

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO  
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA E LIMNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E  
MEIO AMBIENTE - PRODEMA /UFMA**

**ANA MAISY DE MIRANDA CASTRO**

**PLANTAS DE MANGUE *Laguncularia racemosa* (L.) C.F.Gaertn.,  
*Avicennia germinans* Stapf & Leechman e *Rhizophora mangle* L.  
COMO BIOINDICADORAS DE CONTAMINAÇÃO POR  
POLUENTES: CARACTERIZAÇÕES ECOFISIOLÓGICAS E  
ECOTOXICOLÓGICAS EM MANGUEZAIS DA ÁREA  
PORTUÁRIA DO ITAQUI, MARANHÃO**

São Luís – MA  
2024

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E  
MEIO AMBIENTE – PRODEMA /UFMA**

**PLANTAS DE MANGUE *Laguncularia racemosa* (L.)  
C.F.Gaertn., *Avicennia germinans* Stapf & Leechman e *Rhizophora  
mangle* L. COMO BIOINDICADORAS DE CONTAMINAÇÃO POR  
POLUENTES: CARACTERIZAÇÕES ECOFISIOLÓGICAS E  
ECOTOXICOLÓGICAS EM MANGUEZAIS DA ÁREA  
PORTUÁRIA DO ITAQUI, MARANHÃO**

Documento de dissertação  
apresentado ao Programa de  
Pós-Graduação em  
Desenvolvimento e Meio  
Ambiente (PRODEMA) da  
Universidade Federal do  
Maranhão como requisito para  
obtenção do Título de Mestre.

**Orientador(a):** Prof.(a) Dr.(a)  
Flávia Rebelo Mochel

**Coorientador(a):** Dra. Samara  
Aranha Eschrique

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

De Miranda Castro, Ana Maisy.

PLANTAS DE MANGUE *Laguncularia racemosa* L.  
C.F.Gaertn., *Avicennia germinans* Stapf Leechman e  
*Rhizophora mangle* L. COMO BIOINDICADORAS DE CONTAMINAÇÃO  
POR POLUENTES: CARACTERIZAÇÕES ECOFISIOLÓGICAS E  
ECOTOXICOLÓGICAS EM MANGUEZAIS DA ÁREA PORTUÁRIA DO  
ITAQUI, MARANHÃO / Ana Maisy De Miranda Castro. - 2024.  
95 f.

Coorientador(a): Samara Aranha Eschrique.

Orientador(a): Flávia REBELO MOCHEL.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em  
Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do  
Maranhão, CCBS/DEOLE PRODEMA UFMA, 2024.

1. Impactos ambientais. 2. Manguezal. 3. Poluentes.  
4. Portos. I. Aranha Eschrique, Samara. II. REBELO  
MOCHEL, Flávia. III. Título.

**ANA MAISY DE MIRANDA CASTRO**

**PLANTAS DE MANGUE *Laguncularia racemosa* (L.)  
C.F.Gaertn., *Avicennia germinans* Stapf & Leechman e *Rhizophora  
mangle* L. COMO BIOINDICADORAS DE CONTAMINAÇÃO POR  
POLUENTES: CARACTERIZAÇÕES ECOFISIOLÓGICAS E  
ECOTOXICOLÓGICAS EM MANGUEZAIS DA ÁREA  
PORTUÁRIA DO ITAQUI, MARANHÃO**

Documento de dissertação apresentado ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Desenvolvimento e Meio Ambiente  
(PRODEMA) da Universidade Federal do  
Maranhão como requisito para obtenção do  
Título de Mestre.

Aprovada em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Flávia Rebelo Mochel (Orientadora)  
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)

---

Profa. Dra. Ilisandra Zanandrea  
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)  
1ª Examinador

---

Prof. Dr. Denilson da Silva Bezerra  
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)  
2ª Examinador

---

Profa. Dra. Cláudia Quintino da Rocha  
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)  
Suplente

*“Você nunca sabe que resultados virão da sua ação.  
Mas se você não fizer nada, não existirão”.*

*Mahatma Gandhi*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à providência divina que me trouxe até aqui, fazendo-me superar cada obstáculo e escrever uma nova página da minha vida.

Agradeço profundamente aos meus pais, os maiores incentivadores do meu progresso moral e profissional.

Às minhas irmãs, por todo apoio e conforto nas horas mais difíceis.

À minha filha e à minha neta, por serem minha maior força motriz para um futuro de maiores realizações.

Agradeço à amiga Dailme que me ajudou a ingressar nessa jornada

Agradeço à Profa. Flávia Rebelo Mochel pela orientação e realização deste trabalho.

A FAPEMA e a EMAP pelo financiamento através da bolsa de estudo.

A UFMA, a CAPES e ao PRODEMA pela oportunidade do desenvolvimento desta pesquisa, em apoio à ciência.

Agradeço também ao DEOLI e a toda sua equipe de laboratórios envolvidos (LAMA/CERMANGUE, LEOG e LABICICLOS)

Agradeço aos professores, à coordenação, departamento, servidores e, em especial, ao amigo Getúlio Morais Júnior por me auxiliar com dedicação em todas as atividades de campo, fundamentais para os resultados deste trabalho.

Aos demais laboratórios parceiros, LAFAV e LQPN essenciais à pesquisa

Agradeço aos colegas de turma por todo carinho, parceria e amizade que pretendo carregar comigo pelos caminhos que a vida me conduzir.

## RESUMO

As plantas de mangue desenvolveram sistemas antioxidantes eficientes para se protegerem dos estresses causados pelos mais diversos poluentes. Estudos como esse podem propiciar o entendimento de alguns processos adaptativos das plantas de mangue frente à poluição, responsáveis por conferirem aos manguezais a capacidade de sobreviver em áreas poluídas. A pesquisa avaliou a contaminação ambiental por poluentes detectáveis no perfil fitoquímico e as associações com biomarcadores de estresse no processo adaptativo de *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn (família Combretaceae), *Avicennia germinans* Stapf & Leechman e *Rhizophora mangle* L. (família Rhizophoraceae) e identificou as respostas bioquímicas, morfológicas e anatômicas destas espécies na área portuária do Itaqui. As áreas de estudo foram o Porto do Itaqui (área considerada impactada), situada no município de São Luís/MA (latitude 02°34'S - 02°36'S e 44°21'W - 44°24W) e a área controle: Mangue Seco, município da Raposa, MA, (2°27'06.86" e 2°27'21.81" S e 44°09'20.33" e 44°09'45.76"W). Os pontos de coleta das amostras foram georeferenciados com auxílio de GPS *Garmim*. O sedimento da área controle indicou predominância de silte grosso e pobremente selecionadas, enquanto as análises da amostra de sedimento do Porto apresentaram 76,31% de silte médio, indicando sedimento mais lamoso, pobremente selecionado. O teor de matéria orgânica no sedimento foi mais elevado no Porto (10,78%) do que nos pontos controle (1,5% e 2,8%). Análises de água apresentaram diferenças significativas nos índices de TSS, M.O, Turbidez e O.D. O perfil fitoquímico revelou alterações significativas em as espécies do porto e do controle. Nas amostras do porto, foi observado em *R. mangle* presença de substâncias de média polaridade. As folhas verdes de *A. germinans* apresentaram maior concentração de compostos polares, assim como em *L. racemosa*. Nesta, as folhas senescentes apresentaram maiores diferenças quanto a quantidade de composto polares e não foi vista a produção de taninos. O Teor de Clorofila a, b e total evidenciaram que o manguezal da área portuária apresenta-se significativamente eutrofizado em relação ao manguezal do controle e altos teores de clorofila nas folhas podem ser utilizados como um importante indicador para locais poluídos.

**Palavras-chaves:** clorofila, perfil fitoquímico, manguezal, poluição.

## ABSTRACT

Mangrove plants have developed efficient antioxidant systems to protect themselves from stress caused by the most diverse pollutants. Studies like this can provide an understanding of some adaptive processes of mangrove plants in the face of pollution, responsible for giving mangroves the ability to survive in polluted areas. The research evaluated environmental contamination by pollutants detectable in the phytochemical profile and associations with stress biomarkers in the adaptive process of *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn (family Combretaceae), *Avicennia germinans* Stapf & Leechman and *Rhizophora mangle* L. (family Rhizophoraceae) and identified the biochemical, morphological and anatomical responses of these species in the Itaqui port area. The study areas were Porto do Itaqui (area considered impacted), located in the municipality of São Luís/MA (latitude 02°34'S - 02°36'S and 44°21'W - 44°24'W) and the control area: Mangue Seco, municipality of Raposa, MA, (2°27'06.86" and 2°27'21.81" S and 44°09'20.33" and 44°09'45.76"W). The sample collection points were georeferenced with the aid of Garmim GPS. The sediment from the control area indicated a predominance of coarse, poorly selected silt, while analyzes of the Porto sediment sample showed 76.31% of medium silt, indicating muddy, poorly selected sediment. The organic matter content in the sediment was higher in Porto (10.78%) than in the control points (1.5% and 2.8%). Water analyzes showed significant differences in TSS, M.O, Turbidity and O.D. The phytochemical profile revealed significant changes in the port and control species. In samples from the port, the presence of medium polarity substances was observed in *R. mangle*. The green leaves of *A. germinans* showed a higher concentration of polar compounds, as in *L. racemosa*. In this case, the senescent leaves showed greater differences in terms of the amount of polar compounds and the production of tannins was not seen. Chlorophyll content a, b and total showed that the mangrove in the port area is significantly eutrophicated in relation to the control mangrove and high levels of chlorophyll in the leaves can be used as an important indicator for polluted sites.

**Keywords:** chlorophyll, phytochemical profile, mangrove, pollution.



## SUMÁRIO

|  |    |
|--|----|
| I. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....  | 13 |
| II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....   | 13 |
| III. CAPÍTULO I - Submetido Revista <i>GEOgraphia</i> , Qualis A1 .....  | 16 |
| O potencial das folhas de mangue <i>Laguncularia racemosa</i> como bioindicadoras de poluição em área portuária .....  | 16 |
| RESUMO .....   | 16 |
| 1. INTRODUÇÃO .....  | 17 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS .....  | 19 |
| 2.1 Área de estudo .....   | 19 |
| Área Portuária do Itaqui - Área 1.....   | 19 |
| Área Controle, Mangue Seco, Município de Raposa - Área 2 .....   | 20 |
| 2.2 Métodos de amostragem e Análises do material coletado .....  | 20 |
| 2.2.1 Coleta e análises de folhas de mangue <i>Laguncularia racemosa</i> .....   | 20 |
| 2.2.2 Análises da água estuarina.....  | 21 |
| 2.2.3 Análises granulométricas e teor de matéria orgânica do sedimento do manguezal .....  | 22 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....  | 23 |
| 3.1 Indicadores de poluição da área portuária .....  | 23 |
| 3.2. Teor de clorofila das folhas de <i>L. racemosa</i> como bioindicador de poluição em área portuária .....  | 24 |
| 4. CONCLUSÕES .....  | 29 |
| 5. AGRADECIMENTOS.....   | 30 |
| 6. DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSE.....  | 30 |
| 7. REFERÊNCIAS.....  | 30 |
| CAPÍTULO I - CONTINUAÇÃO (Não publicado) - O POTENCIAL DAS FOLHAS DE MANGUE <i>RHIZOPHORA MANGLE</i> L , <i>AVICENNIA GERMINANS</i> STAPF & LEECHMAN COMO BIOINDICADORAS DE POLUIÇÃO EM ÁREAS PORTUÁRIAS. .... | 41 |
| RESUMO .....   | 41 |
| ABSTRACT.....  | 41 |
| 1. INTRODUÇÃO .....  | 41 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS .....  | 45 |
| 2.1 Áreas de Estudo.....   | 45 |

|  |    |
|--|----|
| 2.2 Metodologia.....   | 45 |
| Cálculos utilizados:.....  | 46 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....  | 47 |
| 3.1 Clorofila das Folhas.....  | 47 |
| 3.2 Resultados estatísticos para os índices de clorofila a, b e total obtidos<br>através do Clorofilog nas condições de folhas verdes (de sol e de sombra) e<br>folhas senescentes: .....  | 51 |
| Para <i>Avicennia germinans</i> .....  | 51 |
| Análise de Componente Principal (PCA) .....  | 51 |
| Análise de Variância .....   | 54 |
| Para <i>Rhizophora mangle</i> .....  | 54 |
| 3.3 Resultados comparativos das análises de água.....  | 61 |
| 3.4 Resultados das Análises de Sedimento.....  | 65 |
| 4. CONCLUSÃO .....   | 66 |
| REFERÊNCIAS.....   | 66 |
| IV. CAPÍTULO II - Caracterização ecofisiológica e ecotoxicológica de plantas de<br>mangue <i>Laguncularia racemosa</i> (L.) C.F.Gaertn., <i>Avicennia germinans</i> Stapf &<br>Leechman e <i>Rhizophora mangle</i> L. como bioindicadoras de contaminação por<br>poluentes na área portuária do Itaqui, Maranhão. .... | 68 |
| 1. INTRODUÇÃO .....  | 68 |
| 2. MATERIAL E MÉTODOS .....  | 71 |
| 2.1 Metodologia.....   | 71 |
| Atividades de Campo e Obtenção das Amostras .....  | 71 |
| PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS: .....   | 74 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....  | 75 |
| 3.1 Resultados da Germinação dos Propágulos.....   | 76 |
| 3.2 Resultado do Perfil Cromatográfico dos Extratos .....  | 76 |
| 3.3 Resultados morfoanatômicos das folhas e propágulos .....   | 79 |
| 4. CONCLUSÃO .....   | 86 |
| REFERÊNCIAS.....   | 87 |
| ANEXOS .....   | 92 |

## LISTA DE FIGURAS

### **CAPÍTULO I:**

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 1 - Área de Estudo 1: Porto de Itaqui.....   | 35 |
| FIGURA 2 - Área de Estudo 2: Mangue Seco/Raposa.....  | 35 |
| FIGURA 3: Resultado da Análise de variância - ANOVA para o índice de clorofila a, clorofila b e clorofila total (sombra, sol e senescência) para <i>L. racemosa</i> .....                     | 37 |
| FIGURA 4: Resultado da Análise de Componente Principal (PCA) da produção de clorofila por tipo (a, b e total) em condição (sol, sombra e senescência) para a espécie <i>L. racemosa</i> ..... | 38 |
| FIGURA 5: Resultado da Técnica de ordenação não métrica NMDS quanto à produção de clorofila a, b e total para <i>Laguncularia racemosa</i> .....  | 38 |

### **CAPÍTULO II:**

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 1: Esquema representativo da Cromatografia de camada delgada.....  | 72 |
| FIGURA 2: Resultado da corrida cromatográfica em camada delgada dos extratos de <i>Rhizophora mangle</i> para amostras do Porto de Itaqui e Mangue Seco.....                    | 76 |
| FIGURA 3: Resultado da corrida cromatográfica em camada delgada dos extratos de <i>Avicennia germinans</i> para amostras do Porto de Itaqui e Mangue Seco.....                  | 77 |
| FIGURA 4: Resultado da corrida cromatográfica em camada delgada dos extratos de <i>Laguncularia racemosa</i> para amostras do Porto de Itaqui e Mangue Seco.....                | 77 |
| FIGURA 5: Resultado da corrida cromatográfica em camada delgada dos extratos dos propágulos de <i>Laguncularia racemosa</i> para amostras do Porto de Itaqui e Mangue Seco..... | 77 |
| FIGURA 6: Resultado para os cortes morfoanatômicos das folhas e propágulos de <i>Rhizophora mangle</i> , Mangue Seco/Raposa.....  | 78 |
| FIGURA 7: Resultado para os cortes morfoanatômicos das folhas e propágulos de <i>Laguncularia racemosa</i> , Mangue Seco/Raposa.....  | 79 |
| FIGURA 8: Resultado para os cortes morfoanatômicos das folhas e propágulos de <i>Avicennia germinans</i> , Mangue Seco/Raposa.....  | 79 |
| FIGURA 9: Resultado para os cortes morfoanatômicos das folhas e propágulos de <i>Avicennia germinans</i> , Porto de Itaqui (Ponto 2).....                                       | 80 |
| FIGURA 10: Resultado para os cortes morfoanatômicos das folhas e propágulos de <i>Rhizophora mangle</i> , Porto de Itaqui (Ponto 2).....  | 80 |
| FIGURA 11: Resultado para os cortes morfoanatômicos das folhas e propágulos de <i>Laguncularia racemosa</i> , Porto de Itaqui (Ponto 2).....                                    | 81 |
| FIGURA 12: Resultado para os cortes morfoanatômicos das folhas e propágulos de <i>Laguncularia racemosa</i> , Porto de Itaqui (Ponto 1).....                                    | 81 |

## LISTA DE GRÁFICOS

### CAPÍTULO I:

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1 (Figura 3) – Resultado do índice de clorofila a, clorofila b e clorofila total para <i>Laguncularia racemosa</i> .....   | 37 |
| Gráfico 2 (Figura 4) - Resultado da Análise de Componente Principal (PCA)...   | 38 |
| Gráfico 3 (Figura 5) -Resultado da técnica de ordenação não métrica NMDS...  | 38 |
| <b>CONTINUAÇÃO CAPÍTULO I (A. germinans e R. mangle):</b>  |    |
| Gráfico 1: Resultado da Análise de Componente Principal (PCA) para <i>Avicennia germinans</i> (controle e porto 2) .....   | 51 |
| Gráfico 2: Resultado da Técnica de ordenação não métrica (NMDS) para <i>Avicennia germinans</i> (controle e porto 2) .....   | 52 |
| Gráfico 3: Resultado da Análise de variância para <i>Avicennia germinans</i> (controle e porto 2) .....  | 53 |
| Gráfico 4: Resultado da Análise de Componente Principal (PCA) para <i>Rhizophora mangle</i> (controle e porto 2) .....   | 54 |
| Gráfico 5: Resultado da Técnica de ordenação não métrica (NMDS) para <i>Rhizophora mangle</i> (controle e porto 2) .....   | 55 |
| Gráfico 6: Resultado da Análise de variância para <i>Rhizophora mangle</i> (controle e porto 2) .....  | 56 |
| Gráfico 7: Resultado da Análise de Componente Principal (PCA) para correlação entre as espécies (controle e porto 2) .....   | 57 |
| Gráfico 8: Resultado da Análise de Componente Principal (PCA) da produção de clorofila a, b e total, nas condições de sol e senescência (controle e porto 2) para <i>Rhizophora mangle</i> , <i>Avicennia germinans</i> e <i>Laguncularia racemosa</i> ..... | 59 |
| Gráfico 9: Resultado da variação da concentração total da clorofila, enquadrando as condições de sol, sombra e senescência (área controle, Porto 1 e Porto 2) por espécie <i>L. racemosa</i> , <i>R. mangle</i> e <i>Avicennia germinans</i> .....           | 60 |

## LISTA DE TABELAS

### **CAPÍTULO I:**

Tabela 1: Resultado dos índices físico-químicos e biológicos das amostras de água (controle 1 e 2 e Porto 1).....36

Tabela 2: Resultado da Granulometria e Teor de Matéria orgânica dos sedimentos (controle 1 e 2 e Porto 1).....64

### **CAPÍTULO II:**

TABELA 1: Resultado da germinação de propágulos de *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa* no Ponto Controle (Mangue Seco).....74

TABELA 2: Resultado da germinação de propágulos de *Laguncularia racemosa* no Porto de Itaqui (Ponto 1 e Ponto 2).....75

TABELA 3: Resultados da produção e dimensões estomáticas das folhas de *Laguncularia racemosa* (Porto e Mangue Seco).....83

TABELA 4: Resultados da produção e dimensões estomáticas encontradas no limbo foliar de *Avicennia germinans* (porto de Itaqui).....84

TABELA 5: Resultados da produção e dimensões estomáticas encontradas no limbo foliar de *Rhizophora mangle* (porto de Itaqui).....84

## I. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A elaboração desse documento foi dividida em dois capítulos, de acordo com o formato pré-estabelecido pelo Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA. O primeiro capítulo é constituído pelo artigo intitulado O potencial das folhas de mangue *Laguncularia racemosa* como bioindicadoras de poluição em área portuária e o segundo capítulo intitulado de “Caracterização ecofisiológica e ecotoxicológica de plantas de mangue *Laguncularia racemosa* (L.) C.F.Gaertn., *Avicennia germinans* Stapf & Leechman e *Rhizophora mangle* L. como bioindicadoras de contaminação por poluentes na área portuária do Itaqui, Maranhão”.

A organização desse trabalho foi desenvolvida numa abordagem geral, em Considerações Iniciais, Fundamentação Teórica. O Capítulo I aborda os aspectos relacionados ao Potencial das folhas de mangue *L. racemosa* como bioindicadoras de poluição na área portuária. Este capítulo foi submetido à Revista *GEOgraphia*, Qualis A1. O Capítulo II, mostra os resultados de análises ecofisiológicas e ecotoxicológicas das três espécies de plantas de mangue, *R. mangle*, *L. racemosa* e *A. germinans* como bioindicadoras de poluição no Porto de Itaqui, que será submetido à publicação na Revista *Marine Pollution Bulletin*, Qualis Capes A1. Finalizando pelas Considerações Finais, Referências e Apêndices.

## II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Segundo ANTAQ (2011) e GUIA PORTUÁRIO (2012), a infraestrutura pública portuária não tem conseguido acompanhar a movimentação recorde de cargas (sejam materiais acabados ou matérias-primas) a cada ano, principalmente por falta de investimento do poder público. Dessa forma, o sistema privado, que obtém concessões para operar nesses locais, vem investindo, nos últimos anos, vultosas somas para que possa operar dentro dos mesmos, fazendo modificações de infraestrutura para atender as especificações das licenças de operação dos órgãos ambientais e para conseguir acompanhar o aumento de movimentação de cargas.

Além da necessidade de ampliações para acompanhar o crescimento, os portos brasileiros apresentam muitos problemas relacionados aos resíduos que são gerados pelas embarcações e também pelas operações relacionadas à própria logística do porto, sendo os problemas ambientais muitas vezes visíveis a olho nu, como por exemplo muito lixo gerado nas operações e que precisa ser destinado corretamente, a contaminação do mar por óleos e material orgânico despejado sem tratamento, a poluição do ar por partículas muito finas e tóxicas que são lançadas ao ar durante as operações de carga e descarga, o ruído excessivo do maquinário. Em um estudo realizado no terminal portuário industrial na Lagoa dos Patos, Rio Grande do Sul, Sinhor *et al* (2018) verificaram que os maiores índices de Risco Ambiental foram obtidos nas categorias Resíduos Sólidos, Recursos Naturais e Energéticos, Emissões Atmosféricas, nessa ordem. Estes e tantos outros problemas socioambientais acabam transformando o porto num inimigo da cidade, quando, pela conjuntura do desenvolvimento sustentável, as áreas portuárias devem se estabelecer com processos operacionais e tecnológicos mais seguros do ponto de vista ambiental e social, garantindo áreas naturais saudáveis para o uso público e tornando mais harmoniosa as relações porto-cidade. Ressalta-se que as áreas de manguezais pertencem aos direitos difusos e coletivos, e seus serviços ecossistêmicos fornecem benefícios às populações costeiras. Sousa e Alves (2021), em levantamento dos usos tradicionais das plantas de mangue no litoral paraense, reforçam a necessidade e a importância de estudos fitoquímicos que contribuam para a sustentabilidade e a conservação socioambiental das áreas de manguezais. Em geral, as pesquisas realizadas com perfil fitoquímico de folhas, cascas, caules e raízes de mangue voltam-se para os possíveis usos de substâncias que possam apresentar alguma propriedade farmacológica ou cosmética, destacando-se taninos,

terpenos, etc. Da Silva *et al* (2019). Entretanto, há poucos estudos voltados para a pesquisa fitoquímica no sentido de se conhecer e analisar as respostas ecofisiológicas do manguezal, buscando entender sua capacidade adaptativa de sobrevivência em áreas poluídas.

De acordo com Mochel (2003), a maior parte das pesquisas realizadas na região costeira do Maranhão sobre a geoquímica dos sedimentos e poluição hídrica, se concentra na porção do Golfão Maranhense, onde há a maior densidade demográfica e onde se desenvolvem as principais atividades econômicas e industriais do Estado, muito embora existam atividades potencialmente poluidoras em outras áreas do litoral maranhense.

