



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E GESTÃO DE RECURSOS  
NATURAIS

ELTON JANUARIO SILVA

ANÁLISE GEOAMBIENTAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL: A DETERMINAÇÃO  
DA ASSINATURA ENERGÉTICA DO ESTUÁRIO DO RIO TIMBÓ

CAMPINA GRANDE – PB

2023

ANÁLISE GEOAMBIENTAL DO ECOSSISTEMA MANGUEZAL: A DETERMINAÇÃO  
DA ASSINATURA ENERGÉTICA DO ESTUÁRIO DO RIO TIMBÓ

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós- Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, do Centro de Tecnologia de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para a obtenção do título de Mestra.

**Área de concentração:** Gestão de Recursos Naturais

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dra. Isabel Lausanne Fontgalland

**Coorientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dra. Janaína Barbosa da Silva

Campina Grande – PB

Dezembro, 2023

S586a

Silva, Elton Januario.

Análise geoambiental do ecossistema manguezal: a determinação da assinatura energética do Estuário do Rio Timbó / Elton Januario Silva – Campina Grande, 2024.

100 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2023.

"Orientação: Profa. Dra. Isabel Lausanne Fontgalland, Prof. Dra. Janaína Barbosa da Silva."

Referências.

1. Ecossistema Manguezal. 2. Análise Fitossociológica. 3. Assinatura Energética. 4. Geoprocessamento. 5. Bacia Hidrográfica do Rio Timbó. 6. Salinidade. I. Fontgalland, Isabel Lausanne. II. Silva, Janaina Barbosa. III. Título.

CDU 502/504:551.435.33(043)



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E GESTÃO DE RECURSOS NATURAIS  
Rua Aprígio Veloso, 882, - Bairro Universitário, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

**FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES**

**ANÁLISE GEOAMBIENTAL DO ECOSISTEMA MANGUEZAL: A  
DETERMINAÇÃO DA ASSINATURA ENERGÉTICA DO ESTUÁRIO DO RIO**

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia e Gestão de Recursos  
Naturais como pré-requisito para  
obtenção do título de Mestre em  
Engenharia e Gestão de Recursos  
Naturais

**Dra. Isabel Lausanne Fontgalland**  
(Orientadora PPGEGRN)

**Dra. Janaína Barbosa da Silva**  
(Coorientadora)

**Dr. Madson Tavares**  
(Examinador Interno)

**Dra. Fátima Verônica Vila Nova**  
(Examinador Externo)



Documento assinado eletronicamente por **ISABEL LAUSANNE FONTGALLAND, PROFESSOR**, em 11/12/2023, às 18:26, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fátima Verônica Pereira Vila Nova, Usuário Externo**, em 12/12/2023, às 19:01, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JANAINA BARBOSA DA SILVA, PROFESSOR**, em 15/12/2023, às 14:58, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **MADSON TAVARES SILVA, PROFESSOR(A) DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/12/2023, às 10:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.wfmg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **3996812** e o código CRC **B4010751**.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho é fruto de um intenso conjunto de forças, sem as quais não chegaria ao seu propósito.

Agradeço A professora Isabel Lausanne Fontgaland, por ser uma pessoa muito compreensiva e atenciosa durante todo o tempo no qual fiz parte desta pós-graduação. Sua orientação e indicações de leitura, seus conselhos e suas palavras sempre motivadores me incentivaram a continuar este trabalho, mesmo perante todos os problemas que passei durante a produção. É uma pessoa ímpar e que me ajudou a crescer ainda mais tanto no campo pessoal quanto profissional.

A professora Janaína Barbosa, por ter confiado em mim durante todo o processo de construção desta dissertação e me orientar de forma clara e concisa, trazendo ainda mais luz sobre o tema estudado com seu conhecimento absurdo sobre os manguezais. Uma verdadeira sumidade sobre o tema no Brasil.

