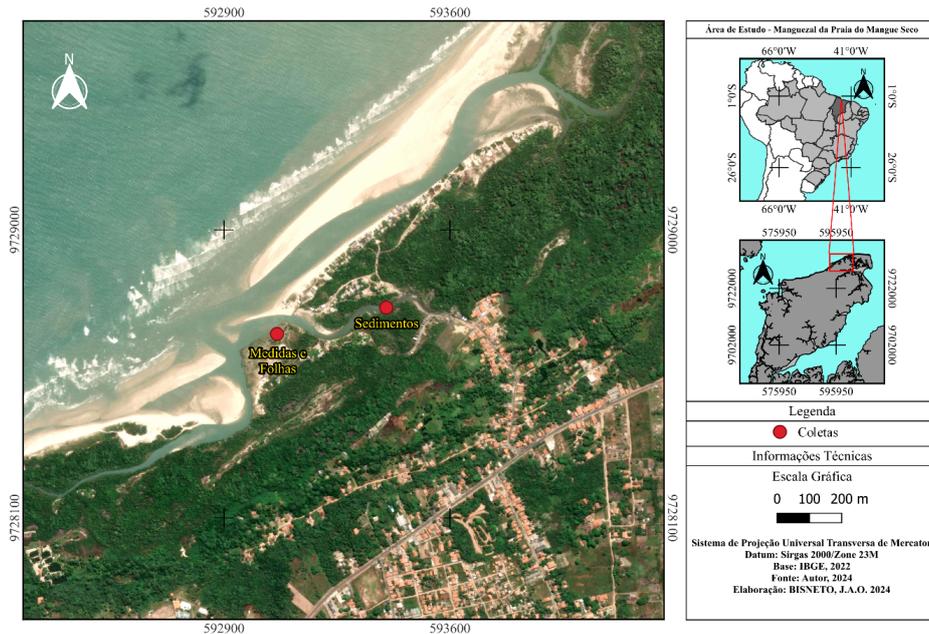


Figura 2 - Localização do Ponto de Coleta Controle, município da Raposa – Ma.
 Fonte: Oliveira-Bisneto (2024).

2.2 Atividades de campo

2.2.1 Coletas

As coletas dos propágulos de *L. racemosa* e *R. mangle* foram realizadas na região portuária da Baía de São Marcos, considerada área contaminada, ocorrendo no período de baixa mar. Os pontos de coleta foram georreferenciados com um GPS. As coletas dos propágulos de *L. racemosa* e *R. mangle* em área controle se realizaram no Mangue Seco, município da Raposa. Foram coletados propágulos de cada espécie em cada área de coleta. Foram duas áreas de coleta, sendo 1 em área portuária e 1 ponto de coleta em área controle (Mangue seco).

De cada área também foram coletados sedimento e água para o plantio e crescimento de mudas (Figura 3). A água estuarina utilizada foi coletada nos canais após a maré enchente, nas áreas controle e contaminadas, na mesma região em que as medidas e as coletas são realizadas, e sua salinidade foi verificada com um refratômetro modelo Q767-3 Quimis. Os sedimentos sob as árvores de *Rhizophora mangle* amostradas, foram coletados com pá e levados para laboratório em sacos plásticos de 1 Kg. As amostras foram analisadas quanto a granulometria por peneiramento (grãos grosseiros) e por pipetagem (grãos finos) . A matéria orgânica foi analisada com um forno Mufla.



Figura 3 - Coleta de sedimento e propágulos para plantio de mudas.
 Fonte: Autor (2024)

2.2.2 Cultivo de mudas em viveiro

O quadro 1 apresenta as etapas realizadas para o cultivo de mudas em viveiro.

Quadro 1 - Etapas para cultivo de mudas de mangue em viveiro.

Etapa	Rhizophora mangle	Laguncularia racemosa
1. Coleta de Propágulos/Sementes	Coleta de propágulos maduros diretamente da planta-mãe.	Coleta de sementes maduras diretamente da planta-mãe.
2. Seleção de Propágulos/Sementes e germinação	Escolha de propágulos íntegros, sem danos ou deformações. Sem necessidade de germinação em água.	Escolha de sementes saudáveis e viáveis para serem germinadas imersas em água estuarina por sete dias.
3. Preparo do Substrato	Uso de solo argiloso, com boa drenagem, enriquecido com matéria orgânica.	Uso de solo argiloso ou arenoso, com boa drenagem.
4. Plantio	Os propágulos são colocados	Sementes são semeadas no

	diretamente no substrato verticalmente, com a parte mais fina voltada para baixo.	substrato.
5. Irrigação	Irrigação moderada, mantendo o solo úmido, mas sem encharcar.	Irrigação frequente, mantendo o solo sempre úmido.

Fonte: Adaptado de Mochel et.al.2023.

É importante ressaltar, que para melhor desenvolvimento das mudas existe a necessidade do viveiro replicar as mesmas condições as quais as espécies estão submetidas em ambiente natural no manguezal, seja por condições de água, índice de incidência solar e solo, além de procurar impedir que fatores externos acabem influenciando nesse desenvolvimento, como fungos, lagartas e formigas.

2.3 Atividades em Laboratório

As coletas, medidas em campo, triagem de materiais, preparação de amostras em laboratório, cálculos de áreas, análises de dados, entre outros, foram realizados no LAMA/CERMANGUE/UFMA. As análises químicas foram realizadas com os equipamentos em parcerias dos laboratórios DEOLI/LABCICLOS/UFMA; a preparação dos procedimentos pré investigação de metais nas folhas das mudas foi constituída de trituração, maceração e pesagem no LFAV/DEBIO/UFMA enquanto a liofilização foi feita no Laboratório de solos da UEMA; as análises de sedimentos e matéria orgânica foram realizadas no LEOG/DEOLI/UFMA.

Após secagem as amostras foram enviadas ao Laboratório da Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, (FIOcruz) para determinação de metais e biomarcadores enzimáticos, pelo método de espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado em um ICP-MS NexIon 300x (Perkin Elmer).

Para a liofilização, as folhas das mudas foram maceradas pós congelamento, colocadas em frascos de vidro coberto com filme de pvc, e em seguida levadas para o liofilizador por 48 h para retirada da umidade. As proteínas analisadas foram: Metalotioneína (MT), Glutathiona reduzida (GSH), Peroxido de Hidrogênio e Peroxidação lipídica.

Para a determinação de MT, foi realizada uma extração térmica de acordo com Erk et al, (2002). A quantificação específica de MT foi realizada através do método espectrofotométrico pela reação de Ellman na fração purificada termoestável. As concentrações de MT foram estimadas utilizando uma curva analítica plotada com GSH como padrão externo, pois embora este método mensure todos os tióis ácidos solúveis, a glutathiona representa mais de 90% dos grupos tióis reativos, sendo considerado um padrão adequado. A extração e a quantificação da GSH foi realizada através da

metodologia apresentada por Wilhelm et al. (2005). As amostras foram homogeneizadas em tampão fosfato de sódio e sacarose e centrifugadas. O sobrenadante foi tratado com DTNB em tampão fosfato e incubado no escuro. As absorbâncias foram então medidas em um espectrofotômetro UV-Vis.

As concentrações de GSH foram estimadas utilizando GSH como padrão externo. A extração e a quantificação do peróxido de hidrogênio foi realizada de acordo com o método descrito por Alexieva et al. (2001). As amostras foram maceradas em uma solução contendo ácido tricloroacético e centrifugadas a 10.000 rpm. Alíquotas do sobrenadante foram misturadas com tampão fosfato de potássio e mantidas em gelo por 1 hora no escuro, seguido de determinação das absorbâncias em espectrofotômetro UV-Vis, usando H_2O_2 como padrão externo.

A extração e a quantificação dos níveis de peroxidação lipídica foi determinada por meio da quantificação de espécies reativas ao ácido tiobarbitúrico (TBA) de acordo com Buege e Aust (1978). Aproximadamente 200 mg de tecido vegetal foram macerados em N_2 líquido acrescido de polivinilpirrolidona (PVPP) e homogeneizados em ácido tricloroacético (TCA). As amostras foram centrifugadas a 10.000 g por 10 minutos e o sobrenadante foi misturado com TBA e TCA. Após incubação, a reação foi interrompida por resfriamento em gelo e as absorbâncias determinadas em espectrofotômetro.

A extração e a quantificação da Peroxidação Lipídica foi determinada por adaptações para bancada baseados no kit da empresa Cayman Chemical Company (Michigan, EUA). A etapa de extração consistiu na homogeneização de sobrenadante em tampão RIPA, seguido de centrifugação. Para quantificação, uma quantia do lisado resultante da extração (sobrenadante) foi misturado com água deionizada, seguido da adição de ácido tricloroacético (TCA) e solução de ácido tiobarbitúrico (TBA). As amostras foram colocadas em água aquecida até o ponto de ebulição e depois resfriadas. O LPO foi quantificado a partir da formação do complexo LPO-TBA determinado em leitor de microplaca.