Furtado (2007) recomenda que estudos futuros levem em conta a sazonalidade, periodicidade e amostragem mais representativa, para que sejam obtidos resultados mais complementares e significativos na Região costeira da Baía de São Marcos.

Mochel *et al* (2001) afirma que, em relação à degradação ambiental para o Estado do Maranhão no que tange ao ecossistema manguezal, pode-se dizer que a região que apresenta maior grau de impacto significativo corresponde a São Luís, destacando as atividades portuárias, o crescimento desordenado da cidade, ausência de saneamento, as atividades industriais, pesca predatória, etc. Nesse contexto, a pesquisa foi realizada na região do Porto de Itaqui, localizada na Baía de São Marcos, dentro do Golfão maranhense, onde encontra-se a maior movimentação industrial da cidade de São Luís, capital do Estado.

De acordo com Bayen (2012), os manguezais são ecossistemas sensíveis às ações antrópicas, que possuem uma boa adaptação às ações naturais, porém com relação às ações antrópicas, como ocorrem de forma intensa e prejudicam a



capacidade de regeneração, o mangue precisa de maior quantidade de energia e condições ambientais favoráveis para a sua reorganização.

Porém, mesmo com a degradação, as áreas de manguezal são passíveis de recuperação, pois se entende que o melhor uso, para qualquer área de manguezal, é manter esse ambiente como área conservada. Autores, como Hamilton e Snedaker (1984), McKee (1995) e Hong (1997), descrevem técnicas e métodos para recuperação de mangues em diferentes regiões do mundo.

Araújo *et al* (2017) afirma que a análise dos impactos provenientes dos poluentes sobre o ecossistema de manguezais na área portuária da Baía de São Marcos assume grande importância tanto para a conservação ecológica como para o desenvolvimento da pesca sustentável e para promoção da saúde humana.

### **III. CAPÍTULO I - Submetido Revista *GEOgraphia*, Qualis A1**

#### **O potencial das folhas de mangue *Laguncularia racemosa* como bioindicadoras de poluição em área portuária**

##### **RESUMO**

Esta pesquisa procurou diferenciar manguezais de áreas portuárias poluídas de manguezais em áreas não portuárias a partir do teor de clorofila das suas folhas. Os índices de clorofila das folhas de mangue *Laguncularia racemosa* foram analisados em folhas verdes e senescentes, nas condições de sol e de sombra na área portuária do Itaquí. Investigações deste tipo são relevantes pois contribuem no estudo de processos adaptativos de plantas de mangue a áreas poluídas, apresentando grande relevância para a compreensão de parâmetros que influenciam o aquecimento global. Os índices físico-químicos e biológicos obtidos nas análises das amostras da água estuarina na área portuária (Porto 1) em relação ao Mangue Seco (área Controle) evidenciaram alterações significativas, sendo que o teor de matéria orgânica, sólidos solúveis totais, sólidos em suspensão, turbidez e clorofila a na água foram mais elevados no Porto do Itaquí do que nos pontos controle. Os índices de clorofila a, b e total nas folhas de *L. racemosa* foram maiores no porto do que no Mangue seco (controle), tanto em folhas de sol, como

nas de sombra e senescentes. O manguezal da área portuária que sofre influência do transporte de grãos apresenta-se significativamente eutrofizado em relação ao manguezal controle e altos teores de clorofila nas folhas podem ser utilizado como um importante indicador para locais poluídos.

**Palavras-chave:** manguezal, clorofila, poluentes, porto, contaminação

## 1. INTRODUÇÃO

A poluição em áreas portuárias advém de várias fontes e atividades associadas com operações marítimas, industriais e desenvolvimento urbano. Os tipos de poluição nessas áreas podem incluir poluição atmosférica, poluição hídrica, poluição de solos, tanto pelo carregamento e transporte, como pelo armazenamento de grãos, minérios, óleos combustíveis, substâncias químicas diversas, além de resíduos e rejeitos oriundos dos estabelecimentos e embarcações entre outras (DAVIS & MACKNIGHT, 1990).

Nas últimas décadas a preocupação com o controle da poluição marinha, em especial em áreas portuárias, têm se evidenciado de maneira mais expressiva em acordos internacionais, códigos e instrumentos tais como o Oil Pollution Preparedness, Response, and Co-operation (OPRC), a London Dumping Convention a Conferência Ministerial do Mar do Norte, a convenção MARPOL 73/78, National Research Council [NRC], 1995 (SILVA & GOMES, 2012, p. 65). Entretanto, observa-se que o número de acidentes envolvendo navios em operação tem crescido, sem contar os casos especiais de derramamento de óleo (MARTINS & MOCHEL, 2022, p. 3-7) e a eutrofização do ambiente decorrente do grande acúmulo de matéria orgânica movimentada nos portos. É preocupante a degradação dos manguezais por diversas fontes poluidoras, destacando-se resíduos sólidos urbanos, agroquímicos, esgotos, poluentes micro-orgânicos e excesso de nutrientes, principalmente porque alguns desses poluentes possuem vida longa gerando grandes problemas de saúde ambiental a longo prazo (LACERDA, 1998). Além desse cenário, ainda pesa sobre esses ambientes, o crescimento urbano e o desenvolvimento de atividades industriais que vêm colocando em risco as características naturais de ecossistemas costeiros e, conseqüentemente, o aumento da contaminação de alimentos e infecções gástricas, a qualidade de vida da população local (ALI, *et al*, 2018, p. 28; PASCOALINI *et al.*, 2022, p.338). O

transporte de grãos em áreas portuárias também pode apresentar 25% de potencial de acidificação do ambiente (GIUSTI *et al.*, 2023, p. 6567). Entre os parâmetros que influenciam o potencial para o aquecimento global, entre eles as emissões atmosféricas, de gases do efeito estufa, estão os fertilizantes armazenados e transportados até os portos (GIUSTI *et al.*, 2023, p.6566).

O aumento dessa preocupação se dá pelo reconhecimento da importância dos ecossistemas estuarinos, como manguezais e zonas úmidas, os principais afetados pelo estabelecimento de portos e indústrias afins. Esses ecossistemas apresentam características ambientais únicas e elevada atividade biológica, atuando como exportadores de nutrientes e matéria orgânica para águas costeiras adjacentes, fornecendo habitats vitais para espécies de importância comercial, além de gerarem bens e serviços para comunidades locais (OKADA *et al.*, 2021, p.311.). Manguezais contribuem para regulações climáticas globais por estocar grandes quantidades de carbono azul (QU *et al.*, 2023, p. 8) e auxiliarem na deposição de sedimentos regulando a proteção contra o aumento do nível do mar (Okada *et al.*, 2021, p.311). A restauração de manguezais pode melhorar a qualidade das águas costeiras (SULOCHANAN *et al.*, 2022, p 11).

A despeito de todos esses bens e serviços ecossistêmicos, os problemas potenciais e efetivos causados pelo estabelecimento e operação de áreas portuárias incluem conflitos com comunidades tradicionais e locais, áreas urbanas, degradação ambiental, poluição, emissões atmosféricas e efluentes líquidos, desmatamento e contaminação de manguezais e vegetação costeira, entre outros (SINHORA, *et al.*, 2018, p. 408).

Devido à importância do ecossistema manguezal e seus serviços ecossistêmicos para sustentabilidade da Zona Costeira, este trabalho procurou avaliar se era possível diferenciar manguezais de áreas portuárias poluídas de manguezais em áreas não portuárias, a partir do teor de clorofila das suas folhas. O teor de clorofila indica a saúde geral da vegetação (Dou *et al.*, 2018). Selecionou-se a espécie *Laguncularia racemosa* por sua representatividade e abundância nas áreas delimitadas para esta pesquisa.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Área de estudo

As amostragens de campo foram realizadas na área Portuária do Itaqui (Área 1) e como área controle nos manguezais do Mangue Seco, no município de Raposa (Área 2).

#### *Área Portuária do Itaqui - Área 1*

O Porto do Itaqui localiza-se no município de São Luís, estado do Maranhão, entre as coordenadas geográficas 02°34'S - 02°36'S e 44°21'W - 44°24'W, limitando-se com o Distrito Industrial no litoral oeste, junto a Baía de São Marcos (Figura 1), e é ocupado pela Empresa Maranhense de Administração Portuária (EMAP). 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.

### - FIGURA 1 -

A área de coleta localizada no Ponto 1 situou-se no manguezal em frente ao berço 104, entre as 2°34'32.7"S e 44°22'10,0"W, onde se encontra a esteira de carregamento de grãos, do Terminal de Grãos- TEGRAM. O manguezal nesse Ponto 1 é um bosque de acresção predominantemente composto de *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. na franja. O segundo ponto de coleta, Ponto 2, situou-se no manguezal junto ao Terminal de Combustíveis da VIBRA ENERGIA S.A., nas coordenadas 2°34'41"S e 44°21'49"W. O mangue vermelho *Rhizophora mangle* é a espécie predominante no Ponto 2, formando bosques mistos com alguns exemplares de siriba *Avicennia germinans* e, em menor quantidade, com o mangue-

branco *Laguncularia racemosa*. Nessa área, o manguezal apresenta sinais evidentes de degradação física.

#### *Área Controle, Mangue Seco, Município de Raposa - Área 2*

A área estabelecida como controle situa-se no Mangue Seco, município da Raposa, banhada pelas águas da Baía de São Marcos, à noroeste da cidade de São Luís, entre as coordenadas 2°27'06.86" e 2°27'21.81"S e 44°09'20.33" e 44°09'45.76"W (Nascimento *et al*, 2021). 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 2 -**

A área de coleta localizada no Ponto 1 controle situou-se no manguezal próximo à desembocadura do Igarapé do Mangue Seco, nas coordenadas 2°27'16.77"S e 44°09'46.72 W, onde predominam as espécies de *Laguncularia racemosa* e *Avicennia germinans*. A área de coleta no Ponto 2, localizou-se entre as coordenadas 2°27'08.75"S e 44°09'36.75 W, correspondente ao ponto de *Rhizophora mangle*.

## **2.2 Métodos de amostragem e Análises do material coletado**

### **2.2.1 Coleta e análises de folhas de mangue *Laguncularia racemosa***

O índice de clorofilas nas folhas verdes expostas ao sol, à sombra e senescentes foi medido usando um medidor portátil de clorofilas ClorofiLOG (Falker, modelo DFL 1030); este equipamento fornece informações confiáveis e adimensionais e seus resultados estão fortemente relacionados com os obtidos pelo método clássico

(Barbieri Junior *et al.*, 2012). Os parâmetros obtidos através do ClorofiLOG foram índice de clorofila *a*, clorofila *b* e total. Foram realizadas 20 leituras em cada tratamento, em um ponto na água controle e em dois pontos na área portuária. Os pontos de coleta foram georreferenciados com auxílio de um GPS Garmin.

Para verificar a diferença no índice de clorofila *a*, *b* e total entre o controle e as demais áreas denominadas Porto 1 e Porto 2 para as condições estudadas de (sombra, sol e senescência para *Laguncularia racemosa*, foi realizada a Análise de Variância (ANOVA one way). Os dados de clorofila *a*, *b* e total em todas as condições estudadas (sol, sombra e senescência), considerando o controle e as demais áreas foram normalizados através de uma transformação logarítmica e foi desenvolvida uma análise de Componentes Principais (PCA) com base na matriz da variância-covariância. Para ordenar e verificar a similaridade entre os diferentes locais de (área controle, Porto 1 e Porto 2) em termos de produção de clorofila *a*, *b* e total, foi realizada a análise por Modelo de Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS).

### 2.2.2 Análises da água estuarina

Foram coletadas duas amostras de água estuarina, em maré baixa, uma na desembocadura do estuário, e outra à montante, no limite da profundidade da lâmina d'água e os pontos de coleta foram georreferenciados. O Oxigênio Dissolvido (O.D) foi analisado por meio de Titulação Iodométrica usando Bureta automática CDB 5000 (Boeco Germany), e padrão com Tiosulfato de Sódio (0,01N). Os parâmetros de pH, salinidade, condutividade, oxigênio dissolvido, saturação de oxigênio e temperatura foram medidos utilizando sonda de multiparâmetro (Hanna HI 98494). As análises de clorofila *a* em água foram realizadas de acordo com as recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WPCF, 2012). As amostras foram filtradas à vácuo utilizando filtros de acetato de celulose (SARTORIUS) acoplados em conjunto milipore. Após filtração, os filtros foram coletados em tubos eppendorfs de 50 mL e conservados em freezer, a água filtrada foi reservada para análise de nutrientes. A extração da clorofila *a* foi realizada com 15 mL de acetona a 90%, macerando-se o filtro até a dissolução, e conservada em refrigeração por 24hs. Após a extração, os eppendorfs foram levados para centrifugação a 3200 rpm por 10 minutos e o sobrenadante foi analisado em espectrofotômetro UV-Vis (LGI-VS-721N 325-1100 nm).

Para a análise da turbidez utilizou-se turbidímetro (Hanna - Turbidity meter, Fast Tracker Technology, EPA compliant). Os sólidos totais em suspensão (TSS) presentes nas águas estuarinas foram determinados por medida gravimétrica, segundo as metodologias descritas em APHA (2001) e Strickland & Parsons (1972), com filtro de fibra de vidro AP 40-7mm Merck e filtração à vácuo.

A análise da matéria orgânica em suspensão (M.O.S.) foi determinada por técnica gravimétrica, após a ignição das amostras em forno mufla a 550° C por 04 h, de acordo com APHA (2001) e Strickland & Parsons (1972). Os nutrientes fosfato, nitrito e silicato foram analisados nas amostras coletadas segundo o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WPCF, 2012), utilizando o espectrofotômetro UV-Vis (LGI-VS-721N 325-1100 nm).

### *2.2.3 Análises granulométricas e teor de matéria orgânica do sedimento do manguezal*

Foram coletadas amostras de sedimento do manguezal na área controle e no Porto 1. O sedimento do Porto 2 não foi coletado por apresentar resíduos de óleo combustível e ocasionar possíveis danos aos equipamentos de análises utilizados nesta pesquisa.

As análises granulométricas foram realizadas pelos métodos de peneiramento e pipetagem. Para o peneiramento, as amostras foram colocadas em peneiras de malhas metálicas superpostas, calibradas com intervalo de  $1/2\Phi$ , variando de cascalho, a superior de 2,00 mm, até a mistura silte e argila, no limite inferior de 0.062 mm (SUGUIO, 1973; 2003; MENDES *et al.*, 1997; DIAS, 2004). Para a separação dos sedimentos finos, a quantidade de fração silte e argila, inferior a 0.062 mm, de cada amostra, foi submetida ao método de pipetagem, determinando-se a separação dos tamanhos de grãos de silte dos de argila, pela Lei de Stokes (SUGUIO, 1973).

A análise da matéria orgânica volátil do sedimento foi feita por calcinação de alíquotas de 5g, em Forno Mufla por 4 horas, à temperatura de 550°C, segundo método proposto por Wetzel (1975). Os parâmetros estatísticos de Folk e Wars (1957) e a classificação textual segundo Shepard (1954) foram determinados a partir do programa SISgran.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Indicadores de poluição da área portuária

Em estudo de caso em áreas portuárias, Possa *et al* (2013, p. 6) observaram que, apesar da existência de sistemas de gerenciamento de água contaminada com minério, esses nem sempre são eficazes, permitindo a contaminação de corpos hídricos, especialmente quanto ao escoamento de águas em locais com minérios, que muitas vezes ficam sujeitos às condições climáticas de vento, sol e chuva. Observa-se, também, grande dispersão atmosférica das esteiras transportadoras, que afeta os trabalhadores e também se acumula no solo e na vegetação. Além disso, no ambiente portuário, a poluição hídrica é magnificada pela presença de efluentes oleosos, sanitários e substâncias tóxicas (POSSA *et al.*, 2013, p. 7).

De modo a avaliar o estado de degradação ambiental do manguezal da área portuária em relação à área controle, analisaram-se os dados obtidos na presente pesquisa, com dados de alguns parâmetros publicados na literatura

Os parâmetros comparativos dos índices físico-químicos e biológicos obtidos nas análises das amostras da água estuarina na área portuária (Porto 1) em relação ao Mangue Seco (área Controle) evidenciaram alterações significativas, como demonstram os resultados da Tabela 1. Totais de Sólidos Dissolvidos (TDS), Totais de Sólidos em Suspensão (TSS), Matéria Orgânica em Suspensão (MOS) e Turbidez, entre outros. Não houve diferença nos demais parâmetros analisados.

#### - TABELA 1 -

Os resultados das análises de sedimento no Ponto 1 do Porto de Itaqui apresentaram 76,31% de silte médio, indicando sedimento mais lamoso, pobremente selecionado, enquanto que a área controle, no Mangue Seco, apresentou, nos dois pontos de coleta, valores indicando sedimentos arenosos finos (96,52%) e muito finos (96,55%), respectivamente, de bem a moderadamente selecionados. O teor de matéria orgânica foi mais elevado no Porto do Itaqui (10,78%) do que nos pontos controle os teores de matéria orgânica foram bem menores, sendo 1,5% no Ponto 1 controle e 2,8% no Ponto 2 controle.



Os resultados de pH mostraram-se aceitáveis com pouca variação entre as áreas portuária e controle (Sawant *et al*, 2007, p.285). A salinidade das duas áreas indica um ambiente estuarino, mas os valores são menores na área controle (10,82 e 7,57), pois os pontos de coleta encontram-se em desembocadura do Igarapé do Mangue Seco. Na área portuária, a salinidade é maior no ponto 1 (19,61) por receber diretamente as águas das marés da Baía, sem a presença de deságue de rios.

Os resultados para Turbidez, os Totais de Sólidos em Suspensão 46,40; 44,33; 1.158,5, Matéria Orgânica em Suspensão, nitrito e fosfato são mais elevados do que esses mesmos parâmetros analisados em portos eutrofizados no Egito (MORSY *et al*, 2022, p. 4-5; SAWANT *et al.*, 2007, p.286), , porém são semelhantes aos resultados encontrados em águas portuárias do Paquistão (ALI *et al.*, 2018, p. 33-34) indicando índices de elevada eutrofização na área portuária, enquanto a área controle apresentou resultados inferiores. Os resultados para nitrito e fosfato também.

As diferenças entre os resultados nas concentrações de Clorofila a (Chl-a) na água mostram valores maiores para o Ponto 1 da área Portuária (22,84 mg.L<sup>-1</sup>) , da ordem de magnitude de quase 1x10mg/l, relação aos dois pontos da área controle (Controle 1: 2,96 mg.L<sup>-1</sup> e Controle 2: 4,4 mg.L<sup>-1</sup>). Uma análise sobre eutrofização em água costeira portuária na Indonésia, a partir de dados de satélite, verificou um aumento de 1.7% na concentração de Clorofila a (Chl-a) após o início das operações do porto (YUDHISTHIRA *et al.*, 2022, p.11). Os resultados das análises evidenciaram alterações expressivas na maioria dos indicativos para as áreas eutrofizadas em relação ao controle

### 3.2. Teor de clorofila das folhas de *L. racemosa* como bioindicador de poluição em área portuária

Através da Análise de Variância (ANOVA one way) foi observada diferença significativa no índice de clorofila a, b e total das folhas entre o controle e as demais áreas para todas as condições estudadas (sombra, sol e senescência). As diferenças ocorreram devido aos maiores valores de clorofila nas áreas P1 e P2 em relação ao controle (F = 38,11; df = 59; p <0,000).

Nas folhas de sombra não houve diferença no índice de clorofila a, mas os valores de clorofila b foram maiores nas plantas coletadas no Porto (1 e 2), o que resultou em diferenças também nos índices de clorofila total, sendo menores no controle

(Figura 3). Nas folhas de sol, os índices de clorofila a, clorofila b e total foram maiores nas plantas provenientes do Porto (porto 1 e 2). Nas folhas senescentes, os índices de clorofila foram maiores nas plantas provenientes do Porto, entretanto, muito menores que nas folhas de sol e sombra (Figura 3).

### **- FIGURA 3 -**

Na análise de componente principal (PCA), o eixo 1 da PCA contribuiu com 69,3% da variância e o eixo 2 com 22,5%, totalizando 91,8% da variância total dos dados. Os vetores de clorofila a, b e total, independente da condição (sol, sombra e senescência), apresentaram maior correlação com o componente 1 da PCA, indicando maior atividade das clorofilas nos trechos mais antropizados (Porto 1 e Porto 2). Os maiores valores de clorofila, em condições de sombra e sol, observados no Porto 2 promoveu a tendência de maior associação da produção de clorofila a este trecho.

### **- FIGURA 4 -**

Quando realizadas análises do Modelo de Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS), a análise de similaridade (ANOSIM) confirmou os arranjos estabelecidos no NMDS, indicando diferenças significativas entre o grupo controle e as áreas de Porto 1 e 2 ( $R = 0,653$ ;  $p < 0,000$ ).

Os resultados de NMDS demonstraram diferenças entre a área controle e os trechos antropizados, indicando mudanças na produção de clorofila entre essas áreas, formando dois grupos distintos, sendo um com o controle e outro com os dois pontos de coleta no Porto (Figura 5).

### **- FIGURA 5 -**

A fotossíntese dos manguezais é controlada principalmente pela salinidade, que limita a condutância estomática. Entretanto, variáveis ambientais como a disponibilidade de nutrientes, intensidade luminosa, frequência de inundações, oxigenação do substrato e contaminação dos sedimentos são fatores que também afetam o processo fotossintético em maior ou menor extensão, dependendo da limitação imposta (CUNHA *et al.* 2006, p. 1176; KRAUSS *et al.* 2006, p. 959; LOVELOCK *et al.* 2006, p.793; TOGNELLA *et al.*, 2016, p. 995).

Os resultados desta pesquisa com os índices de clorofila nas folhas corroboram com os encontrados por Scalón *et al.* (2003), ao estudar o crescimento de mudas de *Bombacopsis glabra* (Pasq.) A. Robyns sob diferentes intensidades luminosas, onde as mudas crescidas na sombra apresentaram maior teor de clorofila total e menor relação clorofila a/b. Uma das características fotossintéticas das plantas de sol é apresentar menor concentração de moléculas de clorofila b por cloroplasto (SALISBURY & ROSS, 1991; LICHTENTHALER & BABANI, 2004), uma característica importante de ambientes sombreados, visto que esta clorofila capta energia de outros comprimentos de onda e a transfere para a clorofila a, que efetivamente atua nas reações fotoquímicas da fotossíntese e representa um mecanismo de adaptação à condição de menor intensidade luminosa (SCALON *et al.*, 2003, p.799).

A condição sombreada dos manguezais em Poudre d'Or fez com que a disponibilidade de luz fosse menor para essas partes das plantas, mas mesmo assim essas porções apresentaram maior taxa fotossintética que órgãos expostos a maiores intensidades de luz, indicando que condições de pouca luz não implicam necessariamente atividades fotossintéticas reduzidas. No habitat natural, os manguezais recebem alta luminosidade que pode ser maior que o ponto de saturação luminoso, indicando que as folhas muitas vezes recebem uma grande quantidade de energia luminosa em excesso, levando à fotoinibição (KITAO *et al.* 2003, p.376). Apesar das condições extremas, a maioria das espécies de manguezais adaptaram suas folhas e as mantêm como principal órgão fotossintético, apesar de também realizar fotossíntese em caules jovens e propágulos.

Embora as respostas ecofisiológicas dos manguezais à luminosidade varia entre diferentes espécies e pode afetar de forma considerável a taxa de sobrevivência e

a distribuição espacial dos manguezais, a diferença em sua capacidade fotossintética também está intimamente relacionada à salinidade (NAIDOO *et al.* 2002, p.141; LECHTHALER *et al.*, 2016, p. 9; DITTMANN *et al.* 2022; WANG *et al.* 2022). Pode haver redução na condutância estomática quando esses ecossistemas estão expostos a alta incidência de radiação e altas concentrações salinas, resultando em fixação reduzida de CO<sub>2</sub>, como observado por Chen *et al.* (2022, p. 4), em *Kandelia obovata* e *Rhizophora stylosa*, que apresentaram menor taxa fotossintética em salinidades maiores.

