



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA-PPGOceano

VALLÉRIA VIEIRA PEREIRA

CARACTERIZAÇÃO BIOGEOQUÍMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA NO
ESTUÁRIO DO RIO PACIÊNCIA, MA.

Orientador: Prof^o Dr^o Carlos Eduardo de Rezende

Co-orientadora: Prof^a Dr^a Marianna Basso Jorge

São Luís

2021

VALLÉRIA VIEIRA PEREIRA

**CARACTERIZAÇÃO BIOGEOQUÍMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA NO
ESTUÁRIO DO RIO PACIÊNCIA, MA.**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestra, ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão.

Orientador: Prof. Dr. CARLOS EDUARDO DE REZENDE

Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. MARIANNA BASSO JORGE

São Luís

2021

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

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

Pereira, Valléria Vieira.

Caracterização Biogeoquímica da Matéria Orgânica no Estuário do Rio Paciência, MA / Valléria Vieira Pereira. - 2021.

72 f.

Coorientador(a): Marianna Basso Jorge.

Orientador(a): Carlos Eduardo de Rezende.

Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Oceanografia/ccbs, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021.

1. Carbono orgânico. 2. Estuário. 3. Isótopos estáveis. 4. Matéria orgânica. I. Jorge, Marianna Basso. II. Rezende, Carlos Eduardo de. III. Título.

VALLÉRIA VIEIRA PEREIRA

**CARACTERIZAÇÃO BIOGEOQUÍMICA DA MATÉRIA ORGÂNICA NO
ESTUÁRIO DO RIO PACIÊNCIA, MA.**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestra, ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal do Maranhão. Linha de Pesquisa: Dinâmica de Sistemas Costeiros e Oceânicos.

Aprovada em: 30/05/2021.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Eduardo de Rezende
Universidade Estadual do Norte Fluminense – Darcy Ribeiro
(Orientador)

Prof^a. Dr^a. Marianna Basso Jorge
Universidade Federal do Maranhão
(Co-Orientadora)

Membros da Banca

Prof. Dr. Pedro Vianna Gatts
Universidade Estadual do Norte Fluminense – Darcy Ribeiro
(Membro externo)

Prof. Dr. Francisco José de Paula Filho
Universidade Federal do Cariri
(Membro interno)

DEDICATÓRIA

A minha avó Marina (in memoriam), por ter sido fonte de força e ternura de toda uma geração e por todo o apoio desde o início da minha vida.

AGRADECIMENTOS

Escrever uma dissertação não é uma tarefa fácil, claro que pode ser divertida e empolgante, mas não é nada fácil. Quando eu decidi seguir essa carreira, o Brasil era muito diferente do que vivo hoje, e ao olhar para trás me assusto com tantas mudanças. Sem dúvidas, fazer ciência no Brasil nunca foi fácil, mas acho que nunca foi tão desafiador quanto é hoje. É uma luta diária que requer muita persistência, e também muita terapia. Fazer ciência no Brasil hoje é um ato de resistência, e hoje somos milhares de resistentes nesse brasilzão, e vendo tantos de nós me vem o alívio em saber que mesmo tendo que estar longe fisicamente não estamos nada sozinhos. Sabendo que não estou sozinha e que nada do que foi escrito aqui foi feito apenas por mim, eu gostaria de agradecer:

Ao meu orientador, Carlos Eduardo de Rezende (Carlão), por todo o apoio e solicitude. Por ter tido tanta paciência e por, mesmo em época de pandemia sempre estar disponível para me ajudar. Agradeço ainda pela sua humanidade, que muitas vezes foi motivo de inspiração para continuar resistindo e exercendo a carreira que escolhi. Obrigada por todas as reuniões no *google meet* que tanto me ajudaram a esclarecer as dúvidas.

A minha co-orientadora, Marianna, pela ajuda e pela compreensão. Seu incentivo foi essencial para que eu me sentisse sempre capaz de concluir mais essa etapa. Agradeço por todo o empenho em me ajudar, você me inspira a ser uma pesquisadora melhor.

À toda equipe do Laboratório de Ecotoxicologia da UFMA, em especial Jacyara, Kerllon, Daniel, Davi, Patrícia e Sarah, que participaram diretamente na etapa das coletas para esse trabalho. Agradeço por toda prestatividade e pela amizade.

À equipe do Laboratório de Ciências Ambientais da UENF, em especial Bráulio Cherene, Marcelo de Almeida, Tassiana Gonçalves, Pedro Gatts, Jovano Vasconcellos, Alana Delatorre e Lorenza Gomes, por terem me acolhido e me ajudado tanto durante as análises. Agradeço por todo o tempo dedicado e todo conhecimento compartilhado.

A todos os professores do PPGOceano/UFMA e PPGERN/UENF que contribuíram para minha evolução como pesquisadora e conseqüentemente para a evolução deste trabalho.

A minha mãe, dona Josefa, que sempre acreditou em mim e me incentivou a me aventurar e escolher acima de tudo, ser feliz fazendo o que amo.

À minha irmã, Jennifer, que é minha principal motivação para continuar tentando e nunca desistir e por desde sempre entender minha ausência.

Ao meu companheiro de vida, Felipe, que me incentiva, me ajuda e me mostra sempre o copo meio cheio. Você foi essencial para cada página desse trabalho. Obrigada por escutar minhas divagações sobre estuários, isótopos e lignina, mesmo sem entender nada muitas vezes e ainda assim opinar. Você foi essencial em tudo, obrigada por tanto.

Aos melhores amigos que eu poderia ter, Thaís, Leonardo, Renan, Raian, Brunno, Oscar, Thayane e Neto, mesmo tão longe, sempre deram um jeitinho de se fazer presente nessa etapa tão árdua. Obrigada pelo carinho, pelas cervejas e pelas conversas, sem elas eu endoidaria sem dúvidas. Carrego cada um de vocês comigo, independentemente de onde eu esteja.

À dona Ione, Seu Gelis, dona Silvana, seu Wagner, Luiza e Leandro, que me acolheram da melhor forma possível no RJ e por todos os momentos de descontração que foram imprescindíveis para a finalização desse trabalho.

A todos o meu mais sincero muito obrigada.

Dias inteiros de calma, noites de ardência, dedos no leme e olhos no horizonte, descobri a alegria de transformar distâncias em tempo. Um tempo em que aprendi a entender as coisas do mar, a conversar com as grandes ondas e não discutir com o mau tempo. A transformar o medo em respeito, o respeito em confiança. Descobri como é bom chegar quando se tem paciência. E para se chegar, onde quer que seja, aprendi que não é preciso dominar a força, mas a razão. É preciso, antes de mais nada, querer.

Amyr Klink – Cem Dias entre Céu e Mar

PEREIRA, Valléria Vieira. **Caracterização Biogeoquímica da Matéria Orgânica no Estuário do Rio Paciência, MA**. 2021. 73 f. Dissertação de Mestrado em Oceanografia – Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021.

RESUMO

Devido à grande diversidade de fontes de matéria orgânica (MO) e à mistura dinâmica que ocorre nos sistemas estuarinos, é um desafio significativo determinar a importância relativa dessas fontes de entrada para a ciclagem biogeoquímica na coluna de água e nos sedimentos. Os estuários podem funcionar como um retentor ou como exportador de material orgânico e considerando que esse material possui características instáveis se faz necessário a utilização de uma combinação de técnicas que pode incluir métodos de estudo da composição elementar e isotópica, traçadores bioquímicos e biomarcadores. A fim de avaliar a origem da MO para o Estuário do Rio Paciência (ERP) - MA, Brasil, quantificando a contribuição das fontes autóctones e alóctones e avaliando os processos que regem a distribuição da matéria orgânica no sedimento foram realizadas 2 campanhas durante os períodos de estiagem (nov/2017 e nov/2019) e 1 no período chuvoso (abr/2018) para coleta de sedimento superficial, material particulado em suspensão (MPS) e tecidos vegetais de duas espécies de mangue encontradas no ERP, *A. germinans* e *L. racemosa*, para realizar análises granulométricas, análise de área superficial, determinação elementar e isotópica (carbono orgânico, nitrogênio total, razão atômica de carbono (C) e nitrogênio (N) [(C/N)_a] e razões isotópicas de C ($\delta^{13}\text{C}$) e N ($\delta^{15}\text{N}$)). A caracterização físico-química da água foi feita com o auxílio de um refratômetro e um medidor de oxigênio e temperatura. O material particulado em suspensão foi separado através de método por medidas gravimétricas. Os sedimentos superficiais foram coletados na margem esquerda do ERP com o auxílio de uma espátula de plástico. A análise granulométrica foi feita em um granulômetro a laser (SALD 3101, Shimadzu). A análise da área superficial (AS) foi realizada em analisador de área superficial (NOVA QUANTACROME 1200). Para a determinação elementar e isotópica, foi utilizado um Analisador Elementar acoplado a um Espectrômetro de Massas Delta V Advantage. A fim de caracterizar as fontes de MO para os sedimentos superficiais e para o MPS foi aplicado um modelo de mistura SIMMR (*Stable Isotope Mixing Models in R*). Os resultados mostraram predominância de material fino na região, no tamanho argila em sua maioria (até 71.2%), que também apresentou alguns pontos com presença de areia, chegando à 21%, na porção do ERP com maior influência marinha. Os valores de razão (C/N)_a das amostras de MPS (variando de 5 a 9) e sedimentos (variando de 11 a 19), bem como as composições isotópicas indicam que a MO é composta por uma mistura de fontes terrestres e marinhas. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ mostraram que a matéria orgânica no MPS ($\delta^{13}\text{C}$: de -28,2‰ a -24,2‰; $\delta^{15}\text{N}$: 2,2‰ a 7,9‰) e nos sedimentos superficiais ($\delta^{13}\text{C}$: -27,6‰ a -25,6‰; $\delta^{15}\text{N}$: de 4,1‰ a 6,3‰) é composta por uma mistura de fontes marinhas, como o fitoplâncton, e terrestres, como os vegetais superiores (plantas C3), tendo alterações sazonais na contribuição das possíveis fontes.

Palavras-chave: Isótopos estáveis, Matéria orgânica, Carbono orgânico, Estuário.

PEREIRA, Valléria Vieira. **Biogeochemical Characterization of Organic Matter in the Rio Paciência Estuary, MA**. 2021. 73 f. Dissertação de Mestrado em Oceanografia – Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2021.

ABSTRACT

Due to the great diversity of sources of organic matter (OM) and the dynamic mixing that occurs in estuarine systems, it is a significant challenge to determine the relative importance of these input sources for biogeochemical cycling in the water column and in sediments. Estuaries can function as a retainer or as an exporter of organic material and considering that this material has unstable characteristics, it is necessary to use a combination of techniques that may include methods of studying the elemental and isotopic composition, biochemical tracers and biomarkers. In order to assess the origin of OM for the Rio Paciência Estuary (RPE) - MA, Brazil, quantifying the contribution of autochthonous and allochthonous sources and evaluating the processes that rule the distribution of organic matter in the sediment, 2 campaigns were performed during the periods of drought (Nov/2017 and Nov/2019) and 1 in the rainy season (Apr/2018) to collect surface sediment, suspended particulate matter (SPM) and plant tissues from two mangrove species found in the RPE, *A. germinans* and *L. racemosa*, to perform particle size analysis, surface area analysis, elemental determination [organic carbon, total nitrogen, atomic carbon (C) and nitrogen (N) ratio [(C / N) a] and isotopic ratios of C ($\delta^{13}\text{C}$) and N ($\delta^{15}\text{N}$)]. The physical-chemical characterization of the water was performed with the assistance of a refractometer and an oxygen and temperature meter. The SPM was separated using a gravimetric method. The superficial sediments were collected on the left margin of the ERP with the aid of a plastic spatula. The granulometric analysis was performed on a Particle Size Analyzer (SALD 3101, Shimadzu). The analysis of the surface area (SA) was performed in a surface area analyzer (NOVA QUANTACROME 1200). For elemental and isotopic determination, an Elemental Analyzer coupled to a Delta V Advantage Mass Spectrometer was used. For the purpose of characterize the OM sources to the surface sediments and for the SPM the SIMMR (*Stable Isotope Mixing Models in R*) mixture model was applied. The results showed a predominance of fine material in the region, mostly in clay size (71.2%), it was also evidenced some points with the presence of sand in the portion of the ERP with greater marine influence. The ratio values (C / N)_a of the MPS (ranging between 5 and 9) and sediment samples (ranging between 11 and 9), as well as the isotopic signatures, indicates that the OM is composed by a mixture of terrestrial and marine sources. The values of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ showed that the organic matter in the MPS ($\delta^{13}\text{C}$: from -28,2‰ to -24,2‰; $\delta^{15}\text{N}$: 2,2‰ to 7,9‰) and in the superficial sediments ($\delta^{13}\text{C}$: -27,6‰ to -25,6‰; $\delta^{15}\text{N}$: from 4,1‰ to 6,3‰) is composed of a mixture of marine sources, such as phytoplankton, and terrestrial sources, C3 plants, with seasonal changes in the contribution of possible sources.

Keywords: Stable isotopes, Organic matter, Organic carbon, Estuary

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

δ – Delta

$\delta^{13}\text{C}$ – Composição isotópica do carbono

$\delta^{15}\text{N}$ – Composição isotópica do nitrogênio

‰ – Partes por mil

% - Partes por cem

AS – Área superficial

BET - Brunauer, Emmett, Teller

C – Carbono

(C/N)_a – Razão atômica entre carbono e nitrogênio

C3 – Plantas do ciclo Calvin-Benson

C4 – Plantas do ciclo Hatch-Slack

CESM – Complexo Estuarino de são Marcos

CO₂ – Dioxido de carbono

CO – Carbono orgânico

ERP – Estuário do Rio Paciência

H₂O – Água

HCl – Ácido clorídrico

LabEcotox – Laboratório de Ecotoxicologia

LCA – Laboratório de Ciências Ambientais

MO – Matéria Orgânica

MPS – Material particulado em suspensão

N – Nitrogênio

N₂ – Gás nitrogênio

NT – Nitrogênio total

O – Oxigênio

OD – Oxigênio dissolvido

ODS – Objetivos de desenvolvimento sustentável

ONU – Organização das Nações Unidas

P – Fósforo

P1 – Ponto de amostragem 1

P2 – Ponto de amostragem 2

P3 – Ponto de amostragem 3

P4 – Ponto de amostragem 4

P5 – Ponto de amostragem 5

PDB – *Pee Dee Belemnite*

pH – Potencial hidrogeniônico

PNMA – Plano Nacional do Meio Ambiente

S – Enxofre

UENF – Universidade Estadual do Norte Fluminense

UFMA – Universidade Federal do Maranhão

ZC – Zona Costeira

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Cobertura de mangue com área de 505 mil hectares no estado do Maranhão. | 20 |
| Figura 2: Mapa de localização dos pontos de coleta ao longo do estuário do rio Paciência partindo da zona mais interior do estuário para a mais exterior..... | 29 |
| Figura 3. Imagem de satélite do local de coleta evidenciando a ocupação populacional na bacia do rio Paciência. | 30 |
| Figura 4. Diagrama de Pejrup; Modificado de Pejrup (1988) | 34 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1. Média histórica de dados pluviométricos mensais de 55 anos (1961-2016) e média mensal abrangendo o período de coleta nos anos de 2017 a 2019 (até 31/12) para São Luís. Meses de coleta: novembro/17, abril/18 e novembro/2019. | 31 |
| Gráfico 2. Frequência acumulada das amostras de sedimento coletadas nos períodos de estiagem e chuvoso para cada ponto amostral. | 39 |
| Gráfico 3. Análise de variância multivariada. Teste de Wilks aplicado aos períodos de coleta em relação à granulometria ($p = 0,0001$). | 40 |
| Gráfico 5. Diagrama de Pejrup (1988) com a representação das amostras de sedimento coletado no (A) período de estiagem e no (B) período chuvoso ao longo dos pontos de 1 a 5, no ERP. | 41 |
| Gráfico 6. Isospace de amostras de material particulado em suspensão (MPS), na superfície e no fundo, e assinaturas isotópicas de potenciais fontes ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) para o ERP. | 48 |
| Gráfico 7. Intervalo de probabilidade da contribuição de diferentes fontes para o MPS coletado na superfície do ERP com base nos resultados do modelo de mistura SIMMR (Stable Isotope Mixing Model in R). | 48 |
| Gráfico 8. Intervalo de probabilidade da contribuição de diferentes fontes para o MPS coletado na superfície do ERP com base nos resultados do modelo de mistura SIMMR (Stable Isotope Mixing Model in R). (As caixas incluem o intervalo de credibilidade de 50%; as linhas dentro das caixas representam os valores medianos, as caudas representam os intervalos de 2,5 e 97,5%) | 49 |
| Gráfico 9. Isospace de amostras de sedimentos e assinaturas isotópicas de potenciais fontes de MO para o sedimento do ERP ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$). | 50 |
| Gráfico 10. Intervalo de credibilidade da contribuição de diferentes fontes (Folhas e Raízes de <i>Laguncularia racemosa</i> e <i>Avicennia germinans</i> , e MPS) para o sedimento coletado no ERP durante o período de estiagem (nov/2017) com base nos resultados do modelo de mistura SIMMR (Stable Isotope Mixing Model in R). | 51 |
| Gráfico 11. Intervalo de credibilidade da contribuição de diferentes fontes (Folhas e Raízes de <i>Laguncularia racemosa</i> e <i>Avicennia germinans</i> , e MPS) para o sedimento coletado no ERP durante o período chuvoso (mar/2018) com base nos resultados do modelo de mistura SIMMR (Stable Isotope Mixing Model in R). (as caixas incluem o intervalo de credibilidade de 50%; as linhas dentro das caixas representam os valores medianos, as caudas representam os intervalos de 2,5 e 97,5%). | 51 |
| Gráfico 12. Teor de Carbono Orgânico [CO (%)] por tecido de ambas as espécies de mangue analisadas para cada ponto do ERP. | 70 |
| Gráfico 13. Teor de Nitrogênio Total [NT (%)] por tecido de ambas as espécies de mangue analisadas para cada ponto do ERP. | 70 |
| Gráfico 14. Razão atômica de carbono e Nitrogênio (C/N) _a por tecido de ambas as espécies de mangue analisadas para cada ponto do ERP. | 71 |
| Gráfico 15. Assinatura isotópica do carbono [$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$] por tecido de ambas as espécies de mangue analisadas para cada ponto do ERP. | 71 |
| Gráfico 16. Assinatura isotópica do nitrogênio [$\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$] por tecido de ambas as espécies de mangue analisadas para cada ponto do ERP. | 72 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Material coletado por ponto de coleta ao longo do ERP. | 32 |
| Tabela 2. Parâmetros físicos e químicos da água do compartimento superficial e fundo do estuário do Rio Paciência obtidos na coleta de novembro de 2017, período de estiagem e chuvoso por CORREA (2019). Os valores de material particulado em suspensão (MPS) para o período de estiagem, são referentes à coleta realizada em novembro de 2019 | 38 |
| Tabela 3. Classificação geral do sedimento e valores de área superficial (m ² /g) para cada ponto nos dois períodos de coleta..... | 39 |
| Tabela 4. Resultados das análises elementar e isotópica das amostras de MPS coletados ao longo do ERP..... | 42 |
| Tabela 5. Resultados das análises elementar e isotópica das amostras de sedimento superficial coletados ao longo do ERP..... | 43 |
| Tabela 6. Resultados das análises elementar e isotópica das amostras de folhas das espécies <i>Avicennia germinans</i> e <i>Laguncularia racemosa</i> , coletados ao longo do ERP. 44 | 44 |
| Tabela 7. Resultados das análises elementar e isotópica das amostras de raízes das espécies <i>Avicennia germinans</i> e <i>Laguncularia racemosa</i> , coletados ao longo do ERP. 45 | 45 |
| Tabela 8. Resultados das análises elementar e isotópica das amostras de flores das espécies <i>Avicennia germinans</i> e <i>Laguncularia racemosa</i> , coletados ao longo do ERP. 46 | 46 |
| Tabela 9. Resultados das análises elementar e isotópica das amostras de propágulos das espécies <i>Avicennia germinans</i> e <i>Laguncularia racemosa</i> , coletados ao longo do ERP. 47 | 47 |
| Tabela 10. Valores de razões isotópicas do carbono $\delta^{13}\text{C}$ (‰) em sedimentos estuarinos e de manguezais de diferentes regiões e do manguezal em estudo. | 59 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 17 |
| 1.1. A Zona Costeira | 17 |
| 1.2. Manguezais | 18 |
| 1.3. Estuários | 20 |
| 1.4. Matéria Orgânica Sedimentar | 21 |
| 1.5. Estudo da Matéria Orgânica | 23 |
| 1.6. Composição Elementar | 24 |
| 1.7. Composição Isotópica | 25 |
| 2. JUSTIFICATIVA | 27 |
| 3. OBJETIVOS | 28 |
| 3.1. Objetivo geral | 28 |
| 3.2. Objetivos específicos | 28 |
| 4. MATERIAL E MÉTODOS | 28 |
| 4.1. Área de estudo | 28 |
| 4.2. Coleta e Preparo das Amostras | 31 |
| 4.2.1. Tecidos Vegetais | 32 |
| 4.2.2. Material Particulado em Suspensão (MPS) | 32 |
| 4.2.3. Sedimento Superficial | 33 |
| 4.3. Análises Físicas dos Sedimentos | 33 |
| 4.3.1. Análise Granulométrica | 33 |
| 4.3.2. Área Superficial | 34 |
| 4.4. Análises Químicas | 35 |
| 4.4.1. Determinação do Carbono Orgânico (CO), Nitrogênio Total (NT) e Razão Atômica de Carbono e Nitrogênio (C/N)_a | 35 |
| 4.4.2. Determinação dos isótopos estáveis de C ($\delta^{13}\text{C}$) e N ($\delta^{15}\text{N}$) | 35 |
| 4.5. Análises Estatísticas | 35 |
| 4.5.1. Modelo de Mistura | 36 |
| 5. RESULTADOS | 36 |
| 5.1. Propriedades Físicas e Químicas da Água | 36 |
| 5.2. Análise Física do Sedimento | 38 |
| 5.3. Composição elementar e isotópica | 41 |
| 5.4. Aplicação do Modelo de Mistura (SMMIR) | 47 |
| 6. DISCUSSÃO | 52 |
| 6.1. Caracterização Física do ERP | 52 |
| 6.2. Teor de Finos, Área Superficial, Carbono orgânico (CO), Nitrogênio total (NT) e Razão Atômica (C/N)_a no ERP | 52 |

| | |
|---|-----------|
| 6.3. Caracterização elementar do Material Particulado em Suspensão | 55 |
| 6.4. Caracterização Isotópica da Matéria Orgânica no ERP | 55 |
| 7. CONCLUSÃO | 59 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 60 |
| ANEXO A | 70 |

1. INTRODUÇÃO

1.1. A Zona Costeira

A zona costeira (ZC) pode ser definida como um ambiente de transição ecológico, que desempenha a importante função de trocas entre os ambientes terrestre e marinho, abrigando diversos ecossistemas como florestas tropicais, manguezais, recifes de corais, e sistema de dunas. Esses ecossistemas são extremamente importantes para muitas espécies, já que as proporcionam habitat, zona de reprodução e forrageamento (BRASIL, 1988).