Figura 4 -Etapas de laboratório UEMA/UFMA .
Fonte: Autor (2024).

2.4 Análise dos dados

2.4.1 Medidas em viveiro

As medidas de viveiro foram feitas no CERMANGUE, onde as mudas ficaram alocadas por todo o período da pesquisa. Essas medidas foram feitas a cada 15 dias partindo da data de plantio, onde foram coletados dados de altura, utilizando uma fita métrica e de circunferência da base, com auxílio de um paquímetro. Todos os dados foram coletados e posteriormente transferidos para uma tabela em Excel, onde foram realizadas as análises estatísticas com o software PAST versão 4.17.

2.4.2 Tratamento estatístico dos dados

Todas as informações foram digitalizadas em planilhas eletrônicas no office Microsoft Excel 2013. Análise de variância multivariada permutacional (PERMANOVA), segundo Montgomery (2010), é uma técnica usada para comparar vários grupos ou estratos de interesse, ela foi realizada por meio do software PAST versão 4.17. A PERMANOVA permite examinar se existem diferenças significativas entre os grupos estudados. As conclusões tiradas da PERMANOVA são baseadas em um nível de confiança determinado

pelo analista; por exemplo, pode-se afirmar que diferentes tipos de aço diferem significativamente com um nível de confiança de 95%.

Resultados e Discussão

Os parâmetros comparativos dos índices físico-químicos e biológicos obtidos nas análises das amostras da água estuarina na área portuária (área Contaminada) em relação ao Mangue Seco (área Controle) evidenciaram alterações significativas, como demonstram os resultados da Tabela 1.

Tabela 1: Índices físico-químicos e biológicos obtidos de amostras de água coletadas no Mangue Seco e no Porto.

Variáveis analisadas	Locais de Coleta	
	Mangue Seco	Área Portuária
Temperatura da água (°C)	27,2	21,84
Salinidade (g kg ⁻¹)	10,82	19,61
Condutividade (mS cm ⁻¹)	18,27	31,3
Totais de Sólidos Dissolvidos (ppt)	91,31	15,65
pH	7,37	7,41
Oxigênio Dissolvido (mg L ⁻¹)	5,33	7,22
Oxigênio Dissolvido (% sat)	71,7	92,7
Totais de Sólidos em Suspensão (mg L ⁻¹)	46,40	1158,5
Matéria Orgânica Suspensa (mg L ⁻¹)	6,50	163,75
Fosfato (mg L ⁻¹)	2,76	15,22
Nitrito (mg L ⁻¹)	0,00	0,79
Silicato (mg L ⁻¹)	138,25	147,52
Clorofila (mg L ⁻¹)	2,96	22,84
Turbidez (NTU)	26,5	692

Os dados para as análises da água do estuário do Mangue Seco forneceram informações sobre a qualidade dos corpos hídricos estudados. A medição dos níveis de oxigênio dissolvido, turbidez, matéria orgânica, pH e salinidade permite avaliar os impactos das atividades humanas e das mudanças climáticas na hidrologia e na biogeoquímica do manguezal. Além disso, esses parâmetros são indicadores-chave da saúde dos ecossistemas costeiros e da sua resiliência às perturbações antropogênicas. Os resultados de pH mostraram-se aceitáveis com valor de 7,37. A salinidade indica um ambiente estuarino, mas os valores são menores 10,82 (g kg⁻¹), pois o ponto de coleta encontra-se na desembocadura do rio do Mangue Seco. Os resultados para Turbidez (26,5 NTU) , os

Totais de Sólidos em Suspensão (46,40 mg L⁻¹); Matéria Orgânica em Suspensão (6,50 mg L⁻¹), nitrito apresentou valor correspondente a zero, fosfato apresentou valor de 2,76 mg L⁻¹. Esses resultados indicam índices de baixa eutrofização. A concentração de Clorofila (Chl-a) na água mostrou valor de 2,96 mg.L⁻¹.

A turbidez moderada sugere a presença de partículas em suspensão na água, o que pode afetar a transparência e a penetração da luz, influenciando pouco a cadeia trófica, explicando a área pesqueira local. A concentração relativamente alta de sólidos em suspensão e matéria orgânica pode indicar uma carga significativa indicando área estuarina. Os valores baixos de fosfato, clorofila e nitrito sugerem que a capacidade de depuração estuarina pode estar mantendo níveis baixos de poluição orgânica. Isso pode ser interpretado como um aspecto positivo, indicando uma potencial redução da carga de nutrientes associados à matéria orgânica em decomposição na água.

A comparação entre as mudas de *L. racemosa* e *R. mangle*, considerando ambientes de mangue seco (LMS e RMs) e áreas portuárias sujeitas a contaminação (LP e RP), revela diferenças claras no padrão de crescimento e nas respostas ao estresse ambiental. Em relação ao Crescimento em Altura e Diâmetro da Base (Figura 5 e Figura 6), os gráficos mostram que a *L. racemosa* (LMS e LP) apresentou maior crescimento em altura na área do Mangue seco, corroborando estudos que indicam que essa espécie investe mais em crescimento vertical em condições de menor inundação e competição por luz. Por outro lado, em áreas contaminadas (LP), o crescimento foi menos acentuado, sugerindo que a presença de contaminantes pode estar limitando sua capacidade de crescimento.

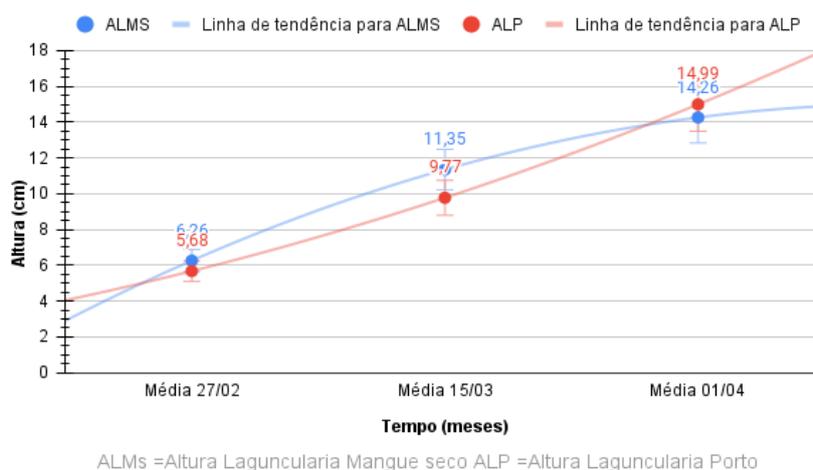


Figura 5 - Gráfico com resultados das médias de Altura da *Laguncularia racemosa* na Área portuária e Mangue seco (controle).

Fonte: Autor (2024).

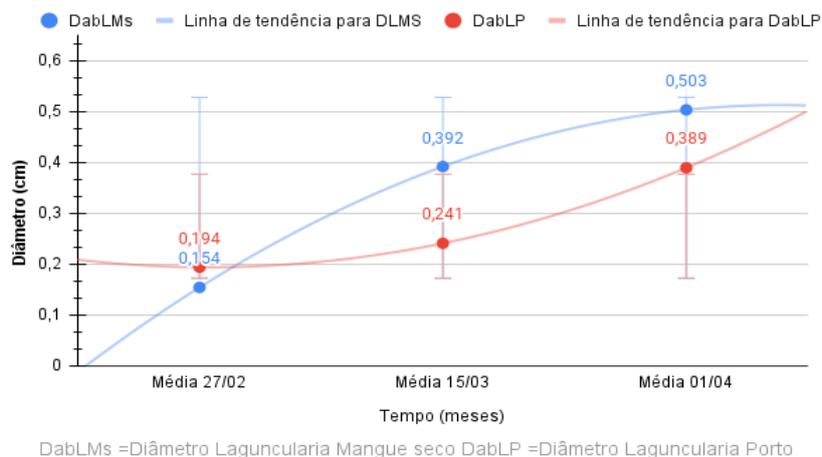


Figura 6 - Gráfico com resultados das médias de DAB da *Laguncularia racemosa* na Área portuária e Mangue seco (controle).

Fonte: Autor (2024).

A *R. mangle*, por sua vez, apresentou crescimento na altura mais lento (Figura 7), especialmente nas áreas contaminadas (RP). No entanto, o aumento do diâmetro da base (Figura 8) em área controle (RMs) foi mais estável, evidenciando a tendência dessa espécie em alocar recursos para o fortalecimento das raízes-escoras, uma estratégia que favorece a estabilidade em solos alagados e de baixa oxigenação.