Aos todos os meus colegas de pós-graduação, que me ajudaram ativamente principalmente durante o processo de coleta de dados em campo. Verdadeiros heróis, desbravando os manguezais em nome de sua conservação, e também da ciência.

Ao Programa de Pós-Graduação em Gestão e Engenharia de Recursos Naturais, pelas disciplinas ministradas, que foram de grande importância para o meu desenvolvimento, e apoio necessário às atividades de campo. Totalmente essencial para a realização das atividades.

Todos os agradecimentos aqui são poucos perante a importância destas pessoas e instituições. Fica aqui mais uma vez, meu muito obrigado!

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| Figura 1 – Distribuição dos manguezais na faixa intertropicais e suas exceções.....  | 25 |
| Figura 2 – Lixo retirado de um manguezal pelo projeto UÇÁ.....   | 31 |
| Figura 3 – Forças que influenciam a assinatura energética dos manguezais.....  | 36 |
| Figura 4 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Timbó (BHRT) e respectivo polígono com sua delimitação.....  | 42 |
| Figura 5 - Coluna estratigráfica da Bacia do Paraíba, onde se insere a BHRT.....   | 43 |
| Figura 6 – Zona Estuarina Superior da BHRT.....  | 45 |
| Figura 7 – Zona Estuarina Inferior da BHRT.....  | 46 |
| Figura 8 – Fluxograma do processamento dos dados no software QGIS.....   | 47 |
| Figura 9 – Ferramenta <i>r.watershed</i> do pacote GRASS do QGIS.....  | 47 |
| Figura 10 – <i>Raster</i> Direção de drenagem, com a hidrografia obtida da região da BHRT, através da ferramenta <i>r.watershed</i> .....                                    | 48 |
| Figura 11 – Delimitação realizada através da ferramenta <i>r.water.outlet</i> no QGIS.....   | 49 |
| Figura 12 – Localização das parcelas no ERT, representantes da vegetação de mangue.....  | 52 |
| Figura 13 – Embarcação denominada popularmente de “baiteira”, utilizada para a realização do trabalho.....   | 53 |
| Figura 14 – Estacas e fitas zebradas delimitadoras das parcelas estudadas.....   | 54 |
| Figura 15 – Coleta do solo nas parcelas.....   | 55 |
| Figura 16 – Rede de Drenagem da BHRT.....  | 57 |
| Figura 17 – Hipsometria da BHRT. Região com altitudes entre 115 e 75 m (A); região com altitudes entre 5 e 75 m (B); e região com altitudes menores que 5 m (C).....         | 59 |
| Figura 18 – Regiões de baixa altitude entrecortando os tabuleiros costeiros da BHRT.....   | 60 |
| Figura 19 – Áreas entre 75 e 5 m na BHRT. Região densamente ocupada às margens da BR-101 (A e B); afluentes do Rio Timbó utilizados para o despejo de efluentes (C e D)..... | 61 |
| Figura 20 – Região estuarina da BHRT.....  | 62 |
| Figura 21 – Declividade da BHRT.....   | 63 |
| Figura 22 – Formações Geológicas da BHRT.....  | 64 |
| Figura 23 – Formação Barreiras (A) e Gramame (B) presentes no Estuário da BHRT.....  | 64 |
| Figura 24 – Depósitos Litorâneos presentes na praia de Maria Farinha, Paulista – PE.....   | 65 |
| Figura 25 – Pedologia da Bacia Hidrográfica do Rio Timbó - PE. ....  | 66 |
| Figura 26 – Solo de Mangue do Estuário da BHRT. ....   | 68 |

