

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO  
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – BACHARELADO

ANÁLISE TEMPORAL DE METAIS NOS  
SEDIMENTOS E NAS FOLHAS DE *Rhizophora*  
*mangle* L. NO MANGUEZAL DO ESTUÁRIO DO  
RIO SÃO MATEUS-ES

BRUNNA ROCHA MARTINS

**São Mateus**

**Agosto/2025**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO  
CURSO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS – BACHARELADO

ANÁLISE TEMPORAL DE METAIS NOS  
SEDIMENTOS E NAS FOLHAS DE *Rhizophora*  
*mangle* L. NO MANGUEZAL DO ESTUÁRIO DO  
RIO SÃO MATEUS - ES

BRUNNA ROCHA MARTINS

Monografia de conclusão de curso  
apresentada ao Curso de Ciências  
Biológicas da Universidade Federal do  
Espírito Santo, como requisito parcial para  
obtenção do título de BACHAREL EM  
CIÊNCIAS BIOLÓGICAS.

Orientadora: Dra. Mônica Maria Pereira Tognella  
Coorientadora: MSc. Raquel Vidal dos Santos Leopoldo

**São Mateus/ES**  
**Agosto/2025**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**  
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO

# FOLHA DE APROVAÇÃO

Autor: Brunna Rocha Martins

Título: “Análise temporal de metais nos sedimentos e nas folhas de *Rhizophora mangle* L. no manguezal do estuário do rio São Mateus, Espírito Santo”

Monografia do Curso de Ciências Biológicas (Bacharelado)  
Defendida e aprovada em 21/08/2025

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** MONICA MARIA PEREIRA TOGNELLA  
Data: 27/08/2025 09:57:36-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

\_\_\_\_\_  
Orientador(a) e presidente da Comissão Examinadora

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** IVONEY GONTIJO  
Data: 23/08/2025 08:36:21-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

\_\_\_\_\_  
Examinador 1

Documento assinado digitalmente  
**gov.br** KAREN OTONI DE OLIVEIRA LIMA  
Data: 26/08/2025 11:26:05-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

\_\_\_\_\_  
Examinador 2

## RESUMO

É essencial entender como as espécies respondem as concentrações de poluentes no sedimento para gerir e compreender os impactos em um ambiente natural. Visto a importância das áreas de manguezais como sumidouros dessas substâncias, e devido sua extrema importância na mitigação da emergência climática, objetivou-se no presente analisar a variabilidade temporal e sazonal das concentrações de metais (Cu, Pb, Fe, Al, Mn e Zn) nos sedimentos e nas folhas de plantas de *Rhizophora mangle* nas florestas de franja dos manguezais do estuário do rio São Mateus ao longo dos períodos chuvosos e secos compreendidos entre os anos de 2018 e 2023. Foram realizadas duas coletas por ano, representando os períodos seco e chuvoso. Sedimentos e folhas foram coletados. Em laboratório os sedimentos foram analisados quanto a matéria orgânica, carbonato de cálcio, granulometria e metais. Já para as folhas, foram analisadas as concentrações de ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cobre (Cu) e chumbo (Pb). Os dados foram submetidos a análises estatísticas por teste de normalidade (Shapiro-Wilke) e homogeneidade (Bartlett)), para os que apresentaram distribuição normal passaram pela Análise de Variância (ANOVA) paramétrica (teste F) seguido do teste post hoc Tukey, já os que não indicaram normalidade passaram pelo teste não paramétrico Kruskal-Wallis, seguido do teste de comparações múltiplas *a posteriori* (Teste de Bonferroni). No geral, os sedimentos são lamosos, ricos em matéria orgânica, o que ajuda na retenção de metais. Os teores de CaCO<sub>3</sub> mostram influência marinha e fluvial. Os metais com maior concentração nos sedimentos foram Al e Fe. Por outro lado, Cu, Zn e Mn oscilaram, mas sem ultrapassar limites de contaminação. O Pb no sedimento ultrapassou o limite em dois períodos chuvosos (2018/2019 e 2020/2021), para as plantas é considerado tóxico em qualquer quantidade. Não foi identificado um padrão entre os períodos secos e chuvosos. As folhas demonstraram variação na concentração de metais, refletindo as mudanças no sedimento.

**PALAVRAS - CHAVE:** Contaminação; Metais-traço; Ecossistema Manguezal

## ABSTRACT

It is essential to understand how species respond to pollutant concentrations in sediments to properly assess environmental impacts. Mangroves, recognized as sinks for these substances and key ecosystems in mitigating the climate emergency, were the focus of this study. The objective was to analyze the temporal and seasonal variability of metal concentrations (Cu, Pb, Fe, Al, Mn, and Zn) in sediments and in *Rhizophora mangle* leaves in the mangroves of the São Mateus estuary (ES, Brazil), between 2018 and 2023, across dry and rainy seasons.

Two sampling campaigns were conducted annually. Sediments were analyzed for organic matter, calcium carbonate, grain size, and metals, while leaves were assessed for Fe, Mn, Zn, Cu, and Pb concentrations. Data were subjected to statistical tests of normality (Shapiro-Wilk) and homogeneity (Bartlett). Variables with normal distribution were evaluated using ANOVA followed by Tukey's test, while non-normal variables were analyzed with the Kruskal-Wallis test followed by Bonferroni multiple comparisons.

Results indicated predominantly muddy sediments rich in organic matter, which favors metal retention. CaCO<sub>3</sub> contents reflected both marine and fluvial influences. Al and Fe showed the highest concentrations, while Cu, Zn, and Mn fluctuated without exceeding contamination thresholds. Pb exceeded the limit in two rainy periods (2018/2019 and 2020/2021), being considered toxic to plants at any concentration. Leaf concentrations mirrored sediment variations but showed no consistent pattern between dry and rainy seasons.

**KEY WORDS:** Contamination; Trace-metals; Mangrove Ecosystem

## **SIGLAS**

<b>Sigla</b>	<b>Significado</b>
AET	Apparent Effect Threshold (limite aparente de efeito)
Al	Alumínio
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de cálcio
Cu	Cobre
EPA / USEPA	United States Environmental Protection Agency
Fe	Ferro
FEST	Fundação Espírito-Santense de Tecnologia (ligada ao convênio UFES–Renova, no texto aparece como “convênio com Fundação Renova/FEST”)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Peróxido de hidrogênio
HCl	Ácido clorídrico
HClO <sub>4</sub>	Ácido perclórico
HNO <sub>3</sub>	Ácido nítrico
ICP-MS	Espectrometria de Massa com Plasma Indutivamente Acoplado
IEMA	Instituto Estadual de Meio Ambiente
Mn	Manganês
MO	Matéria Orgânica
NOAA	Administração Oceânica e Atmosférica Nacional
PA	Puro para análise
Pb	Chumbo
PEL	Probable Effect Limit
PMBA	Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática
TEL	Threshold Effect Level (nível de efeito limiar para contaminação)
Zn	Zinco

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>10</b>
2.1 Objetivo Geral .....	12
2.2 Objetivos específicos.....	12
3.1 Área de estudo .....	13
3.2 Coleta de dados .....	14
3.3.1 Sedimentos .....	17
3.3.1.1 Matéria Orgânica.....	17
3.3.1.2 Granulometria e carbonato de cálcio.....	18
3.3.1.3 Concentração de metais .....	19
3.3.2 Folhas .....	21
3.3.2.1 Concentração de metais .....	21
3.3.3 Análise estatística .....	21
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>7</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>8</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Período de coleta de sedimentos nos manguezais do estuário do rio São Mateus, Conceição da Barra, Espírito Santo, entre 2018 e 2023.....	16
Tabela 2: Concentração (mg/kg) de metais no sedimento seguindo os limites NOAA para os metais Al, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn.....	22
Tabela 3: Descrição dos dados médios e desvio padrão dos teores de MO, CaCO <sub>3</sub> e granulometria dos bosques de franja dos manguezais do estuário do rio São Mateus, Conceição da Barra, Espírito Santo, durante os períodos chuvoso e seco entre 2018 e 2023.....	24
TABELA 4: Valores médios e desvio padrão das concentrações de cobre, ferro e alumínio nos sedimentos e folhas de <i>R. mangle</i> dos bosques de franja dos manguezais do estuário do rio São Mateus, Conceição da Barra, Espírito Santo.....	28
Tabela 5: Valores médios e desvio padrão das concentrações de manganês, zinco e chumbo nos sedimentos e folhas de <i>R. mangle</i> dos bosques de franja dos manguezais do rio São Mateus, Conceição da Barra, Espírito Santo.....	29

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização da área de estudo no estuário do rio São Mateus, Conceição da Barra, Espírito Santo.....	14
Figura 2: Processo de obtenção das amostras de sedimento: a) Coleta de sedimento in situ; b) Extrusão do sedimento; c) Aferição da profundidade amostrada; d) Recipiente utilizado para homogeneização das amostras .....	16
Figura 3: Processo de aquisição das folhas para análise de metais: Coleta de folhas em campo (a e b) e secagem das folhas na estufa em laboratório (c e d).....	17
Figura 4: Descrição da composição granulométrica, em porcentagem (%), de cascalho, areia e lama nos sedimentos das florestas de franja do manguezal do estuário do rio São Mateus, Conceição da Barra, Espírito Santo, por períodos chuvoso e seco ao longo dos cinco anos de monitoramento (2018-2023) .....	23

Figura 5: Valores do teor de matéria orgânica, em porcentagem (%), no sedimento do manguezal do estuário do rio São Mateus, Conceição da Barra, Espírito Santo, ao longo dos cinco anos de monitoramento (2018-2023) .....	24
Figura 6: Valores do teor de carbonato de cálcio, em porcentagem (%), no sedimento do manguezal do estuário do rio São Mateus, Conceição da Barra, Espírito Santo, ao longo dos cinco anos de monitoramento (2018-2023). .....	25
Figura 7: Valores das concentrações de cobre ao longo de cinco anos (2018-2023).a) Concentração (mg/kg) de Cu nos sedimentos, b) Concentração (mg/kg) de Cu nas folhas de <i>R. mangle</i> .....	30
Figura 8: Valores das concentrações de ferro ao longo de cinco anos (2018-2023). a) Concentração (mg/kg) de Fe nos sedimentos, b) Concentração (mg/kg) de Fe nas folhas de <i>R. mangle</i> .....	31
Figura 9: Valores das concentrações de alumínio ao longo de cinco anos (2018-2023). a) Concentração de Al (em mg/kg) nos sedimentos, b) Concentração de Al (em mg/kg) nas folhas de <i>R. mangle</i> .....	2
Figura 10: Valores da concentração de manganês ao longo de cinco anos (2018-2023). a) Concentração (em mg/kg) de Mn nos sedimentos b) Concentração (em mg/kg) de Mn nas folhas de <i>R. mangle</i> .....	33
Figura 11: Valores das concentrações de zinco ao longo de cinco anos (2018-2023). a) Concentração de Zn (em mg/kg) nos sedimentos; b) Concentração de Zn (em mg/kg) nas folhas de <i>R. mangle</i> .....	34
Figura 12: Valores das concentrações de chumbo ao longo de cinco anos (2018-2023). a) Concentração de Pb (em mg/kg) nos sedimentos, b) Concentração de Pb (em mg/kg) nas folhas de <i>R. mangle</i> .....	35

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática e a FEST pela bolsa de iniciação científica e pelos dados utilizados neste trabalho.