Considerando a importância da ZC, em 1981 surge o Plano Nacional de Meio Ambiente (PNMA) que foi a primeira lei específica sobre o meio ambiente que incluía essa região em suas áreas de proteção permanente. Em 1988, na Constituição Federal art. 225 §4º, se dispõe que a zona costeira faz parte do patrimônio nacional, e que sua utilização deve acontecer na forma da lei, dentro de condições que propiciem a preservação ambiental, inclusive quanto ao uso dos recursos naturais.

Através do Decreto Nº 5.300 de 7 de setembro de 2004, com a contribuição científica e um aumento no conhecimento sobre a ZC brasileira houve finalmente um documento que definia normas gerais que visavam a gestão ambiental completamente voltada para a ZC do país. Com isso foram estabelecidas as bases para a formulação de políticas, planos e programas federais, estaduais e municipais, o que foi um importante passo para a preservação de diversos ambientes contidos na ZC. Antes desse decreto, havia pouca ou nenhuma instrução sobre a gestão da ZC já que os decretos anteriores não eram tão específicos, deixando assim brechas legislativas quanto ao manejo, uso e ocupação da ZC.

Desde o último levantamento realizado pela Organização das Nações Unidas, foi constatado que cerca de 40% da população mundial vive na ZC (UN, 2017). Essa constante ocupação e consequente expansão urbana se dá, diversas vezes, sem que haja um planejamento urbano, e ocorre em sua maior parte próximo à estuários, manguezais, praias arenosas e outros ecossistemas costeiros que compõe a ZC. Esses compartimentos exercem um papel ecológico extremamente importante, e essas modificações podem gerar mudanças significativas na diversidade biológica, no clima, nos ciclos biogeoquímicos, na composição química da água (KRUSCHE, *et al.*, 2005) e em diversos outros parâmetros, cuja manutenção depende de um ecossistema em seu

ótimo funcionamento. Percebe-se que as lacunas existentes na legislação brasileira acerca da gestão da ZC, podem gerar um desequilíbrio resultado do mal uso dos ambientes costeiros.

Dito isto, evidencia-se a importância dos estudos realizados na ZC brasileira, a fim de contribuir para o conhecimento da dinâmica de ciclagem do material nesse ambiente. O conhecimento de fontes, reatividade e destino da matéria orgânica (MO) é essencial para entender o papel de cada compartimento ambiental nos ciclos biogeoquímicos em escalas locais e globais, porém esta é considerada uma tarefa complexa, devido à variabilidade temporal e espacial da distribuição da MO e da diversidade de fontes (BIANCHI & CANUEL, 2001; 2011). Entre esses estudos, estão aqueles que utilizam material sedimentar como ferramenta de investigação, uma vez que o sedimento é o maior reservatório de carbono orgânico na ZC (GOGOU; STEPHANOU, 2004), como por exemplo, pesquisas relacionadas à matéria orgânica (RUMOLO *et al.*, 2011) em ambientes costeiros como estuários e manguezais e a interação entre esses ambientes e o oceano.

1.2. Manguezais

Manguezais são ecossistemas costeiros de regiões tropicais e subtropicais que ocupam a zona entremarés e são caracterizadas por alta produtividade primária, (KRISTENSEN *et al.*, 2008; RAJAN *et al.*, 2011). Sustentam assim, uma teia alimentar aquática bastante complexa fornecendo um ambiente único para uma grande variedade de organismos (FLEMING *et al.*, 1990; SPALDING *et al.*, 1997). Esse ecossistema tem uma alta capacidade adaptativa às condições ambientais extremas, que variam de águas doces a hipersalinas, ambientes alagados e condições redox contrastantes (RANJAN *et al.*, 2011).

Os manguezais são locais que desempenham o papel de retentores de sedimento funcionando como sumidouros desse material (KATHIRESAN, 2003; SIDIK *et al.*, 2016). As árvores de mangue retêm sedimentos por sua complexa estrutura de raízes aéreas. Além disso desempenham um papel importante na ciclagem de nutrientes e acúmulo de carbono orgânico (CO) o qual é depositado junto ao sedimento ou exportado para o estuário e plataforma continental devido ao fluxo da maré (KRISTENSEN *et al.*, 2008; SIDIK *et al.*, 2016; SASMITO *et al.*, 2020).

A produtividade primária nos manguezais pode ser influenciada por diversos fatores, a maioria deles associados às mudanças nos parâmetros físicos, químicos e físico-químicos do ambiente, incluindo a incidência de radiação solar, temperatura, marés, concentração de nutrientes, tipos de solo, drenagem, concentração de oxigênio e pH, além da própria variabilidade entre espécies de plantas com diferentes taxas de crescimento e idade da floresta de mangue (TWILLEY *et al.*, 1992; SAHU, KATHIRESAN, 2019).

As florestas de mangue dominam os litorais tropicais e subtropicais e estão entre os ecossistemas marinhos mais produtivos do mundo, ocupando o segundo lugar em termos de produtividade primária líquida (CATAÑEDA-MOYA *et al.*, 2013; KAMRUZZAMAN *et al.*, 2017). As estimativas mundiais existentes da produtividade primária e mineralização da matéria orgânica nesses ambientes ainda são subestimadas (BOUILLON *et al.*, 2008). Isso se deve, provavelmente, devido à falta de metodologia padronizada para comparar a capacidade de produção dos manguezais em todo o mundo e incertezas relacionadas com os processos que ocorrem no ambiente (NJANA *et al.*, 2018).

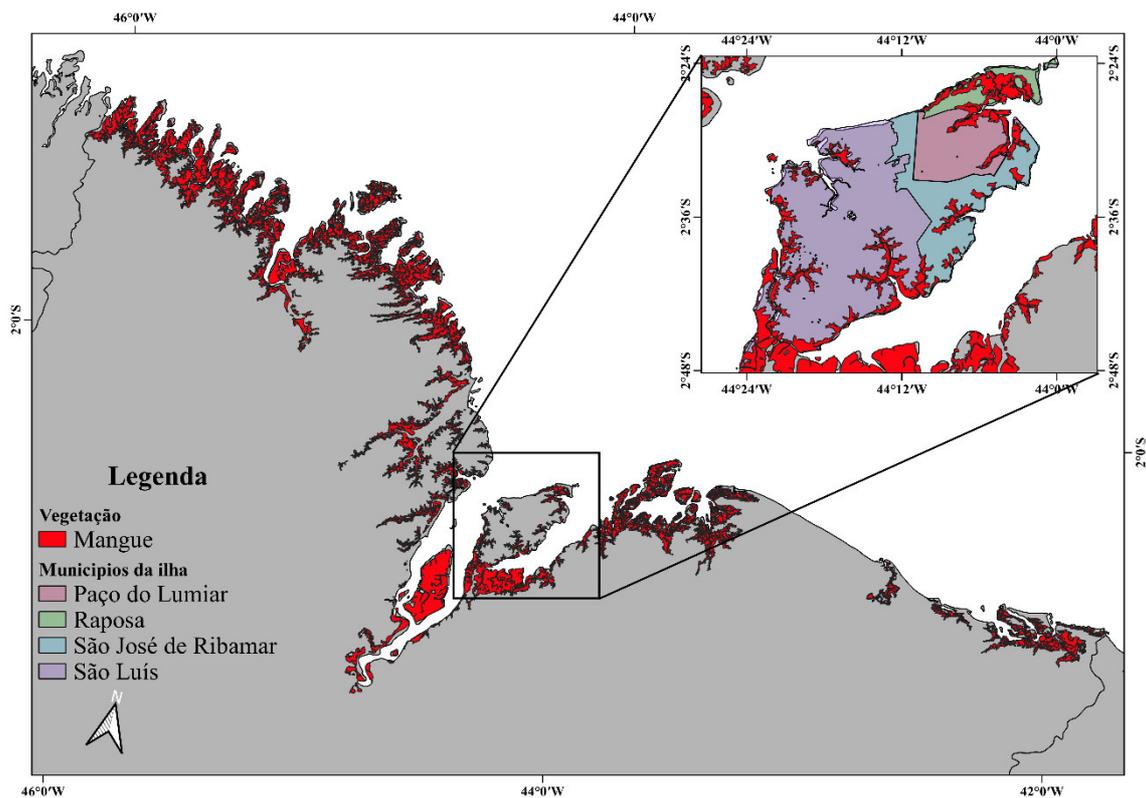
A serapilheira, principalmente folhas e raízes, representa cerca de um terço da produção primária em manguezais (ALONGI, 2014; ALONGI 2020). Essa produção é exportada para a planície entremarés, podendo ser subestimada por não considerar a remoção ocasionada pela fauna (ROBERTSON, 1988). Quando exportado, este material é reciclado através da teia trófica detritica e sua decomposição normalmente ocorre em três fases: (1) lixiviação dos componentes solúveis, (2) oxidação microbiana dos componentes refratários, tais como lignina e celulose, e (3) fragmentação biológica e física com enriquecimento microbiano (VALIELA *et al.*, 1985).

Os manguezais ocupam cerca de 0,3% da área global de zona costeira, mas contribuem com 55% das trocas oceano-atmosfera em comparação com a média global (CHEN *et al.*, 2013). Esse ecossistema, contribui, portanto, com uma parcela desproporcional, em relação à sua área, do ciclo do carbono nos mares tropicais e no oceano costeiro global (BAUER *et al.*, 2013; KIDA; FUJITAKE, 2020). Segundo Alongi (2020) cerca de 28% das exportações de carbono inorgânico dissolvido, 14% do sequestro de carbono e 13% das exportações de carbono orgânico dissolvido e particulado das zonas úmidas e estuários do mundo são transportados para o oceano.

Os manguezais do estado do maranhão (MA) (Figura 1) têm cerca de 505 mil hectares o que corresponde à 36% da área de manguezal do país (MAM, 2018). O MA possui 1,5% de sua área total coberto por esse ecossistema e compõe, junto ao estado do Pará, a Costa dos Manguezais de Macromaré da Amazônia (CMMA) (SOUZA-FILHO, 2005).

Considerando as características ambientais da Amazônia brasileira, como grandes descargas de água doce, condições oceanográficas e meteorológicas, como as marés que oscilam entre 4 e 8 m de altura, temperaturas médias que variam entre 24 e 32 °C e um clima tropical, com período de estiagem (julho a dezembro) e chuvoso (janeiro a junho) bem definidas, é de esperar que haja uma maior variabilidade estrutural dos bosques de mangue em comparação aos que ocorrem ao longo do resto da costa brasileira (KJERFVE et al., 2002; MAM, 2018).

Figura 1. Cobertura de mangue com área de 505 mil hectares no estado do Maranhão.



1.3. Estuários

Pritchard (1967) define o estuário como um corpo de água costeiro semifechado que possui uma conexão livre com o mar aberto e contém uma quantidade mensurável de sal marinho. O autor amplifica e complementa a definição classificando

os estuários de acordo com sua dinâmica e gradiente de salinidade e também quanto a sua geomorfologia. Em 1995, Perillo propôs um novo conceito para esse ambiente, considerando diversas definições e classificações previamente elucidadas por outros autores. O estuário foi definido por Perillo (1995) como um corpo de água semifechado, com uma ou mais conexões com o oceano, onde a intrusão de água salina pode se estender além do limite da influência da maré e ser diluída pela água doce proveniente da drenagem continental, sendo capaz de sustentar comunidades eurialinas por pelo menos algum estágio de seu ciclo de vida.

Estuários são ecossistemas de alta dinâmica e complexidade assim como os processos que nele atuam e são rota de transporte de sedimento dos rios para o oceano (BOUILLON; CONNOLLY; GILLIKIN, 2012). O sedimento é um registro geológico que serve de arquivo para a história evolutiva do estuário e seu comportamento dinâmico. Ele fornece informações sobre a origem do material, os meios de transporte e as características do ambiente deposicional, gerando subsídios para a compreensão de processos físicos e biogeoquímicos que ocorrem no estuário (OLIVEIRA, 2014).

A dinâmica do fluxo de sedimento transportado pelo estuário altera a granulometria devido à processos que envolvem deposição, ressuspensão e transporte, o que ocasiona um grande aporte de sedimento fino para o ambiente estuarino (DRONKERS; VAN LEUSSEN, 2012). Nos estuários, as concentrações de sedimentos suspensos são geralmente altas, as partículas são finas, além de serem ricas em componentes orgânicos por seu alto potencial de adsorção desse material (SIEGLE *et al.*, 2009).

A matéria orgânica presente no sedimento estuarino é derivada de uma multiplicidade de fontes alóctones, trazidas pelo escoamento superficial, através dos rios, de manguezais, marinha e ainda de origem antrópica, além das fontes autóctones, isto é, matéria orgânica produzida dentro do próprio sistema, como fitoplâncton, zooplâncton e organismos bênticos (KRISTENSEN *et al.*, 2008; CANUEL; HARDISON, 2016).

1.4. Matéria Orgânica Sedimentar

A matéria orgânica (MO) é uma mistura complexa de substâncias que consiste em macro e micromoléculas de massas moleculares não homogêneas, não solúveis em água, derivadas de organismos ou geradas por reações como a polimerização ou

condensação de moléculas orgânicas menores (TESI *et al.*, 2007; DERIEN; YANG; HUR, 2017).

A constituição e distribuição da MO sedimentar em ambientes costeiros é sensível à precipitação pluviométrica, às condições hidrológicas, químicas e biológicas da coluna d'água, aos aportes de material marinho e continental e às características sedimentológicas do ambiente (BARCELLOS, 2005). Assim, a MO sedimentar estuarina pode ter origem de fontes alóctones e autóctones.

A MO de origem alóctone é majoritariamente proveniente de materiais marinhos, terrestres, detritos de macrófitas e efluentes bem como material trazido junto a descarga fluvial (derivadas de ecossistemas terrestres circundantes, como manguezal adjacente a estuários ou vegetação provinda ao longo do curso de rios), além das fontes atmosféricas. Fontes autóctones são originadas no próprio ambiente estuarino e abrangem a produção primária, fitoplâncton, bactérias e zooplâncton, além do microfítobentos e os vegetais superiores (MIDDELBURG; HERMAN, 2007), vegetação aquática emergente e submersa dentro do próprio estuário e produção secundária (por exemplo, peixes, animais bentônicos) (BIANCHI, 2007; LEHRBACK *et al.*, 2016; REMEIKAITĖ-NIKIENĖ *et al.*, 2016).

A entrada de MO de origem alóctone depende de vários fatores como a configuração costeira, precipitação, descarga fluvial (RAY; SHAHRAKI, 2016), além do regime de maré. Enquanto a produção de matéria orgânica autóctone depende das condições ambientais locais como a penetração de luz na coluna d'água, concentração de oxigênio dissolvido e de nutrientes (RAY; SHAHRAKI, 2016).

A abundância e as proporções de elementos importantes nos ciclos biológicos, tais como o carbono (C), hidrogênio (H), nitrogênio (N), oxigênio (O), enxofre (S) e fósforo (P), fornecem a base inicial de informações sobre o ciclo da MO no ambiente. O carbono orgânico é o mais importante indicador de MO, já que aproximadamente 50% da matéria é composta por esse elemento (BIANCHI, 2007). As formas dominantes desse carbono incluem suas formas orgânicas e inorgânicas e ainda as formas particulada e dissolvida (BIANCHI; BAUER, 2011).

O carbono orgânico total (particulado e dissolvido) no estuário é derivado de um amplo espectro de fontes com propriedades estruturais e taxas de decomposição muito diferentes (MEYERS *et al.*, 2003; BIANCHI, 2007). Devido às suas

características bioquímicas, as fontes específicas do carbono orgânico geralmente são mais fáceis de quantificar do que seu destino dentro do ambiente estuarino. Sendo assim, a produção *in situ*, em algumas águas estuarinas, pode ser significativa para o balanço de carbono costeiro pois pode igualar ou exceder o CO proveniente de rios ou até mesmo do oceano (BIANCHI; BAUER, 2011; BAUER; BIANCHI, 2011).

Diversas abordagens científicas têm sido desenvolvidas para acessar o aporte de MO derivada de fontes continentais e avaliar sua importância no ciclo do carbono, especialmente nas zonas costeiras e margens continentais adjacentes (SUN *et al.*, 2017; BULMER *et al.*, 2020). O estudo do aporte de MO para o sedimento usando biomarcadores, composição elementar e isótopos estáveis de C e N tem fornecido importantes informações do ciclo do C em sedimentos recentes e pretéritos (REZENDE, 2010; RIBEIRO, 2015; SEREJO, 2018).

1.5. Estudo da Matéria Orgânica

Devido à grande diversidade de fontes de matéria orgânica e à mistura dinâmica que ocorre nos sistemas estuarinos, é um desafio significativo determinar a importância relativa dessas fontes para a ciclagem biogeoquímica na coluna de água de sedimentos (BIANCHI, 2001; BIANCHI, 2007).

O conhecimento do fluxo de materiais na interface entre o ambiente terrestre e o marinho ganha um componente adicional, pois a região estuarina pode funcionar de forma bimodal, que em determinadas situações atua como retentor e em outras opera como exportador de material dissolvido e particulado (WANG, *et al.*, 2015). Vários estudos têm revelado o papel das vegetações costeiras e das planícies de inundação como fontes que podem promover contribuições significativas em uma escala regional e até mesmo em escala global (RIBAS, 2012; GUIMARÃES *et al.*, 2019; BULMER *et al.*, 2020).

O conhecimento das fontes, reatividade e destino da matéria orgânica é crítico para a compreensão do papel dos sistemas estuarinos e costeiros nos ciclos biogeoquímicos globais, uma vez que essa informação nos permite conhecer as capacidades retentoras e exportadoras de MO desses sistemas (BIANCHI; CANUEL, 2011).

Esses sistemas têm dinâmica única e as forças que influenciam a composição da matéria orgânica variam numa escala de tempo e espaço. Como dito anteriormente

tais sistemas, recebem matéria orgânica de uma série de fontes, a avaliação dessas fontes é possível devido ao fato de que diferentes produtores primários produzem MO com razões isotópicas características e é feita por meio de uma combinação de técnicas que pode incluir métodos de estudo da composição elementar e isotópica, traçadores bioquímicos e biomarcadores (DIETRICH *et al.*, 2013; BIANCHI; CANUEL, 2011). Neste contexto, a análise da composição elementar consiste na determinação de percentual dos elementos presentes na amostra em questão. A razão atômica carbono/nitrogênio (C/N)_a pode ser utilizada como uma ferramenta que complementa os resultados da caracterização da origem da matéria orgânica presente nos ecossistemas costeiros (RANJAN *et al.*, 2014; SOUZA *et al.*, 2017).

1.6. Composição Elementar

A determinação do percentual dos principais elementos químicos existentes em uma amostra é chamada de análise elementar. A razão (C/N)_a é frequentemente usada como um indicador da fonte de MO em sedimentos aquáticos, ou seja, é utilizada como ferramenta para discriminar a matéria orgânica de origem terrestre e autóctone (HEDGES *et al.*, 1995), já que a razão atômica varia dependendo da origem do material analisado.

Como observado em diversos estudos, a exemplo Thimdee *et al.*, (2003), folhas de mangue apresentaram razão (C/N)_a média entre 40 e 105, já a espécie de angiosperma marinha, *Enhalus acoroides*, apresentou razão atômica C/N de aproximadamente 19. Espécies de plâncton marinho encontrados pelos mesmos autores mostraram (C/N)_a entre 5.33 ± 1.08 e 6.14 ± 0.27 .

Cabe salientar que a hidrodinâmica do ambiente tem se mostrado um mecanismo importante na distribuição de (C/N)_a nos sedimentos estuarinos e costeiros, pois age na seleção das partículas sedimentares (BIANCHI; CANUEL, 2011). Sedimentos mais grosseiros podem superestimar os valores da razão (C/N)_a, devido à presença de fragmentos de materiais vegetais às vezes lenhosos que são arrastados por causa da taxa de sedimentação mais alta do que as do sedimento fino. Já os sedimentos finos ao adsorverem maior quantidade de amônia (N), podem diminuir a razão (C/N)_a. Além disso, os sedimentos finos normalmente têm razões (C/N)_a mais baixas do que aquelas de sedimentos mais grossos, ocasionado pela área de superfície que permite maior sequestro e sorção de materiais alóctones (BIANCHI, 2007).

A disponibilidade de luz também pode alterar os valores de (C/N)_a, uma vez que uma fração significativa do carbono total é representado por microalgas bentônicas que dependem da incidência de luz que reduz as razões (C/N)_a, aumentando assim a variabilidade comumente encontrada nesses sedimentos.

Sendo assim, a razão molar (C/N)_a em sedimentos deve ser realizada juntamente com outras técnicas, uma vez que reações diagenéticas podem causar a alteração dos valores de N, como por exemplo o processo de degradação da MO e a influência da granulometria, o que pode ocasionar o aumento do valor da (C/N)_a (ARAÚJO, 2018). Dessa forma, a avaliação isolada de uma única ferramenta de análise da matéria orgânica pode não ser conclusiva em relação à sua origem, sendo, portanto, recomendada uma avaliação conjunta de um maior número possível de *proxies*, uma vez que a composição da matéria orgânica pode ser alterada durante seu transporte e durante a diagênese recente (STEIN, 1991).

1.7. Composição Isotópica

A análise de isótopos estáveis é uma ferramenta largamente aplicada em estudos ambientais cujo objetivo é a determinação da origem e destino da MO. Se baseia no fato de que a composição isotópica da MO produzida durante o processo de fotossíntese difere consideravelmente entre produtores primários, tanto em função da fonte do CO₂ quanto em função do processo metabólico de fixação (BIANCHI; CANUEL, 2011; RANJAN *et al.*, 2011). Desta forma, a composição isotópica de C da MO sedimentar é primariamente usada para estimar a proporção entre MO de plantas terrestres (C3 e C4) e material marinho (fito e zooplâncton) em amostras ambientais (MEYERS, 1997; MEYERS, 2003). Isótopos estáveis de carbono, assim como de nitrogênio, têm sido bastante utilizados para distinguir fonte de matéria orgânica, se alóctone ou autóctone, em ambientes estuarinos, bem como processos biogeoquímicos envolvidos (DENIRO; EPSTEIN, 1981; PETERSON; FRY, 1987).