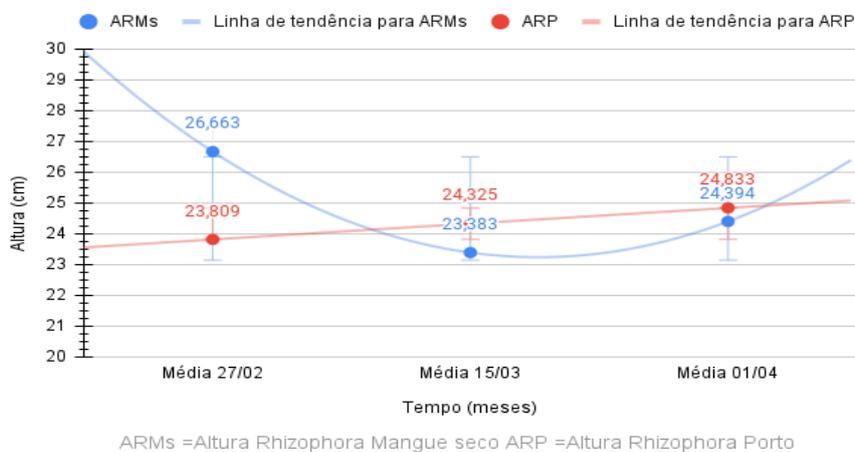


Figura 7- Gráfico com resultados das médias de Altura da *Rhizophora mangle* na Área portuária e Mangue seco (controle).

Fonte: Autor (2024).

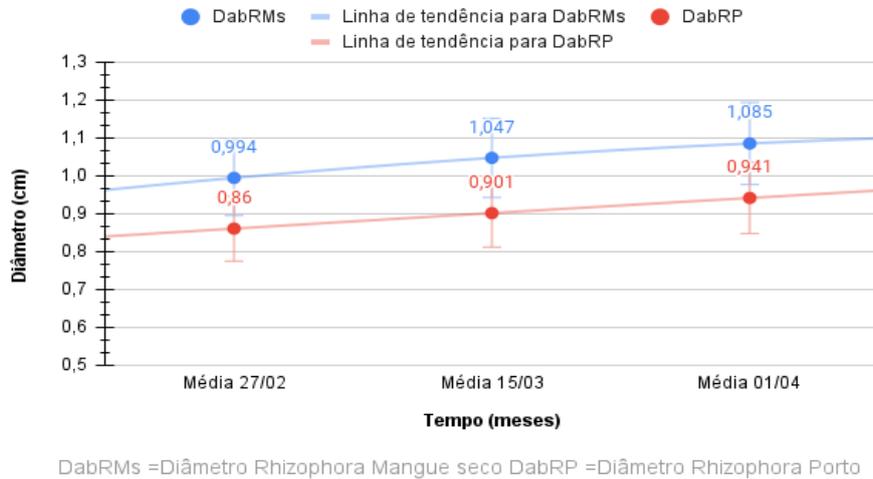


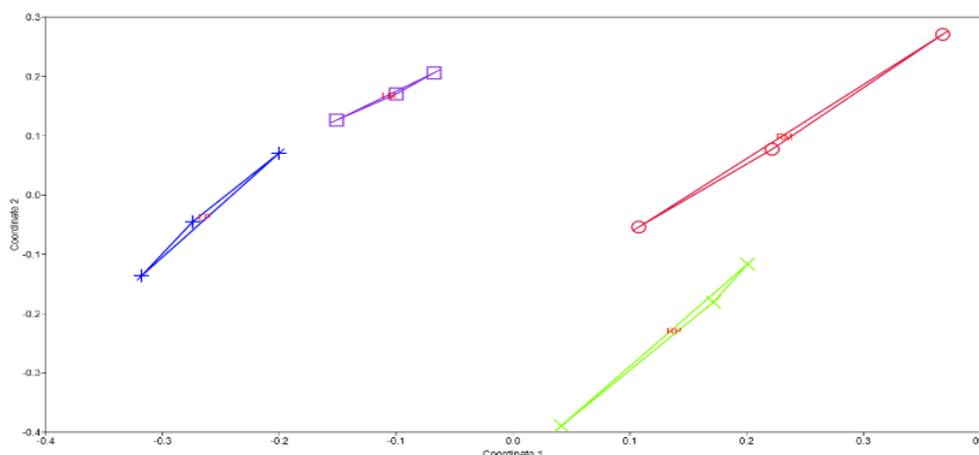
Figura 8 - Gráfico com resultados das médias de DAB da *Rhizophora mangle* na Área portuária e Mangue seco (controle).

Fonte: Autor (2024).

Sobre a influência da contaminação ambiental na comparação entre as áreas portuárias (LP e RP) e a área do Mangue seco (controle) (LMs e RMs), destaca o impacto da poluição sobre o crescimento das mudas. A *L. racemosa* na área portuária (LP) apresentou uma redução significativa no crescimento, tanto em altura quanto em diâmetro, indicando sensibilidade a contaminantes. Essa redução pode estar associada à menor capacidade de absorção de nutrientes e ao estresse hídrico causado por poluentes.

Já a *R. mangle* demonstrou uma baixa redução no crescimento de diâmetro na área contaminada (RP), o que pode ser explicado pela sua maior tolerância à salinidade e à baixa oxigenação, características que favorecem sua sobrevivência em ambientes adversos. No entanto, o crescimento em altura foi claramente comprometido em RP, sugerindo que, apesar da resistência estrutural, o estresse causado pela contaminação limita a expansão vertical.

Sobre as estratégias de adaptação, os resultados confirmam que *R. mangle* adota uma estratégia de crescimento que prioriza a robustez estrutural, especialmente em ambientes de maior estresse como áreas contaminadas. O investimento no diâmetro da base, mesmo em condições adversas, é uma adaptação importante para sua sobrevivência em solos alagados e salinos. Em contraste, *L. racemosa* se beneficia de um crescimento mais rápido em ambientes de menor estresse, como o mangue seco (LMS). Sua maior capacidade de adaptação em condições moderadas de salinidade e menor alagamento favorece o



crescimento vertical, essencial para a competição por luz em áreas densas.

Figura 9 - Gráfico com Teste-Não-Paramétrico para os dados de metais nas mudas da Área portuária e Mangue seco (controle). (+ Laguncularia Área Portuária; □Laguncularia Mangue Seco; ○ Rhizophora Mangue seco; x Rhizophora Área portuária.

Fonte: Autor (2024).

A análise sugere que a contaminação ambiental afeta significativamente o crescimento das duas espécies, com *L. racemosa* sendo mais sensível em áreas contaminadas e *R. mangle* demonstrando maior resiliência estrutural. Essas diferenças refletem as adaptações ecológicas de cada espécie e suas estratégias de sobrevivência nos diferentes ambientes estudados. A análise dos dados obtidos através do teste não paramétrico (Figura 9), representados no gráfico de dispersão, fornece informações importantes sobre a relação entre a presença de metais pesados nos sedimentos do manguezal e o crescimento das mudas de *R. mangle* e *L. racemosa*. Os diferentes grupos de dados, representados por cores e marcadores distintos, refletem as respostas das mudas em relação às concentrações de metais pesados em suas folhas, permitindo uma visualização clara das variações entre as áreas contaminadas e as áreas de controle. Os resultados indicam que as mudas de *L. racemosa*, representadas por um dos grupos, apresentam uma correlação negativa significativa com a presença de metais pesados, evidenciando um crescimento reduzido em áreas portuárias contaminadas. Essa tendência é visível na disposição dos pontos, que se agrupam em regiões de menor crescimento à medida que a concentração de metais pesados aumenta. Essa resposta pode ser atribuída à toxicidade dos metais, que compromete a capacidade das plantas de realizar processos fisiológicos essenciais, como a fotossíntese e a absorção de nutrientes. Em contraste, as mudas de *R. mangle* demonstram uma resiliência maior, conforme indicado pela dispersão dos pontos em seu grupo. Embora também

apresentem uma leve redução no crescimento em áreas contaminadas, a distribuição dos dados sugere que essa espécie é capaz de tolerar melhor as condições adversas impostas pela presença de poluentes. A inclinação e a localização dos pontos para *R. mangle* indicam uma adaptação que permite um desempenho relativamente melhor em ambientes com altos níveis de metais pesados.