Aos membros do laboratório de Gestão e Ecologia do Ecossistema Manguezal, obrigada por contribuírem de alguma forma neste trabalho, seja em campo ou em laboratório. Em especial a Verônica pelo tratamento dos dados de metais das folhas e a Raquel pelos dados de metais do sedimento.

A Helia Espinoza, pela elaboração do mapa da área de estudo.

Ao Laboratório de Geoquímica Ambiental da UFES pelas análises de sedimento.

Ao laboratório FULLIM pelas análises de metais das folhas.

Ao Labfert, pelo fornecimento de água deionizada.

Preciso confessar que essa jornada não foi fácil pra mim, por inúmeras vezes pensei em desistir, mas sempre tive a sorte de ter pessoas que acreditaram em mim quando eu mesma já não fazia isso.

Por isso agradeço a minha família, pelo apoio incondicional sempre. Vocês são os pilares da minha vida. Amo vocês.

A minha orientadora Monica Tognella, pela oportunidade de me permitir fazer parte do laboratório, pelos puxões de orelha e pela paciência comigo todos esses anos.

A minha coorientadora Raquel Vidal, obrigada pelos conselhos, por não desistir de mim e obrigada principalmente por sua amizade.

Aos meus amigos do prédio da pós, minha imensa gratidão. Sem vocês isso não seria possível. Raquel, Samira e Eduardo, amo vocês meus biblinhas.

Aos meus amigos do barraco, obrigada pelos bons momentos lá em casa, temos muitas histórias pra contar, histórias boas.

Por último, mas não menos importante, preciso agradecer aqueles que estiveram comigo desde o início dessa jornada desafiadora que é a graduação. Pessoas que se tornaram minha família aqui em São Mateus. Obrigada a Erika, amiga querida que sempre torceu por mim e aos meus irmãos de outras mães, Bish e Maykinho- Geovana e Maykol pra vocês- obrigada por serem pessoas extraordinárias. Sou grata pela nossa amizade, grata pelo nosso encontro. O aluguel mais barato nos uniu, é verdade, mas tenho certeza que a vida daria outro jeito de fazer isso acontecer, porque tinha que ser. Vocês fizeram essa caminhada ser mais leve! Amo vocês, obrigada por tudo!

## 1. INTRODUÇÃO

O Manguezal é um ecossistema costeiro característico de regiões tropicais e subtropicais, situado na interface entre o ambiente terrestre e marinho, sujeito à influência das marés. É dominado por vegetação adaptada à salinidade e com baixos teores de oxigênio no solo (SCHAEFFER-NOVELLI, 1995). Apresenta adaptações que possibilitam lidar com inundações diárias causadas pelas marés, ventos fortes, ondas, correntes de água, solos lamacentos e instáveis, altos níveis de salinidade e a baixa disponibilidade de oxigênio no solo (CLOUGH, 2013).

Os manguezais são ecossistemas vitais para vida marinha, pois nele diversas espécies se reproduzem, alimentam-se e vão em busca de proteção e abrigo (AMARAL et al. 2010). Realizam importante papel no fornecimento de bens e serviços ecossistêmicos para a sociedade humana e para a natureza, sendo capazes de sequestrar carbono, e contribuir substancialmente para a mitigação da crise das mudanças climáticas (GIRI, 2023). As plantas presentes nesse ecossistema funcionam como uma barreira contra o vento, diminuindo os impactos das tempestades nas regiões costeiras. Essas árvores também diminuem a energia das ondas e das marés e, assim, contribuem para a melhoria da qualidade das águas estuarinas e costeiras, retendo os nutrientes do aporte terrestre, fixando-os e, simultaneamente, ao atuar como filtro biológico que protege a linha de costa (SCHAEFFER-NOVELLI et al. 2012).

No Brasil, são encontradas plantas dos gêneros *Avicennia*, *Laguncularia* e *Rhizophora* (AMARAL et al. 2010). O gênero *Rhizophora*, família *Rhizophoraceae*, apresenta 16 espécies e são de grande importância para os manguezais em todo o mundo. Dessas espécies, três são encontradas no Brasil sendo elas: *Rhizophora mangle* Linnaeus, *R. harrisonii* L., *R. racemosa* G. Mey. A primeira possui distribuição pantropical (Tomlinson, 1986) e a espécie dominante nos manguezais brasileiros (Schaeffer-Novelli et al., 1990; Duke e Allen, 2006).

Os manguezais localizados no estado do Espírito Santo possuem origem geomorfológica complexa, resultante dos processos geológicos que ocorreram no quaternário. Sendo assim, nesse período ocorreram os mecanismos responsáveis pela formação da atual linha de costa, os quais deram origem às feições típicas desses ambientes, como também às planícies costeiras (IEMA, 2015). O manguezal do rio São Mateus está inserido na Área de Proteção Ambiental de Conceição da Barra, estabelecida em 13 de novembro de 1998, por meio do Decreto

Estadual N° 7.305-E e, posteriormente, instituída pelo Decreto N° 1876-R, publicado em 04 de julho de 2007 (IEMA, 2023). Apresenta importância ecológica e possui forte relação econômica e social com as comunidades pesqueiras do município de Conceição da Barra, isso ocorre pelo fato deste ambiente proporcionar aos pescadores e catadores grande parte de seu sustento econômico (IEMA, 2023).

No entanto, a degradação dos habitats de manguezais provoca a perda da funcionalidade ecológica, gerando risco para milhões de pessoas das regiões costeiras. Assim, pode-se dizer que é uma tarefa desafiadora entender a complexidade dos processos que determinam e mantêm a biodiversidade e a produtividade dos manguezais (TOGNELLA et al., 2022). O equilíbrio desse ecossistema está ameaçado por forças naturais e antropogênicas (GIRI, 2023), o que reforça a necessidade de estudá-lo, para sua compreensão e proteção.

Dentro deste contexto, este trabalho buscou analisar as concentrações de metais presente nas folhas de *Rhizophora mangle* e no sedimento dos manguezais localizados no estuário Rio São Mateus, a fim de compreender o comportamento da espécie em relação a variação de metais no sedimento, obtendo dados que podem auxiliar em ações de monitoramento e recuperação de áreas degradadas.

## **2.OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Analisar a variabilidade temporal e sazonal das concentrações de metais (Cu, Pb, Fe, Al, Mn e Zn) nos sedimentos e nas folhas de plantas de *Rhizophora mangle* nas florestas de franja dos manguezais do estuário do rio São Mateus ao longo dos períodos chuvosos e secos compreendidos entre os anos de 2018 e 2023.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Avaliar os teores de matéria orgânica e carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) presentes nos sedimentos dos manguezais do rio São Mateus;
- Caracterizar a granulometria dos sedimentos de franja dos manguezais do rio São Mateus;
- Determinar as concentrações sazonais dos metais nos sedimentos; e
- Analisar as concentrações sazonais temporalmente dos metais encontrados nas folhas de *R. mangle*.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 Área de estudo

A bacia do rio São Mateus, no norte do Espírito Santo, ocupa área de aproximadamente 13.500 km<sup>2</sup> (IEMA, 2015). O trecho do rio nomeado São Mateus ocorre após o encontro dos rios Cotaxé e Cricaré, que nascem no estado de Minas Gerais. As duas nomenclaturas têm origem indígena e segundo Nascimento (2020), Cricaré pode ser traduzido como “preguiçoso” ou “rio calmo” enquanto Cotaxé não tem sua forma etimológica documentada.

A região situa-se no sistema de classificação climática do tipo Aw (tropical com inverno seco e precipitação anual entre 1000 e 1400 mm) proposta por Koppen (Alvares et al., 2013).

O estudo foi realizado no manguezal do estuário do rio São Mateus, localizado a sudeste do município de Conceição da Barra, Espírito Santo. A amplitude de maré de maré n m a região pode atingir 1,8 m de altura, que caracteriza um regime de micromaré (Silva, 2010). O manguezal apresenta área total de 10.820 km<sup>2</sup> de vegetação (IEMA, 2023) (Fig.1) e há ocorrência de 4 espécies típicas: *Avicennia germinans* (L.), *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm. ex Moldenke, *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn. e *Rhizophora mangle* (L.), sendo as duas últimas, dominantes nessa área (TOGNELLA et al., 2020).