O nitrogênio (N) é considerado um dos mais importantes nutrientes para as plantas, sendo que existem áreas de mangue com crescimento e estrutura limitados devido à deficiência de nutrientes (LOVELOCK *et al.* 2006, p.793; ALONGI 2011, p. 462). É fundamental para a realização da fotossíntese, pois faz parte das enzimas que realizam a carboxilação (fixação do CO<sub>2</sub>) e junto com o Mg, compõe a molécula de clorofila (ALISSON *et al.*, 1997, p.339).

O índice de clorofilas é uma variável amplamente utilizada nas pesquisas, pois fornece uma relação confiável entre conteúdo de clorofila e concentração de N foliar (PARIZ *et al.* 2011, p. 729; HAIM *et al.* 2012, p. 1546; SCHLICHTING *et al.* 2015, p. 1149). No presente estudo foi observado que no Porto, local com altos teores de matéria orgânica, os índices de clorofila foram muito maiores que no Controle (Tabela 1). Assim, podemos considerar que uma maior contribuição de nutrientes para uma determinada região pode favorecer o fluxo de energia e a eficiência do uso da água. Em contraste, no local Controle, que é considerada uma região pobre em nutrientes dentro do estudo devido às características dos seus sedimentos, isso explicaria os menores índices de clorofila a e b. Além disso, também se observa uma alta correlação entre o Conteúdo de MO e pigmentos fotossintéticos, os quais estão diretamente envolvidos na produção e fluxo de energia pela planta.

Pascoalini *et al* (2022, p. 347) verificaram que plantas da floresta da bacia apresentaram maiores valores de clorofila a e clorofila total, assim como o maior teor de matéria orgânica no sedimento. No manguezal do Mangue Seco o índice de clorofila total foi menor em bosque de franja com *L. racemosa*, local com o menor teor de matéria orgânica (1,5%).

As espécies de mangue são reconhecidas por seu comportamento conservador quando se trata na eficiência do uso da água, ou seja, o aumento na salinidade

geralmente é acompanhado por uma redução na perda de água pelo fechamento dos estômatos, refletindo maior eficiência no uso da água (SOARES *et al.*, 2022, p. 2). Cabe ressaltar que a intensidade dessa resposta depende da espécie (SOBRADO, 2000, p. 259; SOARES *et al.* 2015, p. 468), do nível de salinidade e da sua variação (BALL, 1988, p. 130; BOMPY *et al.* 2014, p. 400).

Diversas pesquisas demonstraram que, em condições de alta salinidade, a morfologia das raízes de plantas de mangue muda em resposta a uma variedade de alterações edáficas, retraindo sais nos seus tecidos, impedindo que sejam translocados para a parte aérea, como as folhas, preservando assim o aparato fotossintético (ESTRADA *et al.* 2013, p. 135; BOMPY *et al.* 2014, p. 400; SOUZA *et al.* 2014, p. 115).

O manguezal do Porto de Itaquí possui floresta mista incluindo *Avicennia germinans*, *Laguncularia racemosa* e *Rizophora mangle*, e está sujeito a interferência e influências antrópicas. Esta área de mangue é adjacente a um complexo portuário e, encontra-se próxima à dragagem ao longo do canal central do estuário, bem como toda contaminação proveniente das atividades portuárias. Além disso, também recebe efluentes urbanos e industriais através de deposição direta de esgoto. Alguns trabalhos têm destacado a presença de metais acima do esperado para a região tanto nos manguezais quanto em amostras coletadas nos sedimentos do estuário, com presença de contaminantes orgânicos nos sedimentos de mangue. No entanto, *Laguncularia racemosa* mostrou-se fotossinteticamente eficiente, e essas respostas demonstram ser um reflexo da plasticidade fotossintética da espécie, que permite que ela possa crescer e se desenvolver mesmo em ambientes adversos, como é o caso da região do Porto de Itaquí. Esta espécie pode ser utilizada como bioindicadora, pois é a única que cresce e se desenvolve em condições de poluição, como foi demonstrado na Tabela 1, onde os dados amostrais do Porto 1 mostram um ambiente totalmente eutrofizado.

Zhang *et al.* (2012) afirmam que pigmentos de folhas, principalmente clorofila a (Chl a), clorofila b (Chl b) e carotenóides, são compostos significativos responsáveis pela fotossíntese, dissipação de radiação luminosa e outras funções biológicas. Além disso, a variação na quantidade desses pigmentos pode ser indicativa de mudanças no desenvolvimento estrutural, no processo de senescência, ou até mesmo de estresse.

Em estudo com *Rhizophora mangle*, foi observado que as plantas que crescem na área de baixa salinidade apresentaram maior eficiência na redução dos aceptores finais do fotossistema I, uma estratégia importante para as condições de estresse (LOPEZ, *et al.*, 2019, p. 1142). Esses autores afirmaram que a maior variação salina ao longo da amostragem também resultou em estresse fotoquímico, prejudicando o transporte de elétrons junto ao acceptor do fotossistema II. Consequentemente, diminuiu a produção de assimilados, levando a uma mudança na estrutura das plantas adultas de *R. mangle* no estuário do Rio São Mateus (LOPEZ, *et al.*, 2019, p. 1152).

Segundo Fillela *et al.* (1995), a quantidade de radiação solar absorvida por uma folha depende das concentrações foliares dos pigmentos fotossintéticos e, assim, baixas concentrações de clorofilas podem limitar diretamente a atividade fotossintética e, portanto, a produção primária. A quantificação dessas proporções pode fornecer informações importantes sobre as relações entre plantas e seu ambiente.

Estudos de duas espécies de mangues no Vietnã analisaram dados espectrais e conseguiram mostrar que elas diferem devido às suas principais propriedades biofísicas e químicas, como conteúdo de água, celulose, lignina e proteínas, bem como dos principais pigmentos foliares, como clorofilas a e b e carotenóides (Kuenzer *et al.*, 2011).

Garbulsky *et al.* (2011) afirmam que os ecossistemas possuem propriedades bioquímicas e biofísicas que nos permitem explorar seu comportamento fotossintético, aparentemente complexo, usando métodos ópticos relativamente simples. Entretanto, entender a ecofisiologia que rege essas respostas continua sendo o principal desafio das pesquisas nessa área.

#### **4. CONCLUSÕES**

O manguezal da área portuária que sofre influência do transporte de grãos apresenta-se significativamente eutrofizado em relação ao manguezal controle, e altos teores de clorofila nas folhas podem ser utilizado como um importante indicador para locais poluídos.

## 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Maranhão-FAPEMA, Empresa Maranhense de Administração Portuária- EMAP, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior -CAPES, ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA, Maranhão, ao Departamento de Oceanografia e Limnologia da Universidade Federal do Maranhão- DEOLI/UFMA, aos docentes, discentes, técnicos, em especial ao Getúlio de Moraes Júnior por sua disposição em ajudar nas saídas de campo.

## 6. DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSE

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

## 7. REFERÊNCIAS

ALI, F.; HUSSAIN, A.; NERGIS, Y.; SHARIF, M.; *et al.* (2018). Impact of Eutrophication on Shallow Marine Water near Karachi Coast, Pakistan. *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences: Pakistan Academy of Sciences B. Life and Environmental Sciences*, v. 55, n. 2, p. 27-36.

Allison, J.C.S.; Williams, H.T.; Pammenter, N.W. (1997). Effect of Specific Leaf Nitrogen Content on Photosynthesis of Sugarcane. *Ann. Appl. Biol.* v. 131, p. 339–350.

Alongi, D.M. (2011). Carbon payments for mangrove conservation: ecosystem constraints and uncertainties of sequestration potential. *Environ. Sci. Policy*, v. 14, p. 462-470.

Ball, M.C. (1988). Ecophysiology of mangroves. *Trees-Struct. Funct.* v. 2, p. 129-142.

Bompy, F.; Lequeue, G.; Imbert, D.; Dulormne, M. (2014). Increasing fluctuations of soil salinity affect seedling growth performances and physiology in three Neotropical mangrove species. *Plant Soil*, v. 380, p. 399-413.

CHEN, C.; LIN, K.H.; HUANG, M.Y.; WONG, S.L.; *et al.* (2022). Photosynthesis in Response to Different Salinities and Immersions of Two Native Rhizophoraceae Mangroves. *Cells*, v. 11, p. 11-15.

Cunha, S.R.; Tognella-De-Rosa, M.M.P.; Costa, C.S.B. (2006). Salinity and flooding frequency as determinant of mangrove forest structure in Babitonga Bay, Santa Catarina state, southern Brazil. *J. Coast. Res.*, v. 39, p. 1175-1180.

Dittmann, S.; Mosley, L.; Stangoulis, J.; Nguyen, V.L.; *et al.* (2022). Effects of extreme salinity stress on a temperate mangrove ecosystem. *Frontiers in Forest and Global Change*, v. 5, p. 1-18.

Dou, Z.; Cui, L.; Li, J.; Zhu, Y.; *et al.* (2018). Hyperspectral estimation of the chlorophyll content in short-term and long-term restorations of mangrove in Quanzhou Bay Estuary, China. *Sustainability*, v. 10, n. 4, p. 1-15.

Estrada, G.C.D.; Soares, M.L.G.; Chaves, F.O.; Cavalcanti, V.F. (2013). Analysis of the structural variability of mangrove forests through the physiographic types approach. *Aquatic Botany*, v. 111, p. 135-143.

Filella, I.; Porcar-Castell, A.; Munne-Bosch, S.; *et al.* (2009). PRI assesment of long-term changes incarotenoids/chlorophyll ratio and short-term changes in de-epoxidationstate of the xanthophyll cycle. *International Journal of Remote Sensing*, v. 30, p. 4443–4455.

Garbulsky, M.F.; Peñuelas, J.; Gamon, J.; *et al.* (2011). The Photochemical Reflectance Index (PRI) and the remote sensing of leaf, canopy and ecosystem radiation use efficiencies; a review and meta-analysis. *Remote Sensing of Environment*, v.115, p. 281-297.

GIUSTI, G.; ALMEIDA, G.F.; *et al.* (2023). Environmental impacts management of grain and sweet maize through life cycle assessment in São Paulo, Brazil. *International Journal of Environmental Science and Technology*, v. 20, p. 6559–6574.

HAIM, P.G.; ZOFFOLI, B.C.; ZONTA, E.; ARAUJO, A. P. (2012). Nutritional diagnosis of nitrogen in bean leaves by digital image analysis. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, p. 1546-1549.

KITAO, M.; UTSUGI, H.; KURAMOTO, S.; TABUCHI, R. (2003). Light-dependent photosynthetic characteristics indicated by chlorophyll fluorescence in



five mangrove species native to Pohnpei Island, Micronesia. *Physiologia Plantarum*, v. 117, p. 376–382.

Krauss, K.W.; Twilley, R.R.; Doyle, T.W.; Gardiner, E.S. (2006). Leaf gas exchange characteristics of three neotropical mangrove species in response to varying hydroperiod. *Tree Physiology*, v. 26, p. 959-968.

KUENZER, C.; BLUEMEL, A.; GEBHARDT, S.; QUOC, T.V. (2011). Remote sensing of mangrove ecosystems: A review. *Remote Sensing*, v. 3, n. 5, p. 878-928.

LECHTHALER, S.; ROBERT, E.M. R.; TONNÉ, N.; *et al.* (2016). Rhizophoraceae Mangrove Saplings Use Hypocotyl and Leaf Water Storage Capacity to Cope with Soil Water Salinity Changes. *Frontiers in Plant Science*, v. 7, p. 1-13.

LICHTENTHALER, H. K. (1988). In vivo chlorophyll fluorescence as a tool for stress detection in plants. Applications of Chlorophyll Fluorescence. Lichtenthaler, H. K. Ed.: 129-142. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, the Netherlands.

LICHTENTHALER, H.K.; BABANI, F. (2004). Light Adaptation and Senescence of the Photosynthetic Apparatus. Changes in Pigment Composition, Chlorophyll Fluorescence Parameters and Photosynthetic Activity. In: Papageorgiou, G.C., Govindjee (eds) Chlorophyll a Fluorescence. *Advances in Photosynthesis and Respiration*, v. 19, p.713-736. Springer, Dordrecht.

LOPES, D.M.S.; TOGNELLA, M.M.P.; FALQUETO, A. R.; *et al.* (2019). Salinity variation effects on photosynthetic responses of the mangrove species *Rhizophora mangle* L. growing in natural habitats. *Photosynthetica*, v. 57, n. 4, p. 1142-1155.

LOVELOCK, C.E.; BALL, M.C.; CHOAT, B.; *et al.* (2006). Linking physiological processes with mangrove forest structure: phosphorus deficiency limits canopy development, hydraulic conductivity and photosynthetic carbon gain in dwarf *Rhizophora mangle*. *Plant Cell Environment*, v. 29, p. 793-802.

MARTINS, J.C.S.; MOCHEL, F.R. (2022). Main spills of diesel oil and fuel oils in mangrove ecosystems in Brazil from 1975 to 2022. *International Journal of Biological and Natural Sciences*, v. 2, n. 7, p. 1-13.

MORSYA, A.; EBEID, M.; SOLIMAN, A.; *et al.* (2022). Evaluation of the water quality and the eutrophication risk in Mediterranean sea area: A case study of the Port Said Harbour, Egypt. *Environmental Challenges*, v. 7, 100484, p. 1-10.

NAIDOO, G.; TUFFERS, A.V.; VON WILLERT, D. J. (2002). Changes in gas exchange and chlorophyll fluorescence characteristics of two mangroves and a mangrove associate in response to salinity in the natural environment. *Trees-Structure Functional*, v. 16, p. 140-146.

OKADA, T.; MITO, Y.; AKIYAMA, Y.B. *et al.* (2021). Green port structures and their ecosystem services in highly urbanized Japanese bays. *Coastal Engineering Journal*, v. 63, n. 3, p. 310-322.

PARIZ, C.M.; ANDREOTTI, M.; BERGAMASCHINE, A.F.; *et al.* (2011). Yield, chemical composition and chlorophyll relative content of Tanzania and Mombaça grasses irrigated and fertilized with nitrogen after corn intercropping. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 40, p. 728- 738.

PASCOALINI, S.S.; TOGNELLA, M.M.P.; FALQUETO, A.R.; SOARES, M.L.G. (2022). Photosynthetic efficiency of young *Rhizophora mangle* L. in a mangrove in southeastern Brazil. *Photosynthetica*, v. 60, n. 3, p. 337-349.

PASCOALINI, S.S. (2014). Photosynthetic efficiency in mangroves at Baía de Vitória, ES. 69p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo.

POSSA, T.M.; VERSIANI, B.M.; FREITAS, M.A.V. (2013). Gerenciamento dos efluentes líquidos no armazenamento e movimentação portuária de minérios - Estudo de caso Porto de Itaguaí, *Anais do XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, p. 1-8.

QU, Y.; KONG, Y.; LI, Z.; *et al.* (2023). Pursue the coordinated development of port-city economic construction and ecological environment: A case of the eight major ports in China. *Ocean and Coastal Management*, v. 242, 106694.

SALISBURY, F.B.; ROSS, C.W. (1991) Fisiologia vegetal. 4ª Edição, Wadsworth Publishing Company, Beverly, 481p.

SAWANT, S.S.; PRABHUDESSAI, L.; VENKAT, K. (2007). Eutrophication status of marine environment of Mumbai and Jawaharlal Nehru ports. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 127, p. 283-291.

SCALON, S.P.Q.; MUSSURY, R.M.; RIGONI, M.R.; SCALON FILHO, R. (2003). Crescimento inicial de mudas de *Bombacopsis glabra* (Pasq.) A. Robyns sob condição de sombreamento. *Revista Árvore*, Viçosa, v.27, n.6, p.753-758, 2003.

SCHLICHTING, A.F.; BONFIM-SILVA, E.M.; SILVA, M.C., *et al.* (2015). Efficiency of portable chlorophyll meters in assessing the nutritional status of wheat plants. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 19, p. 1148-1151.

SILVA, O.R.; GOMES, M.B.M. (2012). Impactos das atividades portuárias no sistema estuarino de Santos. *Revista Metropolitana de Sustentabilidade*, v. 2, n. 2, disponível em <http://www.revistaseletronicas.fmu.br/>

SINHOR, V.; KITZMAN, I.S.; HENKES, J.A. (2018). Levantamento de aspectos e impactos ambientais em um terminal industrial portuário. *Revista gestão e Sustentabilidade Ambiental*, Florianópolis, v. 7, n. 3, p.397-434.

SOARES, M.L.G.; TOGNELLA, M.M.T.; CUEVAS, E.; MEDINA, E. (2015). Photosynthetic capacity and intrinsic water-use efficiency of *Rhizophora mangle* at its southernmost western Atlantic range. *Photosynthetica*, v. 53, p. 464-470.

SOARES, M.O.; BEZERRA, L.E.A.; COPERTINO, M.; *et al.* (2022). Blue Carbon Ecosystems in Brazil: Overview and an Urgent Call for Conservation and Restoration. *Frontiers in Marine Science*, v. 9, 1-16.

SOBRADO, M.A. (2000). Relation of water transport to leaf gas exchange properties in three mangrove species. *Trees-Structure and Function*, v. 14, p. 258-262.

SOUZA, I.C.; MOROZESK, M.; DUARTE, I.D.; *et al.* (2014). Matching pollution with adaptive changes in mangrove plants by multivariate statistics. A case study, *Rhizophora mangle* from four neotropical mangroves in Brazil. *Chemosphere*, v. 108, p. 115- 124.

SULOCHANAN, B.; RATHEESH, L.; VEENA, S. *et al.* (2022). Water and sediment quality parameters of the restored mangrove ecosystem of Gurupura River and natural mangrove ecosystem of Shambhavi River in Dakshina Kannada, India. *Marine Pollution Bulletin*, v. 176, 113450.

TOGNELLA, M.M.P.; SOARES, M.L.G.; CUEVAS, E.; *et al.* (2016). Heterogeneity of elemental composition and natural abundance of stable isotopes of C and N in soils and leaves of mangroves at their southernmost West Atlantic range. *Brazilian Journal of Biology*, v. 76, p. 994-1003.

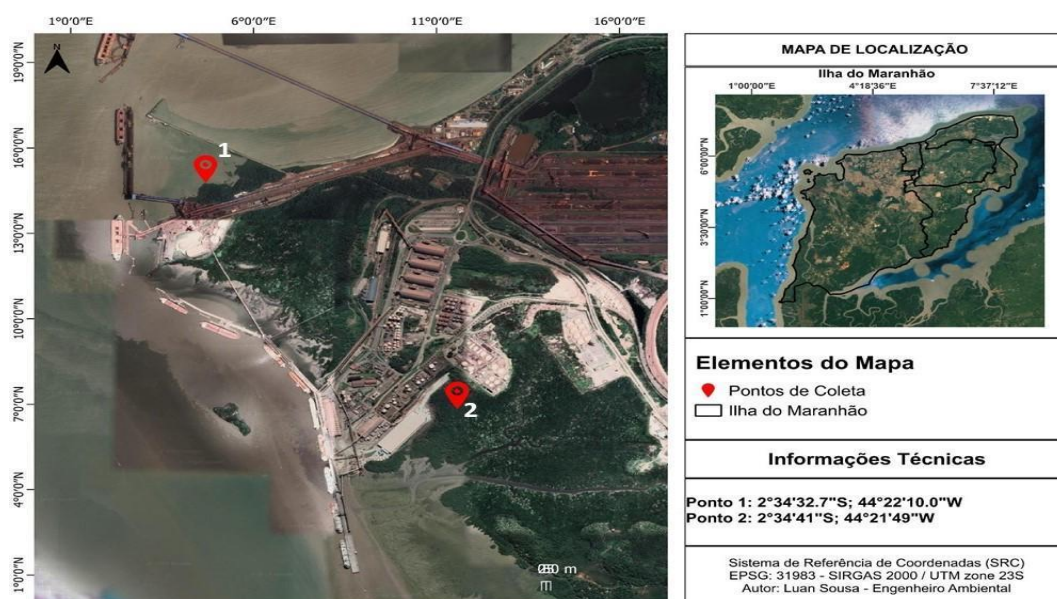
Villela, D.M. (1995). Nutrient cycling in a monodominance and other rain forest types on Maracá Island, Brazil. Tese de PhD. University of Stirling, Stirling, Escócia. 138 p.

YUDHISTIRA, M.H.; KARIMAH, I.D.; MAGHFIRA, N.R. (2022). The effect of port development on coastal water quality: Evidence of eutrophication states in Indonesia. *Ecological Economics*, v. 196, 107415, p. 1-12.

WANG, C.W.; WONG, S.L.; LIAO, T.S.; *et al.* (2022). Photosynthesis in response to salinity and submergence in two Rhizophoraceae mangroves adapted to different tidal elevations. *Tree Physiology*, v. 42, p. 1016-1028.

ZHANG, L. (2012). Remote sensing of water quality in Lake Erie using MODIS imagery data. (PhDThesis). The Ohio State University (235 pp.).