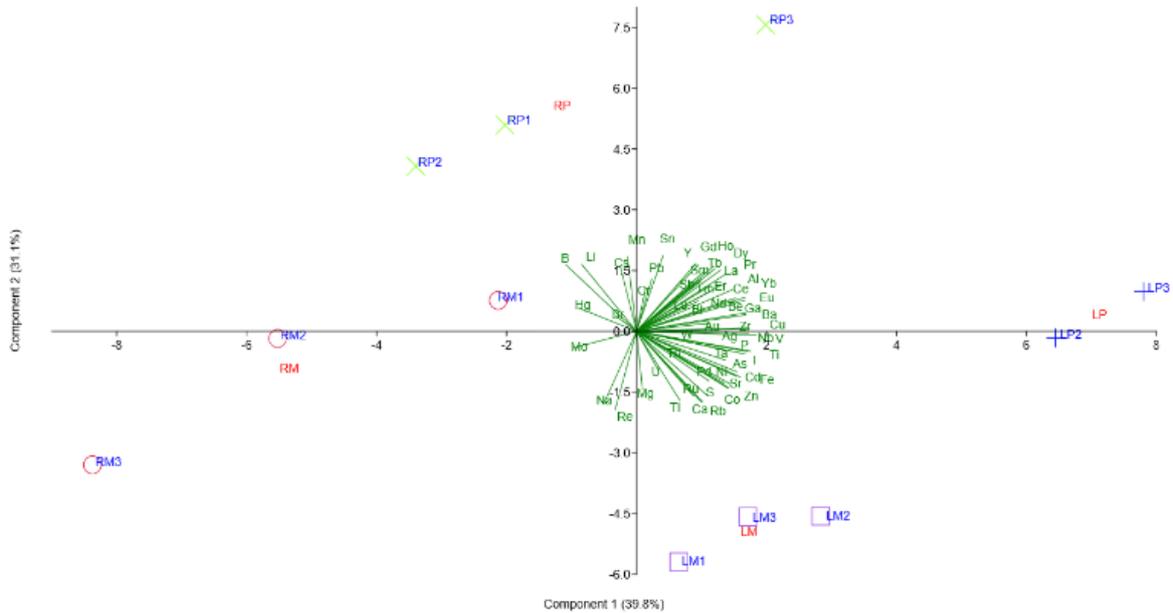


Figura 10 - Análise de componentes principais (PCA) para os dados de metais nas mudas da Área portuária e Mangue seco (controle). (+ Laguncularia Área Portuária; □Laguncularia Mangue Seco; ○ Rhizophora Mangue seco; x Rhizophora Área portuária.
 Fonte: Autor (2024).

A análise dos dados obtidos através da Análise de Componentes Principais (PCA) (Figura 10) em relação à presença de metais pesados nos sedimentos do manguezal, analisados a partir das folhas das mudas de *R. mangle* e *L. racemosa* fornece resultados valiosos sobre o impacto da contaminação ambiental no crescimento dessas espécies. Os resultados indicam que as mudas de *L. racemosa* apresentaram uma sensibilidade maior à presença de metais pesados, refletindo-se em um crescimento significativamente reduzido em áreas portuárias contaminadas (LP) em comparação com as mudas desenvolvidas em mangue seco (LM). Essa diminuição no crescimento pode ser atribuída à toxicidade dos metais pesados, que afeta a capacidade das plantas de absorver nutrientes e água, resultando em estresse hídrico e nutricional. Por outro lado, *R. mangle* demonstrou uma resiliência maior em ambientes contaminados, apresentando uma leve redução no crescimento de diâmetro, mas mantendo um desempenho relativamente melhor em comparação com a *L. racemosa*. Essa diferença

pode ser explicada pelas adaptações morfológicas e fisiológicas de *R. mangle*, que lhe conferem uma maior tolerância a condições adversas, como a presença de poluentes e a salinidade elevada.

As variáveis identificadas na PCA, relacionadas à concentração de metais pesados nos sedimentos, destacam a importância de monitorar esses contaminantes para entender suas implicações no crescimento das mudas. A presença de metais pesados pode interferir nos processos fisiológicos das plantas, afetando a fotossíntese e a respiração, o que, por sua vez, compromete o desenvolvimento das mudas.

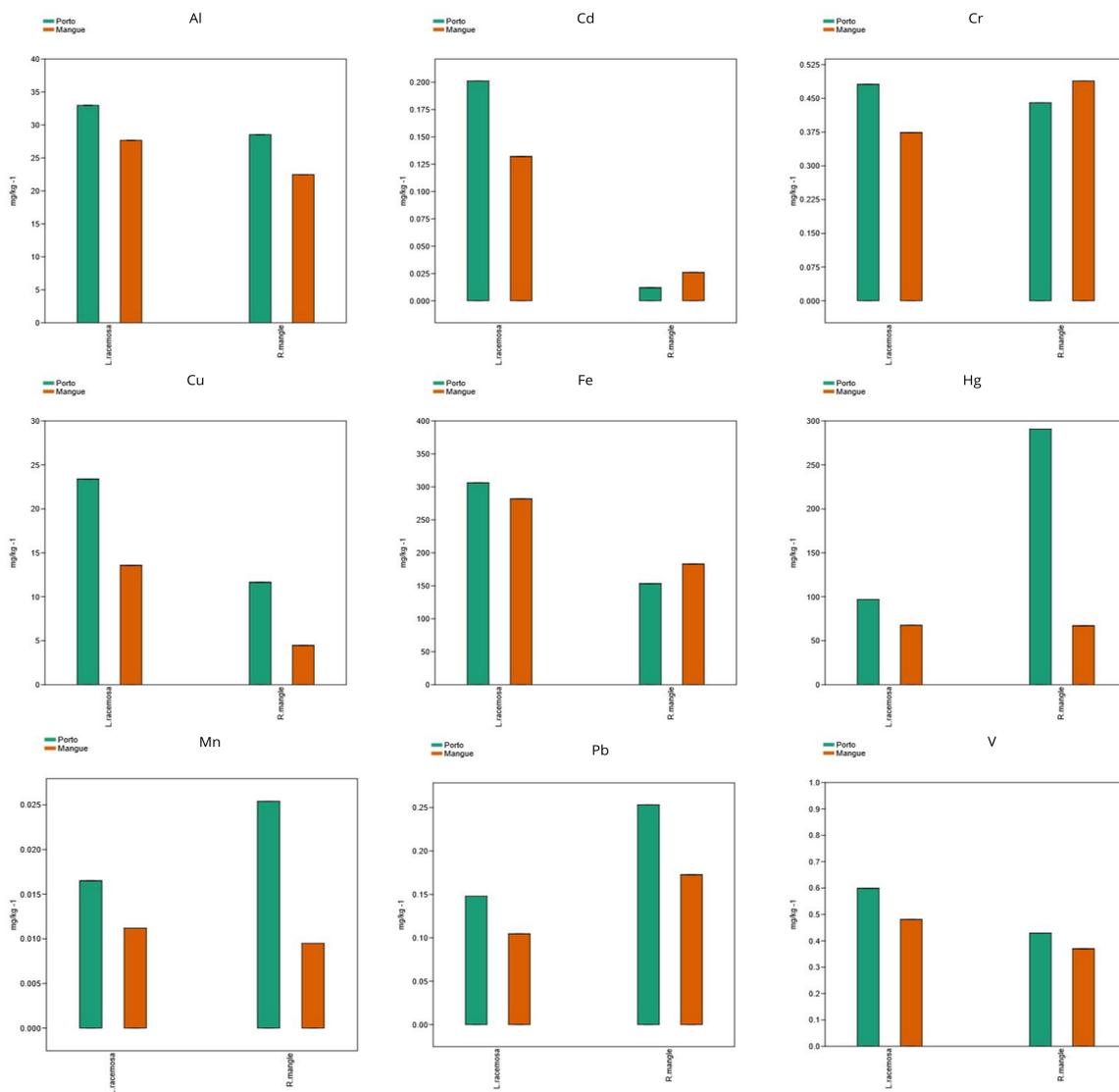


Figura 11 – Valores médios de Metais.
Fonte: Autor (2024).

A figura 10 apresenta um conjunto de nove gráficos de barras comparando a concentração

de diferentes metais pesados (Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb e V) entre os dois locais de estudo, comparado essas concentrações entre as duas espécies de mangue, *L. racemosa* e *R. mangle*. De maneira geral, a concentração dos metais pesados é significativamente maior no Porto do que no Mangue. Elementos como **Cd, Cu, Fe, Hg, Mn e Pb** são encontrados em concentrações muito superiores no Porto, sugerindo uma influência antrópica maior, possivelmente devido à presença de atividades portuárias, despejo de resíduos industriais ou contaminação vinda do tráfego marítimo. O Cromo (Cr) e o Vanádio (V) apresentam valores mais equilibrados entre os dois locais, indicando uma distribuição mais homogênea ou menor influência de fontes pontuais de contaminação. A distribuição dos metais pesados entre as espécies *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle* também apresenta padrões distintos. De forma geral, *L. racemosa* tende a acumular maiores quantidades de metais pesados do que *R. mangle* em ambos os locais. Esse padrão pode ser resultado de diferenças fisiológicas entre as espécies, como maior capacidade de absorção ou retenção de metais em suas estruturas. Metais como **Cd, Cu, Fe, Hg, Mn e Pb** apresentam concentrações visivelmente mais altas em *L. racemosa*. Isso pode indicar que essa espécie atua como um bioindicador mais sensível para a presença desses elementos, acumulando-os em maiores quantidades em suas folhas e tecidos. Por outro lado, *R. mangle* apresenta uma menor taxa de acúmulo, o que pode indicar mecanismos mais eficientes de exclusão ou tolerância aos metais.