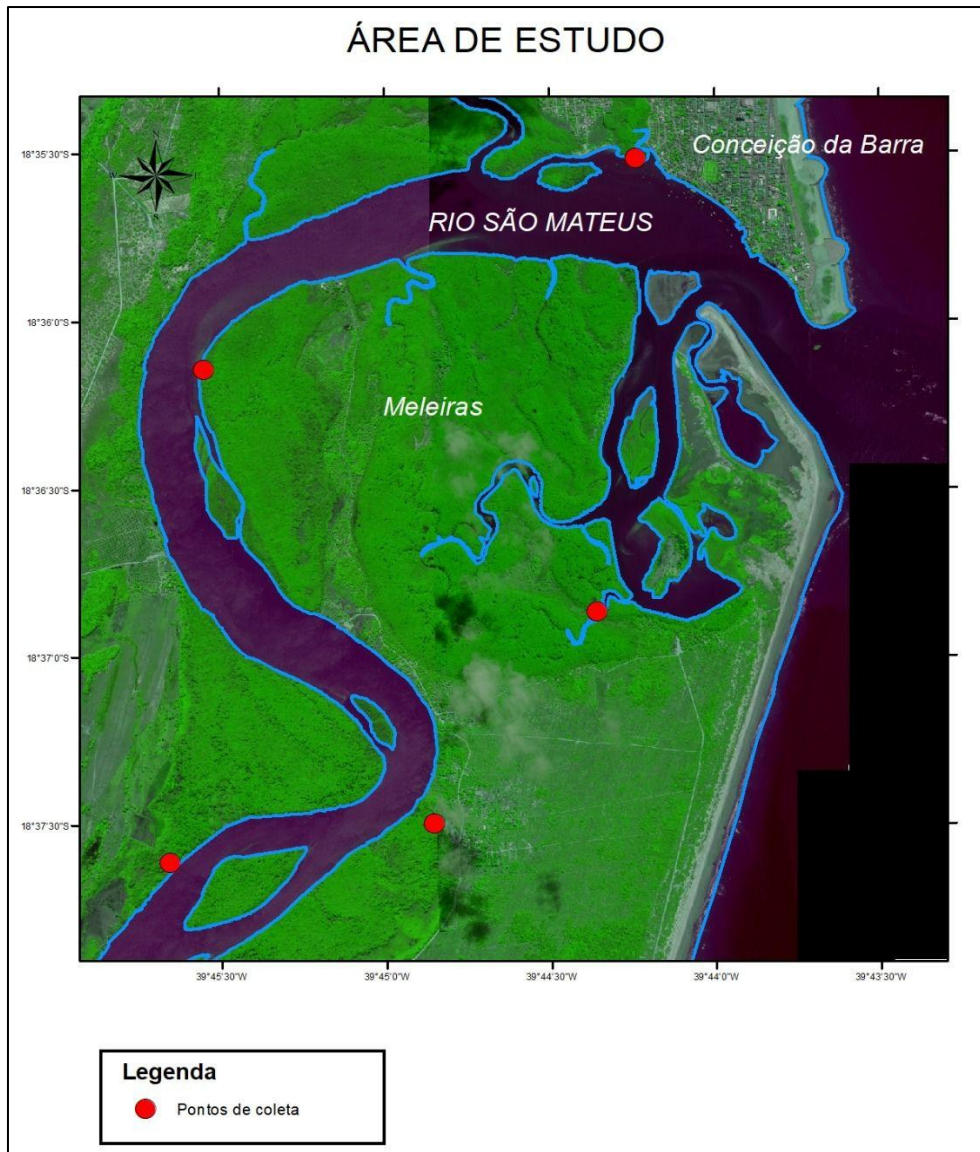


Figura 1: Localização da área de estudo no Estuário do rio São Mateus, Conceição da Barra – ES

Fonte: Helia Espinoza

### 3.2 Coleta de dados

Os dados coletados neste estudo correspondem aos dados monitorados pelo Programa de Monitoramento da Biodiversidade Aquática (PMBA) oriundo do convênio entre a UFES e a Fundação Renova para diagnosticar e acompanhar os efeitos dos rejeitos provenientes do rompimento da Barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais, ocorrido em 2015 (FEST, 2024). As coletas das amostras de sedimentos e de folhas foram realizadas no interior de 5

parcelas (pontos de coleta) em bosques, do tipo fisiográfico franja, ao longo do gradiente estuarino de acordo com a metodologia proposta em Tognella et al. (2021) (Fig. 1).

As amostragens ocorreram nos períodos chuvosos (outubro a março) e secos (abril a setembro), da área de estudo, entre os 2018 e 2023 (Tab. 1). Os momentos de maior contaminação pela pandemia da COVID-19 ocorreram no período seco de 2020 e inviabilizou as coletas de dados. Nesse sentido, a ausência de dados no período justifica-se pela decisão em não colocar em risco a comunidade tradicional que participa das atividades de campo, seja por meio de pilotagem das embarcações ou por contribuição nos momentos de amostragem dos dados.

Tabela 1: Período de coletas de sedimentos e folhas nos manguezais de São Mateus durante os anos de 2018 a 2023.

<b>Período</b>	<b>Data de coleta sedimentos</b>	<b>Data de coleta folhas</b>
<b>Chuvoso 18/19</b>	Dezembro 2018	Fevereiro 2019
<b>Seco 19</b>	Julho 2019	Julho 2019
<b>Chuvoso 19/20</b>	Novembro 2019 e fevereiro 2020	Fevereiro 2020
<b>Chuvoso 20/21</b>	Dezembro 2020	Fevereiro 2021
<b>Seco 21</b>	Maio e agosto 2021	Abril e julho 2021
<b>Chuvoso 21/22</b>	Janeiro 2022	Dezembro 2021
<b>Seco 22</b>	Maio e setembro 2022	Abril e setembro 2022
<b>Chuvoso 22/23</b>	Fevereiro 2023	Fevereiro 2023
<b>Seco/23</b>	Junho 2023	Junho 2023

As amostras de sedimento foram coletadas superficialmente, até cinco cm de profundidade, por meio de um coletor cilíndrico confeccionado com PVC e preparado para este tipo de amostragem (Fig. 2a, b). Em cada ponto amostral, seis subamostras foram coletadas aleatoriamente e homogeneizadas para maior representatividade da área (Fig. 2c e d), que

originaram uma amostra composta. Em seguida, as amostras foram inseridas em sacos plásticos previamente identificados e acondicionadas em caixa térmica com gelo até serem transportadas para posterior processamento. Em laboratório, as amostras foram congeladas em freezer para preservação dos compostos voláteis até o momento de análise.



Figura 2: Processo de obtenção das amostras de sedimento: a) Coleta de sedimento *in situ*; b) Extrusão do sedimento; c) Aferição da profundidade amostrada; d) Recipiente utilizado para homogeneização das amostras.

Fonte: Própria autora

Para a análise das concentrações de metais foliar, 20 folhas *R. mangle*, completamente expandidas e localizadas no terceiro par foliar, foram coletadas em cinco indivíduos em cada estação amostral (Fig. 3a e b). Cada amostra apresentou aproximadamente 40 gramas para que haja biomassa suficiente para análise dos metais (Al, Cu, Fe, Mn, Pb e Zn). Em sequência, as folhas foram colocadas em sacos de papel devidamente identificados e transportadas para o Laboratório de Ecologia de Manguezal onde ocorre o processo de secagem em estufa (STERILIFER<sup>®</sup>, modelo SX 1.3 DTMC) a 60°C (Fig. 3c e d) até a obtenção de peso constante.



Figura 3: Processo de aquisição das folhas para análise de metais: Coleta de folhas em campo (a e b) e secagem das folhas na estufa em laboratório (c e d).

Fonte: Própria autora

### 3.3. Análise em Laboratório

#### 3.3.1 Sedimentos

##### 3.3.1.1 Matéria Orgânica

O teor de matéria orgânica (MO) presente nos sedimentos foi mensurado por meio do método de calcinação, que consiste na queima da MO em altas temperaturas. Para isso, 2 g de cada amostra de sedimento foi pesada em balança analítica (SHIMADZU<sup>®</sup>, modelo ATX224) e acondicionada em cadinhos de porcelana. Posteriormente, foram submetidas à temperatura de 450 °C na mufla (LUCADEMA<sup>®</sup>, modelo 2000B/DI) durante 4 horas. A massa da MO é

definida pelo peso do sedimento antes da queima na mufla subtraído do peso após a queima na mufla, segundo o método modificado Goldin (1987). O teor é a conversão deste valor em porcentagem, podendo-se encontrar a concentração de MO presente nas amostras por meio do cálculo:

$$MO = \frac{Pf \cdot 100}{Pi}$$

Em que: MO é o teor de matéria orgânica (%), *Pf* é o peso final (g) e *Pi* é o peso inicial (g) das amostras.

### 3.3.1.2 Granulometria e carbonato de cálcio

Em laboratório, após o descongelamento total das amostras, cerca de 80 g da amostra bruta foram pesados em balança semi-analítica (MARTE CIENTÍFICA E INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL LTDA, modelo AD500) e separados para a análise granulométrica. A fim de não afetar a pesagem e a classificação da granulometria, antes dos processos de separação de grãos, os sais solúveis, a matéria orgânica e o carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) foram retirados da amostra.

Primeiro, a lavagem da amostra com água deionizada, por meio da técnica de decantação em becker com volume de um (1) L repetindo-se o processamento por três vezes, foi realizada para a retirada dos sais. Após esse procedimento, a amostra foi seca em estufa a 60 °C e pesada. Dessa forma, após a retirada dos sais, deu-se início a etapa de oxidação da matéria orgânica. Para isso, o reagente, peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) a 35% PA da marca NEON<sup>®</sup>, foi empregado. Para acelerar a reação química, a amostra foi colocada em chapa aquecedora da QUIMIS<sup>®</sup>, modelo Q313121 a 70 °C, e o reagente foi inserido aos poucos. A oxidação foi finalizada quando a inserção de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> deixou de gerar reação de borbulhamento no sedimento, indicativo de ausência de matéria orgânica. Para retirar todo o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> da amostra, três lavagens com água deionizada, após a decantação completa do sedimento, foram realizadas. Após a secagem, realiza-se nova pesagem que precede etapa de descarbonatação do sedimento, com o uso de ácido clorídrico diluído a 70% (HCL-37% (PA)-ÊXODO CIENTÍFICA<sup>®</sup>). Para esse fim, o becker com a amostra foi colocado em capela de exaustão de gases (LUTECH<sup>®</sup>, modelo LCE-10.BA000.00.0.10) para a adição lenta e gradual de HCl com o auxílio de uma proveta. O procedimento tem continuidade até que a adição de HCl não provocasse mais reação (identificada pela ausência de borbulhamento). Terminada a retirada

dos carbonatos, o sedimento foi lavado cinco vezes com água deionizada e seco em estufa. Após seco, o becker com o sedimento descarbonatado foi novamente pesado e o teor de carbonato de cálcio é obtido pela diferença de peso da amostra antes e após a descarbonatação. Em seguida, o valor é transformado em porcentagem de  $\text{CaCO}_3$  em relação ao peso total da amostra, conforme método reportado por Gross (1971).