**Figura 1. Localização dos pontos de amostragem 1 e 2 na área portuária do Itaqui, município de São Luís, MA. Fonte: Sousa, 2023.**



**Figura 2. Localização dos pontos de amostragem 1 e 2 na Área Controle, Mangue Seco, município de Raposa, MA. Fonte: Sousa, 2023**

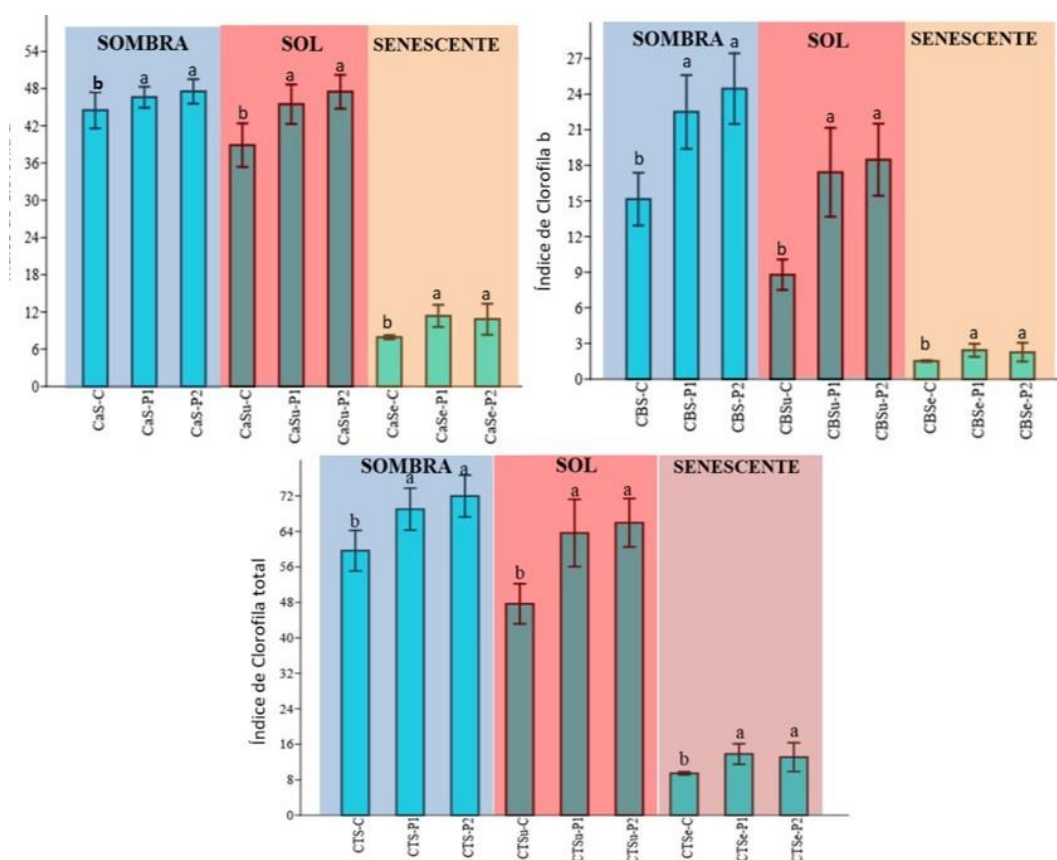


**Tabela 1: Índices físico-químicos e biológicos obtidos de amostras de água coletadas no Mangue Seco (Controle 1 e Controle 2) e no Porto 1.**

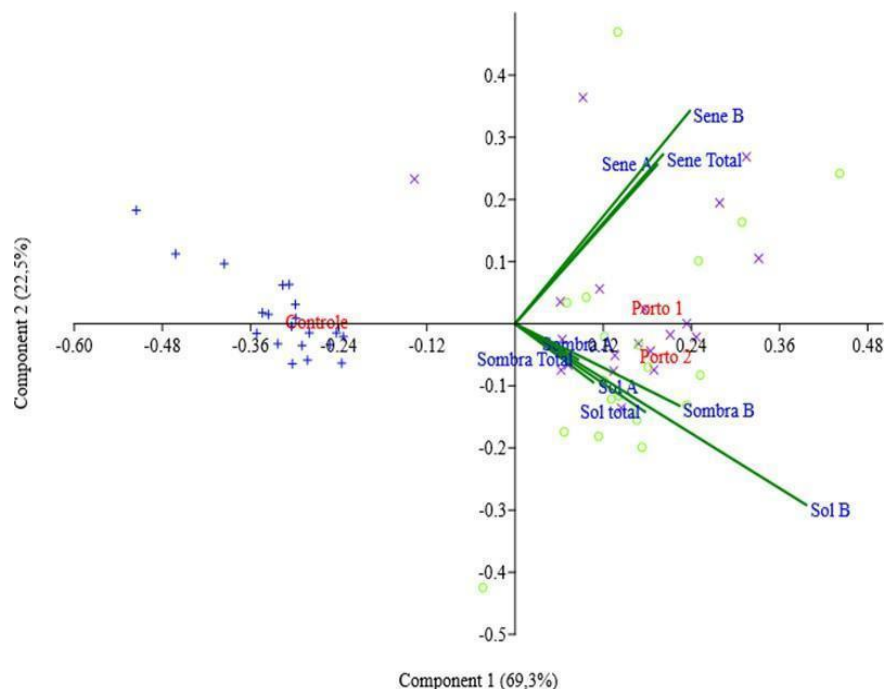
| Variáveis analisadas                                 | Locais de Coleta |            |         |
|--|------------------|------------|---------|
|  | Controle 1       | Controle 2 | Porto 1 |
| Temperatura da água (°C)                             | 27,2             | 28,04      | 21,84   |
| Salinidade (g kg <sup>-1</sup> )                     | 10,82            | 7,57       | 19,61   |
| Condutividade (mS cm <sup>-1</sup> )                 | 18,27            | 13,17      | 31,3    |
| Totais de Sólidos Dissolvidos (ppt)                  | 91,31            | 65,81      | 15,65   |
| pH   | 7,37             | 7,08       | 7,41    |
| Oxigênio Dissolvido (mg L <sup>-1</sup> )            | 5,33             | 5,27       | 7,22    |
| Oxigênio Dissolvido (% sat)                          | 71,7             | 70,5       | 92,7    |
| Totais de Sólidos em Suspensão (mg L <sup>-1</sup> ) | 46,40            | 44,3       | 1158,5  |
| Matéria Orgânica Suspensa (mg L <sup>-1</sup> )      | 6,50             | 8,7        | 163,75  |
| Fosfato (mg L <sup>-1</sup> )                        | 2,76             | 6,16       | 15,22   |
| Nitrito (mg L <sup>-1</sup> )                        | 0,00             | 0,07       | 0,79    |
| Silicato (mg L <sup>-1</sup> )                       | 138,25           | 222,58     | 147,52  |
| Clorofila (mg L <sup>-1</sup> )                      | 2,96             | 4,4        | 22,84   |
| Turbidez (NTU)                                       | 26,5             | 21,4       | 692     |



**Figura 3 – Índice de clorofila a, clorofila b e clorofila total, considerando as condições de sombra, sol e senescência para *Laguncularia racemosa*. C – área controle; P1 – área do Porto 1; P2 – área do Porto 2; CaS - clorofila a na sombra; CaSu – clorofila a no sol; CaSe – clorofila a na senescência; CbS - clorofila b na sombra; CbSu – clorofila b no sol; CbSe – clorofila b na senescência; CTS - clorofila total na sombra; CTSu – clorofila total no sol; CTSe – clorofila total na senescência. Letras diferentes indicam diferenças significativas pela análise de variância para cada um dos três grupos, separadamente, ao nível de 0,05.**

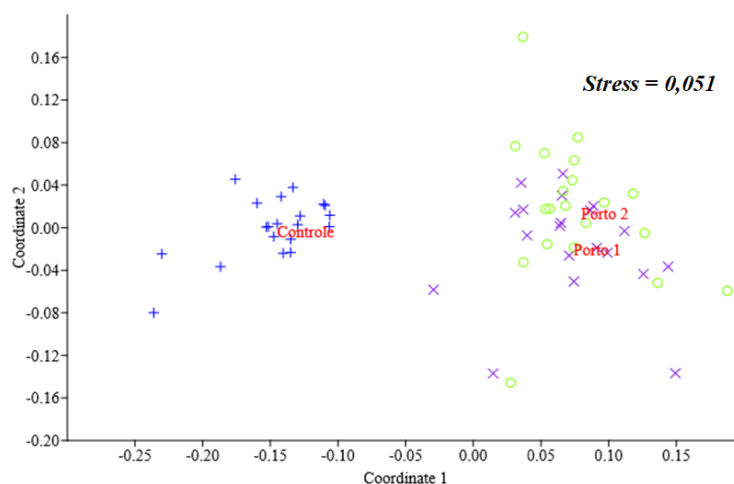


**Figura 4 - Análise de Componente Principal (PCA) associando a produção de clorofila por tipo (a, b e total) e condição (sol, sombra e senescência) aos diferentes locais de amostragem para a espécie *Laguncularia racemosa*.**



+ - área controle x - área do Porto 1 o - área do Porto 2

**Figura 5 - Técnica de ordenação não métrica NMDS verificando a similaridade entre os diferentes locais (área controle, Porto 1 e Porto 2) quanto à produção de clorofila a, b e total para *Laguncularia racemosa*.**



+ - área controle x - área do Porto 1 o - área do Porto 2



## **The potential of *Laguncularia racemosa* mangrove leaves as bioindicators of pollution in port areas**

### **ABSTRACT**

The aim of this research was to differentiate mangroves in polluted seaport areas from mangroves in non-seaport areas based on the chlorophyll content of their leaves. The chlorophyll levels of the leaves of the mangrove *Laguncularia racemosa* were analyzed in green and senescent leaves, under sunny and shade conditions in the seaport area of Itaqui. Investigations of this type are relevant because they contribute to the study of adaptive processes of mangrove plants to polluted areas, with great relevance for understanding some parameters that influence global warming. The physicochemical and biological indices obtained in the analysis of the estuarine water samples in the seaport area (Port 1) in relation to the Dry Mangrove (Control area) showed significant changes, and the content of organic matter, total soluble solids, suspended solids, turbidity and chlorophyll a in the water were higher in the Port of Itaqui than in the control points. The levels of chlorophyll a, b and total in the leaves of *L. racemosa* were higher in the port than in the dry mangrove (control), both in sun, shade and senescent leaves. The mangrove swamp in the port area, which is influenced by grain transport, is significantly eutrophic in relation to the control mangrove swamp and high levels of chlorophyll in the leaves can be used as an important indicator for polluted sites.

**Key-words:** mangrove, chlorophyll, pollutants, seaport, contamination

## **CAPÍTULO I - CONTINUAÇÃO (Não publicado) - O POTENCIAL DAS FOLHAS DE MANGUE *RHIZOPHORA MANGLE* L, *AVICENNIA GERMINANS* STAPF & LEECHMAN COMO BIOINDICADORAS DE POLUIÇÃO EM ÁREAS PORTUÁRIAS.**

### **RESUMO**

A pesquisa buscou avaliar o potencial das folhas de mangue *Avicennia germinans* Stapf & Leechman e *Rhizophora mangle* L. (família Rhizophoraceae) como bioindicadoras de poluição na área portuária do Itaqui. Os dados obtidos na pesquisa identificaram alterações significativas nos índices de clorofila a, clorofila b e total dessas espécies. A distribuição das respostas em espécies de mangue está intimamente relacionada com variáveis ambientais, como frequência de inundações, salinidade, e distribuição de nutrientes (CUNHA *et al.* 2006, KRAUSS *et al.* 2006, LOVELOCK *et al.* 2006b, MEDINA *et al.* 2010, TOGNELLA *et al.*, 2016). Investigações deste tipo são relevantes pois contribuem no estudo de processos adaptativos de plantas de mangue a áreas poluídas e sua capacidade de fornecimento de serviços ecossistêmicos, principalmente no Estado do Maranhão.

Palavras-chaves: manguezal, impactos ambientais, poluentes, Portos

### **ABSTRACT**

The research sought to evaluate the potential of mangrove leaves *Avicennia germinans* Stapf & Leechman and *Rhizophora mangle* L. (family Rhizophoraceae) as bioindicators of pollution in the port area of Itaqui. The data obtained in the research identified significant changes in the chlorophyll a, chlorophyll b and total levels of these species. The distribution of responses in mangrove species is closely related to environmental variables, such as flood frequency, salinity, and nutrient distribution (CUNHA *et al.* 2006, KRAUSS *et al.* 2006, LOVELOCK *et al.* 2006b, MEDINA *et al.* 2010, TOGNELLA *et al.*, 2016). Investigations of this type are relevant as they contribute to the study of adaptive processes of mangrove plants to polluted areas and their capacity to provide ecosystem services, mainly in the State of Maranhão.

Keywords: mangrove, environmental impacts, pollutants, Ports

## **1. INTRODUÇÃO**

O manguezal é um dos ecossistemas costeiros mais produtivos do planeta, característico de zonas tropicais e subtropicais, sendo área de transição entre a terra e o mar, possuindo uma estreita conectividade com os demais ambientes além do costeiro (MOCHEL & FONSECA, 2019; CORRÊA *et al.*, 2021). Estes

ecossistemas, além de serem berçários para muitas espécies de valor ecológico e econômico, auxiliam na manutenção da biodiversidade e de recursos genéticos, influenciam o clima local e global, auxiliam no controle de enchentes, atuam na produção de oxigênio, no suporte biofísico a outros ecossistemas costeiros e no sequestro de carbono na zona costeira (SPALDING *et al.* 2010; MOCHEL, 2011; MOCHEL, 2016). Além disso, desempenham variados serviços ecossistêmicos e funções econômicas para muitas comunidades ribeirinhas Suzuki *et al.* (2016).

Mundialmente, os manguezais apresentam espécies de plantas adaptadas, sendo sete espécies ocorrentes no Brasil: *Rhizophora mangle*, *R. racemosa*, *R. harrisonii*, *Avicennia germinans*, *A. schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Conocarpus erectus* (MOCHEL, 2016). Apesar da sua relevância ecológica, ainda há poucos estudos ecotoxicológicos avaliando a nível molecular as adaptações desenvolvidas pelas plantas de mangue para lidar com a contaminação ambiental por diversos poluentes como hidrocarbonetos, resíduos químicos, industriais, sólidos, assim como as relações destes contaminantes com as defesas celulares associadas. 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 à poluição, responsáveis por conferir aos manguezais a capacidade de sobreviver em áreas poluídas.

Nesse contexto, são poucos os estudos desenvolvidos no estuário da Baía de São Marcos, localizado ao norte do Estado do Maranhão, região portuária de São Luís, considerada o segundo maior complexo portuário da América Latina e

um dos maiores do mundo em termos de movimentação de carga (GARCIA, 2007). Portanto, essa área sofre inúmeras pressões antrópicas levando a contaminação deste sistema estuarino, principalmente pelo 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 é 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 afetar as pessoas através das teias tróficas.

A dinâmica estuarina e o ciclo das marés são processos que, embora complexos, são importantes indicadores do fluxo e refluxo de águas, sedimentos, resíduos, inclusive dos locais por onde determinadas espécies se reproduzem ou desaparecem, assim como outras, como as exóticas advindas da água de lastro, podem se introduzir. Em áreas de manguezal, que envolvam o estabelecimento de indicadores, é fundamental acompanhar os pontos de coleta em diferentes ciclos de maré, em diferentes regimes climáticos.

As operações portuárias, incluindo as de armazenamento e transporte de minério, geram uma série de impactos ambientais no entorno e nas áreas do porto (ESPO, 2010). Segundo a ANTAQ (2012), há três principais fontes de impactos ambientais nos portos: na infraestrutura portuária (com as obras de implantação e manutenção do porto), nas operações portuárias (resíduos das manutenções de máquinas, veículos, transporte e armazenagem de carga diversas sobre a flora e a fauna locais) e na navegação (impactos oriundos do abastecimento de

combustíveis das embarcações, vazamentos e derramamentos de substâncias oleosas, transferência de organismos invasores por água de lastro, substâncias tóxicas antiincrustantes usadas nas embarcações, etc.).

Nas áreas portuárias, em geral, os minérios ficam armazenados em pátios, em pilhas de estocagem, geralmente a céu aberto, ficando sujeitos às intempéries. Os ventos e as chuvas carreiam resíduos particulados por via atmosférica quanto por via hídrica, provocando alterações na biota e no meio ambiente. Durante o transporte das diversas substâncias pelo pátio, há sempre perdas de materiais pelas esteiras, pelas máquinas, até o navio.

Nos manguezais locais da área portuária do Itaqui, pode-se verificar acúmulos de resíduos de materiais transportados nos navios, como minério particulado sobre o sedimento e a vegetação. A pesquisa analisará também a possível eutrofização por resíduos gerados pela fermentação de resíduos de grãos ou outros elementos advindos de cargas tipicamente portuárias em torno do porto, impactando tanto comunidades vizinhas, quanto flora e fauna existentes no local.

Mediante à grande importância que os sistemas estuarinos possuem, devido apresentarem características ambientais únicas, de elevada produtividade biológica, é crescente a preocupação mundial em relação à preservação desses ecossistemas, que desempenham papéis ecológicos importantes, como exportadores de nutrientes e matéria orgânica para águas costeiras adjacentes, habitats vitais para espécies de importância comercial, além de gerarem bens e serviços para comunidades locais (CLARK, 1996).

A poluição dos manguezais resulta também em um ciclo perigoso para a saúde pública. A maioria dos resíduos, lixo doméstico e esgotos que chegam ao manguezal são absorvidos pelas plantas. Em cadeia, por meio da alimentação, as

plantas contaminam os animais, que podem contaminar o ser humano. Os riscos à saúde dos catadores de resíduos sólidos e a contaminação de água e solo foi analisada no município de Paço do Lumiar, no Maranhão (PINHEIRO e MOCHEL, 2018).

Nas últimas décadas, o número de acordos ambientais relacionados à preservação dos ecossistemas estuarinos aponta uma preocupação crescente, com mudanças significativas no controle da poluição marinha. Ainda assim, a quantidade de acidentes ambientais decorrentes de movimentações portuárias tem aumentado em todo o mundo.

A pesquisa objetiva analisar as características ecofisiológicas e ecotoxicológicas das espécies de mangue presentes na área portuária do Itaqui visando o seu uso como bioindicadoras de contaminação por poluentes.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Áreas de Estudo**

As coletas para verificação das alterações nas folhas foram realizadas nos manguezais da área Portuária do Itaqui (Área 1) e como área controle nos manguezais do Mangue Seco, no município de Raposa (Área 2) e já estão descritas no capítulo publicado.

### **2.2 Metodologia**

A metodologia de obtenção dos índices de clorofilas nas folhas, da coleta e análises de água e de sedimento já foram descritas no capítulo publicado.

*Cálculos utilizados:*

**- Para calcular o OD utilizamos a fórmula:**

$$[O_2] \text{ ml L}^{-1}(\text{in situ}) = \frac{M (V - b) \times 100}{\text{vol. do Frasco de DBO calibrado}} \times \frac{2,4 \times T}{273}$$

Onde:

V = volume médio (mL) da solução de tiosulfato gasto na titulação da amostra

b = volume (mL) do teste em branco (tiosulfato ou iodato)

M = C<sub>i</sub> = concentração exata m mol L<sup>-1</sup> da solução de tiosulfato

T = temperatura absoluta (K) da amostra *in situ* (1°C = 273K)

**- Cálculo de Totais de Sólidos Dissolvidos (TSS):**

Os sólidos totais em suspensão presente nas águas estuarinas foram determinados por medida gravimétrica, segundo as metodologias descritas em APHA (2001) e Stricklanda & Parsons (1972).

A diferença entre o peso final e o inicial fornece o peso do sólido total em suspensão para o volume filtrado, com resultado em mgL<sup>-1</sup>, conforme a equação a seguir:

$$\text{TSS (mg L}^{-1}\text{)} = \frac{(B - A) \times 100}{\text{Volume da Amostra (mL)}}$$

Onde:

A = peso do filtro (mg)

B = peso do filtro + resíduo seco (mg)

Cada papel filtro foi colocado em mini envelopes numerados pela tabela de pesos do laboratório: envelope 144 e envelope 145.

**- Cálculo da Matéria Orgânica em Suspensão (M.O. S.):**

A matéria em suspensão (M.O.S.) foi determinada por técnica gravimétrica, após a ignição das amostras em forno mufla a 550° C, de acordo com o descrito em APHA (2001) E Stricklanda & Parsons (1972), já abordados à cima.

Os sólidos voláteis em suspensão são aqui chamados de Matéria Orgânica em Suspensão (OMS), devido à matéria orgânica compor a maior parte dos sólidos que se volatilizam com ignição a 550° C, embora a perda de material por ignição não seja restrita ao material orgânico, pois uma pequena parte de material inorgânico também é perdida por decomposição ou volatilização de alguns sais minerais.

**Cálculo:** 
$$\text{MOS (mg L}^{-1}\text{)} = \frac{(\text{B} - \text{C}) \times 1000}{\text{Volume da Amostra (mL)}}$$

Onde:

B = peso do filtro + resíduo seco antes da ignição (mg)

C = peso do filtro + resíduo seco depois da ignição (mg)

- Os demais parâmetros foram coletados a partir de equipamentos de leitura direta já mencionados anteriormente.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros comparativos dos índices físico-químicos e biológicos obtidos nas análises das amostras da região portuária de Itaquí em relação ao Controle (praia de Mangue Seco), evidenciaram alterações significativas, como demonstram os resultados a seguir.

#### 3.1 Clorofila das Folhas

Nas folhas de sol, os índices de clorofila a, clorofila b e total foram maiores nas plantas provenientes do Porto (porto 1 e 2). Nas folhas de sombra não houve diferença no índice de clorofila a, mas os valores de clorofila b foram maiores nas plantas coletadas no Porto (1 e 2), o que resultou em diferenças também nos índices



de clorofila total, sendo menores no controle. Nas folhas senescentes os índices de clorofila foram muito menores que nas folhas de sol e sombra, sendo que os valores nas folhas do Porto 1 e 2 foram maiores quando comparados ao controle. Esses resultados corroboram com os encontrados por Scalón *et al.* (2003), ao estudar o crescimento de mudas de *Bombacopsis glabra* (Pasq.) A. Robyns sob diferentes intensidades luminosas, onde as mudas crescidas na sombra apresentaram maior teor de clorofila total e menor relação clorofila a/b. Uma das características fotossintéticas das plantas de sol é apresentar menor concentração de moléculas de clorofila b por cloroplasto (SALISBURY & ROSS, 1991; LICHTENTHALER & BABANI, 2004), uma característica importante de ambientes sombreados, porque essa clorofila capta energia de outros comprimentos de onda e a transfere para a clorofila a, que efetivamente atua nas reações fotoquímicas da fotossíntese e representa um mecanismo de adaptação à condição de menor intensidade luminosa (SCALON *et al.*, 2003).

A fotossíntese dos manguezais é controlada principalmente pela salinidade, que limita a condutância estomática. Entretanto, a disponibilidade de nutrientes, intensidade luminosa, oxigenação do substrato e contaminação dos sedimentos são fatores que também afetam o processo fotossintético em maior ou menor extensão, dependendo da limitação imposta (SOARES *et al.*, 2022).

No habitat natural, os manguezais recebem alta luminosidade que pode ser maior que o ponto de saturação luminoso, indicando que as folhas muitas vezes recebem uma grande quantidade de energia luminosa em excesso, levando à fotoinibição (KITAO *et al.* 2003; ATTIWILL e CLOUGH 2018). A fotossíntese nessas espécies pode atingir o ponto de saturação de luz com 40% da densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (800-1000  $\mu\text{mol fóton.m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) ou

menos em ambientes tropicais extremos e condições ambientais entremarés (ANDREWS *et al.* 1984; CARTER e outros. 1990; CHEESEMAN 1994). Apesar das condições extremas, a maioria das espécies de manguezais adaptaram suas folhas e as mantêm como principal órgão fotossintético, apesar de também realizar fotossíntese em caules jovens e propágulos.

A condição sombreada dos manguezais em Poudre d'Or fez com que a disponibilidade de luz fosse de 11 a 15 vezes menor para as partes fotossintetizantes do mangue, chegando a 3.444,5 Lux ( $64 \mu\text{mol f\acute{o}ton.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ). Órgãos expostos a maiores intensidades de luz tiveram atividades fotossintéticas mais baixas em comparação com os sombreados, indicando que condições de pouca luz não implicam necessariamente atividades fotossintéticas reduzidas.

Embora as respostas ecofisiológicas dos manguezais à luminosidade varia entre diferentes espécies e pode afetar de forma considerável a taxa de sobrevivência e a distribuição espacial dos manguezais, a diferença em sua capacidade fotossintética também está intimamente relacionada à salinidade (NAIDOO *et al.* 2001; PANDA *et al.* 2006; DITTMANN *et al.* 2022; WANG *et al.* 2022). Pode haver redução na condutância estomática quando esses ecossistemas estão expostos a alta incidência de radiação e altas concentrações de salinidade, resultando em fixação reduzida de CO<sub>2</sub>, como observado por Chen *et al.* (2022) em *Kandelia obovata* e *Rhizophora stylosa*, que apresentaram menor taxa fotossintética quando tratadas com 30 ppt de salinidade, apresentando aumento na fluorescência de clorofilas, que é a dissipação do excesso de energia que chega nas plantas e não é absorvido pelas moléculas de clorofilas.

A distribuição das respostas em espécies de mangue está intimamente relacionada com variáveis ambientais, como frequência de inundações, salinidade,

e distribuição de nutrientes (CUNHA *et al.* 2006, KRAUSS *et al.* 2006, LOVELOCK *et al.* 2006b, MEDINA *et al.* 2010, TOGNELLA *et al.*, 2016).

O N é fundamental para a realização da fotossíntese, pois faz parte das enzimas que realizam a carboxilação (fixação do CO<sub>2</sub>) e junto com o Mg, compõe a molécula das clorofilas (ALISSON *et al.*, 1997). O índice Chl é amplamente utilizado pois fornece uma relação confiável entre conteúdo de clorofila e concentração de nitrogênio foliar (PARIZ *et al.* 2011, HAIM *et al.* 2012, CONFORTO *et al.* 2014, SCHLICHTING *et al.* 2015). O nitrogênio é considerado um dos mais importantes nutrientes para as plantas e em todo o mundo, existem áreas de mangue com crescimento/estrutura limitado devido à deficiência de nutrientes (LOVELOCK *et al.* 2006a,b; ALONGI 2011). No presente estudo foi observado que no Porto, local com altos teores de matéria orgânica, os índices de clorofilas foram muito maiores que no local Controle (Tabela 1). Assim, podemos considerar que uma maior contribuição de nutrientes para uma determinada região pode favorecer o fluxo de energia e a eficiência do uso da água. Em contraste, no local Controle, que é considerada uma região pobre em nutrientes dentro do estudo devido à sua característica dos sedimentos, isso explicaria os menores índices de Clorofila a e b. Além disso, também se observa uma alta correlação entre o Conteúdo de MO e pigmentos fotossintéticos, os quais estão diretamente envolvidos na produção e fluxo de energia pela planta.

As espécies de mangue são reconhecidas por seu comportamento conservador quando se trata na eficiência do uso da água, ou seja, o aumento na salinidade geralmente é acompanhado por uma redução na perda de água pelo fechamento dos estômatos, refletindo maior eficiência no uso da água (SOARES *et al.*, 2022). Cabe ressaltar que a intensidade dessa resposta depende da espécie

(SOBRADO 2000, SOARES e outros. 2015), do nível de salinidade e da sua variação (BALL 1988, BOMPY *et al.* 2014). Diversas pesquisas demonstram que *R. mangle* é a mais sensível à salinidade entre espécies neotropicais, apresentando menor assimilação e baixa eficiência no uso da água em condições de alta salinidade em comparação com outras espécies (BALL 1988, SOBRADO 2000). No entanto, estudos demonstraram que, em alguns locais, é a espécie dominante em condições de alta salinidade (ESTRADA e outros. 2013, BOMPY *et al.* 2014). Uma das características de *R. mangle* é a possibilidade de excluir sais e contaminantes nas raízes (SOUZA *et al.* 2014), preservando o aparato fotossintético.