Tabela 2 - Resultados para as proteínas indicadoras de estresse, detoxificação de metais e indicadores de dano celular

Ponto amostral	Espécie	Código	Metalotioneína	Glutationa	Peróxido de	Peroxidação	
			umol/mg	reduzida umol/mg	Hidrogênio umol/mg	lipídica umol/ mg	umol/ g.ptn
Porto do Itaqui	<i>L. racemosa</i>	JLP1	0,50	7,4	0,0078	0,0019	0,0068
		JLP2	0,45	6,9	0,0060	0,0024	0,0100
		JLP3	0,50	7,4	0,0060	0,0019	0,0093
	<i>R. mangle</i>	JRP1	0,67	11,2	0,0098	0,0011	-
		JRP2	0,78	10,0	0,0095	0,0014	0,0023
		JRP3	0,76	11,4	0,0104	0,0016	0,0025
Mangue Seco	<i>L. racemosa</i>	JLM1	0,66	7,2	0,0083	0,0016	0,0032
		JLM2	0,51	6,7	0,0110	0,0033	0,0096

	JLM3	0,63	8,7	0,0079	0,0024	0,0054
	JRM1	0,80	11,7	0,0101	0,0025	0,0042
R. mangle	JRM2	0,53	8,6	0,0097	0,0015	0,0026
	JRM3	0,73	10,4	0,0112	0,0012	0,0014

Fonte: autor

A análise dos dados obtidos sobre os níveis de metalotioneína, glutathiona reduzida, peróxido de hidrogênio, peroxidação lipídica por proteína nas amostras de *L. racemosa* e *R. mangle* coletadas em diferentes pontos de amostragem (Tabela 2), é particularmente importante para compreender como os estresses ambientais, como a poluição, podem afetar o metabolismo e o desenvolvimento dessas plantas fundamentais para os ecossistemas costeiros.

A metalotioneína é uma proteína chave na defesa contra metais pesados e estresse oxidativo (SERENO, 2004). No presente estudo, observou-se que *L. racemosa* apresentou valores médios de metalotioneína variando de 0,45 a 0,66 umol/mg, enquanto *R. mangle* demonstrou valores mais elevados, entre 0,67 e 0,78 umol/mg. Esses resultados podem sugerir que *R. mangle* tem uma maior capacidade de resposta a possíveis contaminações ambientais por metais pesados, o que é consistente com estudos que mostram a adaptabilidade dessa espécie em ambientes mais poluídos.

No contexto da pesquisa, o aumento de metalotioneínas indica uma maior bioacumulação de metais, destacando a capacidade dessas espécies de tolerar e responder aos sedimentos poluídos. Em relação à área controle, os níveis de metalotioneína não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre as mudas coletadas no Porto do Itaqui e no Mangue Seco, já que os valores de p foram superiores a 0,05. Por outro lado a glutathiona reduzida é outro marcador importante para o estresse oxidativo, pois protege as células contra os danos causados pelos radicais livres (JUNIOR, 2001).

Para *L. racemosa*, os níveis de glutathiona variaram de 6,7 a 8,7 umol/mg, enquanto para *R. mangle* os valores foram mais elevados, variando de 8,6 a 11,7 umol/mg. A maior concentração de glutathiona reduzida observada em *R. mangle* pode refletir uma maior capacidade antioxidante dessa espécie, o que é crucial para sua sobrevivência em ambientes com poluição elevada, como aqueles encontrados na área do Porto do Itaqui. Em relação à área controle, os níveis de glutathiona reduzida em *R. mangle* foram consistentemente mais elevados no Porto do Itaqui, indicando uma maior resposta antioxidante em ambientes contaminados. No entanto, como os valores de p foram superiores a 0,05, essa diferença

não foi estatisticamente significativa. Apesar disso, os dados sugerem uma tendência de que *R. mangle* pode ativar mecanismos antioxidantes em resposta à presença de metais pesados, enquanto no Mangue Seco os níveis de glutathione reduzida foram menores, possivelmente devido à menor exposição a poluentes.

O peróxido de hidrogênio (H_2O_2) é uma espécie reativa de oxigênio que atua como indicador de estresse oxidativo em plantas. Em concentrações elevadas, o H_2O_2 pode causar danos significativos às células vegetais, incluindo peroxidação de lipídios, oxidação de proteínas e degradação de ácidos nucleicos, comprometendo a integridade das membranas celulares e levando à morte celular (FERNANDES, 2013). Observou-se que os níveis de peróxido de hidrogênio nas amostras foram relativamente consistentes, com uma leve variação entre as espécies e os pontos amostrais. Por exemplo, *L. racemosa* apresentou valores que variaram de 0,0060 a 0,0083 $\mu\text{mol}/\text{mg}$, enquanto *R. mangle* variou de 0,0095 a 0,0104 $\mu\text{mol}/\text{mg}$. Esses valores indicam que o estresse oxidativo é mais intenso em *R. mangle*, especialmente nos pontos de amostragem em Porto do Itaqui. Na área controle (Mangue Seco), os níveis de peróxido de hidrogênio foram mais baixos em comparação com a área contaminada, indicando menor estresse oxidativo nas mudas cultivadas nesse ambiente. Isso mostra que as condições do Mangue Seco são mais estáveis e menos impactadas por poluentes, permitindo um desenvolvimento mais equilibrado das espécies estudadas. A menor presença de agentes estressores reduz a necessidade de ativação de mecanismos antioxidantes, refletindo uma menor acumulação de peróxido de hidrogênio nas amostras dessa área.

A peroxidação lipídica é um indicador de danos às membranas celulares devido ao estresse oxidativo (QUEIROZ, 2002). Os valores de peroxidação lipídica para ambas as espécies foram geralmente baixos tanto no Porto do Itaqui quanto na área controle (Mangue Seco). *Laguncularia racemosa* apresentou variação de 0,0016 a 0,0033 $\mu\text{mol}/\text{mg}$, enquanto *Rhizophora mangle* variou de 0,0011 a 0,0025 $\mu\text{mol}/\text{mg}$.

Comparando os locais, os níveis de peroxidação lipídica em *L. racemosa* foram ligeiramente mais elevados no Porto do Itaqui do que na área controle, sugerindo uma maior exposição ao estresse oxidativo em ambiente contaminado. Já para *R. mangle*, os valores foram menores e mais estáveis em ambos os locais, indicando uma maior resistência aos danos lipídicos. Essa menor variação pode estar associada à maior capacidade antioxidante dessa espécie, conforme evidenciado pelos níveis mais elevados de glutathione reduzida e metalotioneína.

De forma geral, os biomarcadores de estresse oxidativo apresentaram tendência de aumento no Porto do Itaqui em comparação com o Mangue Seco, reforçando a hipótese de que a contaminação ambiental impacta a fisiologia das plantas. No entanto, a magnitude desse impacto foi diferente entre as espécies: *L. racemosa* mostrou-se mais sensível, apresentando níveis mais altos de peroxidação lipídica e maior variação nos biomarcadores entre os locais.

Por outro lado, *R. mangle* demonstrou maior estabilidade, o que sugere que seus mecanismos antioxidantes são mais eficientes na proteção contra o estresse oxidativo causado pela poluição. Esses resultados indicam que o Porto do Itaqui, devido à presença de contaminantes, favorece a ativação de biomarcadores de estresse oxidativo, especialmente em *L. racemosa*. Os gráficos de boxplot da Figura 11 mostram a variação dos biomarcadores entre as espécies e os pontos amostrais, facilitando a visualização de tendências