Após essas etapas, entende-se que o sedimento está sem contribuições particuladas orgânicas e inorgânicas. E os procedimentos da análise granulométrica puderam ser iniciados. Foi feita a separação úmida das frações grossa (areia + cascalho) e fina (silte + argila) do sedimento, que procedeu-se colocando a amostra seca em peneira com abertura igual a  $63 \mu\text{m}$  sob água deionizada. O material retido na peneira indica a fração grossa do sedimento. Enquanto o material, diluído com a água e que passa da peneira, representa a fração fina. Depois da separação, a amostra contendo a fração fina foi deixada em repouso em becker com volume de um (1) L até completa deposição do sedimento em suspensão. Após a decantação, o excesso de água foi drenado cuidadosamente com auxílio de mangueira e a fração lamosa (fina) foi analisada empregando-se o granulômetro a laser, Mastersizer 2000 da Malvern Instruments, de acordo com a metodologia adaptada de Dias (2004).

A amostra disposta em outro becker de 250 mL e contendo a fração grossa (após a água ser drenada) foi levada à estufa a  $60 \text{ }^\circ\text{C}$  para secagem. Após a amostra seca, o sedimento foi pesado em balança semi-analítica e seguiu para o fracionamento, que consiste na utilização de um conjunto de peneiras de inox com telas de malhas indo de 2 mm até 0,063 mm e colocadas em agitador mecânico (BERTEL<sup>®</sup>, máquina 6529) durante 15 minutos. A quantidade retida em cada tipo de malha foi pesada. A escala granulométrica utilizada foi a de Wentworth (1922), em que as frações maiores que 0,063 mm foram classificadas como areias/grânulos e as menores, como lama (silte/argila) (SUGUIO, 1973).

### 3.3.1.3 Concentração de metais

Para análise de metais nos sedimentos, as amostras foram congeladas em potes plásticos de 50 mL descontaminados e foram secas em liofilizador (SOLAB<sup>®</sup>, modelo SL-404) para manter os compostos voláteis. A análise de metais em sedimentos foi realizada segundo método US EPA 3051A (USEPA, 2013), que preconiza a digestão de cerca de 0,50 g de sedimento seco e homogêneo em 10 mL de  $\text{HNO}_3$  em tubos de Teflon com o uso do forno micro-

ondas (CEM, MARX X-PRESS) seguindo os seguintes parâmetros: 1ª rampa de temperatura 25 °C a 175 °C em 5:30 min. e a 2ª rampa de 25 °C a 175 °C em 4:30min., ambas em potência de 1600W. A solução foi então resfriada e filtrada utilizando o filtro Whatman nº 1 e diluída para 100 mL num balão volumétrico e as soluções analisadas pelo ICP -MS (Espectrometria de massa de plasma indutivamente acoplada; Agilent, CX7500). Os elementos analisados pelo ICP-MS foram: alumínio cobre, chumbo, ferro, , manganês e zinco. O material de referência (SS-2, Enviro MATTM) foi analisado para certificação do método e porcentagens de recuperação desses elementos. A análise de metais foi realizada no Laboratório de Geoquímica Ambiental (UFES), sendo procedimento do PMBA.

A toxicidade proveniente da concentração de metais nos sedimentos em comunidades biológicas pode ser avaliada por meio da aplicação dos limites NOAA (BUCHMAN, 1999). Quando as concentrações estão abaixo do limite TEL (*Threshold Effect Concentration*), os efeitos adversos são raramente esperados. O limite PEL (*Probable Effect Limit*) indica a concentração em que efeitos negativos na biota são usualmente esperados e o limite AET (*Apparent Effects Threshold*) apresenta o nível em que os efeitos adversos são evidentes e sempre esperados em determinado grupo biológico. No entanto, vale ressaltar que esses limites são aplicados individualmente a cada metal e os efeitos de sinergismo das concentrações não são avaliados ou mensurados. A tabela 2 aponta as concentrações dos limites NOAA para os metais analisados neste estudo.

Tabela 2: Concentração (mg kg<sup>-1</sup>) dos limites NOAA para os metais Cu, Fe, Al, Mn, Zn e Pb.  
Fonte: Adaptada de BUCHMAN, 1999.

Metal	Concentração (mg kg <sup>-1</sup> )		
	TEL	PEL	AET
<b>Cu</b>	18,70	108	390
<b>Fe</b>	-	-	22.000
<b>Al</b>	-	-	1.800
<b>Mn</b>	-	-	260
<b>Zn</b>	124	271	410
<b>Pb</b>	30,24	112	400

TEL - *Threshold Effect Concentration* (Concentração do Efeito Limiar); PEL - *Probable Effect Limit* (Limite de Efeito Provável); AET - *Apparent Effects Threshold* (Limiar de Efeitos Aparentes)

### 3.3.2 Folhas

#### 3.3.2.1 Concentração de metais

Após a total secagem das folhas, as amostras foliares foram pesadas e encaminhadas para o FULLIM (Laboratório de Análises Agronômicas, Ambientais e Preparo de Soluções Químicas) para a realização da análise de metais. Nesse procedimento, os seguintes nutrientes foram considerados: Al, Cu, Fe, Mn e Zn. Além destes, o metal tóxico Pb foi quantificado de acordo com Malavolta et al. (1997). Os elementos foram analisados, após mineralização, pela digestão nítrico-perclórica e foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica. A digestão nítrico-perclórica é um método comumente utilizado para o preparo de amostras vegetais para análise de metais. O ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) e o perclórico ( $\text{HClO}_4$ ) são usados para dissolver os compostos orgânicos e liberar os elementos de interesse. A espectrofotometria de absorção atômica é uma técnica analítica que mede a absorção de luz por átomos livres para determinar a concentração de um elemento específico na amostra (BLANCHARD et al., 1965).

#### 3.3.3 Análise estatística

Os resultados das concentrações de metais nos sedimentos e nas folhas foram submetidos aos testes de normalidade (Shapiro-Wilk) e homogeneidade (Bartlett). Quando os resultados apresentaram distribuição normal, as comparações entre os períodos amostrados foram determinadas pelo teste de Análise de Variância (ANOVA) paramétrica (teste F), seguido do teste *post hoc* Tukey. Quando os dados não indicaram normalidade, as comparações supracitadas foram determinadas pelo teste não paramétrico Kruskal-Wallis, seguido do teste de comparações múltiplas *a posteriori* (Teste de Bonferroni) (ZAR, 1996).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Alguns aspectos sedimentares foram determinados para auxiliar na interpretação dos resultados das concentrações de metais. Os seguintes parâmetros foram analisados: distribuição granulométrica (cascalho, areia e lama (%)), matéria orgânica (%) e carbonato de cálcio (%). A tabela 3 exibe os teores médios e desvio padrão destes parâmetros.

Tabela 3: Descrição dos dados médios e desvio padrão dos teores de MO, CaCO<sub>3</sub> e granulometria dos bosques de franja dos manguezais de São Mateus durante os períodos chuvoso e seco desde 2018 até 2023.

Períodos	MO (%)	CaCO <sub>3</sub> (%)	Cascalho (%)	Areia (%)	Lama (%)
Chuvoso 18/19	9,38 ± 5,00	9,16 ± 6,26	1,59 ± 2,25	80,54 ± 15,97	17,87 ± 16,33
Seco 19	11,3 ± 7,43	18,5 ± 11,2	0,00 ± 0,00	40,74 ± 29,30	59,26 ± 29,30
Chuvoso 19/20	11,1 ± 11,7	5,74 ± 2,85	0,00 ± 0,00	47,17 ± 32,79	52,82 ± 32,79
Chuvoso 20/21	11,2 ± 4,87	13,9 ± 9,17	0,00 ± 0,00	50,96 ± 25,71	49,04 ± 25,71
Seco 21	14,2 ± 8,12	12,2 ± 5,83	0,02 ± 0,05	44,25 ± 34,04	55,73 ± 34,03
Chuvoso 21/22	10,5 ± 7,87	7,62 ± 2,35	0,26 ± 0,37	42,67 ± 31,38	57,07 ± 31,05
Seco 22	14,1 ± 7,89	7,52 ± 3,29	0,08 ± 0,25	43,52 ± 30,92	56,39 ± 30,91
Chuvoso 22/23	11,5 ± 7,19	7,81 ± 3,91	0,01 ± 0,01	42,73 ± 36,29	57,26 ± 36,90
Seco/23	14,4 ± 8,75	7,39 ± 4,17	0,00 ± 0,00	42,56 ± 32,53	57,44 ± 32,53

Sedimentos com altos teores de matéria orgânica e granulometria mais lamosa, como aqueles dos manguezais, tendem a apresentar maiores concentrações de metais já que estas características contribuem para a adsorção e complexação dos elementos metálicos (BRUNARA, 1977). Nos manguezais, estes elementos podem permanecer inertes em longo prazo ou biodisponíveis dependendo do comportamento dos carbonatos, óxidos de ferro e de manganês, matéria orgânica e características físico-químicas dos sedimentos (FARIAS et al., 2007; MARQUES et al., 2011).