|   |    |
|---|----|
| Figura 27 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo da BHRT.....   | 69 |
| Figura 28 – Vegetação com Influência Marinha e Fluviomarinha presente no Estuário da BHRT.....                                | 70 |
| Figura 29 – Orla da praia de Maria Farinha e da Praia do Janga, Paulista-PE.....  | 71 |
| Figura 30 – Região do município de Abreu e Lima-PE próximo ao Estuário do Rio Timbó, com intenso processo de urbanização..... | 71 |
| Figura 31 – Reserva de Floresta Urbana Mata de São Bento - Abreu e Lima, PE.....  | 72 |
| Figura 32– Recinto sendo preparado para a carcinocultura, presente no Estuário da BHRT.....                                   | 73 |
| Figura 33 – Assinatura Energética do mangue do Estuário do Rio Timbó – PE segundo o modelo de Odum (1968).....                | 74 |
| Figura 34 – Zona Estuarina Inferior do ERT, onde se apresentam diversas residências e marinas.....                            | 82 |
| Figura 35 – Exemplo de criadouro de camarão presente na região da ERT.....  | 82 |



## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 – Área de cobertura das Florestas de Manguê no Mundo.....  | 25 |
| Tabela 2 – Manguezais por estado e percentual em relação ao total de manguezais no Brasil.....                                | 26 |
| Tabela 3 – Áreas de manguezal em Unidades de Conservação (federais, estaduais e municipais), nos anos de 2010 e 2014.....     | 27 |
| Tabela 4 – Tábua de marés dos dias de trabalho de campo.....  | 52 |
| Tabela 5 – Uso e Ocupação do Solo na Bacia Hidrográfica do Rio Timbó – PE.....  | 69 |
| Tabela 6 – Valores de insolação anuais encontrados para a área da região do Estuário do Rio Timbó.....                        | 75 |
| Tabela 7 – Dados de precipitação chuvosa para o Estuário do Rio Timbó, entre os anos de 1994 e 2020.....                      | 77 |
| Tabela 8 – Texturas presentes no solo do Estuário do Rio Timbó.....   | 78 |
| Tabela 9 – Análise de matéria orgânica, pH, carbono e macronutrientes presentes no solo do Estuário do Rio Timbó.....         | 79 |
| Tabela 10 – Análise de micronutrientes presentes no solo do Estuário do Rio Timbó.....  | 80 |
| Tabela 11 – Dados fitossociológicos dos espécimes de manguê encontrados nas parcelas analisadas no Estuário do Rio Timbó..... | 84 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- BH – Bacia Hidrográfica
- BHRT – Bacia Hidrográfica do Rio Timbó
- BDiA – Banco de Dados de Informações Ambientais
- CAP – Circunferência à Altura do Peito
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
- Cu – Cobre
- CPRH – Companhia Pernambucana de Recursos Hídricos
- DoRe – Dominância Relativa da Espécie
- DoRp – Dominância Relativa da Parcela
- DRe – Densidade Relativa da Espécie
- DRp – Densidade Relativa da Espécie
- IVC – Índice de Valor de Cobertura
- ERT – Estuário do Rio Timbó
- GL1 – Grupo de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos
- ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade
- ODS – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável
- ONG – Organização Não-Governamental
- LAMA – Laboratório de Ecologia do Manguezal
- LiDAR - *Light Detection and Ranging*
- Mn - Manganês
- MMA – Ministério do Meio Ambiente
- MDT – Modelo Digital de Elevação
- PDI – Processamento Digital de Imagens
- PE3D – Pernambuco Tridimensional
- PI – Proteção Integral
- PMI – *Pacific Mangroves Initiative*
- PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos
- PPGEGRN – Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais
- ROLAS – Rede Oficial de laboratórios de análise de Solos
- SNUC – Sistema Nacional de Unidades de Conservação
- UC – Unidades de Conservação

UFCG – Universidade Federal de Campina Grande

UFPA – Universidade Federal do Pará

US – Uso Sustentável

Dedico este trabalho a minha esposa Alexsandra da Silva Guerra, que sempre está ao meu lado nos momentos bons e ruins da vida. A luta que travamos recentemente demonstra ainda mais a nossa união, provando que estamos juntos até o fim, na saúde e na doença.