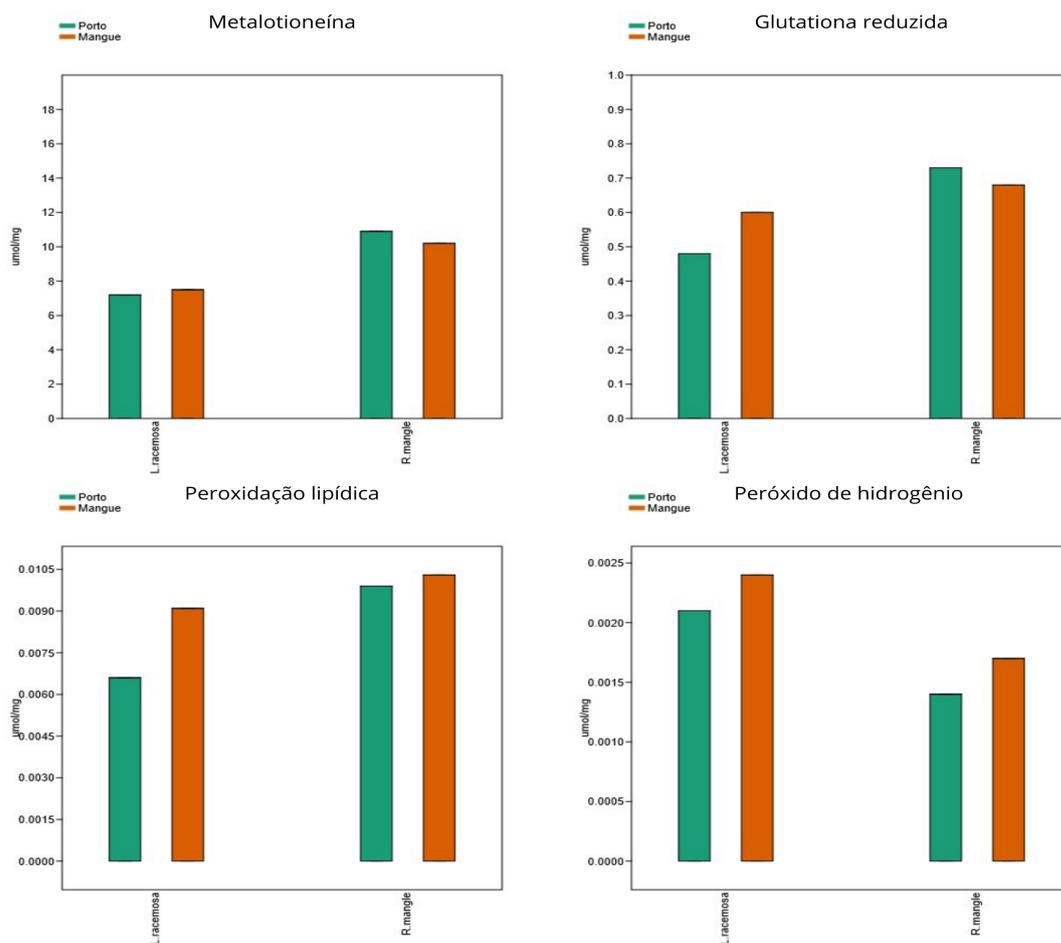


Figura 12 – Valores médios de proteínas indicadoras de estresse, destoxificação de metais e indicadores de dano celular.

Fonte: Autor (2024).

Observa-se a figura 11 que os níveis de metalotioneína, proteína associada à destoxificação de metais pesados, são mais elevados em *R. mangle* do que em *L. racemosa*, especialmente no Porto. Isso sugere que *R. mangle* ativa mecanismos de defesa contra metais pesados de maneira mais eficiente, refletindo um possível estresse ambiental maior nesse local. O Mangue apresenta valores mais baixos, condizentes com as menores concentrações de metais pesados nesse ambiente. A glutathiona reduzida, que atua na proteção contra danos oxidativos, tem níveis relativamente homogêneos entre as espécies e locais, mas com leve superioridade em *R. mangle*, indicando que essa espécie pode ter uma resposta antioxidante mais robusta em comparação com *L. racemosa*. Em relação aos indicadores de dano celular, a peroxidação lipídica e o peróxido de hidrogênio apresentam valores mais elevados no Porto, indicando maior estresse oxidativo e possível comprometimento da integridade celular devido à contaminação por metais pesados. As diferenças entre as espécies são menos acentuadas nesses biomarcadores, mas, ainda assim, *R. mangle* tende a apresentar menores níveis de danos celulares, reforçando sua maior tolerância ao ambiente contaminado. Os resultados mostram que *R. mangle* é mais resistente à contaminação, enquanto *L. racemosa* é mais sensível, apresentando maior estresse oxidativo no Porto do Itaqui. Isso indica que *R. mangle* pode ser priorizada na recuperação de áreas degradadas, enquanto *L. racemosa* pode ser mais vulnerável em ambientes poluídos. A tendência de aumento nos biomarcadores no Porto reforça a necessidade de monitoramento contínuo e controle da poluição industrial. Além disso, os biomarcadores analisados se mostraram úteis para avaliar a saúde dos manguezais e podem ser incorporados em programas de conservação e manejo. A compreensão das respostas das espécies à contaminação por metais pesados pode orientar estratégias de reabilitação e replantio em áreas degradadas, priorizando espécies que demonstram maior resiliência. Assim, a pesquisa contribui para o conhecimento sobre a ecologia das espécies de mangue e a necessidade de ações de conservação eficazes diante das pressões ambientais, especialmente em áreas afetadas por atividades industriais e urbanas.

Conclusões

O estudo analisou o desenvolvimento de mudas de *L. racemosa* e *R. mangle* em sedimentos de áreas poluídas da zona industrial-portuária de São Luís, comparando os

resultados com áreas de controle no Mangue Seco, Raposa, MA. Através da coleta de propágulos, análise do desenvolvimento das mudas e avaliação de parâmetros físico-químicos e biológicos da água e dos sedimentos, foi possível identificar os efeitos da contaminação por metais pesados e outros poluentes. Os resultados indicaram que *L. racemosa* foi mais sensível aos contaminantes presentes nas áreas portuárias, apresentando um crescimento reduzido tanto em altura quanto em diâmetro. Essa espécie demonstrou uma maior vulnerabilidade ao estresse ambiental causado por poluentes, evidenciando que a presença de metais pesados interfere na absorção de nutrientes e na capacidade fisiológica das plantas. Por outro lado, *R. mangle* apresentou maior resiliência em ambientes contaminados, com uma leve redução no crescimento em altura, mas mantendo uma maior estabilidade no diâmetro da base. A adaptação estrutural dessa espécie, caracterizada por seu sistema de raízes-escora, permitiu uma melhor tolerância às condições adversas impostas pela poluição, especialmente em relação à salinidade e à baixa oxigenação dos solos. As análises de componentes principais (PCA) e o teste não paramétrico reforçaram essas observações, mostrando que os níveis de metais pesados influenciam de forma significativa o desenvolvimento das mudas, especialmente em *L. racemosa*. Esses resultados são de grande importância para a compreensão dos impactos da poluição sobre os manguezais e fornecem subsídios para o manejo e conservação desses ecossistemas.

Portanto, conclui-se que a contaminação ambiental afeta de maneira significativa o crescimento das espécies estudadas, sendo *L. racemosa* mais sensível à presença de poluentes, enquanto *R. mangle* demonstra maior capacidade de adaptação. Esses achados são essenciais para o desenvolvimento de estratégias de reabilitação de áreas de manguezais degradadas, visando à sustentabilidade ecológica e à conservação da biodiversidade costeira.

Referências

ALONGI, D. M. (2015). **Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change.** *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 157, 34-47.

ARAÚJO, D. A. et al. (2021). **Eutrophication and its effects on mangrove ecosystems.** *Environmental Science and Pollution Research*, 28(3), 349-365.

BARROS, A. A. et al. (2020). **Effects of pollution on mangrove ecosystems in São Luís, Maranhão, Brazil.** *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111490.

CELERI, M. J.; MENDES, L. E. T.; LIMA, R. M. B. F.; VASCONCELOS, T. R. A cidade, o mangue e os resíduos sólidos: estudo de caso do Manguezal Vinhais, São Luís –

MA/ The city, the mangue and the solid waste: The Vinhais Mangrove case in the city of São Luís -MA. **Geografia em Atos**, Presidente Prudente, v. 3, n. 10, p. 163–186, 2019.

DE FREITAS FERNANDES, C. et al. **Estresse oxidativo e o mecanismo de defesa de plantas contra patógenos**. Embrapa Rondônia, p. 11, 2013.

FORTUNATO, J. M.; HYPOLITO, R.; MOURA, C. L.; NASCIMENTO, S. C. Caracterização da contaminação por metais pesados em área de manguezal, município de Santos (SP). **Revista do Instituto Geológico**, v. 33, n. 1, p. 57-69, 2012.

JÚNIOR, L. R.; NELCI FENALTI HÖEHR ADRIANA PAULA VELLASCO LAURO TATSUO KUBOTA. **Sistema antioxidante envolvendo o ciclo metabólico da glutatona associado a métodos eletroanalíticos na avaliação do estresse oxidativo**. Química Nova Vol. 24, No. 1, p. 112–119, fev. 2001.

KAVITHA, K.; VENKATARAMAN, G.; PARIDA, A. Na oxidative and salinity stress induced peroxisomal ascorbate peroxidase from *Avicennia marina*: molecular and functional characterization. **ScienceDirect**, Índia, v. 46, p. 798-804, 2008.