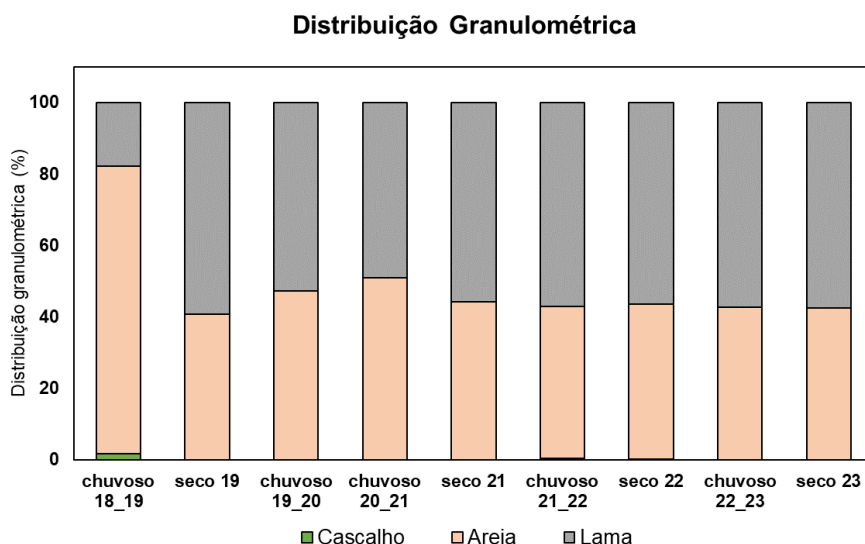


Figura 4: Descrição da composição granulométrica em porcentagem (%) de cascalho, areia e lama nos sedimentos das florestas de franja do manguezal do rio São Mateus por períodos chuvoso e seco ao longo de cinco anos (2018-2023).

Os bosques de franja dos manguezais de São Mateus indicam granulometria principalmente lamosa, com teores acima de 50%, exceto no período chuvoso 18/19, onde houve altas contribuições de granulometria arenosa (cascalho + areia = 82,13%) (Fig. 4 e Tab. 3).

Os bosques de franja dos manguezais do rio São Mateus indicaram teores elevados de MO (Fig. 5 e Tab. 2). Isto é um indicativo que os manguezais de franja são os sumidouros de matéria orgânica fracionada e dissolvida proveniente da bacia de drenagem do rio São Mateus. O material decomposto e/ou em decomposição pode ficar armazenado no sedimento sendo, posteriormente, disponibilizado para áreas adjacentes ou retido no próprio ecossistema, onde é consumido por microrganismos e reutilizado pelas próprias plantas (WOODROFFE, 1992).

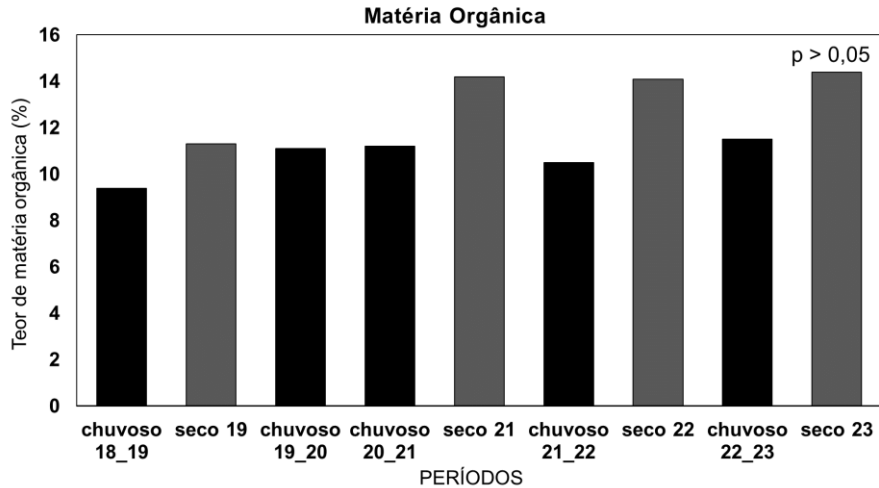


Figura 5: Dados do teor de matéria orgânica em porcentagem (%), no sedimento ao longo de cinco anos (2018-2023).

Ainda que não apresentassem diferenças significativas entre os períodos amostrados é possível notar maiores teores nos três últimos períodos secos analisados (seco/21: 14,1%; seco/22: 14,2% e seco/23: 14,4%) (Fig. 5). É possível que com a menor vazão do rio São Mateus nos períodos secos a matéria orgânica produzida *in situ* seja menos exportada do que nos períodos chuvosos. O manguezal é um conhecido retentor de matéria orgânica (JENNERJAHN; ITTEKKOT, 1996), e os valores encontrados neste estudo são similares aos encontrados por Castro *et al*, (2009) nos manguezais de Vitória (7,12% a 16,99%) e inferiores aos encontrados por Zamprogno *et al*. (2015) em manguezais eutrofizados na Baía de Vitória (19,5 % a 45,3%), isto é, dentro da variabilidade esperada para as florestas de manguezal.

O teor de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) nos manguezais pode ser utilizado para inferir a influência marinha: quanto maior a sedimentação de origem marinha, maior será o teor de carbonatos nos sedimentos (ROCHA; MARTIN, 1998; VITAL *et al.*, 2005). Porém é importante ressaltar que a produção local, associada a fauna calcária (isto é, crustáceos, moluscos e foraminíferos) também influenciam nos teores encontrados no ecossistema. Os manguezais de São Mateus apresentaram maiores teores de  $\text{CaCO}_3$  no período seco/19 (18,5%) e os menores teores no período chuvoso 19/20 (5,74%) (Fig.6). Estes resultados podem indicar que as maiores concentrações de MO nos períodos secos, citados acima, possuem maior contribuição marinha que fluvial.

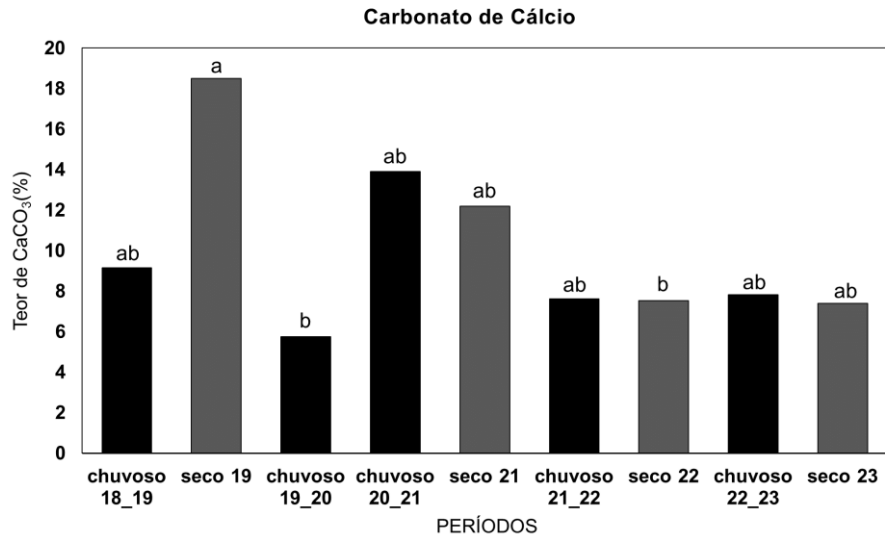


Figura 6: Dados do teor de carbonato de cálcio em porcentagem (%), no sedimento ao longo de cinco anos (2018-2023).

A distribuição das concentrações médias dos metais Fe, Cu, Al em sedimentos e folhas da *R. mangle* podem ser avaliadas nas tabelas 4 e, Mn, Zn e Pb na tabela 5.

Tabela 4: Dados médios e desvio padrão das concentrações de cobre, ferro e alumínio nos sedimentos e folhas de R. mangle dos bosques de franja dos manguezais de São Mateus

Períodos	Cu		Fe		Al	
	Sedimentos	Folhas	Sedimentos	Folhas	Sedimentos	Folhas
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
<b>Chuvoso 18/19</b>	3,83 ± 0,18	2,6 ± 0,82	12.423 ± 11.192	107 ± 46,8	7.600 ± 5967	3,32 ± 1,01
<b>Seco 19</b>	3,26 ± 1,51	2,88 ± 0,86	6.715 ± 8.577	130 ± 43,2	3.785 ± 7698	2,52 ± 0,83
<b>Chuvoso 19/20</b>	1,22 ± 1,18	2,2 ± 1,2	41.020 ± 10.524	104 ± 12,6	19.747 ± 6590	1,88 ± 0,76
<b>Chuvoso 20/21</b>	8,20 ± 5,08	5,48 ± 1,88	28.106 ± 20.698	70,5 ± 8,79	14.068 ± 12256	2,56 ± 0,34
<b>Seco 21</b>	5,85 ± 2,15	1,89 ± 0,82	15.211 ± 9.778	58,7 ± 7,04	6.711 ± 5352	2,76 ± 0,61
<b>Chuvoso 21/22</b>	5,90 ± 1,03	2,64 ± 0,86	14.633 ± 8.719	100 ± 37,9	13.543 ± 3390	2,96 ± 0,94
<b>Seco 22</b>	3,59 ± 2,02	3,94 ± 1,33	28.289 ± 15.965	79,5 ± 13,3	13.200 ± 6512	9,2 ± 1,81
<b>Chuvoso 22/23</b>	4,2 ± 0,61	0,86 ± 0,36	20.991 ± 8.001	69,8 ± 12,1	8.911 ± 3031	1,54 ± 1,37
<b>Seco/23</b>	8,00 ± 3,93	3,52 ± 2,74	30.197 ± 14.640	68,2 ± 14,6	15.654 ± 7243	2,2 ± 0,48

Tabela 5: Dados médios e desvio padrão das concentrações de magnésio, zinco e chumbo nos sedimentos e folhas de *R. mangle* dos bosques de franja dos manguezais de São Mateus.