*“Para mim, destaca a nossa responsabilidade de sermos mais amáveis uns com os outros, e para preservarmos e protegermos o ‘pálido ponto azul’, o único lar que conhecemos até hoje.”*

*Carl Sagan*

## RESUMO

Os manguezais são ecossistemas presentes em regiões estuarinas. Auxiliam na qualidade ambiental e fornecem diversos serviços ecossistêmicos, estando presentes em áreas tropicais e subtropicais. Diversas leis foram criadas no mundo e no Brasil, com o intuito de mitigar a sua supressão. Fatores bióticos e abióticos são responsáveis por imprimir uma assinatura energética, denominados de forças subsidiárias, onde uma exerce mais influência, denominada de tensor. Desta forma, tem-se seguintes questionamentos: **Qual a assinatura energética do seu Estuário? De que forma as variáveis ambientais e antrópicas presentes influenciam no desenvolvimento e na zonação das espécies de mangue presentes nos manguezais da região? Qual o tensor?** Foi realizada a análise geoambiental da Bacia e trabalho de campo em seu Estuário, com análise fitossociológica dos espécimes de mangue presentes em 10 pontos pré-definidos, além da coleta do solo para avaliação físico-química de sua composição nos mesmos locais. A Bacia Hidrográfica do Rio Timbó tem a área de 9546,26 ha, drenagem exorréica, índice de compacidade de 2,183 e de sinuosidade 1,29, sendo considerado de baixa tendência a enchentes e pouco sinuoso. Possui altitudes entre 5 e 115 m, e Declividade entre 3 e 75%. As formações geológicas predominantes são a Barreiras e Gramame, com destaque para maior presença de Latossolos e Argissolos em sua área. A ocupação urbana se faz presente principalmente nas regiões de baixas altitudes, com destaque a área estuarina. Foram encontrados bosques monoespecíficos de *R. mangle* com IVC 100% em áreas próximas da desembocadura e bosques mistos à montante, onde foi possível perceber a ação da salinidade na zonação das espécies, bem a pressão antrópica advinda da deposição de efluentes e ocupação das áreas de mangue.

**Palavras-chave:** Análise Fitossociológica. Assinatura Energética. Ecossistema Manguezal. Geoprocessamento.

## ABSTRACT

Mangroves are ecosystems present in estuarine regions. They help with environmental quality and provide various ecosystem services, being present in tropical and subtropical areas. Several laws were created around the world and in Brazil, with the intention of mitigating its suppression. Biotic and abiotic factors are responsible for printing an energetic signature, called derived forces, where one exerts more influence, called tensor. Therefore, the following questions arise: **What is the energy signature of your Estuary? How do the environmental and anthropogenic variables present influence the development and zonation of mangrove species present in the region's mangroves? What is the tensioner?** A geoenvironmental analysis of the Basin and field work in its Estuary were carried out, with phytosociological analysis of mangrove specimens present in 10 pre-defined points, in addition to soil collection for physical-chemical evaluation of its composition in the same places. The Timbó River Basin has an area of 9,546.26 ha, exorheic drainage, compactness index of 2.183 and sinuosity index of 1.29, being considered to have a low tendency to floods and low sinuosity. It has altitudes between 5 and 115 m, and slopes between 3 and 75%. The predominant geological formations are Barreiras and Gramame, with emphasis on the greater presence of Oxisols and Argisols in their area. Urban occupation is present mainly in low altitude regions, with emphasis on the estuarine area. Monospecific forests of *R. mangle* with 100% IVC were found in areas close to the outlet and mixed forests upstream, where it was possible to perceive the action of salinity on the zonation of the species, as well as the anthropic pressure arising from the deposition of effluents and occupation of areas of mangrove.