A área de manguezais no Porto encontra-se próximo à dragagem ao longo do canal central do estuário, com toda contaminação proveniente das atividades portuárias.

Pascoalini *et al* (2022) verificaram que plantas da floresta da bacia apresentaram maiores valores de Clorofila a e Clorofila total, assim como o maior teor de matéria orgânica no sedimento. No manguezal do Mangue Seco a estimativa média de Clorofila total também foi maior em bosque de bacia com *R. mangle* (Tabela 1), com o maior teor de matéria orgânica (2,8%). O bosque de franja com *L. racemosa* apresentou a menor estimativa média de Clorofila total, seguida por *A. germinans* (Tabela 1) ambos com o menor teor de matéria orgânica (1,5%).

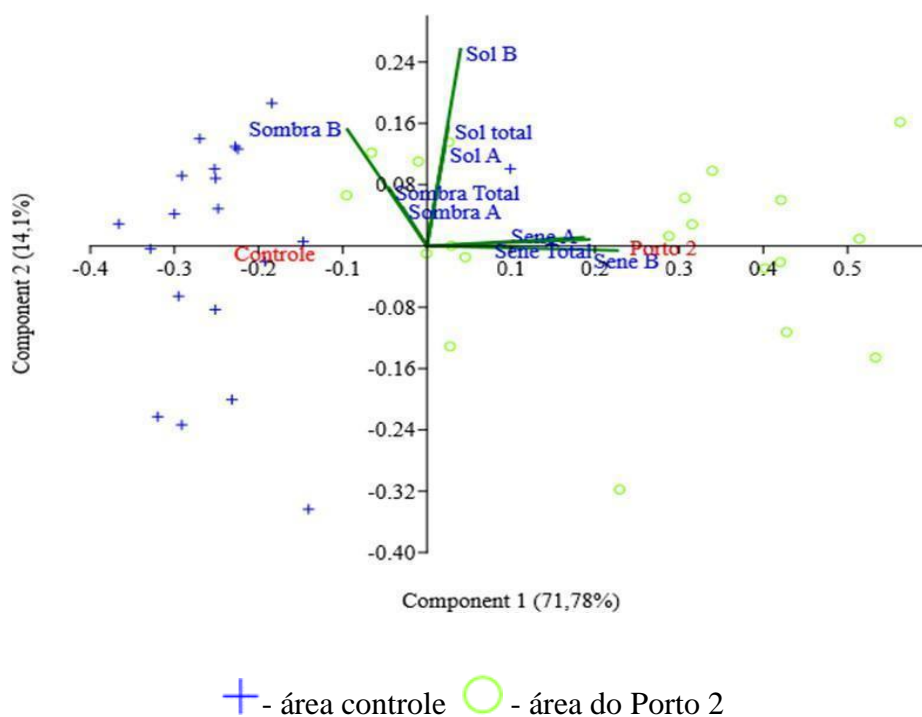
3.2 Resultados estatísticos para os índices de clorofila a, b e total obtidos através do Clorofilog nas condições de folhas verdes (de sol e de sombra) e folhas senescentes:

*Para Avicennia germinans*

Análise de Componente Principal (PCA)

Para efetuar a análise foram utilizados os dados de clorofila a, b e total nas condições de sol, sombra e senescência, considerando a área controle e o trecho Porto 2 para *Avicennia*. Os dados foram normalizados através de uma transformação logarítmica e a análise foi desenvolvida com base na matriz da variância-covariância.

O eixo 1 da PCA contribuiu com 71,8% da variância dos dados e o eixo 2 com 14,1%, totalizando 85,9% da variância total dos dados. Os vetores de clorofila a, b e total, na sombra, apresentaram maior correlação com o componente 2, enquanto nas condições de sol e senescência ficou mais correlacionado ao componente 1. Com isso, tem-se a associação da clorofila a, b e total, tanto no sol como na senescência às áreas antropizadas do Porto 2. Já a produção de clorofila em condição de sombra ficou associada à área controle.



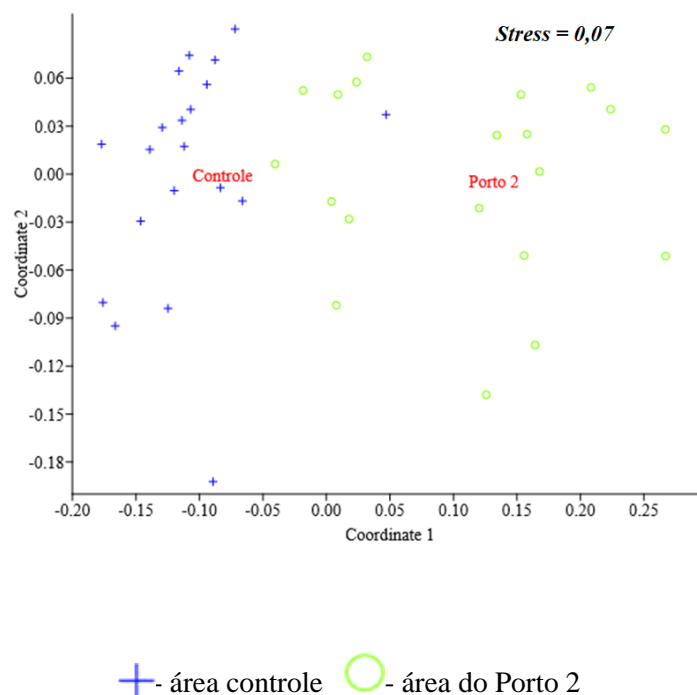
**Gráfico 1.** Análise de Componente Principal (PCA) associando a produção de clorofila por tipo (a, b e total) e condição (sol, sombra e senescência) aos diferentes locais de amostragem (área controle e Porto 2) considerando indivíduo do gênero *Avicennia germinans*.

### Modelo de Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS)

Essa análise é uma técnica de ordenação e visa verificar a similaridade entre objetos. Neste caso está sendo verificado se os diferentes locais (área controle e Porto 2) são similares em termos de produção de clorofila (a, b e total).

Os resultados para indivíduos do gênero *Avicennia* também demonstram diferenças entre a área controle e os trechos antropizados do Porto 2. Indicando mudanças na produção de clorofila entre essas áreas.

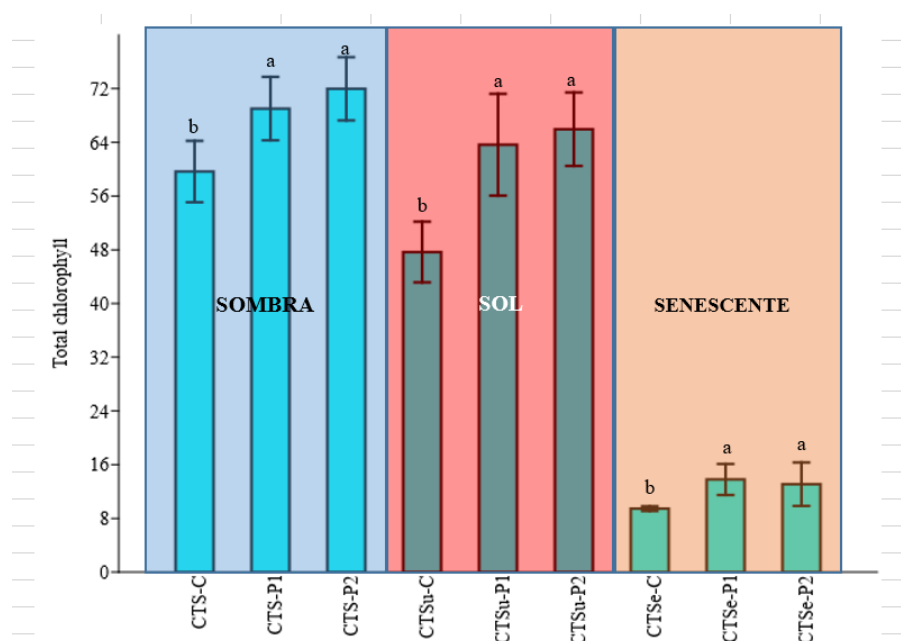
A análise de similaridade (ANOSIM) confirmou os arranjos estabelecidos no NMDS indicando diferenças significativas entre o grupo controle e a área do Porto 2 ( $R = 0,588$ ;  $p < 0,000$ ).



**Gráfico 2:** Técnica de ordenação não métrica NMDS verificando a similaridade entre os diferentes locais (área controle e Porto 2) quanto a produção de clorofila a, b e total para indivíduos do gênero *Avicennia*.

## Análise de Variância

Através do teste t foi detectada diferenças significativas na concentração de clorofila total entre o controle e a área do Porto 2 para cada uma das condições de avaliação separadamente (sombra, sol e senescência). Na sombra os valores de clorofila total foram mais elevados na área controle ( $t = 31,17$ ;  $p = 0,003$ ). Já nas condições de sol e senescência os valores de clorofila foram significativamente mais elevados na área do Porto 2 ( $t = -2,25$ ;  $p = 0,03$ ).



**Gráfico 3** – Valores de clorofila total, considerando as condições de sombra, sol e senescência para indivíduos do gênero *Avicennia germinans*. C – área controle; P2 – área do Porto 2; CTS - clorofila total na sombra; CTSu – clorofila total no sol; CTSe – clorofila total na senescência. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas para cada um dos três grupos separadamente ao nível de 0,05

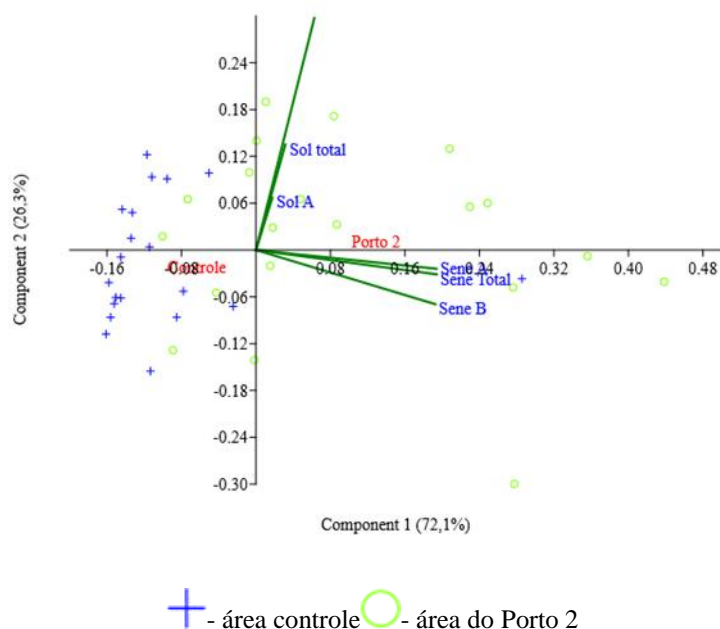
## Para *Rhizophora mangle*

### Análise de Componente Principal (PCA)

Para efetuar a análise foram utilizados os dados de clorofila a, b e total nas condições de sol e senescência (não havia dados para sombra), considerando a área

controle e o trecho Porto 2 para *Rhizophora mangle*. Os dados foram normalizados através de uma transformação logarítmica e a análise foi desenvolvida com base na matriz da variância-covariância.

O eixo 1 da PCA contribuiu com 72,1% da variância dos dados e o eixo 2 com 26,3%, totalizando 98,4% da variância total dos dados. Os vetores de clorofila a, b e total, na senescência, apresentaram maior correlação com o componente 1 ( $r > 0,95$ ), enquanto nas condições de sol ficou mais correlacionado ao componente 2 ( $r > 0,87$ ). Com isso, tem-se uma tendência de maior associação da clorofila a, b e total, em condições de senescência, às áreas antropizadas do Porto 2. A produção de clorofila em condição de sol também ficaram associadas ao Porto 2, porém devido ao arranjo dos vetores e sua maior correlação ao componente 2 da PCA sinaliza uma discrepância menor nas variações dos valores de clorofila em relação a área controle.



**Gráfico 4:** Análise de Componente Principal (PCA) associando a produção de clorofila por tipo (a, b e total) e condição (sol e senescência) aos diferentes locais de amostragem (área controle e Porto 2) considerando a espécie *Rhizophora mangle*

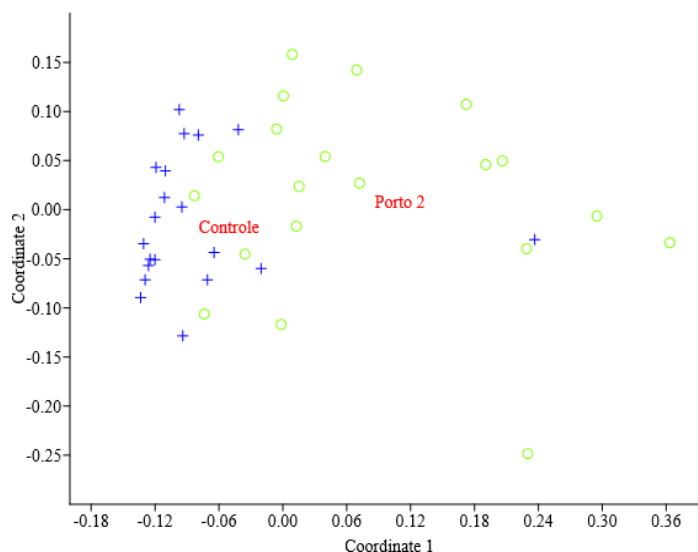


### Modelo de Escalonamento Multidimensional Não-Métrico (NMDS)

Essa análise é uma técnica de ordenação e visa verificar a similaridade entre objetos. Neste caso está sendo verificado se os diferentes locais (área controle e Porto 2) são similares em termos de produção de clorofila (a, b e total).

Os resultados para *Rhizophora mangle* também demonstram diferenças entre a área controle e os trechos antropizados do Porto 2. Indicando mudanças na produção de clorofila entre essas áreas.

A análise de similaridade (ANOSIM) confirmou os arranjos estabelecidos no NMDS indicando diferenças significativas entre o grupo controle e a área do Porto 2 ( $R = 0,310$ ;  $p < 0,000$ ).

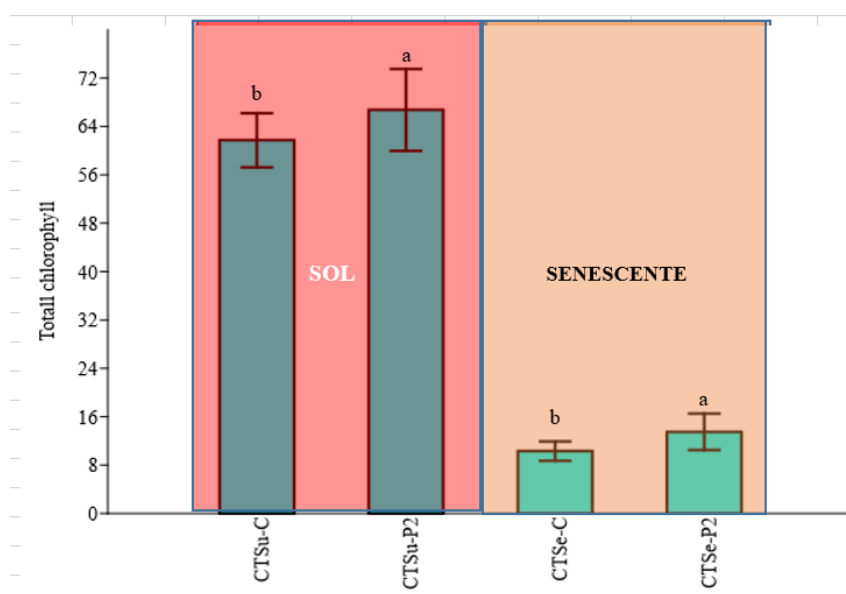


+ - área controle    O - área do Porto 2

**Gráfico 5:** Técnica de ordenação não métrica NMDS verificando a similaridade entre os diferentes locais (área controle e Porto 2) quanto a produção de clorofila a, b e total considerando a espécie *Rhizophora mangle*

### Análise de Variância

Através do teste t foi detectada diferenças significativas na concentração de clorofila total entre o controle e a área do Porto 2 para cada uma das condições de avaliação separadamente (sol e senescência). Tanto em condições de sol como na senescência os valores de clorofila total foram significativamente mais elevados nas áreas antropizadas do Porto 2 ( $t = -2,763$ ;  $p = 0,008$ ).

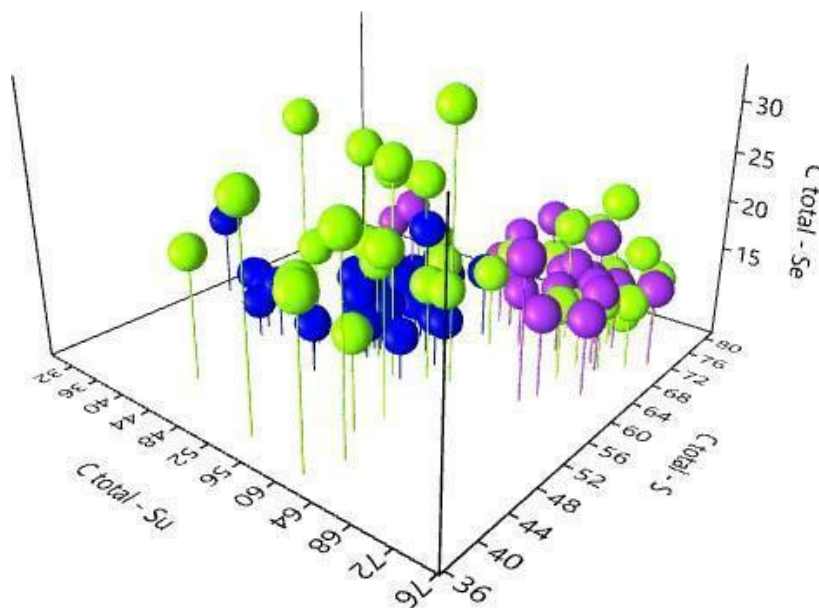


**Gráfico 6** – Valores de clorofila total, considerando as condições de sol e senescência para a espécie *Rhizophora mangle*. C – área controle; P2 – área do Porto 2; CTSu – clorofila total no sol; CTSe – clorofila total na senescência. Letras diferentes indicam diferenças estatísticas para cada um dos três grupos separadamente ao nível de 0,05.

#### a) Para Correlação entre as espécies

A figura demonstra as concentrações de clorofila total mais elevadas no Porto 1 e 2 (bolhas lilás e verde, respectivamente), esses valores ocorreram tanto na condição de sol como na sombra. A clorofila total em condição de senescência mostrou-se mais elevada no Porto 2. Nas três condições de mensuração de

clorofila total observou-se valores menos expressivos na área controle (bolha azul), enquadrando as três espécies estudadas.



**Gráfico 7:.** Variação da concentração total da clorofila, enquadrando as condições de sol (Su), sombra (S) e senescência (Se) por local de amostragem. Bolha azul representa a área controle, bolha lilás área do Porto 1 e bolha verde área do Porto 2.

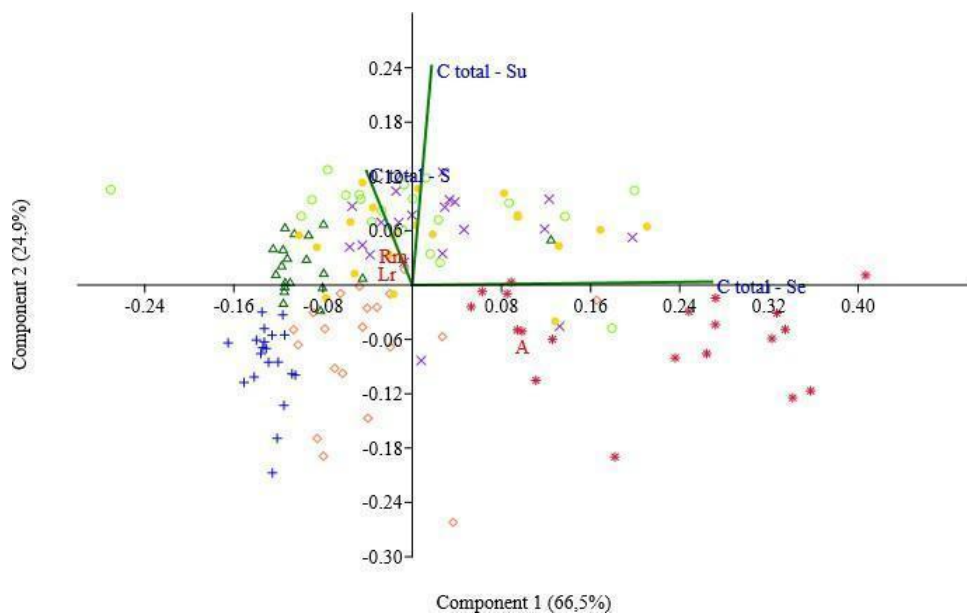
### Análise de Componente Principal (PCA)

Para efetuar a análise foram utilizados os dados de clorofila total nas condições de sol, sombra e senescência, considerando a área controle e os trechos pertencentes ao Porto 1 e Porto 2 para todas as espécies. Nesta análise não foi inserida a clorofila a nem b, pois, com base nas outras análises foi percebido tendência semelhante entre a clorofila a, b e total. Com isso, diminui-se a poluição gráfica e facilita o entendimento na interpretação da figura. Os dados foram normalizados através de uma transformação logarítmica e a análise foi desenvolvida com base na matriz da variância-covariância.

O eixo 1 da PCA contribuiu com 66,5% da variância dos dados e o eixo 2 com 24,9%, totalizando 91,4% da variância total dos dados. Os vetores de

clorofila total na sombra e sol apresentaram maior correlação com o componente 2, sendo esta positiva ( $r > 0,63$ ). Já a clorofila total na senescência apresentou correlação positiva com o componente 1 ( $r = 0,99$ ). Com base na distribuição da nuvem de pontos e arranjo dos vetores de clorofila percebe-se que os indivíduos do gênero *Avicennia* sp no Porto 2 (pontos em vermelho) apresentaram maior associação à clorofila total na senescência. As espécies *Rhizophora mangle* e *Laguncularia racemosa*, tanto no Porto 2 como no Porto 1, apresentaram-se mais associadas à maior produção de clorofila total na condição de sol e sombra. Os exemplares do gênero *Avicennia* sp e da espécie *Laguncularia racemosa*, ambos na área controle (pontos em laranja e azul, respectivamente) apresentaram relação inversa com ambos os componentes da PCA, sinalizando tendência de menores valores de clorofila total. Desta forma, tem-se que o gênero *Avicennia* sp seria o grupo com maior produção de clorofila em situação de senescência na área antropizada do Porto 2, enquanto as demais teriam produção mais elevada nas condições de sol ou sombra. De forma integrada, a área controle seria de menor produção de clorofila.

A PERMANOVA (two way) indicou diferenças significativas para os dois fatores utilizados na análise (local e espécie) bem como para interação entre eles (local x espécie) ratificando as tendências observadas na PCA ( $F_{\text{local}} = 39,72$ ;  $p_{\text{local}} < 0,000$ ;  $F_{\text{espécie}} = 33,96$ ;  $p_{\text{espécie}} < 0,000$ ;  $F_{\text{interação}} = -4,17$ ;  $p_{\text{interação}} < 0,000$ ;  $df_{\text{total}} = 139$ )

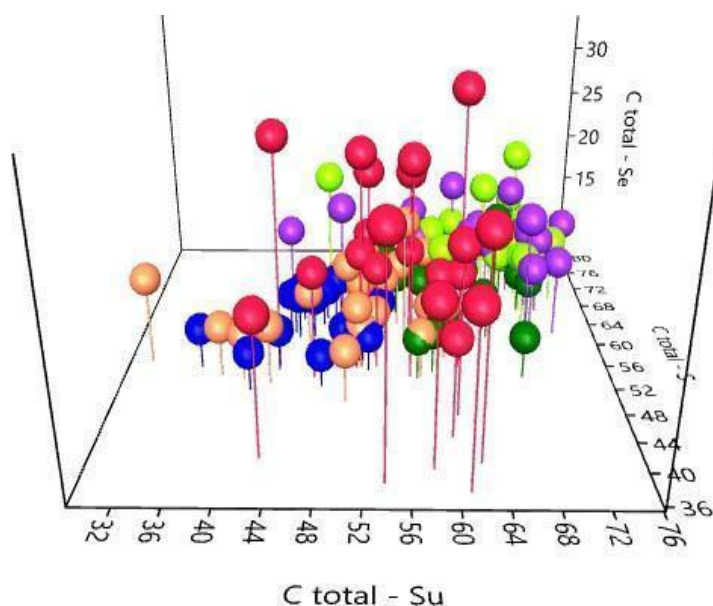


- + - *L. racemosa* na área controle    × - *L. racemosa* no Porto 1    ○ - *L. racemosa* no Porto 2  
 ◇ - *Avicennia* sp na área controle    \* - *Avicennia* sp no Porto 2    △ - *R. mangle* no Controle  
 ● - *R. mangle* no Porto 2.