Períodos	Mn		Zn		Pb	
	Sedimentos	Folhas	Sedimentos	Folhas	Sedimentos	Folhas
	----- mg kg <sup>-1</sup> -----					
<b>Chuvoso 18/19</b>	100 ± 103	298 ± 79,8	16,2 ± 13,1	8 ± 1,14	56,90 ± 46,4	3,98 ± 0,55
<b>Seco 19</b>	118 ± 75,7	409 ± 146	16,5 ± 6,93	1,4 ± 0,4	7,93 ± 3,82	16 ± 3,2
<b>Chuvoso 19/20</b>	37,2 ± 61,6	376 ± 166	7,72 ± 13,2	3,96 ± 0,53	1,90 ± 1,55	3,08 ± 0,13
<b>Chuvoso 20/21</b>	256 ± 80,7	459 ± 155	54,5 ± 22,2	5,96 ± 1,7	36,00 ± 16,9	0,72 ± 0,11
<b>Seco 21</b>	167 ± 84,3	344 ± 121	45,6 ± 17,7	3,04 ± 1,22	15,8 ± 7,24	1,28 ± 0,3
<b>Chuvoso 21/22</b>	213 ± 143	560 ± 167	39,3 ± 7,38	5,36 ± 2,71	21,1 ± 7,08	3,78 ± 0,53
<b>Seco 22</b>	131 ± 102	307 ± 101	26,3 ± 14,3	4,55 ± 0,34	12,8 ± 10,9	0,58 ± 0,03
<b>Chuvoso 22/23</b>	92,6 ± 59,9	318 ± 106	25,2 ± 11,5	4,39 ± 1,02	7,84 ± 4,24	0,68 ± 0,05
<b>Seco/23</b>	154 ± 79,6	289 ± 123	48,1 ± 13	3,3 ± 0,67	16,4 ± 9,42	0,58 ± 0,02

O cobre (Fig.7) nos sedimentos apresentou as maiores concentrações nos períodos chuvoso 20/21 e seco 24 (8,2 e 8,0 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente). A concentração limítrofe para contaminação de Cu no sedimento é de 18,70 mg kg<sup>-1</sup> (TEL), porém a mesma não foi ultrapassada em nenhum período analisado. No entanto, os resultados obtidos neste estudo foram superiores aos indicados por Silva *et al.* (2011) que encontrou concentrações variando de 1,54 a 5,21 mg kg<sup>-1</sup> nos manguezais do rio Jacuípe, Bahia, localizados próximos a um dos maiores complexos industriais do Brasil.

Nas folhas, observou-se maior variabilidade das concentrações do metal quando comparada com a concentração nos sedimentos. Os resultados descreveram maior concentração no período chuvoso 20/21 (5,48 mg kg<sup>-1</sup>) e a menor no chuvoso 22/23 (0,86 mg kg<sup>-1</sup>). Em todos os períodos monitorados, exceto no chuvoso 22/23, os resultados ficaram próximos ou maiores que 2 mg kg<sup>-1</sup>, resultado que se aproxima do encontrado por Ramos e Geraldo (2007) no manguezal de Cubatão (2,41 mg kg<sup>-1</sup>). Ainda que não existam concentrações de Cu para indicar contaminação biológica para este metal em folhas de *R. mangle*, sabe-se que em concentrações elevadas, o cobre tende a prejudicar as raízes e, conseqüentemente, minimizar o crescimento da planta (YRUELA, 2005).

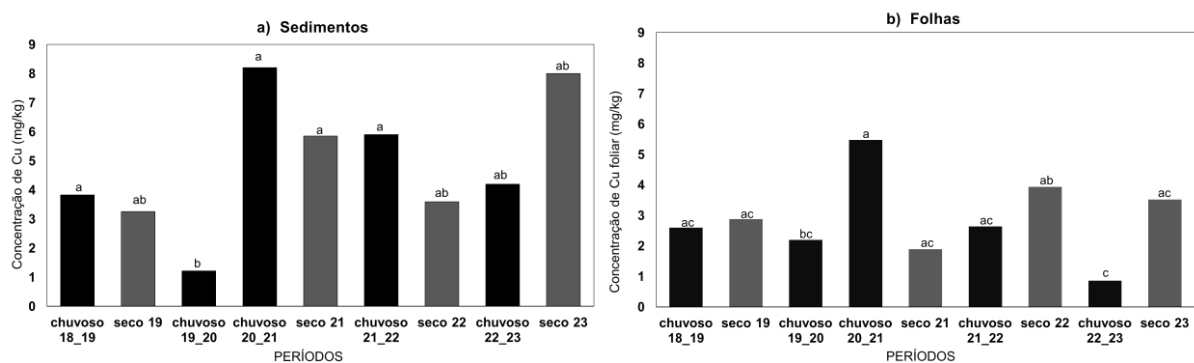


Figura 7: Dados das concentrações de cobre ao longo de cinco anos (2018-2023.a) Concentração (mg kg<sup>-1</sup>) de Cu nos sedimentos, b) Concentração (mg kg<sup>-1</sup>) de Cu, nas folhas de *R. mangle*.

Durante os três primeiros períodos analisados (Fig.8) (chuvoso 18/19, seco 19 e chuvoso 19/20), o ferro apresentou concentrações abaixo do limite AET, posteriormente houve

aumento, mantendo-se próximo ou acima do limite de contaminação (isto é, 22.000 mg kg<sup>-1</sup>). O presente estudo indicou maiores teores do que os observados nos sedimentos do manguezal não poluído de Ilha do Cardoso (Cananéia, São Paulo), onde as concentrações variaram de 150 a 2.260 mg kg<sup>-1</sup> (SEMENSATTO-JR et al., 2007).

Não se conhece limite de contaminação para este metal nas folhas, porém é evidenciado em estudos científicos a ocorrência de problemas causados quando se encontra em excesso. Segundo Xing et al. (2008), apesar de ser essencial para os processos fisiológicos, o Fe em altas concentrações acarreta a inibição do crescimento de raízes. Cuzzuol e Campos (2001) em Mucuri, na Bahia, encontraram concentrações de 80 mg kg<sup>-1</sup> em folhas de *R. mangle* em bosques de franja, valor este abaixo aqueles observados em quase todos os períodos analisados neste monitoramento. Souza et al. (2015) encontraram no nordeste do Brasil concentrações que variam de 1,80 a 8,80 mg kg<sup>-1</sup>. Estes valores foram bastante inferiores aos encontrados neste estudo (68,20 a 107,0 mg kg<sup>-1</sup>). O manguezal eutrofizado de Porto Itaquí, MA apresentou concentrações de Fe foliar em *R. mangle* de 731 mg kg<sup>-1</sup> (FERREIRA, 2024). Este comportamento indica a plasticidade de resposta da espécie frente às diferentes concentrações de Fe nos sedimentos.

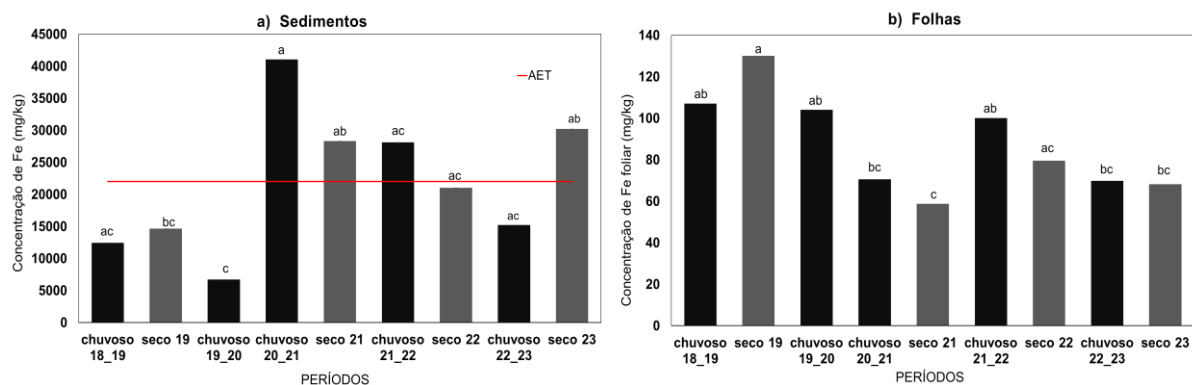


Figura 8: Dados das concentrações de ferro ao longo de cinco anos (2018-2023) a) Concentração (mg kg<sup>-1</sup>) de Fe nos sedimentos, b) Concentração (mg kg<sup>-1</sup>) de Fe nas folhas de *R. mangle*. Linha vermelha indicando o AET - *Apparent Effects Threshold*

O alumínio manteve-se acima do limite AET em todos os períodos monitorados, apresentando concentração menor no período chuvoso 19/20 (3.785 mg kg<sup>-1</sup>). Os sedimentos dos manguezais são naturalmente ricos em alumínio (SCHROPP et al., 1990), porém as concentrações podem ser enriquecidas a partir da atividade antrópica (MORSE et al., 1993),

Segundo Kochian (1995), a contaminação por alumínio, por ser um elemento fitotóxico, causa diminuição do desenvolvimento das raízes e inibição do crescimento. O presente estudo indicou maiores resultados do que os registrados por SEMENSATTO-JR et al. (2007) nos sedimentos do manguezal não poluído de Ilha do Cardoso (Cananéia - SP), onde as concentrações de alumínio variaram de 1,10 a 1.620 mg kg<sup>-1</sup>.

Nas folhas de *R. mangle*, as concentrações de Al se mantiveram similares ao longo do monitoramento e no período seco/22 (9,2 mg kg<sup>-1</sup>) houve aumento considerável da concentração nos pontos monitorados, indicando diferença significativa quando comparado aos outros períodos (Fig. 9).