**Keywords:** Energy Signature. Geoprocessing. Mangrove Ecosystem. Phytosociological Analysis.

## Sumário

|  |    |
|--|----|
| 1 INTRODUÇÃO .....   | 18 |
| 2 OBJETIVOS .....  | 21 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL.....  | 21 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....  | 21 |
| 2.3 JUSTIFICATIVA.....   | 21 |
| 3 REFERENCIAL TEÓRICO .....  | 24 |
| 3.1 O ECOSSISTEMA MANGUEZAL E SUA PRESENÇA NO BRASIL E NO MUNDO.....                     | 24 |
| 3.1.1 Breve histórico de leis.....   | 27 |
| 3.1.3 Valoração dos manguezais .....   | 28 |
| 3.1.4 Ações de conservação realizadas no Brasil e no Mundo com a Educação Ambiental..... | 29 |
| 3.1.5 Conservação dos manguezais e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável .....     | 32 |
| 3.4 BACIAS HIDROGRÁFICAS E ANÁLISE GEOAMBIENTAL.....                                     | 33 |
| 3.5 ASSINATURA ENERGÉTICA E ZONAÇÃO.....   | 35 |
| 3.5.1 Luz solar e temperatura .....  | 38 |
| 3.5.2 Marés e aporte de água doce .....  | 39 |
| 3.7.3 Nutrientes e solos de mangue.....  | 39 |
| 3.5.4 Tensores antrópicos.....   | 40 |
| 4 METODOLOGIA .....  | 42 |
| 4.1 ÁREA DE ESTUDO .....   | 42 |
| 4.2 ANÁLISE GEOAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TIMBÓ .....                        | 46 |
| 4.2.1 Tratamento dos Dados.....  | 46 |
| 4.2.2 Delimitação da Área da Bacia e Rede de Drenagem.....                               | 48 |
| 4.2.3 Análise dos Dados .....  | 49 |
| 4.3 TRABALHO DE CAMPO.....   | 51 |
| 4.3.1 Análise Fitossociológica e Coleta do Solo.....                                     | 51 |
| 4.3.2 Cálculo da vazão .....   | 55 |



|  |    |
|--|----|
| 4.3.3 Estabelecimento da Assinatura Energética do Manguezal do ERT ..... | 56 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....   | 57 |
| 5.1 ANÁLISE GEOAMBIENTAL .....   | 57 |
| 5.1.1 Rede de Drenagem .....   | 57 |
| 5.1.2 Hipsometria e Declividade .....                                    | 58 |
| 5.1.3 Geologia .....   | 63 |
| 5.1.4 Pedologia .....  | 66 |
| 5.1.4 Uso e Ocupação do Solo e Vegetação .....                           | 68 |
| 6 ESTABELECIMENTO DA ASSINATURA ENERGÉTICA .....                         | 73 |
| 6.1 ASSINATURA ENERGÉTICA .....  | 73 |
| 6.2 VARIÁVEIS DA ASSINATURA ENERGÉTICA .....                             | 74 |
| 6.2.1 Radiação Solar/Insolação e Temperatura .....                       | 74 |
| 6.2.2 Marés e Aporte de Água Doce .....                                  | 76 |
| 6.2.3 Solo e Nutrientes .....  | 78 |
| 6.2.4 Influências Antrópicas .....                                       | 81 |
| 6.2.5 Análise Fitossociológica e Zonação .....                           | 83 |
| 7 CONCLUSÃO .....  | 86 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....   | 88 |

## 1 INTRODUÇÃO

Presentes nas zonas estuarinas, de transição entre ambientes terrestres e marinhos, há um ecossistema resiliente e extremamente importante, que apresentando características únicas e diretamente correlacionadas as paisagens onde se desenvolvem. Os manguezais, assim denominados, trazem atributos e aspectos florísticos e faunísticos não encontrados em nenhum outro ecossistema. Sua existência é o ator principal da continuidade da qualidade ambiental dos estuários, além da subsistência retirada através dos seus serviços ecossistêmicos.

Por serviços ecossistêmicos são entendidos aqueles fornecidos através dos processos naturais existentes na estrutura dos ecossistemas, e que são aproveitados pela sociedade para fins diversos. O uso da água, terras, produtos pesqueiros, além de atividades educacionais, religiosas e econômicas realizadas *in loco* representam exemplos desses serviços (Almeira e Clemente Júnior, 2018).