LACERDA, L. D. et al. (2020). **Mangrove restoration and conservation in Brazil: trends and challenges**. Marine and Freshwater Research, 71(7), 1132-1140.

LORENZI, Harri, **Árvores brasileiras, v1: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. 8. ed . v. 1. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 384 p.

MACHADO, D. C. et al. (2019). **Mercury contamination in mangrove ecosystems: Bioaccumulation and effects on mangrove species**. Environmental Pollution, 245, 50-59.

MITSCH, W. J., & GOSSELINK, J. G. (2015). **Wetlands**. John Wiley & Sons.

MOCHEL, F. R.; BEZERRA, D. S.; ZANANDREA, I.; MARTINS, J. C. S. **CONCEITOS, PRINCÍPIOS E PRÁTICAS PARA RESTAURAÇÃO DE MANGUEZAIS A PARTIR DE ECOSSISTEMAS RECUPERADOS**.

MOCHEL, Flávia Rebelo. **Manguezais amazônicos: status para a conservação e a sustentabilidade na zona costeira maranhense**. Amazônia maranhense: diversidade e conservação. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2011.

OLIVEIRA, M. M. et al. (2018). **Restoration of mangrove ecosystems in Bahia, Brazil: Strategies for reforestation and environmental management**. Wetlands Ecology and Management, 26(5), 749-762.

QUEIROZ, C. G. S.; GARCIA, Q. S.; LEMOS FILHO, J. P. **Atividade fotossintética e peroxidação de lipídios de membrana em plantas de aroeira-do-sertão sob estresse hídrico e após reidratação**. Brazilian Journal of Plant Physiology, v. 14, n. 1, p. 59–63, 2002.

SANTOS, C. P. et al. (2021). **Adaptation of mangrove species to polluted environments**. Ecological Engineering, 157, 105911.

SANTOS, M. C. F. V. **Considerações sobre a ocorrência de *Rhizophora harrisonii* Leechman e *Rhizophora racemosa* G.F.W. Meyer, no litoral do Estado do Maranhão, Brasil.** Boletim do Laboratório de Hidrobiologia, São Luís, n. 7, p. 71-91. 1986.

Sereno, Maria Lorena. **Caracterização E Análise De Expressão Dos Genes De Metalotioneínas Dos Tipos 1, 2 E 3 De Cana-de-açúcar (*Saccharum Spp.*) Sob Condições De Estresse.** 2009.

SILVA, Quésia Duarte da. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão.** 2012. 248 p. Tese (Doutorado em Dinâmica e Gestão Ambiental) - Faculdade de Geografia, Universidade Estadual Paulista, 2012.

VIEIRA, P. M. et al. (2019). Bioremediation techniques for restoring mangrove ecosystems affected by oil pollution. *Environmental Pollution*, 255, 113221.

REFERÊNCIAS GERAIS

ALONGI, D. M. (2015). **Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change.** *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 157, 34-47.

ARAÚJO, D. A. et al. (2021). **Eutrophication and its effects on mangrove ecosystems.** *Environmental Science and Pollution Research*, 28(3), 349-365.

BARROS, A. A. et al. (2020). **Effects of pollution on mangrove ecosystems in São Luís, Maranhão, Brazil.** *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111490.

CELERI, M. J.; MENDES, L. E. T.; LIMA, R. M. B. F.; VASCONCELOS, T. R. A cidade, o mangue e os resíduos sólidos: estudo de caso do Manguezal Vinhais, São Luís – MA/ The city, the mangue and the solid waste: The Vinhais Mangrove case in the city of São Luís -MA. **Geografia em Atos**, Presidente Prudente, v. 3, n. 10, p. 163–186, 2019.

DE FREITAS FERNANDES, C. et al. **Estresse oxidativo e o mecanismo de defesa de plantas contra patógenos.** Embrapa Rondônia, p. 11, 2013.

FORTUNATO, J. M.; HYPOLITO, R.; MOURA, C. L.; NASCIMENTO, S. C. Caracterização da contaminação por metais pesados em área de manguezal, município de Santos (SP). **Revista do Instituto Geológico**, v. 33, n. 1, p. 57-69, 2012.

JÚNIOR, L. R.; NELCI FENALTI HÖEHR ADRIANA PAULA VELLASCO LAURO TATSUO KUBOTA. **Sistema antioxidante envolvendo o ciclo metabólico da glutatona associado a métodos eletroanalíticos na avaliação do estresse oxidativo.** Química Nova Vol. 24, No. 1, p. 112–119, fev. 2001.

KAVITHA, K.; VENKATARAMAN, G.; PARIDA, A. Na oxidative and salinity stress induced peroxisomal ascorbate peroxidase from *Avicennia marina*: molecular and functional characterization. **ScienceDirect**, Índia, v. 46, p. 798-804, 2008.

LACERDA, L. D. et al. (2020). **Mangrove restoration and conservation in Brazil: trends and challenges.** Marine and Freshwater Research, 71(7), 1132-1140.

LORENZI, Harri, **Árvores brasileiras, v1: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil.** 8. ed . v. 1. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2008. 384 p.

MACHADO, D. C. et al. (2019). **Mercury contamination in mangrove ecosystems: Bioaccumulation and effects on mangrove species.** Environmental Pollution, 245, 50-59.

MITSCH, W. J., & GOSSELINK, J. G. (2015). **Wetlands.** John Wiley & Sons.

MOCHEL, F. R.; BEZERRA, D. S.; ZANANDREA, I.; MARTINS, J. C. S. **CONCEITOS, PRINCÍPIOS E PRÁTICAS PARA RESTAURAÇÃO DE MANGUEZAIS A PARTIR DE ECOSSISTEMAS RECUPERADOS.**

MOCHEL, Flávia Rebelo. **Manguezais amazônicos: status para a conservação e a sustentabilidade na zona costeira maranhense.** Amazônia maranhense: diversidade e conservação. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2011.

OLIVEIRA, M. M. et al. (2018). **Restoration of mangrove ecosystems in Bahia, Brazil: Strategies for reforestation and environmental management.** Wetlands Ecology and Management, 26(5), 749-762.

QUEIROZ, C. G. S.; GARCIA, Q. S.; LEMOS FILHO, J. P. **Atividade fotossintética e peroxidação de lipídios de membrana em plantas de aroeira-do-sertão sob estresse**

hídrico e após reidratação. Brazilian Journal of Plant Physiology, v. 14, n. 1, p. 59–63, 2002.

SANTOS, C. P. et al. (2021). **Adaptation of mangrove species to polluted environments.** Ecological Engineering, 157, 105911.

SANTOS, M. C. F. V. **Considerações sobre a ocorrência de Rhizophora harrisonii Leechman e Rhizophora racemosa G.F.W. Meyer, no litoral do Estado do Maranhão, Brasil.** Boletim do Laboratório de Hidrobiologia, São Luís, n. 7, p. 71-91. 1986.

Sereno, Maria Lorena. **Caracterização E Análise De Expressão Dos Genes De Metalotioneínas Dos Tipos 1, 2 E 3 De Cana-de-açúcar (Saccharum Spp.) Sob Condições De Estresse.** 2009.

SILVA, Quésia Duarte da. **Mapeamento geomorfológico da Ilha do Maranhão.** 2012. 248 p. Tese (Doutorado em Dinâmica e Gestão Ambiental) - Faculdade de Geografia, Universidade Estadual Paulista, 2012.

VIEIRA, P. M. et al. (2019). **Bioremediation techniques for restoring mangrove ecosystems affected by oil pollution.** Environmental Pollution, 255, 113221.

ANEXO (Normas da revista escolhida)

Condições para submissão

Como parte do processo de submissão, os autores são obrigados a verificar a conformidade da submissão em relação a todos os itens listados a seguir. As submissões que não estiverem de acordo com as normas serão devolvidas aos autores.

A contribuição é original e inédita, e não está sendo avaliada para publicação por outra revista; caso contrário, deve-se justificar em "Comentários ao Editor".

Os arquivos para submissão estão em formato Microsoft Word, OpenOffice ou RTF (desde que não ultrapassem 2MB)

URLs para as referências foram informadas quando necessário.

O texto está em espaço simples; usa uma fonte de 12-pontos; emprega itálico em vez de

sublinhado (exceto em endereços URL); as figuras e tabelas estão inseridas no texto, não no final do documento, como anexos.

O texto segue os padrões de estilo e requisitos bibliográficos descritos em Diretrizes para Autores, na seção Sobre a Revista.

A identificação de autoria do trabalho foi removida do arquivo e da opção Propriedades no Word, garantindo desta forma o critério de sigilo da revista, caso submetido para avaliação por pares (ex.: artigos), conforme instruções disponíveis em Assegurando a Avaliação Cega por Pares.