O princípio básico da aplicação de isótopos estáveis em ecossistemas naturais, é baseado na variação da abundância relativa de isótopos mais leves em relação ao isótopo mais pesado. Devido a reações cinéticas mais rápidas em isótopos mais leves dos elementos, os produtos das reações na natureza podem ser enriquecidos no isótopo mais pesado. Esse fracionamento pode ser complexo, mas têm se provado bastante útil em determinar fontes de matéria orgânica em estudos ambientais (HOEFS, 1980; BIANCHI, 2007).

Segundo Bouillon *et al.* (2008), a análise da abundância natural das razões isotópicas como indicadores da origem da MO e das interações tróficas é baseada em três importantes premissas: (1) as assinaturas isotópicas apresentam diferenças entre os produtores primários; (2) estas diferenças são mantidas ou alteradas de maneira suficientemente previsível durante os processos de degradação; (3) mudanças consistentes e previsíveis nestas assinaturas ocorrem durante a transferência para níveis tróficos superiores.

O carbono possui dois isótopos estáveis, ^{12}C e ^{13}C , cujas abundâncias na natureza estão em torno de 98,89% e 1,11%, respectivamente (BIANCHI; CANUEL, 2011). O nitrogênio também possui dois isótopos estáveis, ^{14}N e ^{15}N , cujas abundâncias estão em torno de 99,63% e 0,37%, respectivamente (BIANCHI; CANUEL, 2011).

Na composição isotópica de uma amostra, a razão é determinada a partir da quantidade de átomos do isótopo menos abundante do elemento e a quantidade de átomos do isótopo mais abundante. A notação delta (δ) é utilizada quando se trata de valores isotópicos, esses valores são geralmente muito pequenos, dessa forma o resultado de delta (δ) é multiplicado por 1000. Assim esses valores são expressos em partes por mil (‰) (FRY, 2006). A equação utilizada para descrever a notação δ é a seguinte:

$$\delta = [(R_{\text{amostra}} - R_{\text{padrão}}) / R_{\text{padrão}}] \times 1000,$$

onde o R é a razão entre o isótopo mais pesado e o isótopo mais leve. O resultado da fórmula é expresso em partes por mil (‰). O padrão utilizado para calcular o $\delta^{13}\text{C}$ é *Pee Dee Belemnite* (PDB) e o padrão utilizado para calcular o $\delta^{15}\text{N}$ é o ar atmosférico. (BIANCHI, 2007; BIANCHI; CANUEL, 2011).

A composição de isótopos estáveis de carbono tem sido útil em estudos de estuários devido ao fato de que o material derivado de fontes terrestres, proveniente dos mangues ou bacia de drenagem, possui valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -30 e -24 ‰, enquanto o material de origem marinha é mais enriquecido, com valores entre -22 e -18 ‰ (MEYERS, 1994; CARREIRA *et al.*, 2002; MARTINELLI *et al.*, 2009).

Já a composição isotópica do nitrogênio estável nas plantas não segue um padrão tão bem definido quanto à do carbono. O $\delta^{15}\text{N}$ das plantas depende em grande parte do δN da fonte de nitrogênio (N_2 atmosférico ou inorgânico). O $\delta^{15}\text{N}$ apresenta

ampla variação, devido a mudanças nos valores do $\delta^{15}\text{N}$ da fonte de nitrogênio, causada pelo fracionamento dos isótopos durante os processos de fixação de N_2 , desnitrificação, nitrificação e assimilação do nitrato (MARTINELLI *et al.*, 2009; MAYA *et al.*, 2011). Processos microbianos tais como mineralização, fixação de nitrogênio, assimilação, nitrificação e desnitrificação influenciam a proporção do $\delta^{15}\text{N}$ das espécies orgânicas e inorgânicas de nitrogênio (BIANCHI; CANUEL, 2011).

Sedimentos estuarinos podem apresentar inconsistências nos dados referentes à (C/N) e $\delta^{13}\text{C}$, que podem se dar devido às diferenças na composição das espécies típicas locais que contribuem para a MO (RANJAN *et al.*, 2011) o que faz necessário, para uma interpretação conclusiva sobre a importância relativa de fontes de MO para o sedimento, a utilização de outras variáveis geoquímicas, como, por exemplo, os biomarcadores (MEYERS, 2003).

2. JUSTIFICATIVA

O Estuário do rio Paciência exerce grande importância socioambiental e econômica para a população ao seu entorno, principalmente do município de Paço do Lumiar, que utiliza dos recursos pesqueiros para sobreviver e obter o sustento familiar, através de atividades extrativistas como catadores de mariscos e de caranguejos, bem como o estuário como via de transporte de cargas (MOREIRA, 2007; SANTOS; MELO, 2014).

O presente estudo contribuirá com o entendimento da dinâmica do estuário a fim de compreender como se dá a contribuição terrestre e aquática para a MO do ERP. É importante ressaltar a importância do entendimento da composição desse material, uma vez que o conhecimento sobre a fonte, reatividade e destino da MO é essencial para entender o papel de cada compartimento ambiental nos ciclos biogeoquímicos globais (BIANCHI & CANUEL, 2001).

Além disso a pesquisa poderá contribuir com o objetivo 14 dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da Organização das Nações Unidas (ODS/ONU) que visa a conservação e uso sustentável dos oceanos, dos mares e dos recursos marinhos para o desenvolvimento sustentável até 2030. O ODS 14 tem entre suas metas “Aumentar o conhecimento científico [...] a fim de melhorar a saúde dos oceanos e aumentar a contribuição da biodiversidade marinha para o desenvolvimento dos países em desenvolvimento...” (ONU, 2018), logo esse estudo acrescentará ao conhecimento

científico sobre esse ecossistema além de evidenciar as fontes de material orgânico para o ERP, evidenciando a importância da preservação dos ambientes da ZC.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a origem da MO para o Estuário do Rio Paciência (ERP - MA, Brasil), quantificando a contribuição das fontes autóctones e alóctones e avaliando os processos que regem a distribuição da matéria orgânica no sedimento.

3.2. Objetivos específicos

- Analisar as características físicas (granulometria e área superficial) do sedimento superficial coletado ao longo do estuário;
- Determinar a composição elementar e isotópica da matéria orgânica sedimentar;
- Caracterizar a distribuição de matéria orgânica sedimentar no estuário e identificar suas principais fontes.

4. MATERIAL E MÉTODOS

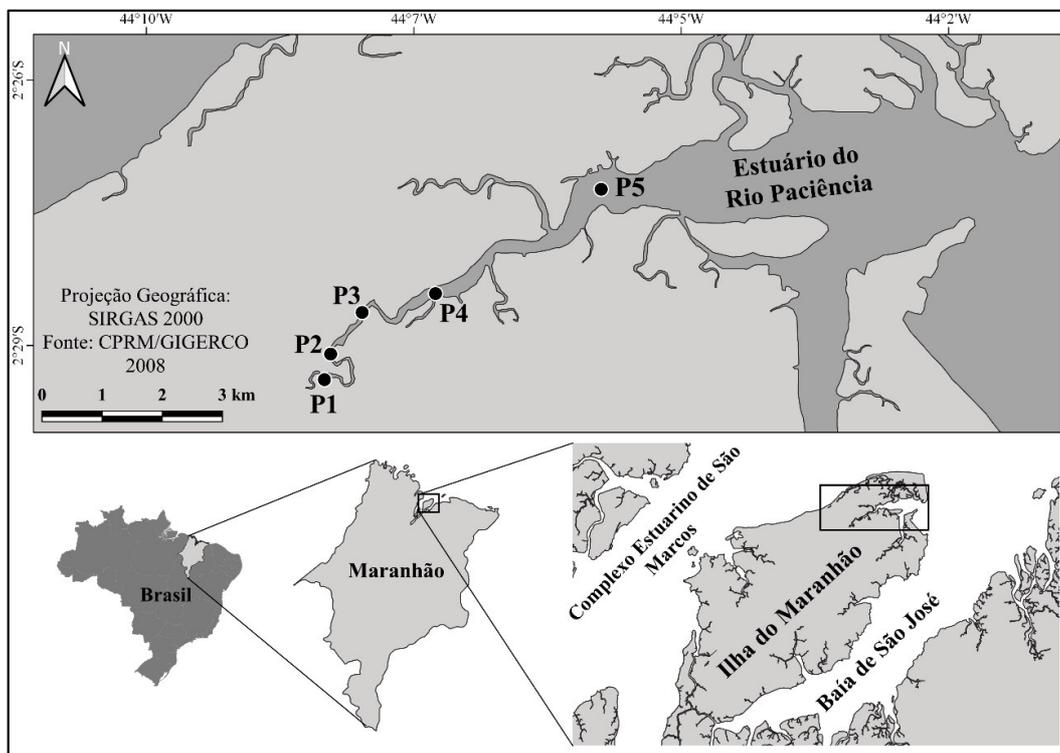
4.1. Área de estudo

O estuário do rio Paciência (ERP) encontra-se inserido no estado do Maranhão que está localizado na porção norte do Brasil, apresentando características intrínsecas ao clima tropical, com elevadas temperaturas durante todo o ano, alto índice pluviométrico, resultando na alternância de dois períodos sazonais marcantes: período chuvoso e o período de estiagem (RIOS, 2001). O litoral maranhense possui uma extensão de aproximadamente 640 km, constituindo-se no segundo litoral mais extenso do país. Devido a sua estrutura geomorfológica, o litoral maranhense é dividido em três porções: Litoral Ocidental, Litoral Oriental e Golfão Maranhense, o qual inclui a baía de São Marcos e São José (AZEVEDO et al., 2008).

O ERP (Figura 2) está situado na porção oriental da Ilha de São Luís – Maranhão (02°26' - 02°29' S e 44°4' - 44°7' W) e possui uma área de aproximadamente 5 km², com um perímetro de 58 km e comprimento de 11 km (CASTRO, 2001). O ERP é um sistema estuarino regido pela dinâmica de macromarés semi-diurnas, com intervalos de aproximadamente 6 horas e amplitude média de 4,6 m, podendo atingir 7,2 m em marés de sizígia (SOARES *et al.*, 2011). Analisando a variação vertical de

salinidade pode-se classificar o ERP como verticalmente bem misturado (CAVALCANTI, 2018).

Figura 2: Mapa de localização dos pontos de coleta ao longo do estuário do rio Paciência partindo da zona mais interior do estuário para a mais exterior.



A bacia hidrográfica do rio Paciência possui cerca de 61,0% de sua área total dentro do município de Paço do Lumiar, 5,4% em São Luís, 11,0% em São José de Ribamar e 16,3% na cidade de Raposa, deslocando-se na direção nordeste, desembocando na baía de São José, em frente ilha do Curupu no município de Raposa por meio de um pequeno estuário, que apresenta uma série de braços e canais, resultado da influência da penetração das marés, possuindo como seus principais afluentes: Igarapé Iguaiá, Igarapé Grande e Igarapé Cristóvão. (SOUSA, 2007; CASTRO, 2001). A bacia apresenta uma amplitude altimétrica que varia entre a cota de 1m até a cota de 65 m apresentando as feições geomorfológicas distribuídas em: planícies litorâneas e planícies fluviais (SANTOS, 2001).

O ERP é utilizado desde o início da ocupação do interior da ilha do Maranhão constituindo um de seus principais mananciais, sendo importante na contribuição para o abastecimento de água da capital e municípios vizinhos, além de desempenhar papel na

economia local, principalmente em atividades de pesca e aquicultura (CASTRO *et al.*, 2008; CAVALCANTI, 2018). No alto curso do rio Paciência observa-se uma intensa ocupação humana (Figura 3), com uma população estimada de 451.280 habitantes segundo o IBGE (2010). Devido à sua ocupação populacional, é lhe dado uma importância econômica significativa para a região, o que também implica numa pressão demográfica e um crescente potencial de degradação da área (COSTA *et al.*, 2018). No estudo realizado por Ferreira (2002), observou-se que o uso do rio inclui, irrigação de horticulturas e floriculturas da região, bem como para lazer e captação de água para poços artesianos.

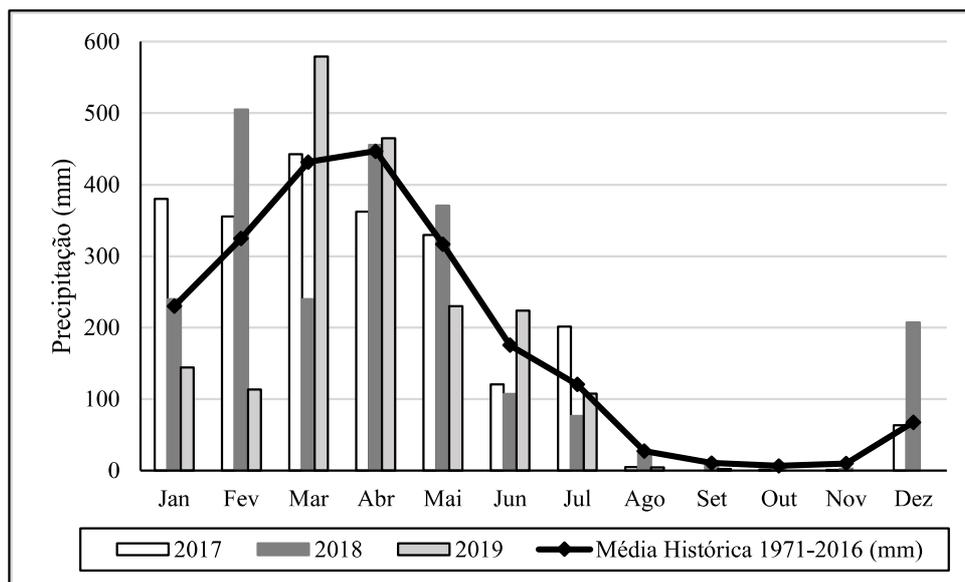
Figura 3. Imagem de satélite do local de coleta evidenciando a ocupação populacional na bacia do rio Paciência.



O clima da região foi apontado por Alvares *et al.* (2013), tendo como base a classificação climática de Köppen, como tropical semi-úmido, com dois períodos bem distintos, marcados pela presença/ausência de precipitação, sendo um chuvoso (de janeiro a junho) e outro de estiagem (de julho a dezembro).

A precipitação média (Gráfico 1), dos meses de coleta, no período de estiagem no ano de 2017 foi de 0,6 mm e em 2018 no período chuvoso de 445,4 mm, ambas abaixo das médias históricas (9,5mm e 446,7mm respectivamente). No entanto, cabe salientar que o padrão pluviométrico de chuva e seca foi mantido para ambos períodos amostrais

Gráfico 1. Média histórica de dados pluviométricos mensais de 55 anos (1961-2016) e média mensal abrangendo o período de coleta nos anos de 2017 a 2019 (até 31/12) para São Luís. Meses de coleta: novembro/17, abril/18 e novembro/2019.



Fonte: BDMEP/INMET (2021).

4.2. Coleta e Preparo das Amostras

O presente estudo utilizou material coletado nos anos de 2017 (novembro) e 2018 (abril) bem como material coletado em 2019 (novembro) (Tabela 1). Os pontos de coleta se estendem da região mais interna do estuário (P1) até a porção mais externa (P5) (Figura 2), o que proporciona à pesquisa uma análise em função de um gradiente de salinidade.

Tabela 1. Material coletado por ponto de coleta ao longo do ERP.

| Período de coleta | nov/2017; abr/2018 | nov/19 |
|--------------------------|---|--------------------------|
| Pontos | Material Coletado | Material Coletado |
| P1 | Água; Sedimento superficial; Amostras de folhas, raízes/pneumatóforos, flores, propágulos | Água |
| P2 | Água; Sedimento superficial; Amostras de folhas, raízes/pneumatóforos, flores, propágulos | Água |
| P3 | Água; Sedimento superficial; Amostras de folhas, raízes/pneumatóforos, flores, propágulos | Água |
| P4 | Água; Sedimento superficial; Amostras de folhas, raízes/pneumatóforos, flores, propágulos | Água |
| P5 | Água; Sedimento superficial; | Água |

4.2.1. Tecidos Vegetais

Folhas, raízes, propágulos e flores foram coletados das duas espécies (*Laguncularia racemosa* e *Avicennia germinans*) encontradas ao longo de 4 pontos do ERP, para análises elementar e isotópica. Após a coleta, os tecidos foram condicionados em sacos plásticos etiquetados e transportados para o Laboratório de Ecotoxicologia da Universidade Federal do Maranhão (LabEcotox/UFMA), onde foram limpas, secas e maceradas para posteriores análises.

4.2.2. Material Particulado em Suspensão (MPS)

Cerca de 450 mL foi coletado, em duplicata, para cada ponto amostral na superfície e fundo do ERP para determinação da concentração de MPS e análises de composição elementar e isotópica. As amostras de água na camada superficial, foram coletadas com auxílio de garrafas de polietileno previamente lavados e enxaguados com água destilada. A coleta das águas de fundo foi realizada por meio de garrafa oceanográfica tipo *van Dorn*.

Os procedimentos para a determinação do MPS foram executados de acordo com metodologia descritas por Strickland e Parsons (1972) determinados por medidas gravimétricas com filtros GF/F (0,7µm, 25mm) pré-pesado com auxílio de balança

analítica. Posteriormente o filtro contendo o material retido foi para um dessecador e em seguida passou por nova pesagem.

Para as análises de composição elementar e isotópica, os filtros GF/F passaram por acidificação com ácido clorídrico concentrado. O ácido foi colocado em becker dentro de um dessecador juntamente com os filtros etiquetados em vidros de relógio por 48 horas.

4.2.3. Sedimento Superficial

Os sedimentos superficiais (0 a 5 cm de profundidade) foram coletados, na margem esquerda do ERP, com auxílio de uma espátula de plástico, em triplicata (SHARIFUZZAMAN *et al.*, 2017) para realização da análise física (granulometria e área superficial), composição elementar e isotópica. Para cada período (chuvoso e de estiagem) foram coletadas 6 amostras em cada ponto amostral, o material coletado foi armazenado em sacos plásticos e acondicionado em caixa de isopor contendo gelo para transporte até o LabEcotox/UFMA, onde foram refrigeradas para posterior análises. As amostras de sedimento foram secas em estufa (60 °C) até peso constante, armazenadas em tubos *falcon* e transportadas para o Laboratório de Ciências Ambientais da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (LCA/UENF).

As amostras de sedimento passaram por processo de liofilização para a desidratação do sedimento afim de torna-lo viável para as análises físicas. Posteriormente foram transferidas para cadinhos de porcelana e levadas ao forno Mufla para a remoção de matéria orgânica a 300°C por 12h e mantidos em dessecador para esfriarem por no mínimo 4h, até a análise de área superficial (KEIL; COWIE, 1999). Para as análises de composição elementar, e isotópica, o sedimento passou por maceração com auxílio de almofariz e pistilo de porcelana.

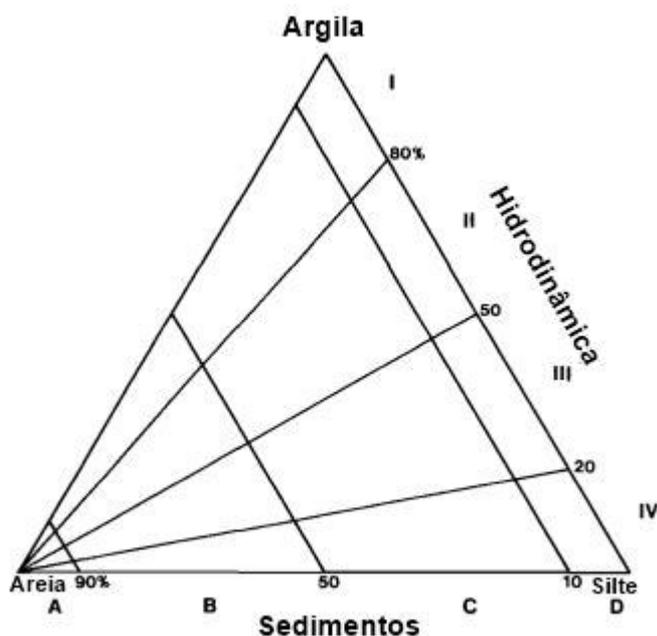
4.3. Análises Físicas dos Sedimentos

4.3.1. Análise Granulométrica

Cerca de 1g de sedimento de cada amostra foi utilizado para a análise feita através da utilização de um granulômetro a laser (SALD 3101, Laser Diffraction Particle Size Analyser, Shimadzu) com a bomba de recirculação e o ultrassom ligado por 5 minutos até que as partículas se desagreguem. O limite de detecção do método foi de 0,1 %. Os resultados obtidos foram utilizados para o cálculo das porcentagens de cada fração granulométrica classificada com auxílio da Escala Wentworth (1922).

Para a classificação hidrodinâmica com auxílio da caracterização granulométrica foi utilizado o diagrama de Pejrup (1988). O triângulo é composto por 16 grupos, cada um dos quais pode ser nomeado por uma letra que indica o tipo de sedimento (areia, silte ou argila) e um número que indica as condições hidrodinâmicas durante a deposição, podendo ser (I) Hidrodinâmica baixa; (II) Hidrodinâmica moderada; (III) Hidrodinâmica alta e (IV) Hidrodinâmica muito alta. O grupo (B, II) (Figura 4), por exemplo, representa sedimentos contendo de 90 a 50% de areia depositada em condições hidrodinâmicas moderadas, enquanto o grupo (C, IV) representa sedimentos contendo entre 50 e 10% de areia depositada em condições hidrodinâmicas muito alta. Desta forma, o diagrama oferece a possibilidade de uma classificação textural do sedimento com base no conteúdo de areia, silte ou argila, além de uma descrição hidrodinâmica do ambiente de deposição com base na composição granulométrica do sedimento.