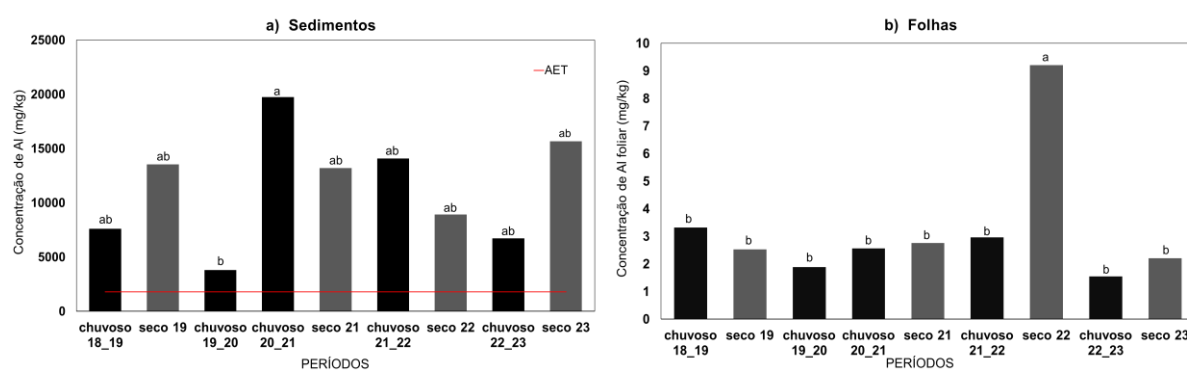


Figura 9: Dados das concentrações de alumínio ao longo de cinco anos (2018-2023) a) Concentração de Al (em mg/kg), nos sedimentos, b) Concentração de Al (em mg/kg), nas folhas de *R. mangle*. AET - *Apparent Effects Threshold*

Para o manganês (Fig.10), nenhum período ultrapassou o limite de contaminação AET, que estabelece a concentração limítrofe de 260 mg kg<sup>-1</sup> em sedimentos estuarinos/marinhos. Observa-se oscilação das concentrações ao longo dos períodos. Ao entrar em contato com os sedimentos de manguezais, o manganês sofre redução, devido às características físico-químicas dos sedimentos (como pH e potencial redox). Este processo torna o elemento solúvel,

facilitando sua assimilação pelas plantas (VIDAL; BECKER, 2006) o que pode causar toxidez às plantas pela elevada disponibilidade nestas condições.

A concentração nas folhas manteve comportamento similar com o metal depositado no sedimento, isto é, oscilando ao longo dos períodos, tendo a maior concentração média de Mn ocorrido no período chuvoso 21/22 (560 mg kg<sup>-1</sup>). Na literatura não existem trabalhos que indiquem um limite prejudicial à biota, apenas os problemas relatos causados pelo excesso ou escassez deste nutriente. Estudos anteriores relataram concentrações inferiores às observadas neste trabalho. Por exemplo, Oliveira et al., (2000) registraram 38,4 mg kg<sup>-1</sup> em manguezais da Bahia, enquanto Souza et al., (2015) identificaram valores variando de 0,446 a 0,678 mg kg<sup>-1</sup> em manguezais do nordeste. Segundo Macfarlane & Burchett (2002), o excesso de manganês pode acarretar na redução da atividade fotossintética e morte de tecidos foliares.

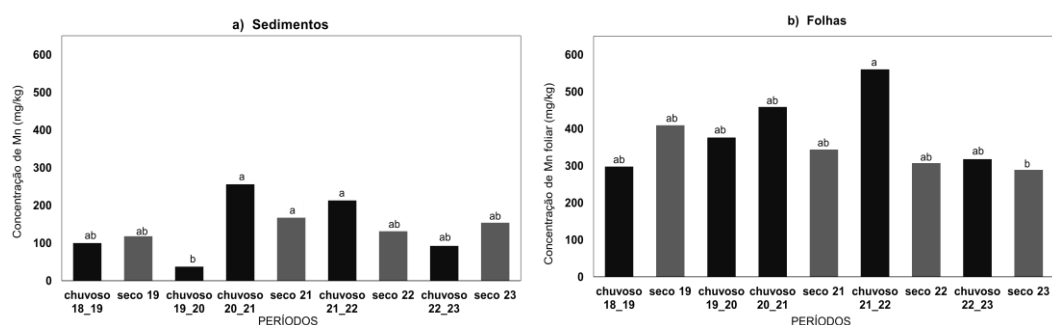


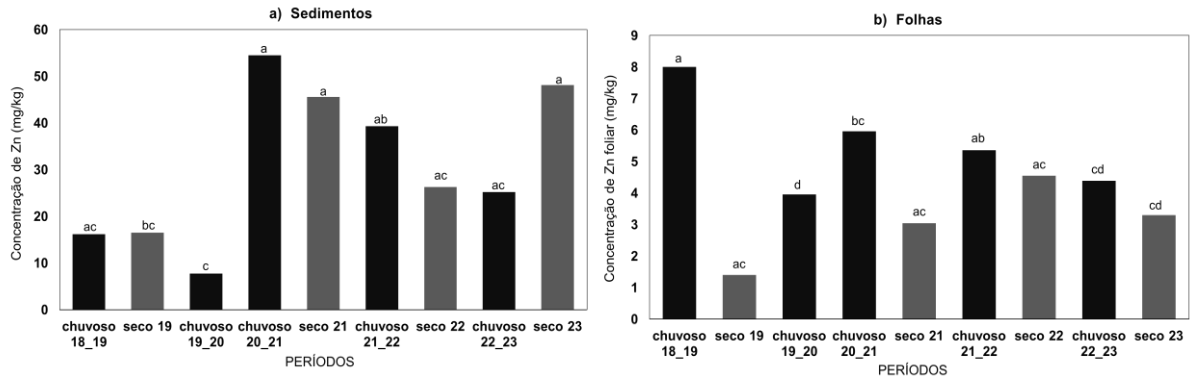
Figura 10: Dados da concentração de manganês ao longo de cinco anos (2018-2023). a) Concentração (em mg/kg) de Mn nos sedimentos b) Concentração (em mg/kg) de Mn nas folhas de *R. mangle*. AET - *Apparent Effects Threshold* –

O zinco (Fig.11) apresentou menores concentrações no sedimento nos três primeiros períodos analisados, porém a partir do período chuvoso 20/21 ocorreu aumento das concentrações. A contaminação nos sedimentos por Zn pode ser avaliada por meio do limite TEL que estabelece a concentração limite de Zn de 124 mg kg<sup>-1</sup> para áreas não impactadas, porém nenhum período deste estudo ultrapassou esta concentração.

Nas folhas, no período chuvoso 18/19 observou-se a maior concentração dentre os monitorados (8 mg kg<sup>-1</sup>). Enquanto o menor resultado foi encontrado no período seco 19 (1,4 mg kg<sup>-1</sup>). As concentrações de Zn nas folhas de *R. mangle* mantiveram-se acima ou similares a 4,2 mg kg<sup>-1</sup>, similar ao observado por Bernini et al. (2010) nos manguezais do rio São Mateus. Sabe-se que o zinco é um elemento essencial para as plantas, com importância na síntese de enzimas e na

produção de hormônios de crescimento (BROADLEY et al., 2007). Porém em excesso, este  
 Figura 11: Dados das concentrações de metais ao longo de cinco anos (2018-2023). a) Concentração de Zn (em mg/kg),  
 nos sedimentos; b) Concentração de Zn (em mg/kg), nas folhas de *R. mangle*. AET - *Apparent Effects Threshold*

elemento atua inibindo o crescimento vegetal (MACFARLANE & BURCHETT 2002) e no  
 transporte de elétrons na fotossíntese (WANG et al., 2009).



No sedimento, as concentrações do chumbo ultrapassaram o limite apenas nos períodos chuvosos de 2018/2019 e 2020/2021 (Fig.12). Nos demais períodos, embora tenham ocorrido oscilações nos valores, estes permaneceram abaixo do limite TEL ( $30,24 \text{ mg kg}^{-1}$ ). De forma geral, os períodos chuvosos apresentaram concentrações mais elevadas do que os períodos secos.

Nas folhas, este metal apresentou pico de concentração no período seco 19 ( $16 \text{ mg kg}^{-1}$ ), que pode estar associado a um reflexo da alta concentração apresentada no período anterior para o sedimento. Não existe limite definido na literatura para este metal nas folhas, porém ele é um metal não essencial para as plantas (GBARUKO; FRIDAY, 2007), ou seja, em qualquer quantidade pode ser prejudicial, pois é um elemento considerado como tóxico. Ferreira (2024) monitorou um manguezal potencialmente impactado no Maranhão (Porto Itaqui) e encontrou concentração  $0,29 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb nas folhas de *R. mangle*, valor este inferior aqueles registrados neste trabalho.

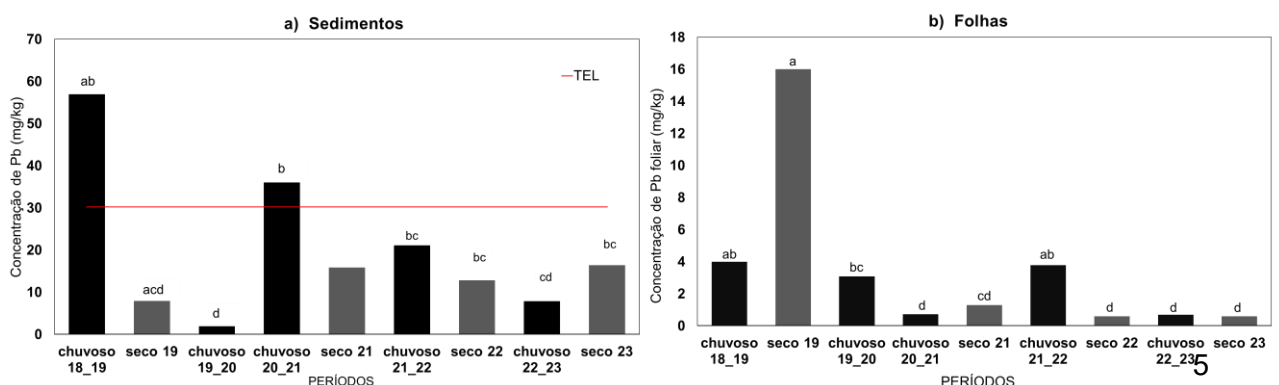


Figura 12: Dados das concentrações de chumbo ao longo de cinco anos (2018-2023). a) Concentração de Pb (em mg/kg), nos sedimentos, b) Concentração de Pb (em mg/kg), nas folhas de *R. mangle*. AET - *Apparent Effect Threshold*

## **5. CONCLUSÃO**

Em relação a composição granulométrica, os sedimentos se mostram dentro do que se espera para o manguezal, sendo mais lamosos e com altos teores de matéria orgânica.