Deve-se salientar que, ao se tratar de manguezais, fala-se do ecossistema como um todo, levando-se em consideração Odum (2001), que define ecossistema como a junção de todos os organismos presentes em uma área e que se relacionam com ambiente de uma forma íntima, realizando a ciclagem de nutrientes neles presentes e o fluxo de energia necessário para sua perpetuação. Portanto, enquanto o termo manguezal define o ecossistema em si, os termos “plantas de mangue” ou “mangue” referem-se as espécies vegetais presentes nos ecossistemas manguezais.

Com algumas exceções, os manguezais são restritos a regiões tropicais e subtropicais. A área recoberta por manguezais no mundo, segundo Spalding e Leal (2021), é de aproximadamente 136.000 km<sup>2</sup>, onde o sudeste asiático tem quase um terço de todos os manguezais, com a Indonésia abarcando quase 20%. No Brasil, 17 estados compõem a zona costeira e possuem manguezais, fazendo limite com o Oceano Atlântico (incluindo Fernando de Noronha), possuindo aproximadamente 13.989,66 km<sup>2</sup>.

A principal característica das plantas de mangue é sua adaptação específica aos ambientes costeiros. Por possuírem modificações singulares, são as únicas espécies vegetais lenhosas que sobrevivem nestes locais. A existência de raízes adaptadas, folhas que excretam o excesso de sal e o tipo de propágulos que utilizam em sua reprodução são as principais modificações morfológicas resultantes da evolução e adaptação ao longo de milhões de anos presentes nestas regiões. Os solos encharcados e consequentemente anaeróbios as obrigaram a desenvolver outros mecanismos para realizar trocas gasosas com a atmosfera. Estas estruturas

são os pneumatóforos presentes em suas raízes. Algumas espécies conseguem acumular sais em folhas suculentas, enquanto outras retiram até 90% do sal ainda no solo (Kathiresan e Bingham, 2001).

A existência dos manguezais nas regiões estuarinas possui um expressivo valor ecológico e social. Realizam a estabilização de suas áreas e enriquecem os ambientes costeiros. O carbono orgânico que advém da sua alta produtividade influencia significativamente no ciclo global do estoque deste elemento. Espécies de peixes anádromos e catádromos, tanto locais como migratórias, utilizam suas áreas como locais para deposição de ovos e reprodução. São importantes para a redução da vulnerabilidade costeira frente a desastres naturais e eventos extremos, como tsunamis, furações, ciclones, tempestades e inundações, além de realizarem a retenção de sedimentos, o que auxilia a diminuição de processos erosivos presentes nestas regiões (Schaeffer-Novelli, 2000).

Por isto, há o reconhecimento de sua importância, refletindo no posicionamento jurídico em diversos países de como realizar a sua conservação, inserindo-os sob proteções necessárias. No Brasil, a principal regulamentação se apresenta através do Código Florestal Brasileiro, através da lei Nº 12.651/2012, que transformou os manguezais em Áreas de Preservação Permanente “em toda sua extensão, através do Artigo 4º, parágrafo VII. Além disto, esta lei tem o objetivo de determinar as atividades e empreendimentos inseridos nos manguezais, desde que elas estejam sendo comprovadamente realizadas antes de julho de 2008, além da obrigatoriedade de se comprometerem a proteger a integridade dos manguezais próximos (Medeiros; Carvalho; Pimenta, 2014).

Apesar da existência destas legislações bastante importantes, estes ecossistemas são alvos frequentes de ações antrópicas irregulares como: desmatamento, com o objetivo do uso da madeira tanto para construção como para atividades medicinais, além do aterramento da sua área para a construção de imóveis e indústrias; poluição realizada através do despejo de efluentes domésticos e industriais nos corpos d’água que os compõem; e utilização de suas áreas para atividades econômicas portuárias e de criação, como carcinocultura. Mais de 100 milhões de pessoas vivem a dez quilômetros de áreas de manguezais, ao passo que se estima que estes estejam sendo destruídos numa taxa que varia entre três ou cinco vezes maiores que as médias estimadas para outras florestas ao redor do mundo (ICMBio, 2018).