Figura 4. Diagrama de Pejrup; Modificado de Pejrup (1988)



4.3.2. Área Superficial

A área superficial dos sedimentos ($d < 2\text{mm}$) foi determinada pelo analisador de área superficial (NOVA QUANTACROME 1200 A), utilizando como gás adsorbato o nitrogênio. Esse gás age envolvendo as partículas da amostra e através de relações entre a quantidade de gás adsorvido, o equipamento fornece o valor de área superficial expressa em área superficial por unidade de massa da amostra ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$). Essa metodologia é conhecida como — *Brunauer–Emmett–Teller Method* (BET method) ou

Teoria de Adsorção Multimolecular (BRUNAUER *et al.*, 1938). A precisão para análises BET de ponto único de minerais conhecidos é geralmente considerada como 5%.

4.4. Análises Químicas

4.4.1. Determinação do Carbono Orgânico (CO), Nitrogênio Total (NT) e Razão Atômica de Carbono e Nitrogênio (C/N)_a.

A amostra de matriz sedimentar foi previamente descarboxada com ácido clorídrico 0,1 mol. L⁻¹ e secas em estufa (60 °C). Amostras previamente secas de matriz vegetal (2 mg) e sedimentar (10 mg) foram pesados diretamente em cápsulas de estanho, que foram fechadas e inseridas no Analisador Elementar (Flash 2000) acoplado a um Espectrômetro de Massas Delta V Advantage (*Isotope Ratio Mass Spectrometer*) (EA-IRMS) do LCA/UENF.

4.4.2. Determinação dos isótopos estáveis de C ($\delta^{13}\text{C}$) e N ($\delta^{15}\text{N}$).

Para a razão isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ e $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ foram pesados cerca de 10 mg de sedimento seco em cápsulas de prata. Para remoção do carbono inorgânico, o sedimento é acidulado com HCl, tendo sido feita uma única etapa para descarboxação do sedimento para análise de CO e NT e isótopos estáveis. As amostras de folha não são submetidas a este procedimento, por não conter fração carbonática.

As razões isotópicas foram determinadas em espectrômetro de massa isotópica Thermo Finnigan Delta Plus acoplado a analisador elementar (EA-IRMS), onde é feita a combustão. Os compostos orgânicos, queimados na presença de oxigênio ultrapuro e de catalisador, são transformados em CO₂ e N₂ e H₂O. Estes gases são separados em linha por criogenia e o N₂ purificado é retido em peneiras moleculares antes da análise isotópica que também se processa em linha. A composição isotópica do carbono e nitrogênio é expressa em $\delta^{13}\text{C}$ (‰) e $\delta^{15}\text{N}$ (‰), valores relativos ao padrão PDB e ao ar atmosférico, respectivamente. A precisão e exatidão destes resultados foram superiores a 95%.

4.5. Análises Estatísticas

Os *softwares* R versão 4.0.3, Statistica 7.0[®]- StatSoft e o Excel foram utilizados para calcular a estatística básica descritiva dos dados (valores mínimos, máximos, médias, medianas e desvios padrão), determinar o coeficiente de correlação e

realizar a estatística exploratória. Todas as análises foram realizadas com o nível de significância de $p < 0,05$.

Uma análise de coeficiente de correlação de Pearson (r) foi usada para verificar associações entre o teor de grãos finos das amostras de sedimento e o teor de carbono orgânico e ainda a relação entre a área superficial e o teor de grãos mais grosseiros (areia), considerando a seguinte classificação para a correlação de Pearson: $\rho = 0,1$ até $0,3$ (fracamente correlacionado); $r = 0,4$ até $0,6$ (moderadamente correlacionado); $r = 0,7$ até 1 (fortemente correlacionado) (HINKLEY; WIERSMA; JURIS, 2003).

A análise de variância multivariada (MANOVA) foi utilizada para analisar a relação entre os pontos, os períodos de coleta (estiagem e chuvoso) e os parâmetros analisados (granulometria, composição elementar e isotópica das matrizes sedimentar e vegetal). O Teste de Tukey da Diferença Honestamente Significativa (Tukey HSD) foi realizado como teste *a posteriori* para avaliar quais amostras ou pontos apresentavam as diferenças estatisticamente significativas encontradas na análise de variância.

Os tratamentos estatísticos de classificação granulométrica e de hidrodinâmica para o sedimento foram realizados no Software Sysgram (CAMARGO, 2006).

4.5.1. Modelo de Mistura

A caracterização das fontes de matéria orgânica para os sedimentos superficiais e para o MPS foi analisado com auxílio do pacote SIMMR (*Stable Isotope Mixing Models in R*, PARNELL; INGER, 2016, R v3.4.1) do software R. O pacote foi projetado para resolver equações de mistura para dados isotópicos estáveis dentro de uma estrutura Bayesiana. Ele estima a proporção da contribuição de várias fontes, utilizando as composições isotópicas das possíveis fontes, para a mistura que, no caso desse estudo refere-se à matéria orgânica.

5. RESULTADOS

5.1. Propriedades Físicas e Químicas da Água

Os resultados a seguir foram cedidos por CORREA (2019) que realizou as coletas previamente mencionadas e também as análises físico-químicas da água *in situ*. A temperatura da água superficial e de fundo apresentaram poucas variações entre si e ao longo do estuário durante ambos os períodos amostrais, variando de $29,7$ a $30,7$ °C no período de estiagem e de $30,3$ °C a $31,5$ °C no chuvoso (Tabela 2). Observa-se que houve uma diminuição da temperatura da superfície para o fundo em todos os pontos de

amostragem no período de estiagem, bem como uma diminuição de temperatura do P1 (estuário superior) ao P5 (estuário inferior) (Tabela 2).

A salinidade, no período de estiagem, apresentou ampla variação em direção ao estuário superior, o que já era esperado, pois é a região mais externa do estuário e por sua vez recebe mais influência da água marinha. Variando de 9 g kg^{-1} (P1 - superfície) a 36 g kg^{-1} (P5 - fundo) no período de estiagem, a variação entre a superfície e o fundo foi em média de $4,8 \text{ g kg}^{-1}$, sendo os valores medidos no fundo maiores que os da superfície (Tabela 2). Já no período chuvoso, a salinidade variou de 0 g kg^{-1} (P1 – superfície) a 25 g kg^{-1} (P5 – fundo) com os valores mais elevados no fundo do ERP e variando em média 5 g kg^{-1} (Tabela 2).

O potencial hidrogeniônico (pH) no período de estiagem exibiu valores pouco variantes e os maiores valores apresentaram-se no fundo. Em geral variou entre 7,5 (P1 - superfície) e 8,0 (P5 – fundo) (Tabela 2) e mostrou um aumento gradativo à medida que nos aproximamos do estuário inferior, mesmo padrão foi notado nas variações de salinidade. No período chuvoso não foi percebido um padrão de variação, logo alguns pontos mostraram maiores valores no fundo e outros na superfície da coluna de água do ERP. Os valores variaram de 7,3 (P2 – superfície) a 7,8 (P5 – fundo) (Tabela 2).

O oxigênio dissolvido no período de estiagem mostrou valores na superfície mais altos do que no fundo, variando de $143,9 \text{ mg L}^{-1}$ (P3 – fundo) a $230,5 \text{ mg L}^{-1}$ (P4 – superfície) (Tabela 2). Já no período chuvoso, o padrão de distribuição foi o contrário do mensurado no período seco, onde as águas de fundo mostraram-se mais oxigenadas que as água de superfície e um padrão de variação em direção ao estuário superior. Os valores foram de $82,2 \text{ mg L}^{-1}$ (P1 – superfície) a $163,0 \text{ mg L}^{-1}$ (P5 – fundo) (Tabela 2).

A concentração do material particulado em suspensão (MPS) variou ao longo dos 5 pontos amostrais, com desvio padrão de $1,35 \text{ mg L}^{-1}$ e $6,10 \text{ mg L}^{-1}$ para a superfície e para o fundo respectivamente, no período de estiagem (Tabela 2). O MPS tendeu a concentrar valores entre $9,02 \text{ mg L}^{-1}$ (P4 – fundo) e $22,48 \text{ mg L}^{-1}$ (P3 – fundo) (Tabela 2). Não se percebeu um padrão de variação ao longo dos pontos, porém vale ressaltar que os valores dos pontos 1, 2 e 3 foram maiores no fundo, enquanto que os pontos 4 e 5 mostraram maiores valores na superfície.

Tabela 2. Parâmetros físicos e químicos da água do compartimento superficial e fundo do estuário do Rio Paciência obtidos na coleta de novembro de 2017, período de estiagem e chuvoso por CORREA (2019). Os valores de material particulado em suspensão (MPS) para o período de estiagem, são referentes à coleta realizada em novembro de 2019.

| Parâmetros físicos e químicos do ERP | | | | | | | |
|--------------------------------------|----------|---------------|-------|--------------------------|-----|-----------------------------|---------------------------|
| Pontos | Período | Compartimento | T(°C) | Sal(g kg ⁻¹) | pH | O.D(μmol kg ⁻¹) | MPS (mg L ⁻¹) |
| P1 | Estiagem | Superfície | 30,8 | 9 | 7,5 | 148,64 | 15,63 |
| | | Fundo | 30,2 | 18 | 7,5 | 133,39 | 21,24 |
| | Chuvoso | Superfície | 31,1 | 0 | 7,4 | 82,02 | 127,35 |
| | | Fundo | 30,7 | 11 | 7,4 | 94,98 | 51,67 |
| P2 | Estiagem | Superfície | 30,7 | 18 | 7,6 | 162,82 | 17,98 |
| | | Fundo | 30,7 | 25 | 7,7 | 146,81 | 11,73 |
| | Chuvoso | Superfície | 30,3 | 7 | 7,3 | 90,40 | 38,45 |
| | | Fundo | 30,3 | 12 | 7,3 | 100,31 | 678,03 |
| P3 | Estiagem | Superfície | 30,7 | 21 | 7,7 | 178,82 | 14,59 |
| | | Fundo | 29,9 | 27 | 7,8 | 143,91 | 9,02 |
| | Chuvoso | Superfície | 30,6 | 10 | 7,4 | 101,38 | 42,85 |
| | | Fundo | 30,8 | 14 | 7,4 | 105,04 | 284,43 |
| P4 | Estiagem | Superfície | 30,3 | 30 | 7,9 | 230,50 | 16,32 |
| | | Fundo | 29,8 | 33 | 7,9 | 188,58 | 22,48 |
| | Chuvoso | Superfície | 31,3 | 16 | 7,5 | 115,10 | 23,15 |
| | | Fundo | 31,3 | 19 | 7,7 | 120,13 | 86,06 |
| P5 | Estiagem | Superfície | 30,3 | 36 | 8,1 | 159,92 | 17,34 |
| | | Fundo | 29,8 | 36 | 8,0 | 152,45 | 20,09 |
| | Chuvoso | Superfície | 31,4 | 22 | 7,8 | 152,45 | 11,35 |
| | | Fundo | 31,5 | 25 | 7,9 | 162,97 | 34,90 |

5.2. Análise Física do Sedimento

A distribuição granulométrica dos sedimentos coletados ao longo do ERP no período de estiagem, foi predominantemente de grãos finos e muito finos, com predominância de argila (71,3%) somente no ponto 1. O ponto 4 foi o único com alguma porcentagem de areia na amostra (11,0%) no período de estiagem e pouco mais de 21,0% no período chuvoso, embora na classificação geral tenha sido avaliada como silte muito fino, sendo qualificada como uma amostra muito pobremente selecionada (Gráfico 2; Tabela 3).

Gráfico 2. Frequência acumulada das amostras de sedimento coletadas nos períodos de estiagem e chuvoso para cada ponto amostral.

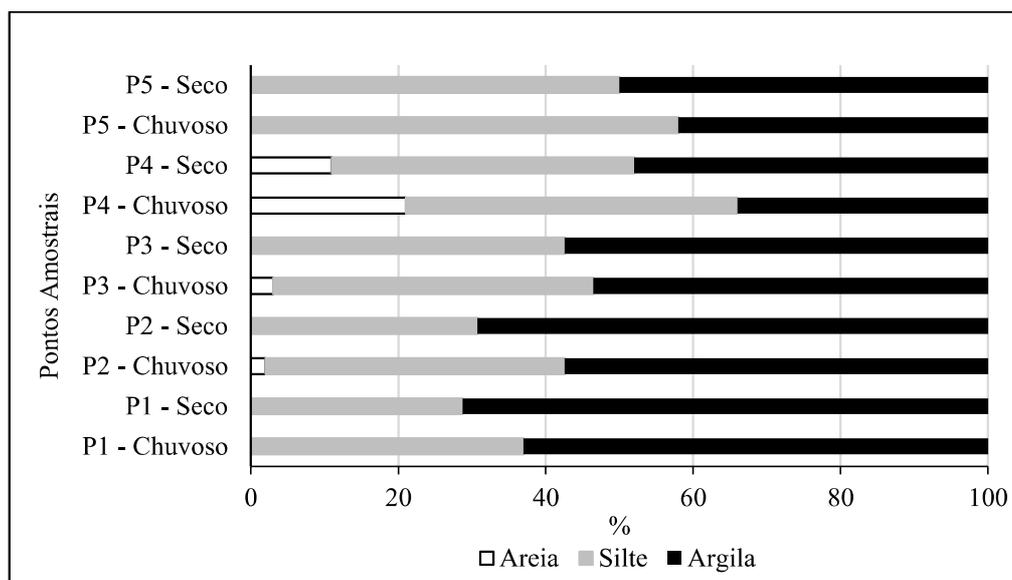


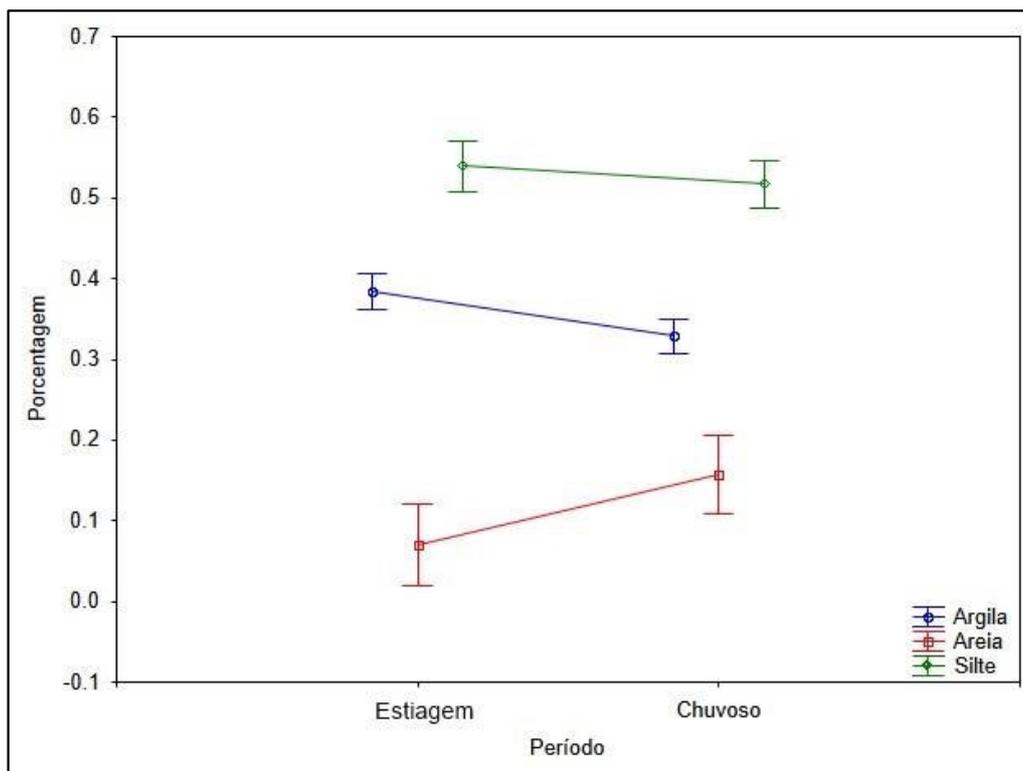
Tabela 3. Classificação geral do sedimento e valores de área superficial (m^2/g) para cada ponto nos dois períodos de coleta.

| Pontos | Período | Areia (%) | Silte (%) | Argila (%) | Classificação Média | Área Superficial (m^2/g) |
|--------|---------|-----------|-----------|------------|---------------------|------------------------------|
| P1 | Seco | 0,0 | 28,7 | 71,3 | Argila grossa | 29,36 |
| | Chuvoso | 0,0 | 37,0 | 63,0 | Argila grossa | 31,05 |
| P2 | Seco | 0,0 | 30,7 | 69,3 | Argila grossa | 24,98 |
| | Chuvoso | 2,0 | 40,6 | 57,4 | Silte muito fino | 11,26 |
| P3 | Seco | 0,0 | 42,6 | 57,4 | Silte muito fino | 15,81 |
| | Chuvoso | 3,0 | 43,4 | 53,5 | Silte muito fino | 11,87 |
| P4 | Seco | 11,0 | 41,0 | 48,0 | Silte muito fino | 7,53 |
| | Chuvoso | 21,0 | 45,0 | 34,0 | Silte fino | 6,78 |
| P5 | Seco | 0,0 | 50,0 | 50,0 | Silte muito fino | 15,35 |
| | Chuvoso | 0,0 | 58,0 | 42,0 | Silte muito fino | 15,05 |

No P4, em ambos os períodos, houve uma diminuição da porcentagem de argila e um aumento na porcentagem de areia. Esta estação se diferencia significativamente de todos outros pontos no teor de areia e silte, no entanto, os teores de argila são diferentes apenas dos pontos 1 e 2 (estuário interno), (Tabela 3).

Em relação aos períodos, os teores de argila e areia se mostraram uma diferença significativa entre os períodos de estiagem e chuvoso (Teste Tukey Areia $p = 0,022$; Argila $p = 0,002$), que pode ser observado no Gráfico 3, enquanto os teores de silte não apresentaram diferença significativa entre os períodos de coleta.

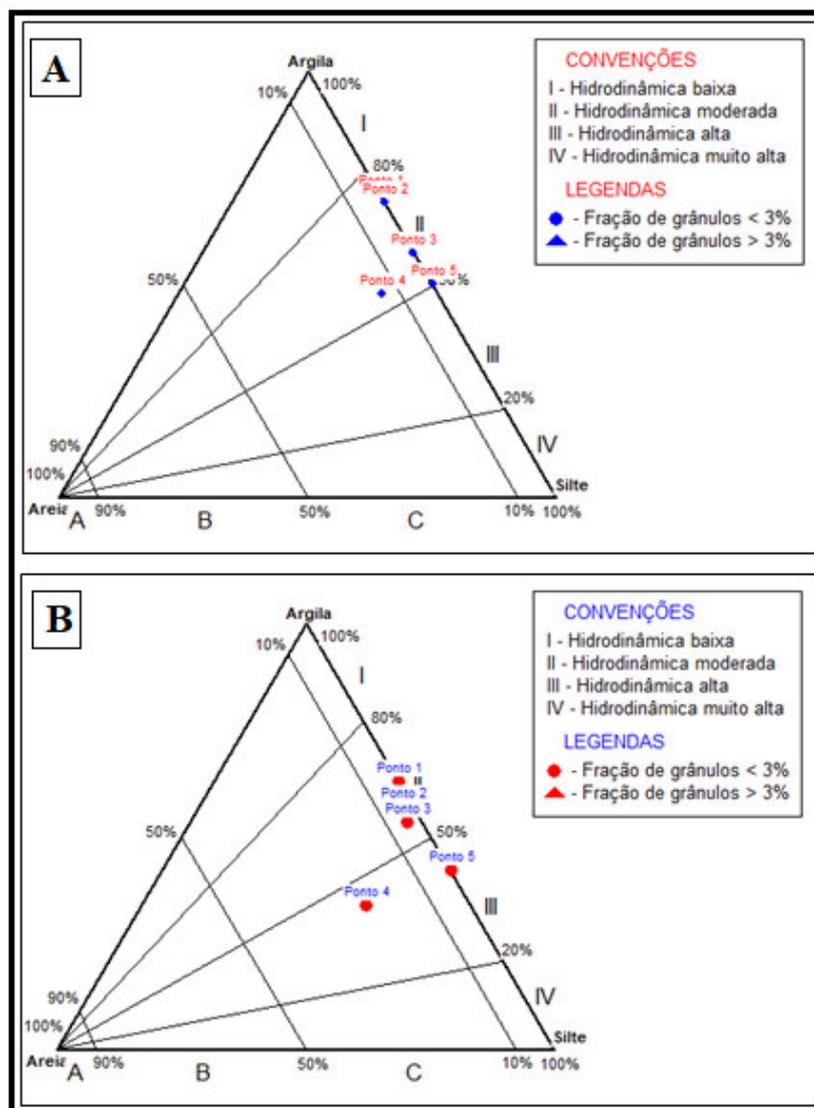
Gráfico 3. Análise de variância multivariada. Teste de Wilks aplicado aos períodos de coleta em relação à granulometria ($p = 0,0001$).



Os resultados da área superficial (m^2/g) para os sedimentos coletados no ERP (Tabela 3) mostram que no período de estiagem os maiores valores foram apresentados no P1 e o menor no P4, os valores variaram de $29,36 m^2/g$ a $7,53 m^2/g$ (estiagem: $18,61 \pm 8,63 (m^2/g)$; chuvoso: $15,20 \pm 9,34 (m^2/g)$) e os menores valores estão associados aos pontos com maior teor de areia como pode ser observado na Tabela 3, mostrando uma correlação negativa ($r = -0,780$, $p = 0,008$) entre as porcentagens de argila e os valores de área superficial.

O diagrama de Pejrur mostra que, quanto a hidrodinâmica, as amostras coletadas no período de estiagem se encontram no grupo II, que corresponde a ambientes com hidrodinâmica moderada (Gráfico 4). Enquanto no período chuvoso, observa-se uma mudança no perfil, sendo os pontos 4 e 5 classificados como grupo III, que corresponde a um ambiente com alta hidrodinâmica.

Gráfico 4. Diagrama de Pejrup (1988) com a representação das amostras de sedimento coletado no (A) período de estiagem e no (B) período chuvoso ao longo dos pontos de 1 a 5, no ERP.



5.3. Composição elementar e isotópica

Os valores de carbono orgânico (CO), nitrogênio total (NT), razão molar (C/N)_a, $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ das amostras dos diferentes tecidos (folhas, raízes, flores e propágulos) das espécies de mangue *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa*, do material particulado em suspensão (MPS), e sedimentos superficiais encontram-se nas tabelas de 5 a 10.