Nos sedimentos, os metais alumínio e ferro foram os que apresentaram as maiores concentrações ao longo dos anos e ultrapassando os limites AET. Nas folhas, as concentrações mostraram variabilidade ao longo do monitoramento. Isso reafirma a importância do sedimento para retenção desses elementos e das plantas na absorção dos mesmos.

Se faz necessário aperfeiçoar a pesquisa, abrangendo o tipo fisiográfico de bacia para entender o comportamento dos metais, incluindo dados de precipitação e vazão para fornecer maior robustez nos resultados e avaliar se a concentração encontrada tem relação com estas informações.

## 6. REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: < <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>> Acesso em 15 de julho de 2025.

AMARAL, A. C. Z.; MIGOTTO, A. E.; TURRA, A.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Araçá: biodiversidade, impactos e ameaças. **Biota Neotropica**, v. 10, p. 219-264, 2010.

BERNINI, Elaine I. Spatial and temporal variation of the nutrients in the sediment and leaves of two Brazilian mangrove species and their role in the retention of environmental heavy metals. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 22, p. 177-187, 2010.

BLANCHARD, R.W., REHM, G. e CALDWELL, A.C. (1965), Enxofre em Materiais Vegetais por Digestão com Ácido Nítrico e Perclórico. *Soil Science Society of America Journal*, 29: 71-72. <https://doi.org/10.2136/sssaj1965.03615995002900010021x>.

BRUGNARA, Miriam. **Influência dos Sedimentos Marinhos na Distribuição dos Principais Radionuclídeos do Efluente da Central Nuclear Almirante Álvaro Alberto (Unidade 1)**. 1977. Tese de Doutorado. Dissertação de M. Sc, Instituto de Biofísica da UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Cambridge, pp. 419.

CASTRO, P. A. R.; CASSINI, S. T. A.; CASSINI, P. S.; ARIMURA, A. I. M.; BRITO, E. **Caracterização físico-química do sedimento de manguezal de uma região de Vitória-ES, visando um estudo de impacto ambiental**. 2009. Disponível em: [https://www.abes-dn.org.br/anaisletronicos/11\\_Download/TrabalhosCompletoPDF/VI-264.pdf](https://www.abes-dn.org.br/anaisletronicos/11_Download/TrabalhosCompletoPDF/VI-264.pdf). Acesso em 10 de julho de 2025.

CLOUGH, B. **Continuing the journey amongst mangroves**. ISME mangrove educational book series, v. 1, p. 86, 2013.

COSTA-LIMA, J. L. Rhizophoraceae in: **Flora e Funga do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em: <<https://floradobrasil.jbrj.gov.br/FB13820>>. Acesso em 01 agosto de 2025.

CUZZUOL, G.R.F. & CAMPOS, A. 2001. Aspectos nutricionais na vegetação de manguezal do estuário do Rio Mucuri, Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica** 24:227-234.

DUKE, N.C., Allen, J.A., 2006. *Rhizophora mangle*, *R. samoensis*, *R. racemosa*, *R. × harrisonii* (Atlantic-East Pacific red mangroves), in: Elevitch, C.R. (Ed.), *Species Profiles for*

Pacific Island Agroforestry. Permanent Agriculture Resources (PAR), Hōlualoa, Hawai‘I, pp. 1-18

FELLER, I. C.; LOVELOCK, C. E.; BERGER, U.; MCKEE, K. L.; JOYE, S. B.; BALL, M. C. Biocomplexity in mangrove ecosystems. **Annual review of marine science**, v.2, n.1, 395-417, 2010.

FERREIRA, S.C.C et al. **PLANTAS DE MANGUE *Laguncularia racemosa* (L.) CF Gaertn, *Rhizophora mangle* L. e *Avicennia germinans* L. COMO BIOINDICADORAS DE CONTAMINAÇÃO POR METAIS NO MARANHÃO**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Maranhão. 2024. <https://tedebc.ufma.br/jspui/handle/tede/5975>.

GBARUKO, BC; FRIDAY, OV. Bioacumulação de metais pesados em algumas espécies da fauna e flora. **International Journal of Environmental Science & Technology** , v. 4, n. 2, p. 197-202, 2007.

GIRI, C. Frontiers in global mangrove forest monitoring. **Remote sensing**, v. 15, n. 15, p. 3852, 2023.

GOLDIN, A. (1987). Reavaliação do uso da perda por ignição para estimar o teor de matéria orgânica em solos não calcários. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, **18** (10), 1111–1116. <https://doi.org/10.1080/00103628709367886>.

INSTITUTO ESTADUAL DE MEIO AMBIENTE – IEMA. **Diagnóstico socioambiental: bacia hidrográfica do Rio São Mateus – Volume II: Hidrografia e Hidrologia**. Vitória: IEMA, 2015. Disponível em: [https://iema.es.gov.br/Media/iema/Downloads/GRN/20150508\\_VOLUME\\_II\\_214\\_Hidrografia\\_Hidrologia.pdf](https://iema.es.gov.br/Media/iema/Downloads/GRN/20150508_VOLUME_II_214_Hidrografia_Hidrologia.pdf). Acesso em: 04 ago. 2025.

KOCHIAN, Leon V. Mecanismos celulares de toxicidade e resistência ao alumínio em plantas. 1995. **Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Bioi.** 1995.46:237-60 Copyright © 1995 by Annual Reviews Inc. All rights reserved

MACFARLANE, GR; BURCHETT, MD. Relações de toxicidade, crescimento e acumulação de cobre, chumbo e zinco no manguezal cinzento *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh. **Marine Environmental Research**, v. 54, n. 1, p. 65-84, 2002.

NASCIMENTO, K. **História cultural e ambiental do rio Cricaré e das populações indígenas do Espírito Santo**. 2020. Tese (Doutorado em História) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2020. Disponível em: [https://sappg.ufes.br/tese\\_drupal/tese\\_16827\\_Tese%20K%C3%A9sya.pdf](https://sappg.ufes.br/tese_drupal/tese_16827_Tese%20K%C3%A9sya.pdf). Acesso em: 04 ago. 2025. Acesso em: 01 de julho de 2025.

RAMOS, M.G.M. & GERALDO, L.P. 2007. Avaliação das espécies de plantas *Avicennia schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rhizophora mangle* como bioindicadoras de poluição por metais pesados em ambientes de mangues. **Eng. sanit. ambient.** Vol.12 - Nº 4 - out/dez 2007, 440-445.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Manguezal ecossistema entre a terra e o mar. São Paulo: **Caribbean Ecological Research.** 1995.

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

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; ROVAI, A. S.; COELHO, C.; MENGHINI, R. P.; ALMEIDA, R. **Alguns impactos do PL 30/2011 sobre os Manguezais brasileiros. Código Florestal e a Ciência: O que nossos legisladores ainda precisam saber.** p. 18, 2012.

SEMENSATTO-JR., DÉCIO LUIS; ARAÚJO, GEÓRGIA CHRISTINA LABUTO; FERREIRA FUNO, ROGÉRIO HIDEKI; SANTA-CRUZ, JOANA; DIAS-BRITO, DIMAS. **Metais e Não-Metais em Sedimentos de um Manguezal Não-Poluído, Ilha do Cardoso, Cananéia (SP).** *Pesquisas em Geociências, [S. l.]*, v. 34, n. 2, p. 25–31, 2007. DOI: 10.22456/1807-9806.19469. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/PesquisasemGeociencias/article/view/19469>. Acesso em: 8 jul. 2025.

SILVA, E. D. **Evolução espaço-temporal do manguezal do estuário do Rio São Mateus empregando técnicas de sensoriamento remoto.** 2010. Tese de Doutorado. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil. Unpublished.

SILVA, M. A. B.; BERNINI, E.; CARMO, T. M. S. do. Características estruturais de bosques de mangue do estuário do Rio São Mateus, ES, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 19, n. 3, p. 465–471, 2005.

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

SOUZA, V. L. B. de., Santos, S. O., Fonseca, C. K. L., Paiva, A. C. de., Silva, W. A. da , & Associação Brasileira de Energia Nuclear (ABEN), Rio de Janeiro, RJ (Brazil). (2015). **Mangrove leaves (*Rhizophora mangle*) as environmental contamination biomonitor.** international nuclear atlantic conference. Brazilian nuclear program. State policy for a sustainable world; ENAN: meeting on nuclear applications (INAC 2015), Sao Paulo, SP (Brazil).

TOGNELLA, M. M. P. Diversidade estrutural das florestas de mangue da costa central e norte do Espírito Santo: Contribuições para entendimento de funções ecossistêmicas. **Enciclopédia Biosfera**, v. 17, n. 33, p. 178-193, 2020.

TOGNETTA, M. M. P. et al. Manguezais como armadilhas para danos ambientais aos metais: o estudo de caso da Barragem de Fundão. **Science of The Total Environment Volume 806, Part 4, 1 February 2022, 150452**

TOMLINSON, P.B., 1986. **The Botany of Mangroves**. Cambridge University Press,

VERVLOET, R. H. M. Mapeamento e análise espaço-temporal dos manguezais do Espírito Santo. **Vitória: IEMA, 2023.**

VIDAL, R. M. B.; BECKER, H. Distribuição de manganês, ferro, matéria orgânica e fosfato nos sedimentos do manguezal do Rio Piranji, Ceará. **Arq. Ciên. Mar, Fortaleza, 2006, 39: 34 - 432006.**

YRUELA, I. Cobre em plantas. **Braz. J. Plant Physiol. 17 (1) • Mar 2005**  
<https://doi.org/10.1590/S1677-04202005000100012>.

ZAMPROGNO, G. C. Uso de fatores biológicos e ambientais na avaliação dos níveis de vulnerabilidade dos bosques do manguezal da Baía de Vitória, ES. **Tese de Doutorado. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, ES, Brasil. 2015**