**Gráfico 8.** Análise de Componente Principal (PCA) associando a produção de clorofila por tipo (a, b e total) e condição (sol e senescência) aos diferentes locais de amostragem (área controle e Porto 2) considerando as três espécies *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa*

A maior produção de clorofila total ocorreu para *L. racemosa* no Porto 1 e no Porto 2, representado pelas bolhas lilás e verde claro, respectivamente. Na condição de senescência os maiores valores de clorofila ocorreram para *Avicennia* sp no Porto 2, representado pelas bolhas vermelhas. No geral, a área controle apresentaram os valores menos expressivos para clorofila total, tanto para *L. racemosa* (bolha azul) como para *Avicennia* sp (bolha laranja) e *R. mangle* (bolha verde forte). Ressalta-se que dentro do grupo controle a produção de clorofila total, tanto na condição de sol como sombra, foi mais elevada para *R. mangle* em relação às demais espécies.

A análise para *R. mangle* no Porto 2 não foi possível devido a ausência de dados.



**Gráfico 9.** Variação da concentração total da clorofila, enquadrando as condições de sol (Su), sombra (S) e senescência (Se) por local de amostragem (área controle, Porto 1 e Porto 2) e por espécie *L. racemosa*, *R. mangle* e *Avicennia* sp. Bolha azul - *L. racemosa* na área controle; bolha lilás - *L. racemosa* no Porto 1; bolha verde clara - *L. racemosa* no Porto 2; bolha laranja - *Avicennia* sp na área controle; bolha vermelha - *Avicennia* sp no Porto 2; bolha verde escuro - *R. mangle* na área controle

### 3.3 Resultados comparativos das análises de água

Os resultados das análises evidenciaram alterações significativas na maioria dos indicativos para as áreas eutrofizadas em relação ao controle. A tabela encontra-se no capítulo I, na página 36 (Tabela 1).

Em se tratando dos resultados das variáveis hídricas obtidos, os valores de TSS, MOS, fosfato e matéria orgânica em suspensão (M.O.S.) apresentaram um aumento significativo em relação à área controle.

O oxigênio dissolvido consiste em um sensível indicador de fenômenos biológicos e químicos, sendo uma das variáveis mais importantes na caracterização ambiental. (HORNE; GOLDMAN, 1994). As principais fontes de oxigênio para a água são a atmosfera e a fotossíntese, já as perdas são o consumo

por decomposição de matéria orgânica, perdas para atmosfera, respiração de organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos. O OD apresentou resultados mais baixos nos pontos do controle (ponto 1: 5,33mg L<sup>-1</sup> e ponto 2: 5,27mg L<sup>-1</sup>) em relação ao ponto do porto (7,22 mg L<sup>-1</sup>), revelando que pode haver alta atividade de bactérias decompondo a matéria orgânica lançada no corpo d'água na região portuária.

O TSS do porto apresentou-se bastante alto em relação aos pontos do controle. Comparando os valores de turbidez e TSS da água estuarina coletada nos pontos em estudo, evidenciou-se uma relação proporcional desses parâmetros, como esperado, de acordo com Cabral (2005), que afirma que, onde há altos valores de TSS também apresentam altos valores de turbidez.

De acordo com Bastos *et al* (2005), devido a forte hidrodinâmica no ambiente estuarino, esses ambientes apresentam altas concentrações de TSS.

A presença de uma grande turbidez em estuários meso e macromareais influencia muito nos processos biológicos na coluna d'água (IRIGOIEN & CASTEL, 1997). A limitação da penetração da luz pela turbidez tem sido frequentemente assinalada como um fator controlador da produção primária em estuários (RANDALL & DAY, 1987; LEHMAN, 1992).

O fosfato também apresentou valores mais elevados na região portuária em relação ao controle. O fósforo é considerado o principal elemento limitante da produtividade primária na maioria das águas continentais, embora seja apontado como o principal responsável pelo processo de eutrofização artificial destes ecossistemas. As altas temperaturas de regiões tropicais e subtropicais elevam as taxas metabólicas fazendo com que o fósforo seja rapidamente assimilado e que

as concentrações de fósforo dissolvido, principalmente o fosfato solúvel reativo, nas águas continentais sejam bastante baixos, com exceção de corpos d'água eutrofizados artificialmente (ESTEVES, 1998), o que fica evidenciado nas características da área deste estudo.

A salinidade também se mostrou mais alta na área portuária (19,61 mg L<sup>-1</sup>) em relação às duas amostras coletadas no controle. Esses valores podem apresentar diferenças significativas quando comparados com os períodos do ano (período chuvoso e de estiagem).

A matéria orgânica em suspensão no estuário da área portuária de Itaquí apresentou grande elevação (163,75 mg L<sup>-1</sup>) em relação ao estuário do controle. O ponto de coleta escolhido no porto foi de alta movimentação de grãos e atraque de navios (berço 104) e recebendo diretamente a descarga de material trazidos pelos afluentes.

Segundo Rezende *et al* (1990) e Goni *et al* (2003), a matéria orgânica dos sistemas estuarinos, em geral, é derivada de uma multiplicidade de fontes alóctones (aquela produzida fora do sistema), trazidas pelo escoamento superficial, rios, florestas de mangue e oceano aberto. Somado a isso, existem as fontes autóctones, ou seja, a matéria orgânica produzida dentro do próprio sistema, por meio da produção primária.

Quando os efluentes são ricos em matéria orgânica, as bactérias degradam essa matéria fazendo uma depoluição natural, entretanto o excesso de matéria orgânica reduzirá a quantidade de oxigênio necessária à sobrevivência de espécies aquáticas. Os elementos tóxicos contidos nos efluentes podem causar morte direta da vida aquática.



A distribuição da matéria orgânica particulada na água é controlada por múltiplos fatores, incluindo a composição do material e sua origem, dinâmica marinha, salinidade da água e atividade biológica, tendo sua concentração máxima ocorrendo geralmente na zona de máxima turbidez. Nos estuários grande parte do material em suspensão sedimenta-se logo na foz do rio devido a inversão do fluxo gravitacional e força iônica e sensível diminuição da velocidade do fluxo, enquanto a fase dissolvida é exposta em maior quantidade para o oceano dependendo da remineralização e processos de adsorção (LIU *et al*, 2015; MOYER *et al*, 2015).

Os índices de clorofila-a da água estuarina do Porto também foram bem mais elevados (22,84 mg m<sup>-3</sup>) do que os índices da água do controle. A clorofila-a é uma importante variável nos ecossistemas aquáticos, sendo o principal pigmento responsável pelo processo de fotossíntese. Pode ser considerada como um indicador do estado trófico dos ambientes aquáticos, pois indica a biomassa de algas presente no corpo hídrico (ESTEVES, 1988). O alto índice de Clorofila no estuário do Porto de Itaquí demonstra que esse ambiente se apresenta hipereutrofizado, devido à forte ação antrópica a que está submetido.

Ao longo das coletas das amostras no estuário do Porto de Itaquí, foi notável a presença de uma grande massa orgânica, sob a vegetação do manguezal e o sedimento lamoso, provavelmente proveniente de resíduos de grãos. Os vegetais estavam nitidamente cobertos por essa massa, deixando suas estruturas mais rígidas, grossas e opacas, o que tornou mais difícil os procedimentos dos cortes anatômicos. Também foi perceptível o aumento do processo de necrose nas folhas e propágulos do porto.

Outra situação que chamou muita atenção foi o mau cheiro nos pontos de coleta e, principalmente, no desenvolvimento das análises granulométricas.

A espécie *Laguncularia racemosa* foi a única presente em todos os pontos do estuário da área portuária, indicando possivelmente uma maior adaptação dessa espécie a ambientes fortemente impactados.

A produção de propágulos por essas espécies também foi visivelmente menor na área portuária quando comparada a área controle. Inclusive, foram encontrados naquele momento, apenas os propágulos de *Laguncularia racemosa*.

### 3.4 Resultados das Análises de Sedimento

As análises da amostra de sedimento coletada no Ponto 1 do Porto de Itaqui apresentaram 76,31% de silte médio, indicando sedimento mais lamoso, pobremente selecionado, enquanto que a área controle, no Mangue Seco, apresentou, nos dois pontos de coleta, valores indicando sedimentos arenosos finos (96,52%) e muito finos (96,55%), respectivamente, de bem a moderadamente selecionados. O teor de matéria orgânica foi mais elevado no Porto do Itaqui (10,78%) do que nos pontos controle. (Tabela 2).

Tabela 2. Resultado da Granulometria e Teor de Matéria orgânica dos sedimentos (controle 1 e 2 e Porto 1).

| Área                        | Classificação    | % Areia | %Silte | %Argila | % M.O. |
|-----------------------------|------------------|---------|--------|---------|--------|
| <b>Porto P1</b>             | Silte médio      | 19,49   | 76,31  | 4,201   | 10,78  |
| <b>Controle M. Seco PC1</b> | Areia muito fina | 96,55   | 2,919  | 0,5296  | 1,5    |
| <b>Controle M. Seco PC2</b> | Areia fina       | 96,52   | 2,98   | 04967   | 2,8    |

#### 4. CONCLUSÃO

O manguezal da área portuária sofreu alterações significativas em relação à área controle quanto aos índices de clorofila a, clorofila b e total das folhas de *Rhizophora mangle* e *Avicennia germinans*. O que sugere adaptações destas espécies como mecanismo de sobrevivência em áreas eutrofizadas, garantindo a elas a característica de bioindicadoras de poluição.

#### REFERÊNCIAS

ALINE DUARTE NASCIMENTO, ILISANDRA ZANANDREA, FLÁVIA REBELO MOCHEL. **International Journal of Biological and Natural Sciences** ISSN 2764-1813 v. 1, n. 1, DOI 10.22533/at.ed.8132116111 2021

ARAÚJO, D. F.; PERES, L. G. M.; YEPEZ, S. MULHOLLAND, D. S.; WILSON, M.; TONHÁ, M; GARNIER, J. Assessing man-induced environmental changes in the Sepetiba Bay (Southeastern Brazil) with geochemical and satellite data. *C. R. Geoscience*, v. 349, p. 290-298, 2017.

ANTAQ - Impactos Ambientais dos Portos. Disponível em: [http://www.antaq.gov.br/Portal/MeioAmbiente\\_ImpactosAmbientais.asp](http://www.antaq.gov.br/Portal/MeioAmbiente_ImpactosAmbientais.asp). Acesso em: 25/05/2023, 13:01.

BIBER, P. D. Evaluating a chlorophyll content meter on three coastal wetland plant species. *Journal of Agricultural, Food and Environmental Sciences*, 1, 1-11. 2007

CLARK, J. **Coastal zone management handbook**. New York: Lewis Publisher/CRC Press. 1996

CONNELLY, X. M. The Use of a chlorophyll meter (SPAD502) for field determinations of red mangrove (*Rhizophoramangle* L.) leaf chlorophyll amount. *NASA Univ. Res. Cent. Tech. Adv. Educ. Aeronaut. Space Auton. Earth Environ*, 1, 187–190. 1997.

CORRÊA, J.N; AZEVEDO, J.W; OLIVEIRA, A.; MOCHEL, F.R. (2021). Salinity assessment in the germination of *Laguncularia racemosa* (L.) c. f. gaertn. for selecting mangrove restoring sites. In: A pesquisa em ciências biológicas: desafios atuais e perspectivas futuras 2 / Organizadores Clécio Danilo Dias da Silva, Danyelle Andrade Mota. – Ponta Grossa - PR: Atena. DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.263210410>, 2021

ESPO (European Sea Ports Organisation). EcoPorts Port Environmental Review 2009 - European Sea Ports Organisation's Review of Environmental Benchmark Performance in collaboration with the EcoPorts Foundation (EPF), Brussels. Disponível em: <[http://www.shortsea.nl/main/attachements/milieu\\_milieurapport\\_2009\\_van](http://www.shortsea.nl/main/attachements/milieu_milieurapport_2009_van)

\_ESPO\_en\_EcoPorts.pdf?language=1>. Acessado em: 24/07/2022, 14:00.  
2010.

FLORES-DE-SANTIAGO, F., KOVACS, J. M. & FLORES-VERDUGO, F.  
Assessing the utility of a portable  
pocketinstrument for estimating seasonal mangrove leaf chlorophyll contents. **Bulletin of Marine Science**, 89, 621-633. 2013.

GARCIA, S. K.; ARAÚJO, B. R. N. (de); QUEIROZ, A. F. (de) S.;  
FIGUEIREDO, R. L. L. Avaliação da morfologia externa de *Avicennia  
Shaueriana* Stapf & Leechman em Zonas de Manguezal do Município de São  
Francisco do Conde e Madre de Deus– BA. In: Mangrove 2003 – Articulando  
Pesquisas e Gestão Participativa de Estuários e Manguezais, 2003, Salvador –  
Bahia – Brasil. Anais. Local Edição: Intergraf, P. 449, 2003.

JULIANA NERES, PAVEL DODONOV, MARCELO SCHRAMM MIELKE ,  
GIL MARCELO REUS STRENZEL. Relationships between portable chlorophyll  
meter estimates for the red mangrove tree (*Rhizophora mangle* L.) . **Ocean and  
Coastal Research**, v68: e20308, 2020,

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

LACERDA, L.D. de; REZENDE, C. G.; JOSÉ, D.M.U. Mineral  
concentration in leaves of mangrove trees. **Biotropica**, v.17, n.3,p.260-262,  
1985.

MOCHEL, F.R.; FONSECA, I. L.A. Abordagem integrada para a recuperação de  
manguezais degradados em áreas portuárias com estudo de caso em São Luís,  
Maranhão In: Mochel, Flávia Rebelo. (Org.). **Gerenciamento Costeiro e  
Gerenciamento Portuário 2**. 1ed.Ponta Grossa: Atena Editora, 2019, v. 2, p.  
59-71.

MOCHEL, F. R. Manguezais da Amazônia maranhense, conservação e  
recuperação ecológica. **Conferência da Terra -paisagens, solos e  
biodiversidade: desafios para um bom viver**. Edição Universidade Central do  
Chile. Chile 2016.

MOCHEL, F.R. Manguezais amazônicos: status para a conservação e a  
sustentabilidade na zona costeira maranhense. In: Martins MB; Oliveira, TG  
(eds). **Amazônia Maranhense. Diversidade e Conservação**. Belém: Editora do  
Museu Paraense Emílio Goeldi, v. 1, p. 93-118, 2011.

NASCIMENTO, A.D *et al.* **International Journal of Biological and Natural  
Sciences** ISSN 2764-1813 v. 1, n. 1, DOI 10.22533/at.ed.8132116111. 2021

PASCOALINI et al: Plantas da floresta da bacia apresentaram maiores valores de Chla e Chltotal ... O maior teor de matéria orgânica no sedimento ocorreu em S2 (floresta da bacia), 2022.

PINHEIRO, N.C.A., MOCHEL, F.R. Diagnóstico de áreas contaminadas pela disposição final de resíduos sólidos no município de Paço do Lumiar (MA). Eng Sanit Ambient, v.23 n.6 | 1173-1184, nov/dez 2018

PORTO DO ITAQUI. Portal EMAP. Disponível em:  
<https://www.portodoitaqui.com/porto-do-itaqui/localizacao>

SPALDING, M., KAINUMA, M., COLLINS, L., 2010. **World atlas of mangroves. mangroves.** Earthscan, 2010.

STACE, C. A. The use of epidermal characters in phylogenetic consideration The New Phytologist.

SUZUKI, Júlio César; COSTA, Everaldo Batista da; STEFANI, Eduardo Baider (Orgs.). Espaço, sujeito e existência: diálogos geográficos das artes. Porto Alegre: Imprensa Livre, 2016.

VERACRUZ GONZÁLEZ-SÁNCHEZ ARIANNA RUBÍ, LÓPEZ-HERRERA MARITZA, MONKS SCOTT, ELORZA-MARTÍNEZ PABLO. Differences in the foliar characteristics of *Rhizophora mangle* Linn. in two zones of the Tuxpan mangrove. **Revista Científica Biológico Agropecuária Tuxpan** vol. 4, n.1, 2016

VIEIRA SILVA, D., DOS ANJOS, L., BRITO-ROCHA, E., DALMOLIN, Â. C. & MIELKE, M. S. Calibration of a multi-species model for chlorophyll estimation in seedlings of Neotropical tree species using handheld leaf absorbance meters and spectral reflectance. **iForest-Biogeosciences and Forestry**, 9, 829. 2016.

#### **IV. CAPÍTULO II - Caracterização ecofisiológica e ecotoxicológica de plantas de mangue *Laguncularia racemosa* (L.) C.F.Gaertn., *Avicennia germinans* Stapf & Leechman e *Rhizophora mangle* L. como bioindicadoras de contaminação por poluentes na área portuária do Itaqui, Maranhão.**

##### **1. INTRODUÇÃO**

Mundialmente, os manguezais são o habitat para espécies de plantas adaptadas, com sete espécies ocorrentes no Brasil: *Rhizophora mangle*, *R. racemosa*, *R. harrisonii*, *Avicennia germinans*, *A. schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Conocarpus erectus* (MOCHEL, 2016).

Porém, apesar da sua relevância ecológica, ainda há poucos estudos ecotoxicológicos avaliando a nível molecular as adaptações desenvolvidas pelas plantas de mangue para lidar com a contaminação ambiental por diversos poluentes como hidrocarbonetos, resíduos químicos, industriais, sólidos, assim como as relações destes contaminantes com defesas celulares.

Neste contexto, as plantas desenvolveram sistemas antioxidantes eficientes para se protegerem dos estresses causados pelos mais diversos poluentes (KAVITHA *et al.*, 2008; QUAN *et al.*, 2008). Dentre as moléculas relacionadas aos sistemas antioxidantes, destacam-se a atuação de biomarcadores de estresse oxidativo, a metalotioneína (MT), da glutathiona reduzida (GSH) e do peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), entre outros, que podem ser detectáveis por meio do perfil fitoquímico das plantas de mangue. Estas podem propiciar o entendimento de alguns processos adaptativos das plantas de mangue frente a poluição, responsáveis por conferirem aos manguezais a capacidade de sobreviver em áreas poluídas. Como exemplos, A GSH e a MT agem tanto contra a contaminação por metais quanto às espécies reativas de oxigênio geradas por estes compostos (VIANA, 2012; YADAV, 2010), enquanto o  $H_2O_2$  pode ser aplicado como indicativo do nível de estresse oxidativo auxiliando no sistema de defesa celular, quando em baixas concentrações (QUAN *et al.*, 2008; ALEXIEVA *et al.*, 2001).

Diante do exposto, esta pesquisa visou avaliar a contaminação ambiental por poluentes detectáveis no perfil fitoquímico e as associações com biomarcadores de estresse no processo adaptativo de *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn (família Combretaceae), *Avicennia germinans* Stapf & Leechman e *Rhizophora mangle* L. (família Rhizophoraceae) e identificar as respostas

bioquímicas, morfológicas e anatômicas destas espécies na área portuária do Itaquí.

Alterações na morfologia, anatomia e processos bioquímicos de plantas de mangue podem afetar diretamente a sua população, diversidade, sobrevivência e morfologia. Esses fatores demonstram a importância de avaliação mais aprofundada de aspectos ecotoxicológicos dessas espécies através de abordagens multidisciplinares, indicando claramente a importância de monitorar mangues em um contexto onde pressões como sobre-exploração de recursos marinhos, poluição, destruição de habitat e mudanças climáticas estão comprometendo cada vez mais a capacidade dos manguezais de fornecer benefícios econômicos, sociais e ambientais. Além disso, este projeto contribui diretamente para a Agenda 2030, através dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)<sup>14</sup>, de conservar e promover o uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável, na forma dos seus subitens 14-2 (proteger e restaurar ecossistemas marinhos), 14- 5 (conservar áreas costeiras e marinhas), 14-A (aumentar o conhecimento científico, pesquisa e tecnologia para a saúde dos oceanos). Também contribuições para o ODS 6-6 (proteger e restaurar ecossistemas aquáticos) e, finalmente, ODS 15-5 (proteger a biodiversidade e os habitats naturais). Enfatiza-se a interação dos bens e serviços ecossistêmicos dos manguezais também para a sustentabilidade da saúde humana, uma vez que os recursos consumidos pela população, como ostras, sururus, peixes e camarões, são capazes de bioacumulação de muitos dos poluentes presentes nas zonas costeiras portuária, industriais e urbanas, biomagnificando-os através das teias tróficas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

As áreas de estudo da pesquisa são as mesmas mencionadas no capítulo I

### 2.1 Metodologia

#### *Atividades de Campo e Obtenção das Amostras*

##### **a) Germinação de propágulos**

A germinação dos propágulos de *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa* foi realizada para obtenção dos cortes anatômicos.

Os propágulos de *Laguncularia racemosa* e *Avicennia germinans* foram colocados para germinar em água estuarina, em três recipientes de vidro por espécie (controle 1, 2 e 3), cada um contendo 30 exemplares, totalizando 90 amostras. Cada recipiente recebeu igualmente 500ml de água com salinidade (S) igual a 20%, medida com auxílio de um Refratômetro manual (trava), modelo S-28 (0,28%).

##### **b) Coleta de folhas e propágulos para obtenção dos extratos**

Foram coletadas 100 gramas de folhas e propágulos para posterior obtenção dos extratos; 30 amostras de folhas, sendo 10 folhas verdes de sol, 10 folhas verdes de sombra, 10 folhas senescentes; e 10 de propágulos de cada uma das espécies encontradas nos pontos de coleta), incluindo a primeira amostragem, as réplicas e tréplicas, para observação morfoanatômica. Foram coletados também, 1 litro de água estuarina e 500g de sedimentos para as análises laboratoriais específicas nos dois pontos pré-estabelecidos.

##### **- Obtenção do Extrato Etanólico a 95% e Aquoso:**

As amostras de folhas e propágulos das três espécies de mangue em estudo (*Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa*), coletadas na área controle (praia de mangue Seco/Raposa) e área considerada impactada (Porto



de Itaqui/São Luís) foram levadas ao Laboratório de Química de Produtos Naturais (LQPN) para o preparo dos extratos e leitura cromatográfica.

O material foi lavado em água corrente e seco em temperatura ambiente por quatro dias, sobre papel absorvente. Após esse período, o material foliar e propágulos foi colocado em estufa a 60°C por 48 horas e submetido à moagem em liquidificador industrial para obtenção do pó. Esse preparado foi utilizado no preparo do extrato aquoso.

Para o preparo dos extratos as amostras da pesquisa (ponto controle e área poluída) foram primeiramente pesadas entre 4g e 8g do material macerado e, em seguida, acrescentados 25 ml de álcool etílico absoluto (100%) - Etanol. Posteriormente foram levadas ao banho ultrassônico (sonificador) em água destilada por 1 hora.

A sonicação consiste no rompimento dos metabólitos secundários por ondas sonoras de alta frequência por meio. As ondas sonoras geram uma região de baixa pressão, causando a ruptura das membranas celulares do material vegetal e consequentemente a liberação dos compostos.

Para a triagem dos componentes químicos dos extratos obtidos, foi utilizada a Cromatografia em Camada Delgada (CCD).