5.3.1. Matriz Sedimentar

5.3.1.1. Material Particulado em Suspensão

O material particulado em suspensão (MPS) apresentou percentuais médios de carbono orgânico para a superfície $10,78 \pm 3,07\%$ e para o fundo de $9,21 \pm 3,73\%$. Os

percentuais médios e desvio padrão de nitrogênio foram $2,23 \pm 0,85\%$ para a superfície e $1,47 \pm 0,62\%$ para o fundo. A razão (C/N)_a das amostras de MPS $5,94 \pm 1,15$ para a superfície e $7,44 \pm 1,15$ para o fundo (Tabela 4).

O $\delta^{13}\text{C}$ do MPS apresentou média de $-25,3 \pm 1,7\text{‰}$ na superfície, já para o compartimento de fundo apresentou valores médios de $-25,4 \pm 0,6\text{‰}$. Observando a Tabela 4, pode-se perceber um padrão de enriquecimento na composição isotópica do carbono ao longo do ERP. Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ tiveram médias de $4,6 \pm 2,7\text{‰}$ na superfície e $4,9 \pm 2,6\text{‰}$ ao fundo (Tabela 4).

Tabela 4. Resultados das análises elementar e isotópica das amostras de MPS coletados ao longo do ERP.

| Matriz Sedimentar | | | | | | | |
|-------------------|-------|---------------|---------|-----------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------|
| Amostra | Ponto | Compartimento | COrg(%) | NTotal(%) | $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ | $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ | (C/N) _a |
| MPS | P1 | Superfície | 14,36 | 3,04 | -28,2 | 2,4 | 5,51 |
| | | Fundo | 6,75 | 1,20 | -26,0 | 2,2 | 6,55 |
| | P2 | Superfície | 9,69 | 2,14 | -25,7 | 2,4 | 5,29 |
| | | Fundo | 13,70 | 2,34 | -25,9 | 2,6 | 6,82 |
| | P3 | Superfície | 13,43 | 3,03 | -24,4 | 3,3 | 5,16 |
| | | Fundo | 12,80 | 1,83 | -25,7 | 4,9 | 8,17 |
| | P4 | Superfície | 9,50 | 1,91 | -24,2 | 7,5 | 5,80 |
| | | Fundo | 7,03 | 1,26 | -24,8 | 7,1 | 6,53 |
| | P5 | Superfície | 6,91 | 1,02 | -24,3 | 7,5 | 7,95 |
| | | Fundo | 5,76 | 0,74 | -24,7 | 7,9 | 9,10 |

5.3.1.2. Sedimento Superficial

Os sedimentos superficiais coletados no período chuvoso apresentaram concentrações de carbono com média de $2,16 \pm 0,72\%$ e de nitrogênio total $0,17 \pm 0,09\%$, os menores valores foram identificados no ponto 4, que apresentou maiores tamanhos de grão na classificação granulométrica (Tabela 3). O teste de correlação de Pearson comprovou a correlação direta dos teores de CO com o teor de finos das amostras sedimentares ($r = 0,829$; $p = 0,003$), comprovando que quanto maior a quantidade de sedimentos finos na amostra, maior será a porcentagem de carbono orgânico associado a esse sedimento. A razão (C/N)_a das amostras de sedimento no período chuvoso apresentou média de $16,22 \pm 3,66$.

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$, assim como no MPS, mostraram um enriquecimento em direção ao ponto mais externo do estuário, o ponto 5. A média para o período chuvoso foi de $-26,7 \pm 0,7\text{‰}$. Já para $\delta^{15}\text{N}$, não foi observado padrão de variação como

observado para o $\delta^{13}\text{C}$, e a média da composição isotópica do nitrogênio foi de $4,7 \pm 0,8\text{‰}$ (Tabela 5).

Os sedimentos superficiais no período de estiagem apresentaram concentrações de carbono orgânico com média $2,57 \pm 0,76\%$, de nitrogênio total apresentou valor médio de $0,21 \pm 0,09\%$. A razão (C/N)_a das amostras de sedimento teve média de $15,22 \pm 2,90$.

A composição isotópica das amostras de sedimentos no período de estiagem apresentou-se mais homogênea em relação a distribuição espacial dos valores de $\delta^{13}\text{C}$. O $\delta^{13}\text{C}$ teve valor médio de $-26,2 \pm 0,4\text{‰}$, e os valores de $\delta^{15}\text{N}$ tiveram médias de $5,0 \pm 0,9\text{‰}$.

Tabela 5. Resultados das análises elementar e isotópica das amostras de sedimento superficial coletados ao longo do ERP.

| Matriz Sedimentar | | | | | | | |
|-------------------|-------|----------|---------|-----------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------|
| Amostra | Ponto | Estação | COrg(%) | NTotal(%) | $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ | $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ | (C/N) _a |
| SEDIMENTO | P1 | Chuvoso | 3,27 | 0,34 | -27,6 | 5,5 | 11,11 |
| | | Estiagem | 3,38 | 0,33 | -26,3 | 6,3 | 12,05 |
| | P2 | Chuvoso | 2,10 | 0,16 | -26,6 | 5,4 | 15,96 |
| | | Estiagem | 3,31 | 0,27 | -26,5 | 5,3 | 14,16 |
| | P3 | Chuvoso | 2,05 | 0,14 | -27,3 | 5,0 | 17,15 |
| | | Estiagem | 2,70 | 0,19 | -26,4 | 5,0 | 16,36 |
| | P4 | Chuvoso | 1,27 | 0,08 | -26,1 | 3,5 | 19,18 |
| | | Estiagem | 1,62 | 0,10 | -26,2 | 4,1 | 18,79 |
| | P5 | Chuvoso | 2,09 | 0,14 | -26,1 | 4,3 | 17,69 |
| | | Estiagem | 2,01 | 0,16 | -25,6 | 4,2 | 14,75 |

5.3.2. Matriz Vegetal

5.3.2.1. Folhas

As folhas das espécies de mangue *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa* apresentaram médias de carbono orgânico de $41,88 \pm 2,12\%$ (P1) a $43,96 \pm 1,21\%$ (P2) e $42,48 \pm 1,59\%$ (P1) a $43,17 \pm 1,50\%$ (P2), respectivamente. Já para o nitrogênio total as folhas apresentaram valores máximos $1,87 \pm 0,21$ (P1) e mínimo $1,64 \pm 0,11$ (P3) para a espécie *Avicennia germinans*, e para a espécie *Laguncularia racemosa*, valor máximo de $1,69 \pm 0,08$ (P1) e mínimo $1,08 \pm 0,13$ (P4) (Tabela 5). A razão (C/N)_a variou de $31,21 \pm 1,98$ (P3) a $26,37 \pm 2,82$ (P1) para as folhas da espécie *A. germinans*, enquanto que para a espécie *L. racemosa*, mostraram valores entre $29,33 \pm 0,75$ (P1) e $46,18 \pm 4,61$ (P4) (Tabela 6).

Comparando as duas espécies, as amostras de folhas de *A. germinans* e *L. racemosa* percebe-se um teor de CO bastante similar (Anexo A; Gráfico 11), com desvio padrão de 0,66 mostrando uma homogeneidade nas amostras, embora de espécies diferentes. Como resultado da análise multivariada da variância (MANOVA) com aplicação de teste de Wilks, existe suporte estatístico para essa hipótese. O teste de Tukey foi realizado para o NT, e foi possível perceber uma diferença significativa entre os valores de P1 e P4 ($p < 0,05$) (Anexo A; Gráfico 12). Os valores de (C/N)_a, de acordo com o mesmo teste aplicado ao NT, apresentou diferença significativa apenas entre os pontos P1 e P4 (Anexo A; Gráfico 13).

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ para as folhas da espécie *A. germinans* foram de $-30,7 \pm 1,2\text{‰}$ (P1) a $-28,3 \pm 0,6\text{‰}$ (P2) e para a espécie *L. racemosa* variaram entre $-30,7 \pm 1,5\text{‰}$ (P1) e $-28,6 \pm 0,5\text{‰}$ (P4) enquanto que os valores de $\delta^{15}\text{N}$ para *A. germinans* variaram de $5,9 \pm 0,3\text{‰}$ (P4) a $10,3 \pm 0,3\text{‰}$ (P1) e para *L. racemosa* mostraram variação entre $7,8 \pm 0,2\text{‰}$ (P3) e $10,7 \pm 0,2\text{‰}$ (P1) (Tabela 6).

Os valores da composição isotópica do C não apresentaram diferenças significativas entre os pontos de coleta, porém os valores de $\delta^{15}\text{N}$ para as folhas mostraram uma heterogeneidade entre os pontos de coleta, onde a composição isotópica do P1 foi diferente de todos os outros, porém os pontos de 2 a 4 se mostraram similares (Anexo A; Gráfico 14, Gráfico 15).

Tabela 6. Resultados das análises elementar e isotópica das amostras de folhas das espécies *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa*, coletados ao longo do ERP.

| Amostra | Ponto | Espécie | COrg(%) | NTotal(%) | $\delta^{13}\text{C(‰)}$ | $\delta^{15}\text{N(‰)}$ | (C/N) _a |
|---------|-------|---------------------|---------|-----------|--------------------------|--------------------------|--------------------|
| FOLHAS | P1 | <i>A. germinans</i> | 41,88 | 1,87 | -30,7 | 10,3 | 26,37 |
| | | <i>L. racemosa</i> | 42,48 | 1,69 | -30,7 | 10,7 | 29,33 |
| | P2 | <i>A. germinans</i> | 43,96 | 1,76 | -28,3 | 9,7 | 29,61 |
| | | <i>L. racemosa</i> | 43,17 | 1,52 | -30,7 | 10,1 | 33,45 |
| | P3 | <i>A. germinans</i> | 43,64 | 1,64 | -29,6 | 9,3 | 31,21 |
| | | <i>L. racemosa</i> | 43,01 | 1,39 | -28,9 | 7,8 | 36,24 |
| | P4 | <i>A. germinans</i> | 43,26 | 1,65 | -29,7 | 5,9 | 30,71 |
| | | <i>L. racemosa</i> | 42,72 | 1,09 | -28,6 | 9,3 | 46,18 |

5.3.2.2. Raízes

Para as raízes, o percentual de carbono orgânico na espécie *A. germinans* variou de $43,23 \pm 0,61\%$ (P4) a $45,23 \pm 1,26\%$ (P3), já para a *L. racemosa* os valores foram de $40,74 \pm 0,85\%$ (P1) a $42,91 \pm 0,84\%$ (P2). As raízes de *A. germinans*

apresentaram valores de nitrogênio total variando de $0,58 \pm 0,01\%$ (P4) a $0,98 \pm 0,20\%$ (P1), já a *L. racemosa* mostrou valores bastante semelhantes variando de $0,60 \pm 0,03\%$ (P1 e P3) a $0,86 \pm 0,03\%$ (P4). A razão atômica (C/N)_a para as raízes das espécies *A. germinans* e *L. racemosa* foi de $53,55 \pm 2,05\%$ (P1) a $87,53 \pm 1,86\%$ (P4) e de $57,08 \pm 2,02\%$ (P4) a $81,51 \pm 3,23\%$ (P3), respectivamente (Tabela 7). Os teores de CO, NT e (C/N)_a para as raízes das espécies analisadas não mostraram diferenças significativas entre os pontos de coleta (p - level $\approx 0,963$, populações diferentes com $p < 0,05$) (Anexo A; Gráfico 11, Gráfico 12 e Gráfico 13).

A composição isotópica das raízes para as espécies *Avicennia germinans* e de *Laguncularia racemosa* se mostraram bastante semelhantes. Em geral, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ para esse tecido vegetal foram de $-29,2 \pm 0,1\text{‰}$ (P1) a $-26,4 \pm 0,1\text{‰}$ (P2) para a espécie *A. germinans* e de $-29,1 \pm 0,5\text{‰}$ (P4) a $-26,2 \pm 0,3\text{‰}$ (P2) para a espécie *L. racemosa*. Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ foram semelhantes para ambas as espécies variando de $4,6 \pm 0,3\text{‰}$ (P4) a $8,8 \pm 0,2\text{‰}$ (P1) para *A. germinans* e de $4,8 \pm 0,1\text{‰}$ (P4) a $9,6 \pm 0,1\text{‰}$ (P3) para *L. racemosa* (Tabela 7).

Utilizando o teste de Tukey, foi possível concluir que os pontos P3 e P4 não apresentam diferenças significativas para $\delta^{13}\text{C}$ nos pontos P1 e P2, porém foi encontrada essa diferença entre os pontos P1 e P2 com $p = 0,00007$ para a hipótese de que havia uma diferença entre os pontos. Utilizando ainda o teste de Tukey, notou-se diferença entre o P4 e todos os outros pontos ($p = 0,00003$) (Anexo A; Gráfico 14 e Gráfico 15).

Tabela 7. Resultados das análises elementar e isotópica das amostras de raízes das espécies *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa*, coletados ao longo do ERP.

| Amostra | Ponto | Espécie | COrg(%) | NTotal(%) | $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ | $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ | (C/N) _a |
|---------|-------|---------------------|---------|-----------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------|
| RAÍZES | P1 | <i>A. germinans</i> | 45,02 | 0,98 | -29,3 | 8,8 | 53,55 |
| | | <i>L. racemosa</i> | 40,74 | 0,60 | -28,9 | 9,3 | 79,24 |
| | P2 | <i>A. germinans</i> | 44,68 | 0,81 | -26,5 | 7,8 | 64,20 |
| | | <i>L. racemosa</i> | 42,91 | 0,69 | -26,2 | 9,1 | 72,54 |
| | P3 | <i>A. germinans</i> | 45,34 | 0,75 | -27,9 | 5,7 | 70,79 |
| | | <i>L. racemosa</i> | 41,62 | 0,60 | -27,7 | 9,6 | 81,51 |
| | P4 | <i>A. germinans</i> | 43,23 | 0,58 | -26,4 | 4,6 | 87,53 |
| | | <i>L. racemosa</i> | 41,94 | 0,86 | -29,1 | 4,8 | 57,08 |

5.3.2.3. Flores

As flores das espécies de mangue *A. germinans* e *L. racemosa* apresentaram teores de carbono orgânico de $41,74 \pm 1,07\%$ (P3) a $42,81 \pm 2,22\%$ (P4) e $41,27 \pm$

0,35% (P3) a $41,87 \pm 0,38\%$ (P2), respectivamente. Já para o nitrogênio total as flores apresentaram valores entre $1,48 \pm 0,07\%$ (P4) e $1,77 \pm 0,19\%$ (P1) para a espécie *A. germinans* e entre $1,35 \pm 0,12\%$ (P4) e $1,63 \pm 0,07\%$ (P3) para a espécie *L. racemosa*. A razão (C/N) variou de $27,89 \pm 2,69$ (P1) a $33,67 \pm 1,77$ (P4) para as folhas da espécie *A. germinans*, enquanto que para a espécie *L. racemosa*, mostraram valores entre $29,63 \pm 1,26$ (P3) e $36,30 \pm 3,03$ (P4) (Tabela 8). A análise de diferenças significativas evidenciou diferença apenas para os teores de NT(%), onde os pontos P3 e P4 mostraram-se diferentes entre si ($p = 0,04$) (Anexo A; Gráfico 11, Gráfico 12 e Gráfico 13).

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ para as flores da espécie *A. germinans* foram de $-27,2 \pm 0,9\text{‰}$ (P3) a $-25,4 \pm 3,8\text{‰}$ (P2) e para a espécie *L. racemosa* variaram entre $-28,6 \pm 2,5\text{‰}$ (P2) e $-24,8 \pm 0,9\text{‰}$ (P4). Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ para *A. germinans* variaram de $5,4 \pm 0,1\text{‰}$ (P4) a $9,9 \pm 1,5\text{‰}$ (P1) e para *L. racemosa* mostraram variação entre $7,4 \pm 0,1\text{‰}$ (P4) e $10,3 \pm 0,1\text{‰}$ (P3) (Tabela 8).

O teste de Tukey não apresentou valores significativamente diferentes para $\delta^{13}\text{C}$ entre os pontos ($p > 0,05$), porém para $\delta^{15}\text{N}$, o tecido apresentou valores significativamente diferentes entre os pontos de coleta (Anexo A; Gráfico 14 e Gráfico 15).

Tabela 8. Resultados das análises elementar e isotópica das amostras de flores das espécies *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa*, coletados ao longo do ERP.

| Amostra | Ponto | Espécie | COrg(%) | NTotal(%) | $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ | $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ | (C/N) ^a |
|---------|-------|---------------------|---------|-----------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------|
| FLOR | P1 | <i>A. germinans</i> | 41,97 | 1,77 | -26,6 | 9,9 | 27,89 |
| | | <i>L. racemosa</i> | 41,71 | 1,42 | -27,5 | 10,2 | 34,40 |
| | P2 | <i>A. germinans</i> | 42,45 | 1,69 | -25,4 | 8,2 | 29,30 |
| | | <i>L. racemosa</i> | 41,87 | 1,59 | -28,6 | 9,2 | 31,02 |
| | P3 | <i>A. germinans</i> | 41,74 | 1,71 | -27,2 | 6,6 | 28,73 |
| | | <i>L. racemosa</i> | 41,27 | 1,63 | -27,4 | 10,3 | 29,63 |
| | P4 | <i>A. germinans</i> | 42,81 | 1,48 | -26,3 | 5,4 | 33,67 |
| | | <i>L. racemosa</i> | 41,68 | 1,35 | -24,8 | 7,4 | 36,30 |

5.3.2.4. Propágulos

Para propágulos, o percentual de carbono orgânico não evidenciou grande variação entre as espécies ou espacialmente, embora algumas diferenças tenham se mostrado significativas, apresentando média de $42,95 \pm 0,24$ (P2) a $43,89 \pm 0,30$ para *A. germinans* e de $41,43 \pm 0,68$ a $44,63 \pm 2,90$ para a espécie *L. racemosa*. Os propágulos

de *A. germinans* e *L. racemosa* apresentaram médias para nitrogênio total que variaram de $1,28 \pm 0,04\%$ (P2) a $1,51 \pm 0,04\%$ (P1), já para *L. racemosa* os valores foram bastante semelhantes variando de $1,25 \pm 0,07\%$ (P3) a $1,56 \pm 0,25\%$ (P1). A razão atômica para os propágulos das espécies *A. germinans* e *L. racemosa* foi de $33,70 \pm 0,64\%$ (P1) a $40,31 \pm 1,41\%$ (P4) e de $31,71 \pm 0,77\%$ (P4) a $40,33 \pm 1,80\%$ (P3), respectivamente (Tabela 9).

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ para as espécies variaram de $-30,9 \pm 0,5\%$ (P1) a $-28,9 \pm 0,1\%$ (P4) para *A. germinans* e de $-28,6 \pm 0,5\%$ (P4) a $-27,2 \pm 0,5\%$ para *L. racemosa* (P1). Por outro lado, os valores da composição isotópica do nitrogênio para os propágulos foram de $8,2 \pm 0,2\%$ (P3) a $10,8 \pm 0,3\%$ (P1) para *A. germinans* e de $4,9 \pm 0,1\%$ (P4) a $10,3 \pm 0,1\%$ (P1) para *L. racemosa*.

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ não apresentaram diferenças significativas entre os pontos, porém alguma diferença foi encontrada para $\delta^{15}\text{N}$. O ponto P1 se mostrou diferente de todos os outros pontos ($p < 0,005$), enquanto que os demais pontos mostraram certa semelhança entre si (Anexo A; Gráfico 14 e Gráfico 15).

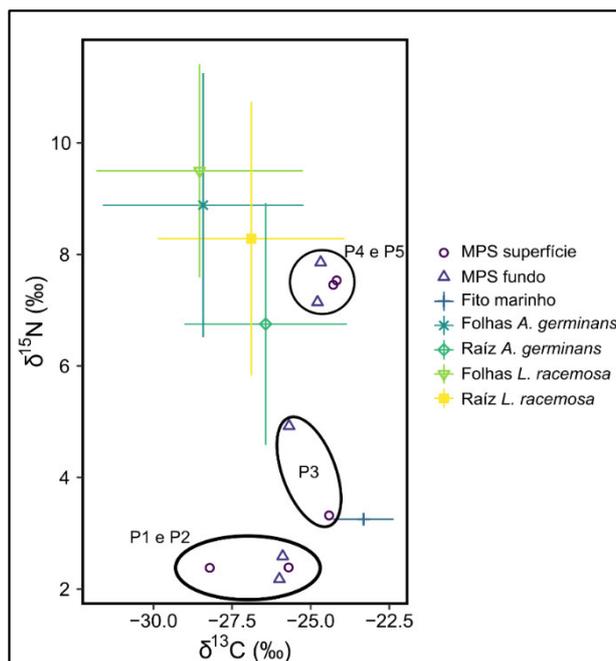
Tabela 9. Resultados das análises elementar e isotópica das amostras de propágulos das espécies *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa*, coletados ao longo do ERP.

| Amostra | Ponto | Espécie | COrg(%) | NTotal(%) | $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ | $\delta^{15}\text{N}(\text{‰})$ | (C/N) a |
|------------|-------|---------------------|---------|-----------|---------------------------------|---------------------------------|----------------|
| PROPÁGULOS | P1 | <i>A. germinans</i> | 43,61 | 1,51 | -30,9 | 10,8 | 33,70 |
| | | <i>L. racemosa</i> | 44,63 | 1,56 | -27,2 | 10,3 | 33,72 |
| | P2 | <i>A. germinans</i> | 42,95 | 1,28 | -30,3 | 10,0 | 39,19 |
| | | <i>L. racemosa</i> | 41,43 | 1,26 | -27,6 | 7,0 | 38,50 |
| | P3 | <i>A. germinans</i> | 43,89 | 1,34 | -28,9 | 8,2 | 38,13 |
| | | <i>L. racemosa</i> | 43,07 | 1,25 | -27,4 | 8,5 | 40,33 |
| | P4 | <i>A. germinans</i> | 43,33 | 1,32 | -29,4 | 9,6 | 40,31 |
| | | <i>L. racemosa</i> | 41,94 | 1,54 | -28,6 | 4,9 | 31,71 |

5.4. Aplicação do Modelo de Mistura (SMMIR)

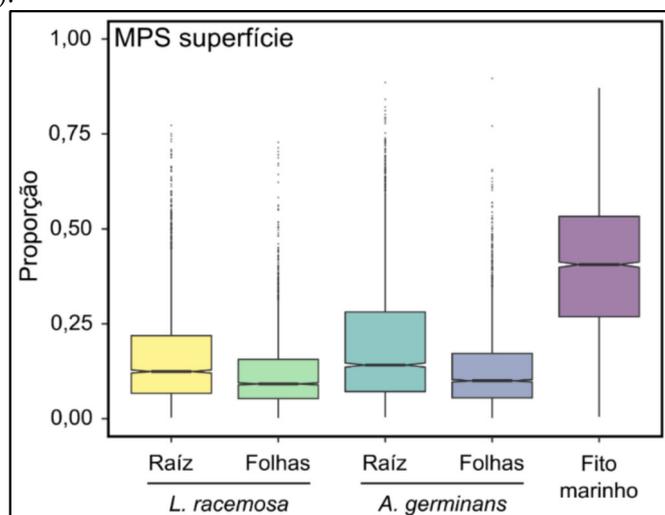
O gráfico 6 apresenta a dispersão para os valores de $\delta^{13}\text{C}$ (eixo X) e $\delta^{15}\text{N}$ (eixo Y) para o MPS, superfície e fundo, assim como para as diferentes fontes de MO (folhas e raízes das espécies de mangue *A. germinans* e *L. racemosa*). O agrupamento das zonas estuarinas, pontos P4 e P5, tiveram valores semelhantes para os isótopos de C e N, o P3 apresentou valores semelhantes ao P4 e P5 de $\delta^{13}\text{C}$, mas distintas de $\delta^{15}\text{N}$. Por outro lado, os pontos P1 e P2 também se mostraram semelhantes

Gráfico 5. *Isospace* de amostras de material particulado em suspensão (MPS), na superfície e no fundo, e assinaturas isotópicas de potenciais fontes ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$) para o ERP.