Além de toda importância direta de sua existência, os manguezais também agem como indicadores biológicos. A definição da estrutura de sua vegetação é uma importante ferramenta para identificar as respostas deste ecossistema às alterações ambientais, pois os bosques de

mangue se organizam espacialmente e temporalmente em resposta ao gradiente latitudinal, salinidade e níveis de aporte de nutrientes. Ele também é o ecossistema que mais reage aos processos geomorfológicos, sedimentares e oceanográficos que governam a evolução paisagística dessas regiões (Santos; Santos; Holanda, 2016).

A combinação de fatores bióticos e abióticos trazem conformações particulares no desenvolvimento das espécies de mangue, tornando singulares cada um dos manguezais existentes no mundo. Os fatores abióticos (insolação, marés, entrada de água doce dos rios e nutrientes) criam condições específicas para a expansão ou retração do manguezal, onde a abundância destas energias, denominadas como subsidiárias, ditam o desenvolvimento e a presença de espécies de mangue em função do seu aporte no sistema ecológico. (Silva e Torres, 2021a; Silva e Torres, 2021b; Twilley, 1995;).

Com base no supracitado, é importante destacar que a combinações destas variáveis criam um caráter de assinatura energética, algo que imprime aos manguezais especificidades individuais em nível regional. Como citado anteriormente, a existência do mangue se faz nas zonas intertropicais de forma geral, no entanto, cada mangue, a nível local, possui uma combinação de vegetação como resposta ao arranjo das forças subsidiárias, possuindo assim sua própria identidade ecológica (Silva e Torres, 2021b)

Para o estudo da estrutura da vegetação de mangue, são necessárias técnicas que expliquem como esta responde aos fatores supracitados, permitindo a comparação com dados obtidos em outros locais e épocas. Segundo a metodologia de Schaeffer-Novelli *et al* (2015), a obtenção de fatores biológicos (altura, diâmetro, área basal, etc.) dos indivíduos vegetais presentes em um ecossistema em conjunto a geotecnologias demonstra-se bastante funcional. Para a coleta dos parâmetros, é importante a escolha de locais dentro do perfil de inundação do manguezal estudado, bem como o local de transição entre feições e ecossistemas típicos presentes próximos as suas áreas. O emprego das geotecnologias como o Processamento Digital de Imagens (PDI) através das observações realizadas por satélites a análises matemáticas aperfeiçoa o mapeamento dos manguezais, através da ênfase visual e numérica de seus atributos.

Através de dados climáticos e geoespaciais referentes à Bacia do Estuário do Rio Timbó associados à análise de dados biométricos da vegetação e de solo e água da sua região, teve-se por questões-problema, a tríade investigativa, quais sejam: Qual a assinatura energética do Estuário do Rio Timbó, presente no Estado de Pernambuco? De que forma a temperatura, precipitação chuvosa, marés e insolação influenciam no desenvolvimento das espécies de

mangue presentes nos manguezais da região? Qual a atual distribuição da vegetação de mangue deste Estuário em função destes fatores e tensores?

## 2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é, através do entendimento da estrutura, resposta espaço-temporal e influência de fatores bióticos e abióticos no manguezal do Estuário do Rio Timbó (ERT) em Pernambuco, determinar a sua assinatura energética, tendo em consideração a análise fitossociológica de variáveis dendrométricas dos espécimes encontrados em seu manguezal através de metodologia específica, avaliações laboratoriais de amostras de solo coletadas no ano de 2021, além da realização da análise geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Timbó.