Com o auxílio de um tubo capilar os extratos foram aplicados em uma placa cromatográfica obedecendo a seguinte ordem de plaqueamento: uma gota da amostra do ponto controle, seguida das gotas das amostras dos pontos 1 e 2 do Porto. Posteriormente foi utilizada uma cuba cromatográfica (vidro) contendo diclorometano puro, para imersão da placa cromatográfica contendo as gotas das amostras.

A fase móvel da CCD consistiu em misturas de 9:1 (CHCl<sub>2</sub>:MeOH) e 8:2 (CHCl<sub>2</sub>:MeOH) e, somente nas amostras de propágulos (*Laguncularia racemosa*) usamos três forças de diluição: 9:1, 8:2 e 7:3. Em seguida, observou-se em câmara escura de UV.

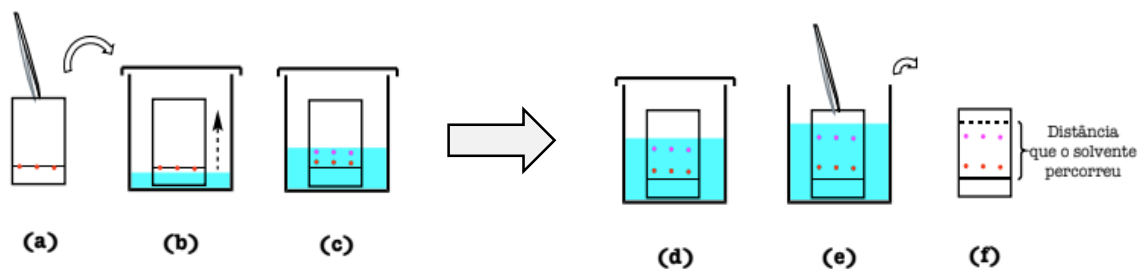


Figura 1: Esquema representativo da Cromatografia de camada delgada: aplicação e desenvolvimento.

### c) Coleta de folhas e propágulos para observações morfoanatômicas

Os pontos de coleta no manguezal foram georreferenciados com auxílio de um GPS-*garmin*.

Após a coleta nos pontos correspondentes, as amostras de folhas e propágulos de *Laguncularia racemosa*, *Avicennia germinans* e *Rhizophora mangle* foram levadas ao laboratório LAMA/CERMANGUE e conservadas em álcool etílico a 70%, sendo divididas em três recipientes de vidro, assim distribuídos: controle, réplica e tréplica. Cada frasco com 30 folhas verdes, 30 folhas senescentes e 30 propágulos, respectivamente, totalizando as 90 amostras de cada espécie, em um universo de 270 propágulos e 540 folhas.

Anterior à obtenção das amostras, os frascos foram higienizados com Extran diluído em 20ml para cada litro de água e deixados na solução por 48h. Posteriormente, os frascos foram lavados em água corrente, deixados de molho em água potável por mais 24 horas para remoção do detergente, conforme orientação do fabricante.

Nas folhas, foram realizadas secções paradérmicas das faces abaxial e adaxial das folhas, e secções transversais do limbo foliar, e nervura central.

No pecíolo, foram realizados cortes transversais. Para os cortes, foram utilizadas lâminas de aço, sendo realizados os cortes à mão livre e com utilização de micrótomo LPC.

As secções foram clarificadas com hipoclorito de sódio a 0,5%, lavadas em água destilada, coradas com solução de azul de Toluidina a 1% e colocadas em lâmina microscópica com glicerina 50%. As lâminas foram fotografadas em microscópio Cal Zeiss modelo Primo Star, acoplado à câmara digital AxioCam ERc 5c.

#### **d) Análises granulométricas e teor de matéria orgânica do sedimento do manguezal (mencionadas no capítulo I)**

##### **PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS:**

O sedimento foi coletado com pá e armazenado em sacos plásticos grossos de 100 L, transportados em engradados plásticos e levados ao laboratório CERMANGUE, onde foram conservados em freezer.

As amostras foram conduzidas ao Laboratório de Estudos em Oceanografia Geológica (LEOG) onde foram submetidas ao processo de análise granulométrica e empregado o método de peneiramento e pipetagem, que consiste na distribuição de tamanhos dos grãos. Além disso, também foi realizada a análise da queima da matéria orgânica volátil.

Os sedimentos foram lavados para a extração de sais e secados na estufa por 24 horas à temperatura de 60°C. Após a secagem, os sedimentos de grãos finos foram separados por uma peneira de abertura de 0,062 mm, com isso os grãos

menores foram colocados em uma proveta para determinar a granulometria segundo o método de pipetagem (SUGUIO, 1973). Conforme descrito por Suguió (2003) e Mendes *et al.* (1997), os grãos maiores que ficaram retidos na peneira de 0,062mm foram despejados em peneiras partindo de malhas mais grossas até as mais finas, com intervalo de  $1/2\Phi$  (2.00; 1.41; 1.00; 0.71; 0.50; 0.351; 0.250; 0.177; 0.125; 0.088 e 0.062 mm).

O método mais divulgado para efetuar a análise granulométrica de sedimentos grosseiros é o da peneiração. Um peneiro para este tipo de análise sedimentológica consiste num suporte metálico (latão, alumínio, inox, etc.) cilíndrico que serve de suporte a uma rede (geralmente metálica, mas que, nalguns casos, pode ser de outro material, designadamente plástico) de malha calibrada. Dias, J.M.A. 2004.

Para a queima da matéria orgânica, foram separadas alíquotas (5g) para análises de carbono total, obtidas mediante a calcinação da amostra em forno de Lavoisier, com duração de quatro horas a uma temperatura de 550°C, segundo método proposto por Wetzel (1975).

### **3. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Parágrafo: no cap 1 já foram apresentados os resultados para água, sedimento, matéria orgânica e clorofila das folhas. Neste capítulo serão apresentados os demais resultados.

### 3.1 Resultados da Germinação dos Propágulos

Tabela 1. Germinação de propágulos de *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa* no Ponto Controle (Mangue Seco)

| Espécies                     | GERMINADOS |         |          | NÃO GERMINADOS |         |          |
|------------------------------|------------|---------|----------|----------------|---------|----------|
|                              | Controle   | Réplica | Tréplica | Controle       | Réplica | Tréplica |
| <i>Avicennia germinans</i>   | 19         | 21      | 19       | 11             | 09      | 11       |
| <i>Laguncularia racemosa</i> | 20         | 25      | 22       | 10             | 05      | 08       |

Tabela 2. Germinação de propágulos de *Laguncularia racemosa* no Porto de Itaqui (Ponto 1 e Ponto 2)

| Espécies                                  | GERMINADOS |         |          | NÃO GERMINADOS |         |          |
|---|------------|---------|----------|----------------|---------|----------|
|   | Controle   | Réplica | Tréplica | Controle       | Réplica | Tréplica |
| <i>Laguncularia racemosa</i><br>(Ponto 1) | 3          | 6       | 5        | 5              | 2       | 3        |
| <i>Laguncularia racemosa</i><br>(Ponto 2) | 5          | 1       | 3        | 3              | 7       | 5        |

A região portuária, em ambos os pontos de coleta, apresentou produção significativamente menor de propágulos de *Laguncularia racemosa*, sendo a única espécie presentes nos dois pontos de coleta (Ponto 1 e Ponto 2). No ponto 2 do Porto, não foi observada produção de propágulos para as espécies (*Rhizophora mangle* e *Avicennia germinans*) naquele período.

### 3.2 Resultado do Perfil Cromatográfico dos Extratos

As avaliações das cromatoplasas permitiram uma comparação qualitativa entre as amostras de de *Rhizophora mangle*, *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa* na região portuária de Itaqui. Os perfis cromatográficos das amostras do manguezal impactado e não impactado apresentaram algumas diferenças. Para a espécie *Rhizophora mangle*, nota-se uma diferença entre a mostra controle (mangue seco) e aquela da área impactada (Porto do Itaqui). É possível notar a presença de substâncias de média polaridade na segunda amostra, o que não se vê no controle.

Para as amostras de “folha amarela” não se observa diferença entre controle e Porto do Itaqui.

O mesmo parece ocorrer para a espécie *Avicennia germinans*, onde é possível notar na cromatoplaça uma diferença qualitativa do controle da folha verde com a área impactada. Observa-se em um menor fator de retenção (maior polaridade), a presença de compostos que parecem ser de maior concentração da região impactada. Para as amostras de folha amarela essa diferença qualitativa não é notada. O que é possível inferir para as amostras de folha amarela é uma maior concentração dos metabólitos na amostra da área controle.

Para a espécie *Laguncularia racemosa*, é possível observar na cromatoplaça revela sob Luz UV, uma pequena diferença quantitativa dos compostos mais polares. A amostra do Porto do Itaqui 9 (folha verde) apresenta uma coloração mais intensa na base na placa, podendo indicar maior concentração de compostos polares. Para as folhas amarelas, observa-se que o ponto tem uma diferença significativa do controle e do ponto 2. Não se observa a presença de compostos sem resolução cromatográfica como ocorre no controle e ponto 2. A CCD indica que no ponto 1, a planta parece não produzir taninos em grande quantidade como nas demais amostras.

Leitura cromatográfica em placa sob luz UV 254nm, por espécie:

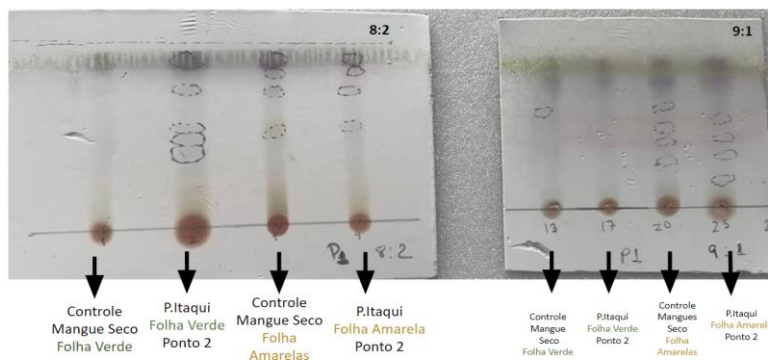


Figura 2: Resultado da corrida cromatográfica em camada delgada dos extratos de *Rhizophora mangle* para amostras do Porto de Itaqui e Mangue Seco

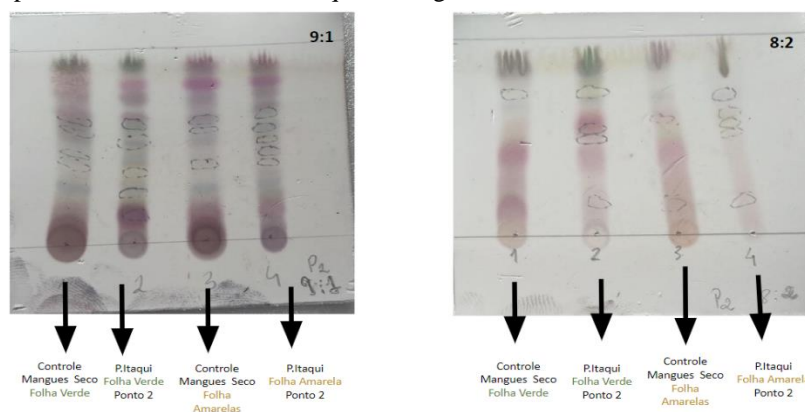


Figura 3: Resultado da corrida cromatográfica em camada delgada dos extratos de *Avicennia germinans* para amostras do Porto de Itaqui e Mangue Seco

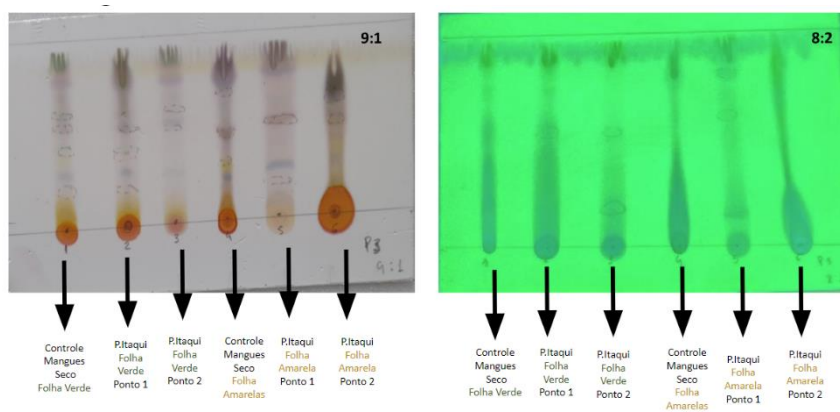


Figura 4: Resultado da corrida cromatográfica em camada delgada dos extratos de *Laguncularia racemosa* para amostras do Porto de Itaqui e Mangue Seco

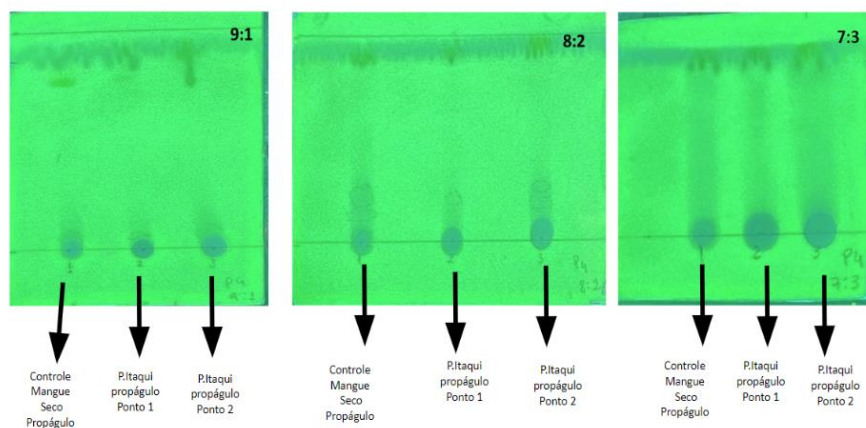


Figura 5: Resultado da corrida cromatográfica em camada delgada dos extratos dos propágulos de *Laguncularia racemosa* para amostras do Porto de Itaqui e Mangue Seco

A luz UV é um método não destrutivo de revelação. Isso quer dizer que, após a revelação, a mesma CCD pode ser revelada por outro método, caso seja necessário.

### 3.3 Resultados morfoanatômicos das folhas e propágulos

Os resultados para a morfoanatomia das espécies de mangue na área controle, no manguezal do Mangue Seco, encontram-se nas Figuras 6, 7 e 8. Na Figura 3 observam-se os resultados para o corte das folhas de *Rhizophora mangle*.

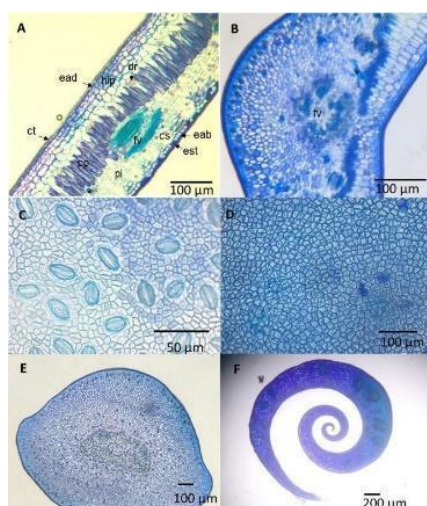


Figura 6: Corte transversal do limbo foliar (A); da nervura central (B); corte paradérmico abaxial (C) e adaxial (D); corte transversal do pecíolo (E) e do ápice do propágulo (F) de *Rhizophora mangle* coletada no manguezal do Mangue Seco. Ead: epiderme adaxial; eab: epiderme abaxial; ct: cutícula; hip: hipoderme; pp: parênquima paliçádico; pl: parênquima lacunoso; dr: drusa; fv: feixe vascular; cs: câmara subestomática; est: estômato. \* células esclerenquimáticas.

Segundo Stace (1965) a anatomia das espécies de *Rhizophora* apresenta uma a três camadas de parênquima paliçádico adaxial e cerca de oito a dez camadas de mesófilo esponjoso abaxiais (abaixo da hipoderme superior). Estômatos afundados, ca. 30-55 x 20-35µ, borda estomática externa conspícua, única ou com minúsculo segundo lábio. As estruturas estomáticas são do tipo ciclocíticos, com 5 a 6 células subsidiárias, e encontram-se apenas na superfície abaxial das folhas (Rubí, *et al*, 2016). Grandes verrugas de cortiça conspícuas sobre a epiderme



inferior, às vezes também na epiderme superior; estruturas semelhantes a estômatos de água em ambas as epidermes.

Diferenças entre a anatomia foliar e diferentes ambientes de manguezais tem sido estudado (RUBÍ *et al*, 2016) porém sem relacionar quais fatores e quais poluentes específicos influenciam os resultados encontrados.

Na morfoanatomia de *L. racemosa* observa-se a presença de glândulas de sal (Figura 7) assim como em *A. germinans* (Figura 8) .

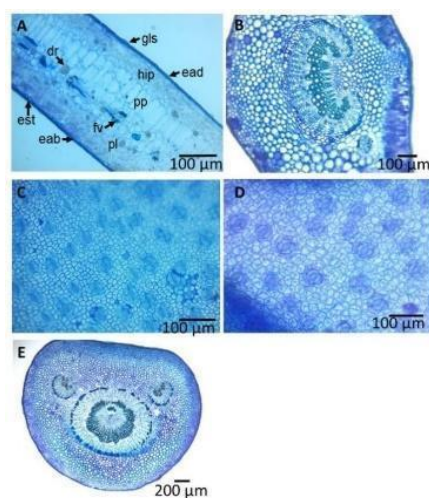


Figura 7: Corte transversal do limbo foliar (A); da nervura central (B); corte paradérmico adaxial (C) e abaxial (D); corte transversal do pecíolo (E) de *Laguncularia racemosa* coletada no manguezal do Mangue Seco. Ead: epiderme adaxial; eab: epiderme abaxial; ct: cutícula; hip: hipoderme; pp: parênquima paliçádico; pl: parênquima lacunoso; fv: feixe vascular.

Os resultados para a morfoanatomia de *Avicennia germinans* encontram-se na Figura 8

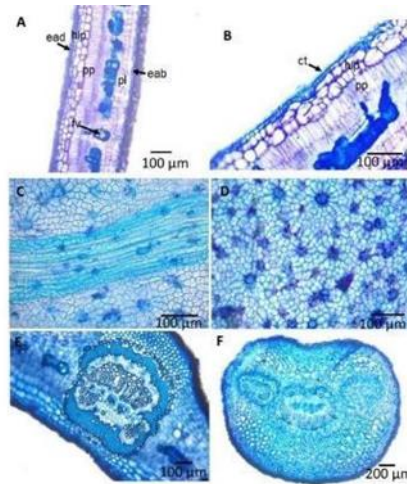


Figura 8: Corte transversal do limbo foliar (A-B); corte paradérmico adaxial (C) e abaxial (D); corte transversal da nervura central (E) e do pecíolo (F) de *Avicennia germinans* coletada no manguezal do Mangue Seco. Ead: epiderme adaxial; eab: epiderme abaxial; ct: cutícula; hip: hipoderme; pp: parênquima paliçádico; pl: parênquima lacunoso; fv: feixe vascular.

Os resultados para a morfoanatomia das espécies de mangue na área considerada impactada, no manguezal do Porto de Itaquí, encontram-se nas Figuras 9, 10 e 11.

**IDENTIFICAÇÃO DAS SIGLAS UTILIZADAS:** Feixe Vascular (FV), Xilema (XI), Floema (FL), Drusa (Dz), Estômato (EST), Glândula de Sal (GL), Tecido Necrosado (TN), Parênquima Paliçádico (PP), Parênquima Lacunoso (PL), Parênquima Medular (PM), Parênquima Esponjoso (PE), Cutícula (CUT), Colênquima (CO), Hipoderme (HP), Epiderme (EP).

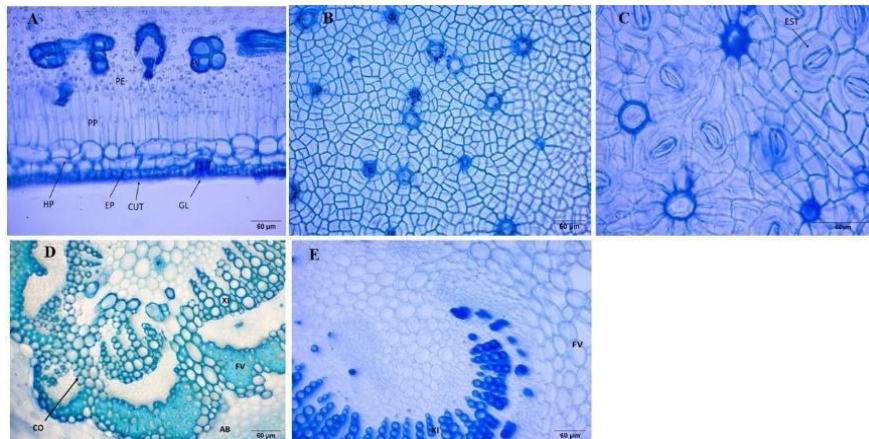


Figura 9: Corte transversal do limbo foliar (A); corte paradérmico adaxial (B) e abaxial (C); corte transversal da nervura central (D) e do pecíolo (E) de *Avicennia germinans* coletada no manguezal do Porto de Itaquí.

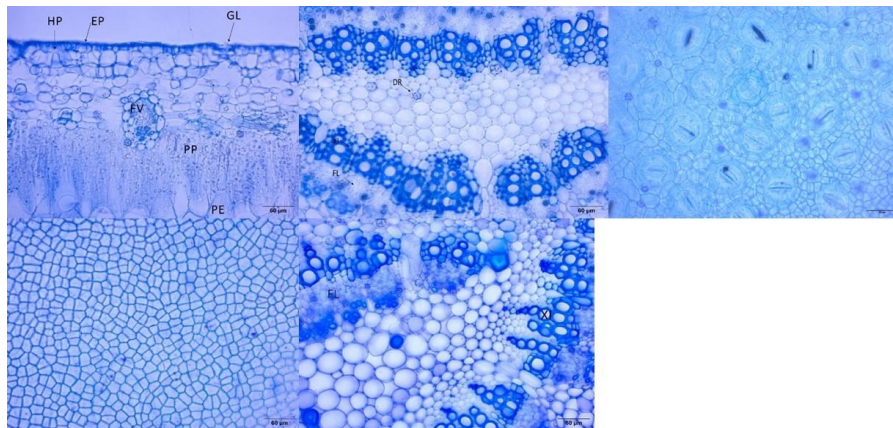


Figura 10: Corte transversal do limbo foliar (A); da nervura central (B); corte paracêntrico abaxial (C) e adaxial (D); corte transversal do pecíolo (E) e do ápice do propágulo (F) de *Rhizophora mangle* coletada no manguezal do Porto de Itaquí.

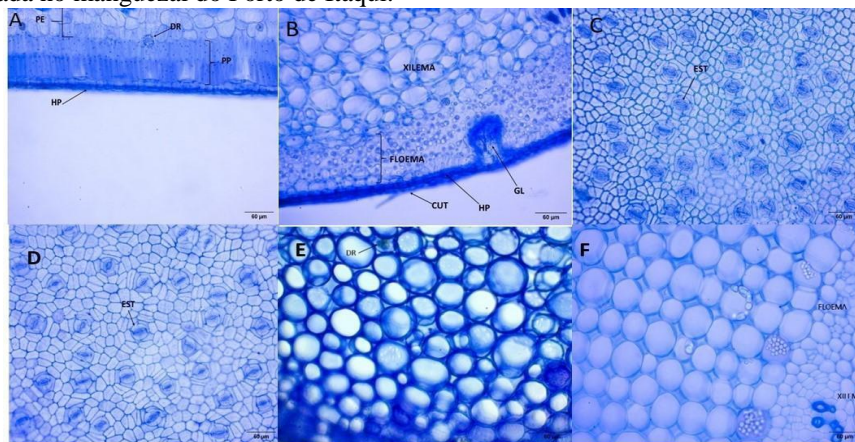


Figura 11: Corte transversal do limbo foliar (A); da nervura central (B); corte paracêntrico adaxial (C) e abaxial (D); corte transversal do pecíolo (E) de *Laguncularia racemosa* coletada no manguezal do Porto de Itaquí Ponto 2.