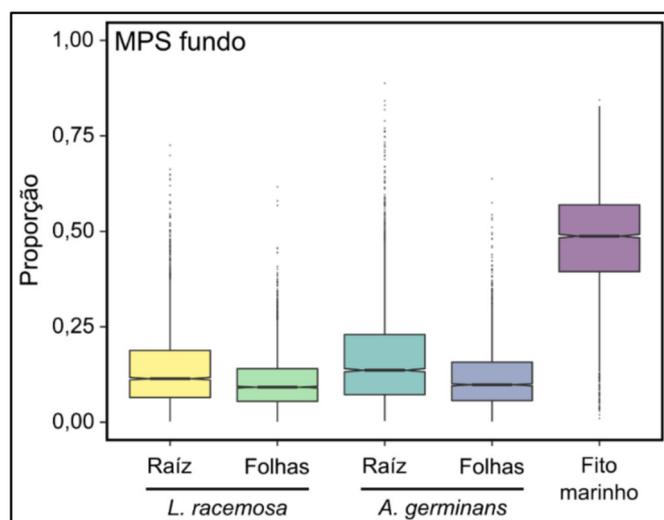
Os intervalos de contribuição das possíveis fontes (raízes e folhas das espécies *L. racemos* e *A. germinans* e fitoplâncton marinho) de material orgânico para o MPS estão representados no Gráfico 6 onde as caixas incluem o intervalo de probabilidade de 50%; as linhas dentro das caixas representam os valores medianos, as caudas representam os intervalos interquartil (2,5 e 97,5%). É possível perceber que a maior mediana está relacionada com o fito marinho com valores de 40,6%, seguido da proporção de raízes de *A. germinans* com 12% (Gráfico 6).

Gráfico 6. Intervalo de probabilidade da contribuição de diferentes fontes para o MPS coletado na superfície do ERP com base nos resultados do modelo de mistura SIMMR (*Stable Isotope Mixing Model in R*).



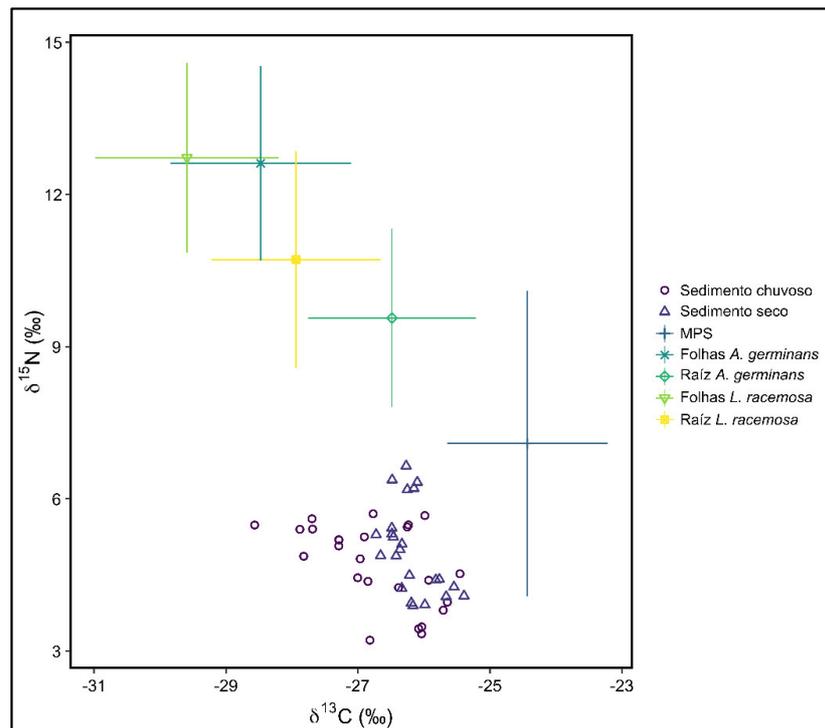
Para o MPS coletado no fundo do ERP (Gráfico 7) a maior proporção de contribuição foi, assim como no MPS de superfície, o fito marinho com 48% seguido por raízes de *A. germinans* com 13%.

Gráfico 7. Intervalo de *probabilidade* da contribuição de diferentes fontes para o MPS coletado na superfície do ERP com base nos resultados do modelo de mistura SIMMR (*Stable Isotope Mixing Model in R*). (As caixas incluem o intervalo de credibilidade de 50%; as linhas dentro das caixas representam os valores medianos, as caudas representam os intervalos de 2,5 e 97,5%)



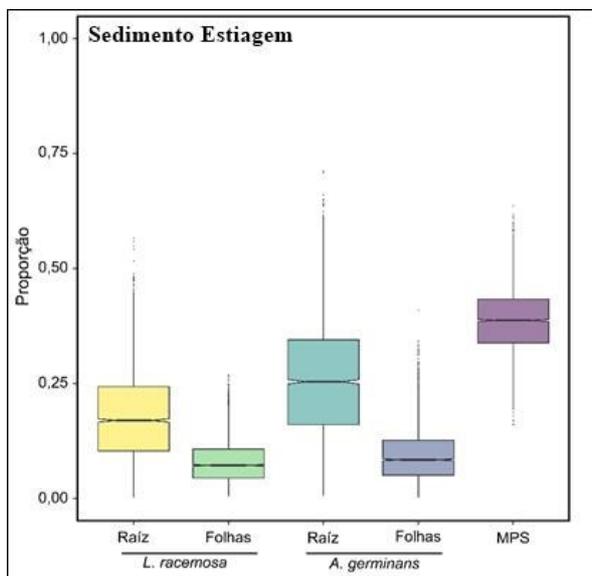
O Gráfico 8 mostra o gráfico de dispersão referente aos pontos de coleta de sedimento, onde o círculo representa o sedimento coletado no período chuvoso e o triângulo representam o sedimento coletado no período de estiagem. As composições das possíveis fontes de MO para o ERP também estão representados no gráfico, expressando os intervalos dos valores medidos os respectivos tecidos (raízes e folhas de *A. germinans* e *L. racemosa*), bem como os intervalos para o MPS, que, como observado (Gráfico 5), apresentou como sua possível principal fonte o fitoplâncton marinho. Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ para o sedimento variou de -25,4‰ a -26,7‰ e 3,9‰ a 6,6‰, respectivamente para o sedimento coletado no período de estiagem e de -25,5‰ a -28,6‰ e de 3,2‰ a 5,7‰, respectivamente para o sedimento coletado no período chuvoso (Tabela 5 e Gráfico 8).

Gráfico 8. *Isospace* de amostras de sedimentos e assinaturas isotópicas de potenciais fontes de MO para o sedimento do ERP ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$).



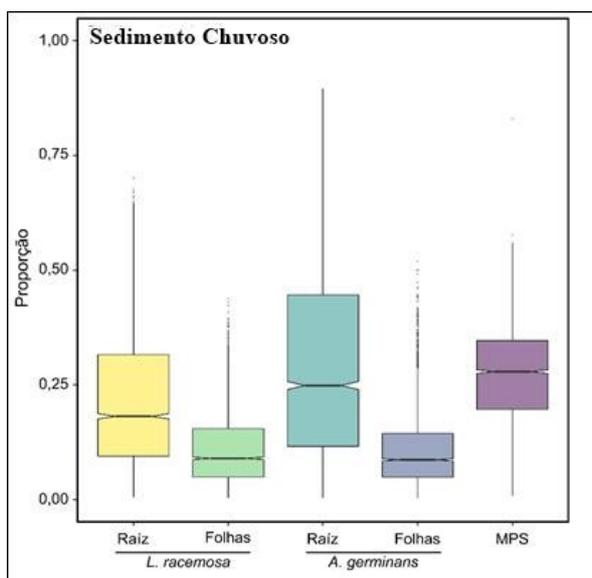
Os valores de proporção de contribuição de material orgânico para o sedimento coletado no período de estiagem (nov/2017) estão representados no Gráfico 9. Os maiores valores estão atribuídos ao MPS (38%) e às raízes de *A. germinans* (25%) seguidos das raízes de *L. racemosa* (17%) (Gráfico 9).

Gráfico 9. Intervalo de credibilidade da contribuição de diferentes fontes (Folhas e Raízes de *Laguncularia racemosa* e *Avicennia germinans*, e MPS) para o sedimento coletado no ERP durante o período de estiagem (nov/2017) com base nos resultados do modelo de mistura SIMMR (*Stable Isotope Mixing Model in R*).



Para o sedimento coletado no período chuvoso (abril/2018) (Gráfico 10) as maiores medianas estão atribuídas ao MPS (27%) seguido das raízes de *A. germinans* (24%) e de *L. racemosa* (18%), mostrando uma proporção mais equilibrada entre as principais possíveis fontes analisadas nesse estudo.

Gráfico 10. Intervalo de credibilidade da contribuição de diferentes fontes (Folhas e Raízes de *Laguncularia racemosa* e *Avicennia germinans*, e MPS) para o sedimento coletado no ERP durante o período chuvoso (mar/2018) com base nos resultados do modelo de mistura SIMMR (*Stable Isotope Mixing Model in R*). (as caixas incluem o intervalo de credibilidade de 50%; as linhas dentro das caixas representam os valores medianos, as caudas representam os intervalos de 2,5 e 97,5%).



6. DISCUSSÃO

6.1. Caracterização Física do ERP

Os resultados de temperatura (Tabela 2) mostraram-se dentro do padrão para estuários tropicais na zona equatorial, onde se esperam pequenas variações sazonais desse parâmetro nas águas costeiras (MATIC *et al.*, 2013).

Em relação ao gradiente salino das águas superficiais e de fundo (Tabela 2), as diferenças observadas durante as campanhas amostrais podem ser explicadas pela descarga fluvial, com maior diluição das águas no período chuvoso, intensificando o gradiente de salinidade, como apontado por CORREA (2018).

Quanto ao oxigênio, os maiores valores de OD apresentado no mês de novembro (Tabela 2) podem estar relacionados a uma maior atividade fotossintética, fato relatado por Cavalcanti (2018) no ERP, onde as maiores concentrações de diatomáceas e concentrações de clorofila- α ocorreram no período de estiagem. Já os baixos valores de OD dissolvido observados podem estar relacionados com a degradação da matéria orgânica oriunda das áreas adjacentes (manguezais) e lançamento de esgotos domésticos (Carvalho *et al.*, 2000). De fato, durante as campanhas no ERP, foi observado por CORREA (2018) lançamento de esgotos in natura ao longo de todo o rio, além de outras fontes de contaminação para o estuário como, estaleiros, tráfego de embarcações de pequeno porte, intemperismo das margens, descarte inadequado de resíduos sólidos.

Oliveira *et al.* (2012), avaliando o grau de contaminação do ERP, encontraram elevado número de organismos patogênicos (bactérias heterotróficas, coliformes totais e termotolerantes) próximos às estações P1 e P2 durante suas pesquisas, pontos onde foram observados os menores valores de OD, região mais estreita e confinada das estações de amostragens. Soares *et al.* (2011), usaram comunidades de peixes para estudar a qualidade ambiental do ERP através do Índice de Integridade Biótica e também identificaram que próximos aos locais de coleta desse estudo (P1 e P2) a classe de qualidade variou de pobre a muito pobre.

6.2. Teor de Finos, Área Superficial, Carbono Orgânico (CO), Nitrogênio Total (NT) e Razão Atômica (C/N) no ERP.

Os resultados da MANOVA sugerem que os períodos de coleta estão sob diferentes regimes hidrológicos locais como pode ser observado no Gráfico 4. Estes

resultados revelam condições de energia moderada na estação seca sem variabilidade espacial, porém os pontos P4 e P5 passaram a ter condições de energia alta na estação chuvosa revelada por uma alteração no teor de finos nesses dois pontos (Gráfico 4; Tabela 3).

As diferenças espaciais nas concentrações de CO(%), como pode ser observado na Tabela 5, podem ser explicadas, portanto, por dois fatores atuando simultaneamente: (1) diferenças no aporte de MO nesse ponto em ambas as estações e (2) composição granulométrica diferenciada (Tabela 3), que acarreta em diferentes níveis de acúmulo de MO no sedimento superficial. Como foi observado na análise de correlação de Pearson, houve uma correlação direta entre o teor de finos e o CO ($r = 0,829$; $p = 0,003$). Foi também percebido uma correlação negativa ($r = - 0,780$; $p = 0,008$) entre a área superficial e a granulometria encontrada através das análises das amostras, esse dado pode ser relacionado com o teor de CO do sedimento. Segundo Cifuentes; Sharp; Fogel (1988), os sedimentos com maiores tamanhos de grão tendem a apresentar menor teor de CO devido à menor área superficial. Partindo desse pressuposto, entende-se que ambientes sedimentares de composição granulométrica grosseira e de maior porosidade, conjuntamente com maior hidrodinamismo, não seriam favoráveis à preservação da matéria em determinado ambiente deposicional. Além do fato de que estas áreas mais dinâmicas, do ponto de vista hidrológico e sedimentológico, são mais sujeitas ao constante retrabalhamento de sedimentos e consequente perda do material já depositado.

A variação espacial e sazonal de CO(%) e NT(%) está representada na Tabela 5. Os teores de carbono orgânico, no sedimento, encontrados nesse estudo estão inseridos na faixa de variação em escala global, descrita por KRISTENSEN et al. (2008) onde uma fração de 44% dos dados disponíveis mostra valores de CO(%) abaixo de 2%, como encontrado para o P4, nos dois períodos e outra fração de 28% mostra valores de CO(%) entre 2 e 5%, o que inclui os demais pontos (Tabela 5). As concentrações de carbono orgânico e nitrogênio total no sedimento ao longo do estuário mostraram-se sempre crescentes em direção à nascente, sendo maiores percentuais no P1, período chuvoso ($3,2 \pm 0,1\%$ e $0,3 \pm 0,8\%$, respectivamente) e período de estiagem ($3,3 \pm 0,2\%$ e $0,3 \pm 0,01\%$, respectivamente). Essa variação espacial está relacionada entre outros fatores com a influência da cunha salina, como observado por Mendes Filho (2008) que encontrou o mesmo padrão de variação em sua pesquisa no ERP onde

realizou a identificação das fontes e origem da matéria orgânica por traçadores naturais no sedimento.

Tan *et al.* (1991) consideraram em sedimentos de manguezal a razão (C/N)_a está entre 12 e 14, como resultantes da produção estuarina ou de origem marinha, e acima de 14 como sendo da matéria orgânica de origem terrestre. Melo (2002) encontrou no sedimento do manguezal do Igarapé Nunca Mais no município de Raposa (MA) valores entre 10 e 22 para (C/N)_a em sedimentos superficiais, concluindo que na superfície a matéria orgânica se encontrava no processo inicial de sua decomposição, por apresentar maiores taxas de NT.

De maneira geral, os sedimentos dos 5 pontos, nas estações seca e chuvosa, são caracterizados por baixa razão (C/N)_a, os valores podem ser observados na Tabela 5 apresentando maiores valores no ponto 4 nos dois períodos, mas todos os pontos mantêm valores acima de 10 indicando uma mistura de fonte terrestres e marinhas. Correa (2019) também observou valores similares para o Complexo Estuarino de São Marcos (CESM), também localizado no estado do Maranhão. Victor *et al.* (2004), indicam que razões (C/N)_a para sedimentos estuarinos são acima de 10, podendo, segundo Kristensen *et al.* (2008), refletir alto estágio de decomposição dos detritos vegetais provenientes do manguezal, ou uma contribuição variável de outras fontes de carbono para o sistema.

A MO no sedimento tem uma composição complexa, rica em compostos de cadeias longas e mais dificilmente degradados, tais como carboidratos e ligninas, devido ao alto investimento estrutural das plantas terrestres (BIANCHI & CANUEL, 2011). Desta forma, sedimentos estuarinos que recebem aportes de ambas as fontes, autóctone e alóctone, como foi observado para esse estudo (Tabela 5), apresentam valores intermediários da razão (C/N)_a (entre 10 e 20), sendo os maiores valores podendo estar associados a fontes alóctones, (BURONE, *et al.*, 2003). No caso do presente estudo no ERP, existe a possibilidade de estarem associados ao manguezal que o circunda. Uma vez que a razão (C/N)_a nas florestas de manguezais pode chegar a valores superiores a 20 (ALONGI *et al.*, 1989).

6.3. Caracterização elementar do Material Particulado em Suspensão

Há um aumento de MPS no fundo (*Tabela 2*), sugerindo que uma entrada de massa de água costeira pode estar ressuspensando o material recém depositado e/ou barrando hidraulicamente os sedimentos em suspensão, como observado por SEREJO (2018) no CESM, possivelmente provenientes da drenagem continental para o estuário superior, que como observado no mapa (*Figura 2*) são pontos mais abrigados.

Os pontos mais externos do estuário, situados no estuário inferior (P4 e P5), apresentaram maiores concentrações de MPS no fundo. A tendência do MPS em sedimentar com o aumento da salinidade pode ser devido a agregação desse material com as partículas de sal, um processo denominado de floculação. Considerando, que a floculação pode alterar o tamanho de partícula, densidade e conseqüentemente velocidade de sedimentação do MPS e, assim, afetar os efeitos dos processos associados ao mesmo (MIKKELSEN et al., 2007).

Os valores da razão atômica (C/N)_a encontrados para o MPS (*Tabela 4*) caracterizam a razão encontrada para influência de microalgas na composição do material orgânico presente no MPS do ERP (BIANCHI, 2007). Os valores de NT (%) corroboram com os dados da razão molar, pois segundo autores como Cifuentes *et al.* (1996) e Meyers (1994), maiores concentrações de nitrogênio ($2,23 \pm 0,85\%$ para a superfície e $1,47 \pm 0,67\%$ para o fundo) e menores de carbono orgânico ($10,78 \pm 3,07\%$ para a superfície e $9,21 \pm 3,73\%$ para o fundo) estão relacionados com microrganismos não-vascularizados, tais como microalgas, que desenvolvem em seus tecidos maiores percentagens de nitrogênio na forma de proteínas. No estudo de autoria de Cavalcanti (2018), realizado no ERP, a autora conclui uma elevada biomassa fitoplanctônica, além de maiores concentrações de clorofila a ($>20 \text{ mg.m}^{-3}$) principalmente de diatomáceas, e menores concentrações de nutrientes ao longo do estuário. Segundo Alexander *et al.* (2015) as diatomáceas exercem uma profunda influência sobre a produtividade marinha e no ciclo do carbono, particularmente nos estuários costeiros.

6.4. Caracterização Isotópica da Matéria Orgânica no ERP

Em estudos de identificação e caracterização das fontes de matéria orgânica, o uso de ferramentas como a composição elementar associada a outros marcadores como a composição isotópica se torna mais eficiente (THIMDEE *et al.*, 2003). A

representação gráfica da composição isotópica do carbono e nitrogênio, evidencia um agrupamento entre as zonas do ERP, pontos P1 e P2, porção mais interna do estuário, com valores do nitrogênio semelhantes, o ponto P3, porção média do estuário, com uma variação do $\delta^{15}\text{N}$ aproximadamente 2‰ porém com $\delta^{13}\text{C}$ semelhantes. A zona mais externa do estuário, pontos P4 e P5 apresentaram diferenças significativas para o $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ (Gráfico 5).

Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ geralmente aumentam em direção à parte mais externa do estuário, onde se percebe através do gradiente de salinidade um aumento do grau de mistura das diferentes fontes analisadas. Os valores menos negativos do $\delta^{13}\text{C}$ para o MPS em direção à região mais externa do ERP, aponta para uma maior influência fitoplanctônica (Gráfico 5).

Os valores baixos de $\delta^{15}\text{N}$, encontrados no estuário inferior, sugerem que a área não sofre grandes influências de fontes externas de nitrogênio, como, por exemplo, de lançamento de efluentes que apresenta, valores enriquecidos em ^{15}N (MIDDELBURG; HERMAN, 2007). A presença de nitrato tem sido apontada em alguns estudos como a causa de valores de $\delta^{15}\text{N}$ mais empobrecidos em ^{15}N (SAVOYE *et al.*, 2003; VAN DE MERWE *et al.*, 2016). Na costa da China, baixos valores de $\delta^{15}\text{N}$ foram atribuídos também a fixação de nitrogênio pelas cianobactérias, cuja presença foi identificada no estudo de Cavalcanti (2018) e ao baixo *input* de efluentes domésticos no sistema (KE *et al.*, 2017).

Os valores de $\delta^{15}\text{N}$ corroboram com o intervalo encontrado por MENDES-FILHO (2009), variando entre 2‰ e 6‰ e com valores maiores nos pontos próximos a foz. Localmente, esses valores podem, ainda, ser influenciados por variações nos valores das folhas (*A. germinans* de 10‰ a 6‰, *L. racemosa* de 10‰ a 7‰). Estes resultados representam uma resposta ao suprimento diferenciado de nitrogênio, o desenvolvimento do bosque, a fertilidade do solo e a competição entre as plantas por este nutriente (FRY *et al.*, 2000). O presente estudo, apresentou similaridade ao estudo Bardhan *et al.* (2015) que encontrou valores de $\delta^{15}\text{N}$ variando de 1,0‰ a 6,5‰, reforçando as misturas de fontes, com os menores valores de $\delta^{15}\text{N}$ sendo relacionados ao amônio que sai do sedimento através do processo de amonificação gerando uma matéria orgânica empobrecida de ^{15}N .