Diretrizes para Autores

O Caderno Prudentino de Geografia (CPG) receberá artigos que se enquadraram nas seguintes diretrizes:

Os artigos devem ser submetidos exclusivamente pelo site da Revista.

Os artigos deverão ser originais e inéditos.

Os trabalhos recebidos serão submetidos à apreciação do Conselho Editorial e avaliadores, que irão emitir pareceres sobre o artigo.

Os trabalhos aceitos poderão ser publicados no número imediatamente seguinte do CPG ou em números posteriores, conforme decisão da Comissão Editorial.

O arquivo submetido não deverá apresentar identificação dos autores para permitir um processo de avaliação imparcial. As informações sobre o(s) autor(es), sua filiação institucional e/ou trajetória acadêmica, endereço eletrônico e endereço postal, entre outras, deverão ser inseridas no próprio sistema da Revista durante o processo de submissão nos campos específicos para isso.

O CPG aceita artigos, notas e resenhas para publicação.

Todos(as) os(as) autores(as) que submeterem seus manuscritos para o CPG deverão ter seu cadastro atualizado com informações pessoais (nome, contato, endereço postal e endereço de e-mail) e as informações institucionais.

IMPORTANTE: Não cobramos nenhuma taxa, seja para submissão ou publicação.

Os textos submetidos à revista obrigatoriamente devem seguir as orientações abaixo quanto à normalização e formatação:

- Os artigos devem ter extensão mínima de 15 e máxima de 25 laudas, incluindo tabelas, gráficos, figuras e referências bibliográficas. As notas e resenhas devem ter mínimo de 3 e máximo 7 páginas.

- Os textos devem ser digitados em Word, no formato .doc, configurados para impressão em papel A4, com 3 cm de margens (superior, inferior, direita e esquerda) e páginas não numeradas. Escritos com fonte Garamond tamanho 12, com espaçamento entrelinhas de 1,5cm, corpo do texto justificado e recuo especial de 1,5cm nas primeiras linhas de cada parágrafo.

- Na primeira página do artigo deverá constar o título do trabalho, em português, com fonte tamanho 13, negrito, centralizados e espaçamento entrelinhas simples e com letra maiúscula. Seguido do resumo do trabalho em português, em parágrafo único com mínimo de 10 e máximo de 15 linhas, tamanho da fonte 11, justificado, com espaçamento simples. Seguido de palavras-chaves, (mínimo de 3 e máximo de 5) separadas do resumo por um espaço em branco e separadas entre si por ponto e vírgula.

Subsequente, devem seguir os títulos traduzidos, seguidos de seus respectivas traduções de resumos e palavras-chaves sob as mesmas normativas supracitadas.

- As citações diretas com mais de três linhas deverão ter fonte tamanho 11, justificadas, em espaçamento simples, com recuo esquerdo de 4cm, separadas do restante do texto por uma linha em branco acima e abaixo.

- Notas de rodapé deverão ser evitadas ao máximo, porém, quando imprescindíveis, deverão possuir a fonte do texto e com tamanho 10, estarem justificadas, com espaçamento simples entrelinhas.

- Palavras ou frases grifadas deverão ser evitadas, porém, quando imprescindíveis, ou indicarem palavras em língua estrangeira, deverão ser apresentadas em itálico.

- Tabelas, gráficos e quadros devem ser elaborados em Excel, no formato .xls, e enviados também em arquivos separados, além de estarem inseridos no corpo do texto, que deverão ser apresentadas com formatação centralizada.

- Figuras, fotos e mapas devem ser elaborados em formato .jpeg ou .tiff (não comprimido), com resolução mínima de 300dpi e dimensões máximas 20 cm de altura e 13 cm de largura. As ilustrações também deverão ser enviadas separadamente, além de serem inseridas no corpo do texto com formatação centralizada.

- As citações, títulos das tabelas, gráficos, quadros, figuras, fotos e mapas deverão seguir a normalização vigente da ABNT.

- As referências bibliográficas devem ser completas e precisas, segundo normalização da ABNT, alinhadas em forma justificada, com espaçamento simples entre linhas e inferior de 12 pts.

- É obrigatório que os textos sejam redigidos em documento com o layout adotado pela revista. Arquivo modelo disponível em: <https://drive.google.com/open?id=12XPtmYXatM4XbZVA4f0fGCODu0Rzmt6D>

Obs.: Serão aceitos no máximo três autores(as) por texto, sendo excepcionalmente aceitos mais autores(as), quando houver justificativa plausível, a ser analisada pelo Conselho Editorial. Ressalta-se que tanto os autores, quanto os co-autores devem participar de todas as fases de produção do artigo. Nos artigos com mais de um autor (a), é obrigatória a submissão da declaração de contribuição individual a ser anexada no campo "Documentos Complementares".

Ademais serão aceitos, no período de um ano, no máximo um texto como autor principal e um como co-autor.

Síntese da formatação

ITEM PARA SER FORMATADO

ARTIGOS

NOTAS E RESENHAS

TÍTULO

Fonte

- Gramond, tamanho 13

- Negrito

- Centralizado

- Espaçamento entrelinhas simples

- Letra maiúscula

Traduções

- Inglês

- Terceira língua (espanhol ou francês)

dispensa

RESUMO

Extensão mínima

- 10 linhas

dispensa

Extensão máxima

- 15 linhas

Fonte

- Garamand, tamanho 11

- Justificado

- Espaçamento entrelinhas simples

Palavras-chave

- Entre 3 e 5 palavras-chave separadas por ponto e vírgula

CORPO DO TEXTO

Extensão mínima

- 15 páginas

- 3 páginas

Extensão máxima

- 25 páginas

- 7 páginas

Fonte

- Garamond, tamanho 12

- Justificado

- Espaçamento entrelinhas de 1,5 cm

- Recuo de parágrafo de 1,5 cm nas primeiras linhas

Margens

- 3 cm (esquerda, direita, inferior e superior)

Citações

- Garamond, tamanho 11

- Justificadas

- Espaçamento entrelinhas simples
- Recuo no parágrafo inteiro de 4 cm
- Referência de acordo com as normas vigentes da ABNT

Nota de rodapé

- Usar o mínimo possível de notas de rodapé
- Numerar de forma sequencial
- Garamond, tamanho 10
- Justificadas
- Espaçamento entrelinhas simples

ILUSTRAÇÕES

Tabelas

- Formato .xls, .jpeg ou .tiff
- Centralizadas no corpo do texto
- Também enviar separadamente pela plataforma como Documento Suplementar
- Títulos e referências de acordo com as normas vigentes da ABNT

Figuras

Mapas

Gráficos

Fotos

CITAÇÕES E REFERÊNCIAS

Seguir normas vigentes da ABNT

Declaração de Direito Autoral

1- Autores mantêm os direitos autorais e concedem ao Caderno Prudentino de Geografia o direito de primeira publicação, que permite o compartilhamento do trabalho com reconhecimento da autoria do trabalho e publicação inicial nesta revista.

2- As provas finais não serão enviadas aos autores.

3- Os trabalhos publicados passam a ser incorporados a Revista, ficando sua impressão e reimpressão, total ou parcial, autorizadas pelo autor. A utilização do texto é livre e incentivada a sua circulação, devendo ser apenas consignada a fonte de publicação original.

4- Os originais não serão devolvidos aos autores.

5- As opiniões emitidas pelos autores dos artigos são de sua exclusiva responsabilidade.

6- Os autores são responsáveis pela correção gramatical-ortográfica final dos textos.

Política de Privacidade

Os nomes e endereços informados nesta revista serão usados exclusivamente para os serviços prestados por esta publicação, não sendo disponibilizados para outras finalidades ou a terceiros.

TÍTULO

Resumo

xxxxxxxxxxxxxxxxresumo

Palavras-chaves: Bioma; Pesquisas; Qualidade; Recursos hídricos.

TITULO INGLÊS

Abstract

xxxxxingles

Key words: Biome; Research; Quality; Water Resources.

TÍTULO ESPANHOL

Resumen

xxxxespanhol

Palabras-clave: Bioma; Investigaciones; Calidad; Recursos hídricos.

Introdução

Material e Método

XX

Resultados e Discussões

XX

Conclusões

XX

Referências

GONÇALVES, C.W.P. Os (des)caminhos do meio ambiente. São Paulo: Contexto, 1998.

COSTA, P.C. Ecoturismo. São Paulo: Aleph: - (Coleção ABC do turismo), 2002.

LACOSTE, Yves. A geografia: isso serve, em primeiro lugar, para fazer a guerra. Trad. Maria Cecília França. Campinas: Papirus, 1988.

CARLOS, Ana Fani Alessandri. A cidade. Editora Contexto, 1992.

CARLOS, Ana Fani Alessandri. A cidade e a organização do espaço. Revista do Departamento de Geografia, v. 1, p. 105-111, 1982.