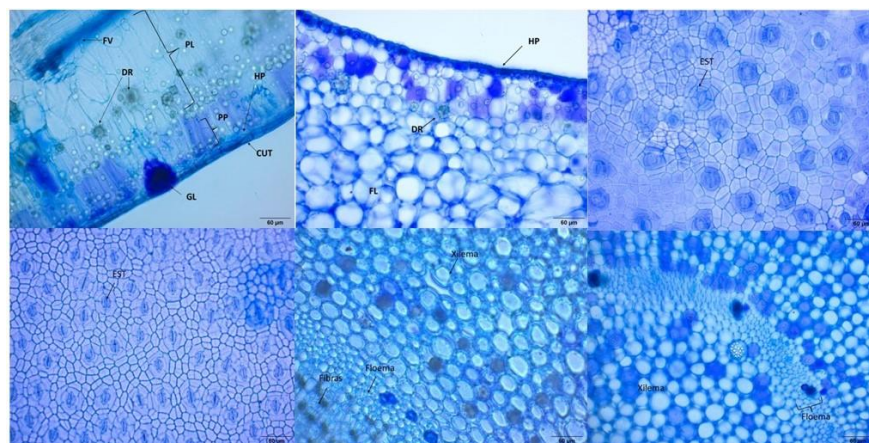


Figura 12: Corte transversal do limbo foliar (A); da nervura central (B); corte paracêntrico abaxial (C) e adaxial (D); corte transversal do pecíolo (E) de *Laguncularia racemosa* coletada no manguezal do Porto de Itaquí Ponto 1

A análise histológica em vista frontal demonstrou a presença de grande quantidade de estômatos tanto no corte paradérmico do limbo adaxial quanto do abaxial das folhas de *Laguncularia racemosa* do Porto de Itaqui, sendo a única das três espécies estudadas a apresentar estômatos em ambas as faces foliares. Estes apresentaram dimensões menores que aqueles encontrados nas folhas dessa mesma espécie na área controle do Mangue Seco (Tabela 3). Essa espécie foi presente tanto no Ponto 1 quanto no Ponto 2 do Porto.

Na morfoanatomia de *L. racemosa* observa-se também a presença de glândulas de sal, descritas por Tomlinson (1986) como “um grupo de células com citoplasma denso, na base de uma profunda e irregular depressão epidermal” e possuem função de secreção de sal (SCHOLANDER *et al.*, 1962; SOBRADO, 2004). A quantidade de glândulas de sal provavelmente está relacionada ao estresse salino sofrido pela planta, porém, ainda não há correlações evidentes entre estresse salino e seus efeitos na superfície foliar (MUNNS, 2002). A redução do tamanho dos estômatos é abordada por Alves (2001). O estuário do Porto de Itaqui (área impactada) se encontra no maior polo industrial de São Luís, cercado por bairros com grande contingente populacional que também contribui com descargas de resíduos poluentes. O porto movimentava grande quantidade de grãos, minério, combustíveis e produtos químicos, desta maneira, embora sem a coleta de dados, pode-se inferir que o nível de CO<sub>2</sub> nesta região é significativamente mais elevado que no estuário de Mangue Seco (área controlada pela pesquisa como não impactada). Consequentemente, acredita-se que a redução no número de estômatos segue a mesma tendência para diminuição da entrada do CO<sub>2</sub> na folha.

A quantidade maior de drusas foi identificada nas observações morfoanatômicas das espécies dos pontos do Porto de Itaqui. De acordo com Baran (1995), esse aumento na produção de drusas é uma característica de defesa dessas



plantas em áreas de grande impacto ambiental. Também segundo ele, a maioria das plantas vasculares estoca algum tipo de material mineralizado, sendo a cristalização de oxalato de cálcio (drusa) a forma mais comum. Estudos de Monje & Baran (2002) reviram as várias funções já atribuídas às drusas e observaram que estas vão desde regulação de pH intracelular e controle de íons de cálcio à percepção de gravidade, suporte mecânico e defesa contra herbivoria. Ruiz & Mansfield (1994) apresentaram evidências de que a deposição de oxalato de cálcio nas células da folha seria necessária para manter uma baixa concentração de cálcio nas adjacências das células-guarda dos estômatos, uma vez que este elemento é fundamental nos vários processos relacionados à abertura estomática. Assim, o aumento na produção de drusas em plantas impactadas provavelmente se relaciona a variações metabólicas diversas, não necessariamente relacionadas à poluição.

A espécie *Laguncularia racemosa* foi a única espécie presente nos dois pontos de coleta do Porto de Itaqui. *Rhizophora mangle* e *Avicennia germinans* foram encontradas apenas no Ponto 2 do Porto e não foram identificados propágulos destas duas espécies no local.

Segundo Schaeffer-Novelli (1995) para sobreviver nas condições inóspitas do ambiente estuarino, *L. racemosa* desenvolveu adaptações morfofisiológicas que garantem a sua sobrevivência e reprodução nos manguezais. As suas raízes, denominadas pneumatóforos, possuem geotropismo negativo em função do fluxo de marés, promovendo a oxigenação dos tecidos no solo alagado. Além disso, têm lenticelas que auxiliam na troca gasosa entre a planta e o meio externo. Suporta uma ampla faixa de salinidade, porém prefere ambientes com baixa concentração de sal (15 a 20‰) e apresenta crescimento reduzido em locais de salinidade acima de 50‰ (LUGO e SNEKADER, 1974; JIMÉNEZ, 1981).

Tabela 3: Resultados da quantidade e dimensões estomáticas encontradas no limbo foliar (abaxial e adaxial) das amostras obtidas na área estuarina do porto de Itaqui (área impactante) e as obtidas no estuário de Mangue Seco (controle) para *Laguncularia racemosa*.

|             | Mangue Seco |          | Porto Ponto 1 |          | Porto Ponto 2 |          |
|-------------|-------------|----------|---------------|----------|---------------|----------|
|             | Abaxial     | Adaxial  | Abaxial       | Adaxial  | Abaxial       | Adaxial  |
| Quantidade  | 20          | 38       | 34            | 57       | 33            | 41       |
| Altura (h)  | 0,443258    | 0,626996 | 0,135636      | 0,135074 | 0,287917      | 0,31959  |
| Largura (b) | 0,73696     | 0,64743  | 0,209923      | 0,666623 | 0,194649      | 0,249246 |

Tabela 4: Resultados da quantidade e dimensões estomáticas encontradas no limbo foliar (abaxial e adaxial) das amostras obtidas na área estuarina do porto de Itaqui (área impactante) para *Avicennia germinans*.

|             | Mangue Seco |         | Porto Ponto 2 |         |
|-------------|-------------|---------|---------------|---------|
|             | Abaxial     | Adaxial | Abaxial       | Adaxial |
| Quantidade  | 22          | –       | 25            | 0       |
| Altura (h)  | 0,134374    | –       | 0,225169      | –       |
| Largura (b) | 0,661526    | –       | 0,32518       | –       |

Tabela 5: Resultados da quantidade e dimensões estomáticas encontradas no limbo foliar (abaxial e adaxial) das amostras obtidas na área estuarina do porto de Itaqui (área impactante) e as obtidas no estuário de Mangue Seco (controle) para *Rhizophora mangle*.

|             | Abaxial  | Adaxial |
|-------------|----------|---------|
| Quantidade  | 11       | 0       |
| Altura (h)  | 0,316826 | –       |
| Largura (b) | 0,241539 | –       |

Os cortes anatômicos de *Avicennia germinans* não permitiram visualização dos estômatos para as amostras da área de Mangue Seco.

A presença maior de estômatos deu-se no limbo foliar adaxial para as três espécies de mangues estudadas. Os estômatos apresentaram diâmetro maior quantidade e menor dimensão nas amostras do estuário da região portuária, característica comum dessas espécies de áreas impactadas, segundo Alves (2001).

#### 4. CONCLUSÃO

As conclusões extraídas desta pesquisa indicaram diferenças significativas entre os manguezais da área portuária em relação a área controle, quanto às suas estruturas morfoanatômicas, com aumento da quantidade de drusas e estômatos (defesa da espécie para conseguir sobreviver em áreas de considerado impacto ambiental) e em seu perfil fitoquímico onde, na espécie *Rhizophora mangle* é possível notar a presença de substâncias de média polaridade, o que não se vê no controle. Na espécie *Avicennia germinans* é possível notar na cromatoplaça uma diferença qualitativa do controle da folha verde com a área impactada. Para a espécie *Laguncularia racemosa*, é possível observar na cromatoplaça revelada sob Luz UV, diferença quantitativa dos compostos mais polares.

Mediante ao exposto, a pesquisa consegue identificar nos manguezais do porto de Itaquí, elementos suficientes para concluir que as espécies de mangues de áreas de considerado impacto ambiental desenvolvem mecanismos de defesa para sobreviverem em áreas eutrofizadas, podendo ser considerados como bioindicadoras de poluição, vindo a contribuir para o melhor manejo da área portuária.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, E. S et al. Estudo anatômico foliar do clone híbrido 4430 de *Tradescantia*: alterações decorrentes da poluição aérea urbana. **Brazilian Journal of Botany**, v. 24, p. 567-576, 2001.
- ALONGI, D. M. Early growth responses of mangroves to different rates of nitrogen and phosphorus supply. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 397, n. 2, p. 85-93, 2011.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO (ANTAQ). **Impactos Ambientais dos Portos**. Disponível em: [http://www.antaq.gov.br/Portal/MeioAmbiente\\_ImpactosAmbientais](http://www.antaq.gov.br/Portal/MeioAmbiente_ImpactosAmbientais). Acesso em: 13 mar. 2023.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTE AQUAVIÁRIO (ANTAQ). Gerência de Estudos e Desempenho Portuário. **Boletim Portuário**, out./dez. 2011. Disponível em: <http://www.antaq.gov.br/portal/pdf/BoletimPortuario/BoletimPortuarioQuartoTrimestre2011.pdf>. Acesso em: 30 abr. 2023.
- APHA. **Compendium of methods for microbiological examination of foods**. 4. ed. Washington, 2001.
- ARAÚJO, D. F et al. Assessing man-induced environmental changes in the Sepetiba Bay (Southeastern Brazil) with geochemical and satellite data. **Comptes Rendus Geoscience**, v. 349, n. 6-7, p. 290-298, 2017.
- BAYEN, S. Occurrence, bioavailability and toxic effects of trace metals and organic contaminants in mangrove ecosystems: a review. **Environment International**, Philadelphia, v. 48, p. 84-101, 2012.
- BASTOS, R. B.; FEITOSA, F. A. do N; MUNIZ, K. Variedade espaço-temporal da biomassa fitoplancônica e hidrologia no estuário do rio Una (Pernambuco - Brasil). **Tropical Oceanography**, Recife, v.33, n. -8, 2005.
- BALL, M. C. Ecophysiology Of Mangroves. **Trees**, V. 2, P. 129-142, 1988.
- BARBIERI JR, E.; ROSSIELLO, R. O. P.; SILVA, R. V. M. ; RIBEIRO, C. R.; MORENZ, M. J. F. Um novo para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85. **Ciência Rural**, v. 42, n. 12, p. 242-2245, 2012.
- BONALDI, R. A.; RODERJAN, C. V. Levantamento florístico e caracterização estrutural de um manguezal na APA de Guaraqueçaba, Paranaguá, PR. **Acta Biológica Catarinense**, [s. l.], v. 4, n. 1, p. 19-28, jan./jun, 2017.
- BOMPY, Félix et al. Increasing fluctuations in soil salinity affect the performance and physiology of seedling growth in three neotropical mangrove species. **Plant and soil**, v.380, p. 399-413, 2014.
- BARAN, E.J. **Química Bioinorgânica**. Madrid: McGraw Hill. p.197-212. 1995.
- CUNHA, Alexson de Mello *et al.* Efeito de diferentes substratos sobre o desenvolvimento de mudas de *Acacia* sp. **Revista árvore**, v.30, p.207-214, 2006.
- DA SILVA, L.A et al. **Plantas do Manguezal**: uma revisão brasileira. In: Ciências Biológicas: Campo Promissor em Pesquisa 2, capítulo 17, Editora Atena, Ponta Grossa, DOI: 10.22533/at.ed.82619131117, 2019.



DIAS, J.M.A. A Análise Sedimentar e o Conhecimento Dos Sistemas Marinhos (Uma Introdução à Oceanografia Geológica). **Universidade do Algarve , UALg, 84p.** E-Book Disponível. Em: <[http://w3.ualg.pt/~jdias/jad/eb\\_sediment.html](http://w3.ualg.pt/~jdias/jad/eb_sediment.html)>. 2004.

ESPO (European Sea Ports Organisation). **EcoPorts Port Environmental Review 2009** - European Sea Ports Organisation's Review of Environmental Benchmark Performance in collaboration with the EcoPorts Foundation (EPF), Brussels. Disponível em: <[http://www.shortsea.nl/main/attachements/milieu\\_milieurapport\\_2009\\_van\\_ESPO\\_en\\_EcoPorts.pdf?language=1](http://www.shortsea.nl/main/attachements/milieu_milieurapport_2009_van_ESPO_en_EcoPorts.pdf?language=1)>. Acessado em: 24 set 2022, 1. 2010.

ESTEVEES, F. A. **Fundamentos da Limnologia**, 2º ed. Rio de Janeiro. Interciência, 1998.

FOLK, R.L. & WARD. W. C. Brazos River Bar: Study and significance of grain size parameters. **Journal Sedimentary Petrology**, v.27, n 1, p. 3-26. 1957.

FOLK, R.L. **Petrology of Sedimentary Rocks**. Hemphill's, Austin, Texas, 170p. 1968.

FURTADO, J. G. C. Estudo de impactos ambientais causados por metais pesados em água do mar na baía de São Marcos: correlações e níveis de background. 2007. 74 p. Dissertação (Mestrado em Química Analítica). **João Pessoa, Universidade Federal da Paraíba**, 2007.

GONI, M. A.; TEIXEIRA, M. J.; PERKEYA, D. W. Sources and distribution of organic matter in a river-dominated estuary (Winyah Bay, SC, USA). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.57, n.5-6, p.1023-1048, 2003.

HAMILTON, L. S.; SNEDAKER, S. M. **Handbook for mangrove area management**. 2. ed. Honolulu: East-West Center, 123 p. 1984.

HONG, P. N. Restauracion de ecosistemas de manglaren Vietnam: estudio de caso deldistrito de CanGio, Ciudad Ho Chi Minh. In: FIELD, C. (Ed.). **La restauration de ecosistemas del manglar**. Managua: OIMT & ISME, p. 81-104. 1997.

HORNE, A. J.; GOLDMAN, C. R. **Limnology**. 2.ed. Singapura: McGraw-Hill, 1994.

IRIGOIEN, X.; CASTEL, J. Light limitation and distribution of chlorophyll pigments in a highly turbid estuary: the Gironde (SW France). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 44, n. 4, p. 507-517, 1997.

JIMÉNEZ, J. A. **The mangroves of Costa Rica**: a physionomic characterization. 130 p, Thesis de M.S., University of Miami, 1981.

LEHMAN, P.W. Environmental factors associated with long-term changes in chlorophyll concentration in the Sacramento-San Joaquin delta and Suisun bay, California. **Estuaries**, v.15, p..335-348, 1992.

LIU, D.; LI, X.; EMEIS, K-C.; WANG, Y.; RICHARD, P. Distribution and sources of organic matter in surface sediments of Bohai Sea near the Yellow River Estuary, China. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.165, p. 128-136, 2015.

LICHTENTHALER, H.K, BABANI F. Adaptação à luz e senescência do aparelho fotossintético. Mudanças na composição do pigmento, parâmetro de

fluorescência da clorofila e atividade fotossintética. In: Papageorgiou, G.C, Covindjee (eds) **Clorofila a Fluorescência. Avanços em fotossíntese e Respiração**, vol-19, Springer, Dordrecht, [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3218-9\\_28](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-3218-9_28). 2004.

LOVERLOCK, C.E.; BALL, M.C.; CHOAT, B; ENGELBRECHT, B.M.J.; HOLBROOK, N.M.; FELLER, I.C. Linking physiological processes with mangrove forest structure: phosphorus deficiency limits canopy development hydraulic conductivity and photosynthetic carbon gain dwarf *Rhizophora mangle*. **Plant, Cell and Environment**, Malden, v.29, p.793-802, 2006a.

LUGO, A. E. e SNEKADER, S. C. The ecology of mangrove. **Annual Review of Ecology and Systematics**, 5:39-64, 1974.

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

MARTINS, S.A. Pesquisa de vírus entéricos e indicadores bacterianos de poluição fecal na água e no sedimento em área de manguezal da Baía de Vitória (ES). 2013.

MEDINA, E.; CUERVAS, E.; LUGO, A. Nutrient relations of dwarf *Rhizophora mangle* L. mangroves on peat in eastern Puerto Rico. **Plant Ecology**; New York, v. 207, p. 13-24, 2010.

MENDES, A.C.; SILVA, M.S. & FÁRIA Jr., L.E.C., A expansão urbana e seus efeitos danosos ao meio ambiente da Ilha do Atalaia-Salinópolis/PA. In: COSTA, M.L. & ANGÉLICA, R.S. (1. ed.).

MCKEE, K.L. Interspecific variations in growth, biomass, partitioning, and defensive characteristics of neotropical mangrove seedlings: Response to light and nutrient availability. **American Journal of Botany** 82 (3): 299-307. 1995.

MOCHEL, F. R. Manguezais da Amazônia maranhense, conservação e recuperação ecológica. Conferência da Terra -paisagens, solos e biodiversidade: desafios para um bom viver. **Edição Universidade Central do Chile**. Chile 2016.

MOCHEL, F.R.; FONSECA, I. L.A. Abordagem integrada para a recuperação de manguezais degradados em áreas portuárias com estudo de caso em São Luís, Maranhão In: Mochel, Flávia Rebelo. (Org.). **Gerenciamento Costeiro e Gerenciamento Portuário 2**. 1ed.Ponta Grossa: Atena Editora, v. 2, p. 59-71. 2019.

MOCHEL, F. R et al. Degradação dos manguezais na Ilha de São Luís (MA): processos naturais e impactos antrópicos. **Ecossistemas Costeiros: Impactos e Gestão Ambiental**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001.

MOCHEL, F. R. et al. Zoneamento costeiro do Estado do Maranhão: relatório final. São Luís: FSADU; Labohidro, 2003.

MONJE, P.G.; BARAN, E.J. Characterization of calcium oxalates generated as biominerals in cacti. **Plant Physiology**, v.128, p.707-713. 2002.

MOYER, R.P.; POWELL, C.E.; GORDON, D.J.; LONG, J.S.; BLISS, C.M. Abundance, distribution, and fluxes of dissolved organic carbon (DOC) in four

small sub-tropical rivers of the Tampa Bay Estuary (Florida, USA). **Applied Geochemistry**, v. 63, p. 550-562, 2015.

MUNNS, R. Comparative physiology of salt and water stress. **Plant, Cell and Environment**, v.25, p.239-250, 2002.

ONU. United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021- 2030). Disponível em: <https://www.oceandecade.org>. 2020.

PARIZ, C. M.; ANDREOTTI, M.; BERGAMASCHINE, A. F.; BUZETTI, S.; COSTA, N. R.; CAVALLINI, M. C. Produção, composição bromatológica e índice de clorofila de braquiárias após o consórcio com milho. **Archivos de Zootecnia**, v. 60, n. 232, p. 1041-1052, 2011.

PORTO DO ITAQUI. **Portal EMAP**. Disponível em: <https://www.portodoitaqui.com/porto-do-itaqui/localizacao>

RANDA

LL, J.M. & DAY, J.W. Effects of river discharge, vertical circulation and aquatic primary production in a turbid Louisiana (USA) estuary. *Neth.J. Sea Res*, v.21, p.321-242, 1987.

DA SILVA, O. R; GOMES, M. B. M. Impactos das atividades portuárias no sistema estuarino de Santos/Impacts of activities in port system estuarine Santos. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade (ISSN 2318-3233)**, v. 2, n. 2, p. 64-81, 2012.

REZENDE C. E.; LACERDA, L. D.; OVALLE, A.R.C.; SILVA, C.A.R.E.; MARTINELLI, L.A. Nature of POC Transport in a mangrove ecosystem: A carbon stable isotopic study. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, vol.30, p. 641-646. 1990.

RUIZ, L.P.; MANSFIELD, T.A. A postulated role for calcium oxalate in the regulation of calcium ions in the vicinity of stomatal guard cells. **New Phytology**, v.127, n.3, p.473-481. 1994.

SALISBURY, FB e Ross, CW. Fisiologia vegetal. 4ª Edição, Wadsworth Publishing Company, Beverly, 481, 1991.

SHEPARD, F. P. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. **Journal of sedimentary Research**, v. 24, n. 3, p. 151-158, 1954.

SCALON, S.P.Q.; MUSSURY, R.M.; RIGONI, M.R.; SCALON FILHO, R. Crescimento inicial de mudas de *Bombacopsis glabra* (Pasq.) A. Robyns sob condição de sombreamento. **Revista Árvore**, Viçosa, v.27, n.6, p.753-758, 2003.

SOARES, TRE; RANGEL, JJDA Emissões de co2 e o potencial de expansão dos combustíveis fósseis nos BRICS. **Revista Produção e Desenvolvimento**, v. 1, pág. 603-603, 2022.

SOBRADO, M.A. Relation of water transport to leaf gas exchange properties in three mangrove species. **Trees**, New York, v. 14, p.258-262, 2000.

SINHOR, V.; KITZMAN, D. I. S.; HENKES, J. A. Levantamento de aspectos e impactos ambientais em um terminal industrial portuário. **Revista gestão & sustentabilidade ambiental**, Florianópolis, v. 7, n. 3, p.397-434, jul/set. 2018.

- SOUSA, M.S.; ALVES, R.J.M. O estado do conhecimento sobre o uso de mangues na medicina popular de comunidades litorâneas do Pará, Brasil. *Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales*, (Vol 1, Nº 8 octubre-diciembre 2021, pp. 269-280). <https://doi.org/10.51896/CCS/XRUN5372>.
- SOUZA, S. J. Propriedades Antioxidantes e antimicrobianas de filmes de amido contendo extrato de própolis. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica, 11, Campinas. Anais [...], Unicamp: Campinas, v. 1, n. 3, 2015.
- STRICKLAND, J.D.H.; PARSONS, T.R. A practical handbook of seawater analysis. Bull. Fish. Res. Board Can., Ottawa, n.167, p.1-310, 1972.
- SUGUIO, K. Introdução a sedimentologia. Edgar Blucher, EDUSP, São Paulo, 357p. 1973.
- SUGUIO, K. **Geologia sedimentar**. São Paulo: Edgard Blucher, 2003.
- SCHOLANDER, P.F.; HAMMEL, H.T.; HEMMINGSEN, E.; GAREY, W. Salt balance in mangroves. *Plant Physiology*, v.37, n.6, p.722-729, 1962.
- SOBRADO, M.A. Influence of external salinity on the osmolality of xylem SAP, leaf tissue and leaf gland secretion of the mangrove *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. *Trees*, v.18, n.4, p.422-427, 2004.
- TOMLINSON, P.B. 1986. **The botany of mangroves**. Cambridge: Cambridge Press.
- VIANA, M. T. R.; AZEVEDO, H. P. A. de; PEREIRA, F. A. C.; CARVALHO, M. A. F.; GUIMARÃES, R. J. Coffee genotypes morphophysiological adaptation under coffee leaf rust biotic stress. *Coffee Science* , v. 16, e161949, 2021.
- WETZEL, R. G. **Limnology**. W. G. saunders company, philadelphia, london, and Toronto, 734 p, 1975.

## ANEXOS

### ✓ Coleta das amostras – Mangue Seco/Raposa – MA



### ✓ Coleta das amostras – Porto de Itaqui/São Luís – MA

Ponto de coleta 1:



Ponto de coleta 2:





✓ Laboratório de Biogeociclos dos Constituintes Químicos da Água (LABICICLOS) – DEOLI/UFMA



✓ Laboratório de Estudos em Oceanografia Geológica (LEOG) – DEOLI/UFMA



✓ Laboratório de Manguezais e Centro de Recuperação de Manguezais (LAMA/CERMANGUE) – DEOLI/UFMA



✓ Laboratório de Fisiologia e Anatomia Vegetal (LAFAV) – UFMA



✓ Laboratório de Química de Produtos Naturais (LQPN) – UFMA