O modelo de mistura sugeriu que as maiores contribuições para ambas profundidades estão associadas ao fitoplâncton marinho, com média de $39,90 \pm 0,18\%$ para a superfície e $47,20 \pm 0,14\%$ para o fundo, seguido da contribuição de raízes da espécie de mangue *Avicennia germinans*, planta C3, com médias $19,50 \pm 0,16\%$ para a superfície e $16,70 \pm 0,13\%$ para o fundo (Gráfico 7).

No Gráfico 8 estão relacionadas às fontes de MO para o sedimento no ERP nos períodos de estiagem e chuvoso a partir da representação clássica da relação entre os isótopos estáveis de carbono e nitrogênio. A maioria dos valores do $\delta^{15}\text{N}$ nos sedimentos ficaram abaixo de 6‰, apenas algumas amostras ficaram enriquecidas de ^{15}N no período de estiagem reforçando a contribuição das algas bentônicas para o conteúdo total de matéria orgânica neste compartimento de fundo. Tais valores estão dentro da faixa de valores típicos de sedimentos manguezais e estuários apresentados na literatura (THORNTON; MCMANUS *et al.*, 1994; CARREIRA *et al.*, 2002; VOLKMAN *et al.*, 2008; SANDERS *et al.*, 2010; RANJAN *et al.*, 2011). Em relação aos valores do $\delta^{13}\text{C}$, os pontos mais empobrecidos em ^{13}C estão relacionados com o sedimentos coletados no período chuvoso, principalmente na região mais interna do ERP.

A composição isotópica do carbono ($\delta^{13}\text{C}$) de todo o material sedimentar (Tabela 5) analisado neste estudo mostra uma faixa de variação entre -28,5 a -25,3‰ uma faixa considerada estreita em comparação a outros trabalhos como o de Mendes Filho (2008), realizado na mesma área. Estudos anteriores realizados por Andrews *et al.* (1998) e Bouillon *et al.* (2003), revelam que os menores valores de $\delta^{13}\text{C}$ (aproximadamente - 27‰) em ambientes estuarinos estão presentes em áreas adjacentes à desembocadura de rios. No período chuvoso percebeu-se um enriquecimento do ^{12}C no sedimento, o que pode estar relacionado com aporte de material oriundo de plantas terrestres, do tipo C3, que provavelmente chegaram até o ERP através da lixiviação gerada pela pluviosidade.

O modelo de mistura baseado na composição isotópica do carbono aponta para contribuição do MPS e da biomassa subterrânea das raízes *A. germinans* nos dois períodos (Gráfico 9 e Gráfico 10). Entretanto, cabe ressaltar o aumento da contribuição da biomassa subterrânea de *L. racemosa* no período chuvoso. As raízes das espécies de manguezal foram apontadas porque a biomassa subterrânea tem grande participação na produtividade deste ecossistema (KRISTENSEN *et al.*, 2008) e os resultados

evidenciam a influência de raízes de ambas as espécies na composição isotópica do sedimento do ERP. Além da configuração das raízes, ou seja, estarem em contato direto com o sedimento, deve-se ressaltar que o sedimento foi coletado próximo à margem, o que pode ter influenciado nos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$.

Os valores apresentados neste estudo, no que tange as faixas de variação para o $\delta^{13}\text{C}$ se mostraram muito semelhantes aos de Mauriel *et al.* (2013) e aos valores apresentados para o ERP por Mendes Filho (2008). Os resultados da razão isotópica do carbono no sedimento estuarino do presente estudo foram comparados com diversos trabalhos realizados em ambientes semelhantes (estuarinos e de manguezais) de outras regiões brasileiras e de outras partes do mundo (Tabela 10). A matéria orgânica do sedimento pode ter diferentes fontes, ou seja, valores de $\delta^{13}\text{C}$ entre -26,5 a -26,1 ‰: predominância de material oriundo da fonte fluvial; valores de -27,8 a -26,1 ‰: mistura do material fluvial e do manguezal e valores de -24,9 a -23,7 ‰: matéria orgânica com mais influência da fonte marinha.

Tabela 10. Valores de razões isotópicas do carbono $\delta^{13}\text{C}$ (‰) em sedimentos estuarinos e de manguezais de diferentes regiões e do manguezal em estudo.

| Ambiente | Valores de $\delta^{13}\text{C}$ (‰) | Referência |
|--|--------------------------------------|---------------------------|
| Sedimentos estuarinos em ambientes tradicionais costeiros - <i>Tay Estuary Scotland</i> | -28,0 a -25,4 | Thornton e Mc Manus, 1994 |
| Sedimentos de manguezais no Igarapé Nunca Mais - Raposa (MA) | -26,7 a -22,4 | Melo, 2002 |
| Sedimentos de manguezais - Canal do Funil - Estuário do rio São Francisco | -27,8 a -23,7 | Mauriel et al., 2003 |
| Sedimentos do Estuário do rio São Francisco | -27,9 a -22,7 | Santos, 2007 |
| Sedimentos negros de manguezais - <i>Gaudani Godavari Estuary</i> - Andhra Pradesh - Índia | -32,0 a -27,0 | Bouillon et al., 2008 |
| Sedimentos estuário do Rio Paciência - Paço do Lumiar (MA) | -26,7 a -22,3 | Mendes-filho, 2009 |
| Sedimentos do estuário do rio Paciência - Paço do Lumiar (MA) | -27,6 a 25,6 | Este estudo |

7. CONCLUSÃO

- Os parâmetros físico-químicos se mostraram dentro do esperado para estuários tropicais na zona equatorial, onde houveram variação de alguns parâmetros em decorrência da sazonalidade;
- A análise granulométrica das amostras coletadas no ERP permitiu a caracterização dos sedimentos de fundo dessa região. De acordo com a análise, a fração fina (silte e argila) foi predominante com valores acima de 90% para 4/5 dos pontos amostrados em ambas as estações, seguida pela fração areia;
- A granulometria e os valores de área superficial se mostraram fatores importantes na dinâmica da MO local, uma vez que a distribuição desta varia de acordo com o teor de finos encontrados para esses sedimentos;
- Os resultados preliminares dos marcadores elementares e isotópicos mostraram que a matéria orgânica no MPS e nos sedimentos superficiais é composta por uma mistura de fontes marinhas, como o fitoplâncton, e terrestres, como os vegetais superiores (plantas C3);
- No período de estiagem percebe-se uma maior influência fitoplanctônica na composição da MO, já no período chuvoso existe uma diminuição nessa

influência, dando lugar a um aumento na influência das raízes de ambas as espécies de mangue encontradas ao longo de ERP.

- Em ambos os períodos (estiagem e chuvoso) os pontos mais externos do estuário (P4 e P5) apresentaram enriquecimento do ^{13}C evidenciando a influência de material marinho para a MO do ERP.
- Valores de $\delta^{15}\text{N}$ indicam que o ERP provavelmente não sofre influências significativas de fontes externas de N, tais como o lançamento de efluentes, e que as variações deste podem estar relacionadas com o fracionamento isotópico do nitrogênio e níveis de degradação da MO.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALEXANDER, H.; JENKINS, B.D.; RYNEARSONC, T. A.; DYHRMANB, S. T. Metatranscriptome analyses indicate resource partitioning between diatoms in the field, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, v. 13, p. 2182–2190. 2015.
- ALONGI D. M. Carbon Cycling in the World's Mangrove Ecosystems Revisited: Significance of Non-Steady State Diagenesis and Subsurface Linkages between the Forest Floor and the Coastal Ocean. *Forests.*; 11(9):977. 2020
- ALONGI, D. M. Carbon Cycling and Storage in Mangrove Forests. *Annual Review of Marine Science*, 6(1), 195–219. 2014.
- ALONGI, D. M. The dynamics of benthic nutrient pools and fluxes in tropical mangrove forest. *Journal Marine Research*. 54: 123 -148, 1996.
- ALONGI, D. M., BOTO, K. G. & TIRENDI, F. Effect of exported mangrove litter on bacterial productivity and dissolved organic carbon fluxes in adjacent tropical nearshore sediments. *Marine Ecology Progress Series* 56, 129-140. 1989.
- ALVARES, C. A., STAPE, J. L., SENTELHAS, P. C., MORAES GONÇALVES, J. L., SPAROVEK, G., Köppen's Climate Classification Map for Brazil. *Meteorol. Z.* 22, 711-728. 2013.
- ANDREWS, J. E. G.; GREENSWAY, A M.; DENNIS, P. F. Combined carbon isotope and C/N ratios as indicators of source and fate of organic matter in a poorly flushed, tropical estuary: Hunts Bay, Kingston harbor, Jamaica. *Estuary, Coastal and Shelf Science*. 46: 743-756. 1998.
- BARCELLOS, R. L. Processo sedimentar atual e a distribuição da matéria orgânica sedimentar no sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape, SP. Universidade de São Paulo, 2005.
- BAUER, J. E., BIANCHI, T. S. Dissolved Organic Carbon Cycling and Transformation. *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, 7–67. 2011.

- BAUER, J.E.; CAI, W.-J.; RAYMOND, P.A.; BIANCHI, T.S.; HOPKINSON, C.S.; REGNIER, P.A.G. The changing carbon cycle of the coastal ocean. *Nature*, 504, 61–70. 2013
- BIANCHI, T. S. *Biogeochemistry of Estuaries*. Oxford University Press on Demand, 2007.
- BIANCHI, T. S., BAUER, J. E. Particulate Organic Carbon Cycling and Transformation. *Treatise on Estuarine and Coastal Science*, 69–117. 2011.
- BIANCHI, T.S., CANUEL, E. A. Organic Geochemical Tracers in Estuaries. *Organic Geochemistry*, 32(4). 2001.
- BIANCHI, T.S.; CANUEL, E. A. *Chemical biomarkers in aquatic ecosystems*. [s.l.] Princeton University Press, 2011.
- BOUILLON, S., CONNOLLY, R. M., LEE, S. Y. Organic matter exchange and cycling in mangrove ecosystems: Recent insights from stable isotope studies. *Journal of Sea Research*, 59(1-2), 44–58. 2008.
- BOUILLON, S., DAHDOUH-GUEBAS, F., RAO, A. V. V. S., KOEDAM, N., & DEHAIRS, F. *Hydrobiologia*, 495(1/3), 33–39. 2003.
- BOUILLON, S.; CONNOLLY, R. M.; GILLIKIN, D. P. *Use of Stable Isotopes to Understand Food Webs and Ecosystem Functioning in Estuaries*. [s.l.] Elsevier Inc., v. 7. 2012.
- BRASIL. Lei 7.661, de 16 de maio de 1988, Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro, Brasília, DF. Mai, 1988.
- BRUNAUER, S.; EMMETT, P.; TELLER, E. Adsorption of gases in multimolecular layers. *Journal of the American Chemical Society*, v. 60, p. 309–319, 1938.
- BULMER, R. H., STEPHENSON, F., JONES, H. F. E., TOWNSEND, M., HILLMAN, J. R., SCHWENDENMANN, L., & LUNDQUIST, C. J. Blue Carbon Stocks and Cross-Habitat Subsidies. *Frontiers in Marine Science*, 7. 2020.
- BURONE, L., MUNIZ, P., PIRES-VANIN, A. M. S., & RODRIGUES, M. (2003). Spatial distribution of organic matter in the surface sediments of Ubatuba Bay (Southeastern - Brazil). *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 75(1), 77–80. 2003.
- CAMARGO, M.G. SYSGRAN: Um Sistema de Código Aberto para Análises Granulométricas do Sedimento. p. 345-352. *Revista Brasileira de Geociências*, 2006.
- CANUEL, E.A., HARDISON, A.K. Sources, ages, and alteration of organic matter in estuaries. *Annual Review of Marine Science* 8, 409-434. 2016.
- CARREIRA, R. S.; WAGENER, A.; READMAN, J.; FILEMAN, T.; MACKO, S.; VEIGA, A. Organic carbon accumulation in a polluted tropical estuary, Guanabara Bay, Brazil: an elemental, isotopic and molecular marker approach. *Marine Chemistry*, 79, 207-227. 2002.
- CARREIRA, R.S; WAGENER, A.R; FILEMAN, T; READMAN, J; MACKO, S.A; VEIGA, A. Changes in sedimentary organic carbon pool of a fertilized tropical

- estuary, Guanabara Bay, Brazil: an elemental, isotopic and molecular marker approach. *Marine Chemistry*, v. 79, n. 3, p. 207-227, 2002.
- CARVALHO, A.R., MINGANTE SCHLITTLER, F. H., TORNISIELO, V. L. Relações da atividade agropecuária com parâmetros físicos químicos da água. *Quim. Nova*, 23, 618-622. 2000.
- CASTAÑEDA-MOYA, E., TWILLEY, R. R., & RIVERA-MONROY, V. H. Allocation of biomass and net primary productivity of mangrove forests along environmental gradients in the Florida Coastal Everglades, USA. *Forest Ecology and Management*, 307, 226–241. 2013.
- CASTRO, A. C. L. Diversidade da Assembleia de Peixes em Igarapés do Estuário do Rio Paciência (MA – Brasil). *Atlântica*, v. 23, p. 39-46, 2001.
- CAVALCANTI, L.F. Variabilidade espaço-temporal do fitoplâncton ao longo de um gradiente salino em um estuário tropical de macromaré na margem equatorial brasileira. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Oceanografia) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís. 65f. 2018.
- CHEN, C.-T.A.; HUANG, T.-H.; CHEN, Y.-C.; BAI, Y.; HE, X.; KANG, Y. Air-sea exchanges of CO₂ in the world's coastal seas. *Biogeosciences*, 10, 6509–6544. 2013.
- CIFUENTES, L. A.; COFFIN, R. B.; SOLORZANO, L.; CANDENAS, W.; ESPINOZA, J.; TWILLEY, R. R. Isotopic and elemental variations of carbon and nitrogen in a mangrove estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 43: 781 – 800. 1996.
- CIFUENTES, L. A.; SHARP, J. H.; FOGEL, M. L. Stable carbon and nitrogen isotope biogeochemistry in the Delaware estuary. *Limnology and Oceanography*, v. 33, n. 5, p. 1102–1115, 1988.
- CORREA, J. N. Ostras (*Crassostrea gasar*) como biomonitorios de contaminação costeira no estuário do rio Paciência, na margem equatorial amazônica. 76 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Oceanografia/CCBS) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís. 2019.
- COSTA, C.M; SILVA, M.M; SILVA, Q. D., BEZERRA, J.F.R. Geomorfologia Antrópica e a Ocorrência de Inundações no Alto Curso do Rio Paciência - Ilha do Maranhão. XII SINAGEO - Simpósio Nacional de Geomorfologia - UGB - União da Geomorfologia Brasileira. 2018.
- DENIRO, M. J., EPSTEIN, S. Influence of diet on the distribution of nitrogen isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 45(3), 341–351. 1981.
- DERRIEN, M.; YANG, L.; HUR, J.; *Water Res.* 112, 58. 2017.
- DIETRICH, L. A. S.; MCINNIS, D. P.; BOLSTER, D.; MAURICE, P. A.; *Water Res.* 47, 2231. **2013**.
- DRONKERS, J., VAN LEUSSEN, W. (Eds.). *Physical Processes in Estuaries*. 1988.
- DUNN, R.J.K.; WELSH, D.T.; TEASDALE, P.R.; LEE, S.Y.; LEMCKERT, C.J.; MEZIANE, T. Investigating the distribution and sources of organic matter in

- surface sediment of Coombabak Lake (Australia) using elemental, isotopic and fatty acid biomarkers. *Continental Shelf Research*, 28, 2535-2549. 2008.
- FERREIRA, M. J.; BEZERRA, J. F. R.; FEITOSA, A. C. Processos Geomorfológicos da Área Nordeste da Ilha do Maranhão. São Luís. IV SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 2002.
- FLEMING, P. J.; GILBERT, R.; AZAZ, Y.; BERRY, P. J.; RUDD, P. T.; STEWART, A. & HALL, E., Interaction between bedding and sleeping position in the sudden infant death syndrome: A population based case-control study. *BMJ*, 301:85-89. 1990.
- FRY, B.; BERN, A.L.; ROSS, M.S.; MEEDER, J.F. N15 studies of nitrogen use by the Red Mangrove, *Rhizophora mangle* L. in South Florida. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 50, 291-296. 2000.
- FRY, B. *Stable Isotope Ecology*. New York: Springer, 2006.
- GUIMARÃES, L., LIMA, T., FRANÇA, E., ARRUDA, G., SOUZA, J., ALBERGARIA-BARBOSA, A. Impactos da mudança de vegetação local no aporte de matéria orgânica para um estuário tropical preservado (Estuário do Rio Itapicuru – BA). *Química Nova*. 2019.
- HEDGES, J.I. & KEIL, R.G. Marine Chemistry Discussion Paper Sedimentary organic matter preservation: an assessment and speculative synthesis. *Marine Chemistry*, 49, 81-115. 1995.
- HEDGES, J.I.; KEIL, R.G.; BENNER, R. What happens to terrestrial organic matter in the ocean? *Organic Geochemistry*, 27, 195 – 212. 1997.
- HINKLE DE, WIERSMA W, JURIS SG. *Applied Statistics for the Behavioral Sciences*. 5th ed. Boston: Houghton Mifflin; 2003.
- HOEFS, J. *Stable Isotope in Geochemistry*. 5th ed. Germany: Springer-Verlag, 2004.
- HOEFS, Jochen; HOEFS, Jochen. *Stable isotope geochemistry*. Berlin: Springer, 2009.
- IBGE. Sinopse por setores. 2010. Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopseporsetores/>>. Acesso em 14 de maio de 2021.
- KAMRUZZAMAN, M., AHMED, S., & OSAWA, A. Biomass and net primary productivity of mangrove communities along the Oligohaline zone of Sundarbans, Bangladesh. *Forest Ecosystems*, 4(1). 2017.
- KATHIRESAN, K.. How do mangrove forests induce sedimentation?. *Rev. biol. trop.*, San José , v. 51, n. 2, p. 355-360, June 2003.
- KE, Z., TAN, Y., HUANG, L., ZHAO, C., & JIANG, X. Spatial distributions of $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ and C/N ratios in suspended particulate organic matter of a bay under serious anthropogenic influences: Daya Bay, China. *Marine Pollution Bulletin*, 114(1), 183–191. 2017.
- KEIL, R. G.; COWIE, G. L. Organic matter preservation through the oxygen-deficient zone of the NE Arabian Sea as discerned by organic carbon:mineral surface area ratios. *Marine Geology*, v. 161, p. 13–22, 1999.

- KJERFVE, B. et al. Chapter twenty morphodynamics of muddy environments along the Atlantic coasts of North and South America. *Proceedings in Marine Science*, v.4, p. 479-532, 2002.
- KIDA M, FUJITAKE N. Organic Carbon Stabilization Mechanisms in Mangrove Soils: A Review. *Forests*. 11(9):981. 2020.
- KRISTENSEN, E. Organic carbon dynamics in mangrove ecosystems : A review. v. 89, p. 201–219, 2008.
- KRUSCHE, A. V.; BALLESTER, M.V.; VICTORIA, R.L; BERNARDES;LEITE, N.K.; HANADA, L.; VICTORIA, D.C.; TOLEDO, A.M.; OMETTO, J.P.; MOREIRA, M.Z.; GOMES, B.M.; BONELLI, N98 DEEGAN, L.; NEILL, C.; THOMAS, S.; AUFDENKANPE, A.K.; RICHEY, J.E. Efeitos das Mudanças do Uso da Terra na Biogeoquímica dos Corpos D'Água da Bacia do Rio Ji-Paraná, Rondônia. *Acta Amazônica*, 35: 197-205, 2005.
- LEHRBACK, B., NETO, R., BARROSO, G., BERNARDES, M. Fontes e distribuição da matéria orgânica sedimentar na porção noroeste da Baía de Vitória, ES. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*. 20. 79-92. 2016.
- MARCO A N., ELIAKIMU Z., ROGERS E. M. Carbon stocks and productivity of mangrove forests in Tanzania, *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 80:3, 217-232. 2018.
- MARTINELLI, L.A, OMETTO, J.P.H.B., FERRAZ, E.S., VICTORIA, R.L, CAMARGO, P.B & MOREIRA, M.Z. Desvendando questões ambientais com isótopos estáveis. São Paulo. Oficina de Textos. p.144. 2009.
- MATIC, N., MIKLAVCIC, I., MALDINI, K., DAMIR, T., CUCULIC, V., CARDELLINI, C. Geochemical and isotopic characteristics of karstic springs in coastal mountains (Southern Croatia). *J. Geochem. Explor.*132, 90-110. 2013.
- MAURIEL, M. C. O.; KNOPPERS, B. A.; SANTOS, M. M.; MEDERIROS, P. R. P.; SOUZA, W. F. L. Distribuição de nutrientes e matéria orgânica (C, N e $\delta^{13}\text{C}$) no Canal do Funil, estuário do rio São Francisco (SE/AL). Livro de resumos expandidos do IX Congresso Brasileiro de Geoquímica, Belém - PA, 6: 535-538, 2003.
- MAYA, M.V., SOARES, M.A., AGNIHOTRI, R., PRATIHARY, A.K., KARAPURKAR, S., NAIK, H., NAQVI, S.W. A.. Variations in some environmental characteristics including C and N stable isotopic composition of suspended organic matter in the Mandovi Estuary. *Environ. Monit. Assess.* v. 175, p. 501–517, 2011.
- MELO, O. T. Dinâmica de nutrientes e da matéria orgânica no manguezal do igarapé Nunca Mais – Ilha de São Luis - MA, Tese de Doutorado. Belém (PA), 2002.
- MENDES FILHO, N.E. Caracterização química da matéria orgânica nos sedimentos do solo do manguezal e dinâmica de nutrientes inorgânicos nas águas superficiais e intersticiais do médio estuário do Rio Paciência em Iguaíba – Paço do Lumiar (MA). Tese de Doutorado (Doutor em Química Analítica). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2009.

- MEYERS, P. A. Applications of organic geochemistry to paleolimnological reconstructions: a summary of examples from the Laurentian Great Lakes. *Organic Geochemistry*, 34(2), 261–289. 2003.
- MEYERS, P. A. Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes. *Organic Geochemistry*, 27(5-6), 213–250. 1997.
- MEYERS, P. A. Preservation of elemental and isotopic source identification of sedimentary organic matter. *Chem. Geology*, v. 114, p. 289–302, 1994.
- MIKKELSEN, O.A., HILL, P.S., MILLIGAN, T.G. Seasonal and spatial variation of floc size, settling velocity and density on the inner Adriatic Shelf (Italy). *Continental Shelf Research*, v. 27, n. 3, p. 417-430, 2007.
- MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. Atlas dos Manguezais do Brasil / Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. – Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018.
- MOREIRA, I. C. N. Impactos do extrativismo de *Anomalocardia brasiliana* (Gmelin, 1791) nos estuários dos rios Paciência e Cururuca, São Luís, Maranhão: uma visão etnoconservacionista.. 2007.
- NJANA, M. A., ZAHABU, E., & MALIMBWI, R. E. Carbon stocks and productivity of mangrove forests in Tanzania. *Southern Forests: a Journal of Forest Science*, 80(3), 217–232. 2017.
- OLIVEIRA, D. R. P., CASTRO, A. C. L. DE C., NASCIMENTO, A. R., SOARES, L. S., PORTO, H. L. R. Avaliação do grau de contaminação microbiológica do estuário do Rio Paciência, estado do Maranhão. *Arq. Cien. Mar, Fortaleza*. 45, 56-61. 2012.
- OLIVEIRA, T. D. S., BARCELLOS, R. L., SCHETTINI, C. A. F., CAMARGO, P. B. DE. Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica em um complexo estuarino tropical, Recife, PE, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, v. 14, n. 3, p. 399–411, 2014.
- ONU. Organização das Nações Unidas. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. 2018. Disponível em <<https://nacoesunidas.org/pos2015/>> Acesso em 11/05/2021.
- PARNELL, A., AND INGER, R. *Stable Isotope Mixing Models in R With Simmr*. R Version 3.4.1. 2016.
- PEJRUP, M. The triangular diagram used used for classification of estuarine sediments; a new approach. In: BOER, P. L. DE; GELDER, A. VAN; NIO, S. D. (Eds.). . *TideInfluenced Sedimentary Environments and Faceis*. Dordrecht: D. Reidel Publishing Company. p. 289–300. 1988.
- PERILLO, G.M.E. Definitions and Geomorphologic Classification of Estuaries. In: *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. Chapter 2. *Developments in Sedimentology*, 53, Elsevier Science. 1995.
- PETERSON, B. J., FRY, B. Stable isotopes in ecosystem studies. *Ecology, Evolution, and Systematics* 18, 293-320. 1987.

- PRITCHARD, D.W. What is an Estuary: Physical Viewpoint. In: G.H. Lauff (ed.) Estuaries. American Association for the Advancement of Science, Publication 83, Washington D.C., pp.: 3-5. 1967.
- RANJAN, R. K., ROUTH, J., RAMANATHAN, A., & KLUMP, J. V. Elemental and stable isotope records of organic matter input and its fate in the Pichavaram mangrove–estuarine sediments (Tamil Nadu, India). *Marine Chemistry*, 126(1-4), 163–172. 2011.
- RANJAN, R. K.; ROUTH, J.; KLUMP, J. V.; RAMANATHAN A. L.; *Mar. Chem.* 171, 44. 2015.
- RANJAN, R.K.; ROUTH, J.; RAMANATHAN, A.; KLUMP, J.V. Elemental and stable isotope records of organic matter input and its fate in the Pichavaram mangrove– estuarine sediments (Tamil Nadu, India). *Marine Chemistry*, 126, 163–172. 2011.
- RAY, R.; SHAHRAKI, M. Multiple sources driving the organic matter dynamics in two contrasting tropical mangroves. *Science of the Total Environment*, v. 571, p. 218–227, 2016.
- REMEIKAITĖ-NIKIENĖ, N., LUJANIENĖ, G., MALEJEVAS, V., BARISEVIČIŪTĖ, R., ŽILIUS, M., GARNAGA-BUDRĖ, G., & STANKEVIČIUS, A. Distribution and sources of organic matter in sediments of the south-eastern Baltic Sea. *Journal of Marine Systems*, 157, 75–81. 2016.
- REZENDE, C. E. et al. Lignin phenols used to infer organic matter sources to Sepetiba Bay e RJ, Brasil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 87, p. 479–486. 2010.
- RIBAS, L. M. CARACTERIZAÇÃO DE FONTES DE MATÉRIA ORGÂNICA DO ESTUÁRIO DO RIO PARAÍBA DO SUL, RJ, BRASIL. [s.l.] Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro-UENF, 2012.
- RIBEIRO, N. C. M. Estudo da matéria orgânica preservada em testemunhos sedimentares da baía de Sepetiba. 137 f. Dissertação de Mestrado em Oceanografia – Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
- ROBERTSON, A.I. The decomposition of mangrove leaf litter in tropical Australia. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 116, 235–247. 1988.
- RUMOLO, P., BARRA, M., GHERARDI, S., MARSELLA, E., SPROVIERI, M. Stable isotopes and C/N ratios in marine sediments as a tool for discriminating anthropogenic impact. *Journal of Environmental Monitoring*, 13(12). 2011.
- SAHU, S. K., KATHIRESAN, K. The age and species composition of mangrove forest directly influence the net primary productivity and carbon sequestration potential. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2019.
- SANDERS, C.J.; SMOAK, J.M.; NAIDU, A.S.; SANDERS, L.M.; PATCHINEELAM, S.R. Organic carbon burial in a mangrove forest, margin and intertidal mud flat. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 90, 168-172. 2010.

- SANTOS, C. C; MELO, O. T. Estudo da matéria orgânica: classe carboidratos no estuário do Rio Paciência. *Revista analytica*. Outubro/Novembro, nº 73. p.56-62. 2014.
- SANTOS, E. S. Aplicação de marcadores geoquímicos para a avaliação dos impactos das barragens nos sedimentos do estuário do Rio São Francisco. Niterói, Programa de Pós-Graduação em Geoquímica, UFF. Tese de doutorado, 180p. 2007.
- SANTOS, L.C. Estudo da bacia do rio Paciência – MA, por meio de análise cartográfica. Programa de Pós-Graduação em Geografia, FCT – UNESP, 2001. Dissertação de mestrado, 122p.
- SASMITO, S. D., SILLANPÄÄ, M., HAYES, M. A., BACHRI, S., SARAGI-SASMITO, M. F., SIDIK, F., MURDIYARSO, D. Mangrove blue carbon stocks and dynamics are controlled by hydrogeomorphic settings and land-use change. *Global Change Biology*. 2020.
- SAVOYE, N. et al. Dynamics of particulate organic matter $\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$ during spring phytoplankton blooms in a macrotidal ecosystem (Bay of Seine, France). *Marine Ecology Progress Series*, v. 255, n. January, p. 27–41, 2003.
- SEREJO J. H. F. Desvendando as Fontes de Matéria Orgânica para os Sedimentos de uma Área de Manguezal sob a Influência de Macromaré: Complexo Estuarino de São Marcos. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal do Maranhão. 64 p. 2018.
- SHARIFUZZAMAN S. M., RAHMAN, H., ASHEKUZZAMAN, S. M., ISLAM, M. M., CHOWDHURY, S. R., HOSSAIN, M. S. Heavy metals accumulation in coastal sediments. In: HASEGAWA, H., RAHMAN, I. M. M., RAHMAN MA (Eds.) *Environmental remediation technologies for metal contaminated soils*. Springer, Japan, pp. 21-42. 2016.
- SIDIK, F., NEIL, D., LOVELOCK, C. E. Effect of high sedimentation rates on surface sediment dynamics and mangrove growth in the Porong River, Indonesia. *Marine Pollution Bulletin*, 107(1), 355–363. 2016.
- SIEGLE, E., SCHETTINI, C. A. F., KLEIN, A. H. F., TOLDO J.R., ELÍRIO E.. Hydrodynamics and suspended sediment transport in the Camboriú estuary - Brazil: pre jetty conditions. *Braz. j. oceanogr.* [online]. 2009, vol.57, n.2, pp.123-135. 2009.
- SOARES, L. S., SILVA JÚNIOR, M. G., CASTRO, A. C. L. C., SAINT-PAUL, U., Comunidade de Peixes como Indicador de Qualidade Ambiental de Alguns Canais de Maré do Estuário do Rio Paciência, São Luís – MA. *Bol. Lab. Hibrobiol.* 24, 1-12. 2011.
- SOUSA, I. C. Fator de condição e índice Gonodossomático e Rendimento do "Sarnambi" *Anomalocardia brasiliana* (Gmelin, 1791) no Município da Raposa - MA. 2007. 46 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Aquáticas com Habilitação em Aqüicultura) - UFMA. São Luís, 2007.

- SOUZA FILHO, P. W. M. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. *Revista Brasileira de Geofísica*, v.23, n.4, p.427-435, 2005.
- SOUZA, J. R. B.; ZUCHI, M. R.; COSTA, A. B.; AZEVEDO, A. E. X.; SPANO, S.; *Mar. Pollut. Bull.* 119, 239. 2017.
- SPALDING, M.D., BLASCO, F., FIELD, C.D. (EDS) World mangrove atlas. The International Society for Mangrove Ecosystems, Okinawa. 1997.
- STEIN, R. Accumulation of organic carbon in marine sediments. Results from the Deep-Sea Drilling Project/Ocean Drilling Program. *Lecture Notes in Earth Sciences*, vol. 34. Berlin: Springer-Verlag. 217p. 1991.
- STRICKLAND, J.D.H., PARSONS, T.R., A Practical Handbook of Seawater Analysis, 2nd ed. Fisheries Research Board of Canada Bulletin, n 167, Fisheries Research Board of Canada, Ottawa. 1972.
- SUGUIO, K. Introdução à Sedimentologia. 1^o Edição, São Paulo, Edgard Blucher Ltda. p.317. 1973.
- TAN, F. C.; CAI, D. L.; EDMOND, J. M. Carbon Isotope geochemistry of the Changyang Estuary, *Estuarine Coastal and Shelf Science*: 32: 395 – 403, 1991.
- TESI T.; MISEROCCHI, S.; GOÑI, M. A.; LANGONE, L.; BOLDRIN, A.; TURCHETTO, M.; *Estuarine, Coastal Shelf Sci.* 73, 431. 2007.
- THIMDEE, W. et al. Sources and fate of organic matter in Khung Krabaen Bay (Thailand) as traced by delta C-13 and C/N atomic ratios. *Wetlands*, v. 23, n. 4, p. 729–738, 2003.
- THORNTON, S. F.; Mc MANUS, J. Application of organic carbon and nitrogen stable isotope and C/N ratio as source indicators of organic matter provenance in estuarine systems: evidence from the Tay Estuary- Scotland. *Estuarine Coastal and Shelf Science*. 38: 219-233, 1994.
- TWILLEY, R. R., CHEN, R. H., & HARGIS, T. Carbon sinks in mangroves and their implications to carbon budget of tropical coastal ecosystems. *Water, Air, & Soil Pollution*, 64(1-2). 1992.
- UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs, Population Division World Population Prospects: The 2017 Revision, Key Findings and Advance Tables. Working Paper No. ESA/P/WP/248. 2017.
- VALIELA I., TEAL J.M., ALLEN S.D., VAN ETTEN R., GOEHRINGER D., VOLKMANN S. Decomposition in salt marsh ecosystems: the phases and major factors affecting disappearance of above-ground organic matter. *J Exp Mar Biol Ecol* 89: 29–54. 1985.
- VAN DE MERWE, J. P. et al. Assessing temporal and spatial trends in estuarine nutrient dynamics using a multi-species stable isotope approach. *Ecological Indicators*, v. 67, p. 338–345, 2016.
- VICTOR, S., GOLBUU, Y., WOLANSKI, E., & RICHMOND, R. H. (2004). Fine sediment trapping in two mangrove-fringed estuaries exposed to contrasting

- land-use intensity, Palau, Micronesia. *Wetlands Ecology and Management*, 12(4), 277–283. 2004.
- VOLKMAN, J.K.; REVILL, A.T.; HOLDSWORTH, D.G.; FREDERICKS, D. Organic matter sources in an enclosed coastal inlet assessed using lipid biomarkers and stable isotopes. *Organic Geochemistry*, 39, 689-710. 2008.
- WANG, G., WANG, Z., ZHAI, W., MOORE, W. S., LI, Q., YAN, X., ... JIANG, Y. Net subterranean estuarine export fluxes of dissolved inorganic C, N, P, Si, and total alkalinity into the Jiulong River estuary, China. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 149, 103–114. 2015.
- WENTWORTH, C. K., A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *The Journal of Geology*, Vol. 30, No. 5, pp. 377-392. 1922.

ANEXO A

Gráfico 11. Teor de Carbono Orgânico [CO (%)] por tecido de ambas as espécies de mangue analisadas para cada ponto do ERP.

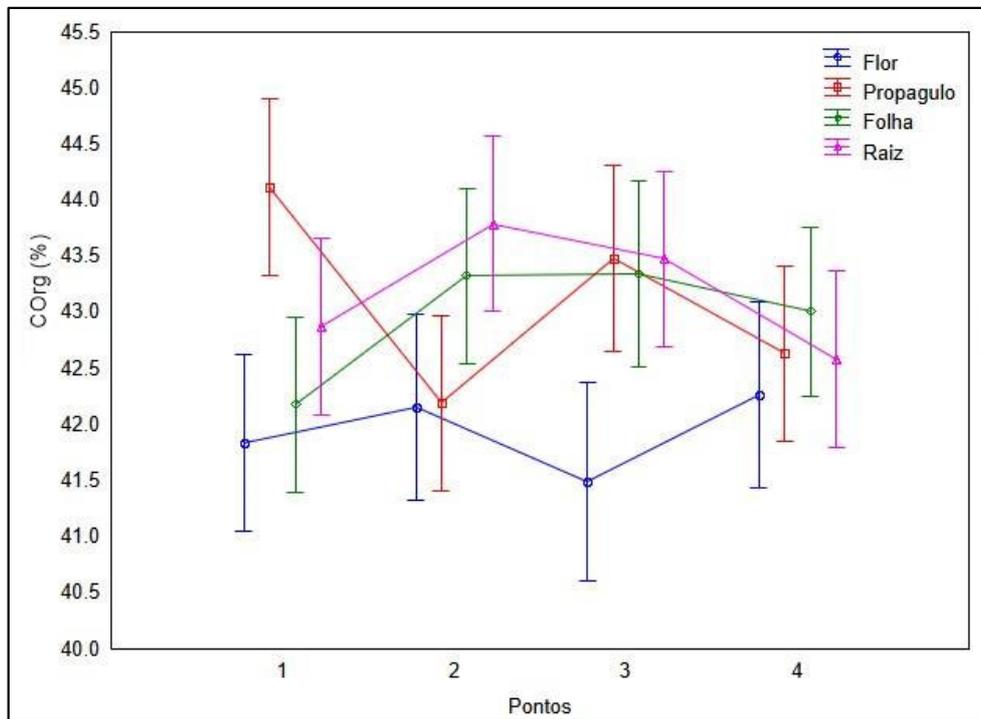


Gráfico 12. Teor de Nitrogênio Total [NT (%)] por tecido de ambas as espécies de mangue analisadas para cada ponto do ERP.

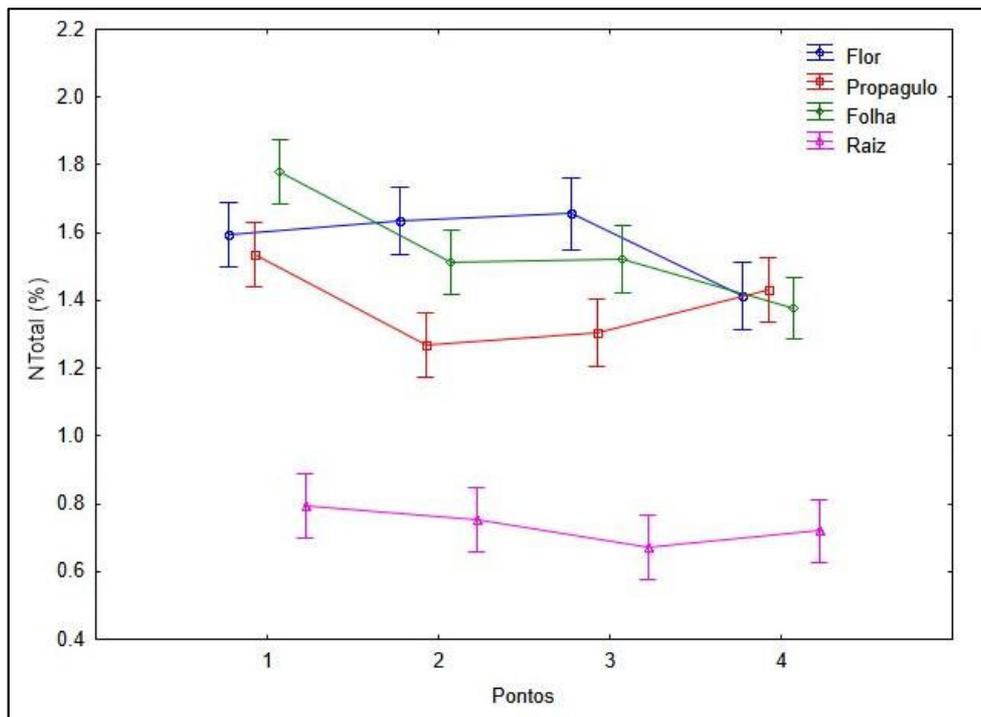


Gráfico 13. Razão atômica de carbono e Nitrogênio (C/N)_a por tecido de ambas as espécies de mangue analisadas para cada ponto do ERP.

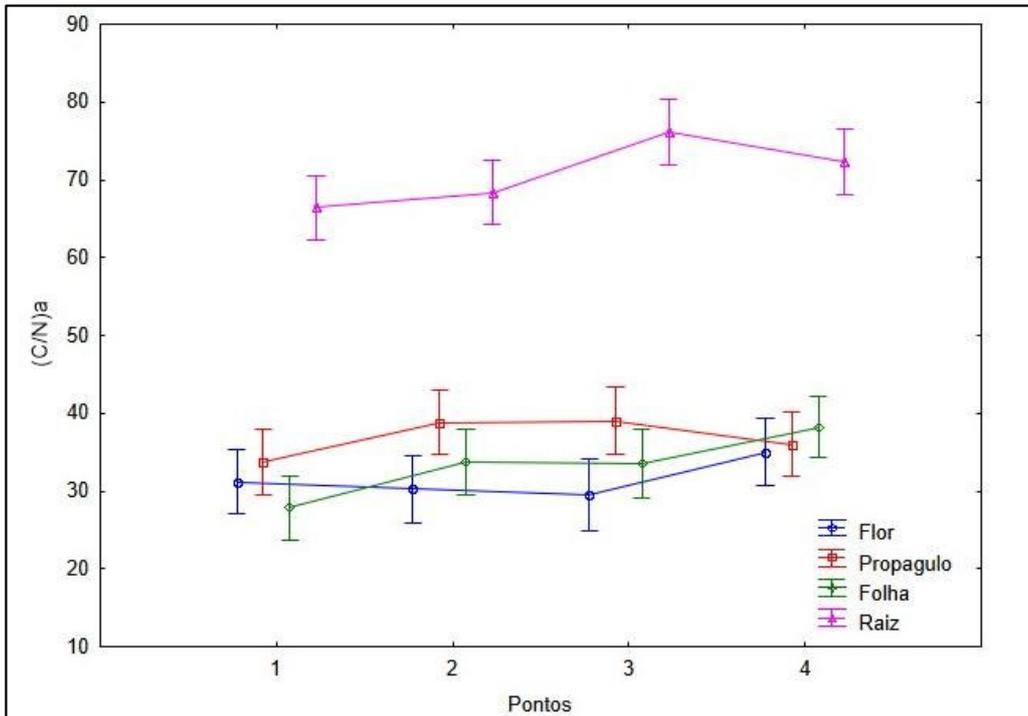


Gráfico 14. Assinatura isotópica do carbono [$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$] por tecido de ambas as espécies de mangue analisadas para cada ponto do ERP

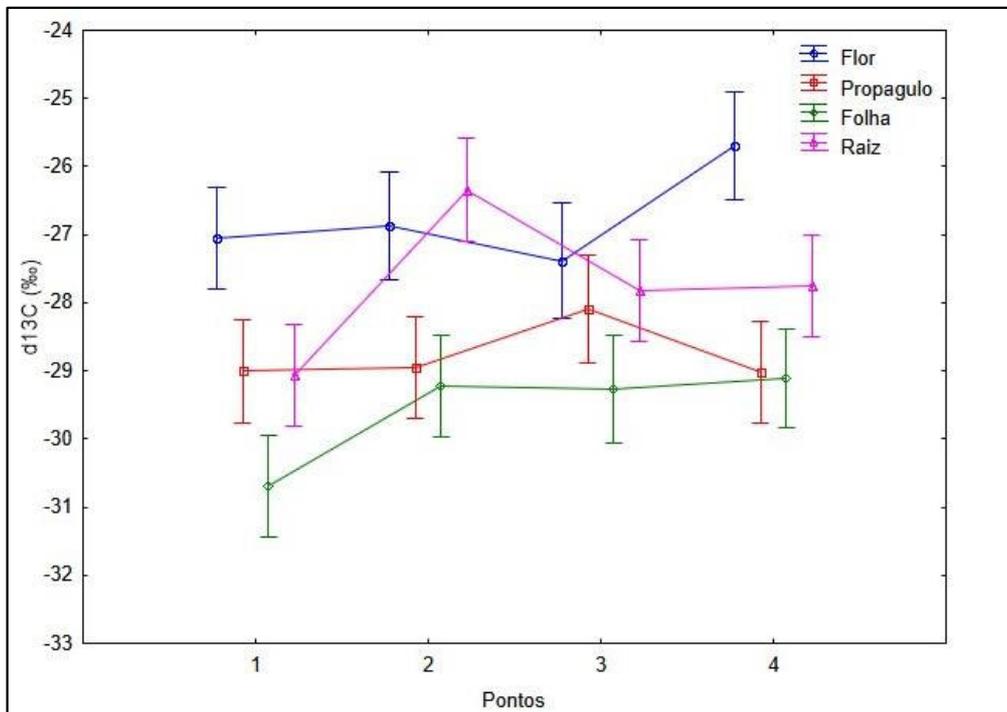


Gráfico 15, Assinatura isotópica do nitrogênio [$\delta^{15}\text{N}$ (‰)] por tecido de ambas as espécies de mangue analisadas para cada ponto do ERP