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Estabelecer a assinatura energética do manguezal do Estuário do Rio Timbó, através dos estudos da sua composição, estrutura, resposta espaço-temporal e influência física do seu solo.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Foram propostos os seguintes objetivos específicos como percurso para se chegar ao objetivo geral do trabalho:

- a) Realizar da análise geoambiental da Bacia do Hidrográfica do Rio Timbó;
- b) Analisar a fitossociologia e do solo do mangue do Estuário do Rio Timbó através de trabalho de campo;
- c) Estabelecer zonação e da assinatura energética do Estuário do Rio Timbó.

### 2.3 JUSTIFICATIVA

O aumento exacerbado na extração, exploração e consumo dos recursos naturais em conjunto as outras diversas formas de poluição e impactos antrópicos fizeram surgir movimentos de defesa da conservação do meio ambiente, visando a tomada de decisão de como suas benesses devem ser utilizadas. A gestão dos recursos naturais, através do planejamento

ambiental, veio como ferramenta de resposta ao aumento intenso da disputa por recursos naturais. Através de uma abordagem interdisciplinar e integrada, esta gestão objetiva selecionar quais melhores alternativas abarcam um desenvolvimento sustentável (Correia Júnior *et al.*, 2019).

O ecossistema manguezal, em sua totalidade, é um importante *hotspot* de biodiversidade, sendo base para o desenvolvimento ecológico de inúmeras espécies da fauna marinha e terrestre, por servir como local para sua reprodução, alimentação e abrigo. Peixes, crustáceos, mamíferos e aves fazem proveito de suas áreas como local de reprodução e postura de ovos ou berçário. Portanto, eles utilizam os serviços ecossistêmicos fornecidos com o objetivo de manter a continuidade e sobrevivência das suas espécies, sendo este desenvolvimento total ou parcialmente. Segundo Costa *et al* (2017), entre os serviços ecossistêmicos prestados pelos manguezais estão a estabilização dos sedimentos em suspensão e diminuição da velocidade da água, através da resistência imposta pelas raízes das plantas de mangue, que dissipa a energia das fortes correntes de água das marés, propiciando um ambiente ameno para a presença das espécies que deles o utilizam.

Além disto, destaca-se a utilização do mangue como fonte de sustento para diversas comunidades tradicionais e grupo locais, que dependem diretamente dos recursos ambientais fornecidos por essas áreas, através de seus serviços ambientais. São locais altamente produtivos, com recursos que garantem ao longo dos anos a sobrevivência destes agrupamentos humanos, criando laços sociais e culturais além da questão extrativista, que são repassados para as gerações subsequentes (Carvalho e Jardim, 2019).

Observando os aspectos supracitados no que tange a gestão de recursos naturais, especificamente dos manguezais, é importante entender e estudar quais forças e energias influenciam em sua formação ao longo do espaço-tempo. A melhor forma de realizar esta ação é determinar a assinatura energética do manguezal. A presença da água doce controlada pela vazão dos rios irá regular quais espécies de mangue estarão presentes, em uma escala local. No entanto, em uma escala regional, a radiação solar e a temperatura se mostram mais influentes. Além disto, um destes fatores irá influenciar de forma mais incisiva, sendo considerado o tensor do desenvolvimento da vegetação de um determinado ecossistema manguezal (Silva e Torres, 2021b).

Apesar desta importância, através de pesquisa na base de dados Web of Science da Clarivate com os termos “*energy signature*” e “*mangrove*” com a realização da pesquisa em todos os campos, notou-se que apenas 34 trabalhos foram encontrados na base. Ao se inserir o

termo “*Brazil*”, estes resultados decaem para apenas 7. Ao se observar esta situação, percebe-se que há a necessidade de mais estudos envolvendo o tópico desta pesquisa, sendo esta uma contribuição para o arcabouço científico e servindo como base a outros estudos futuros que se propuserem a continuá-lo.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 O ECOSSISTEMA MANGUEZAL E SUA PRESENÇA NO BRASIL E NO MUNDO

Os manguezais constituem ecossistemas que se encontram ao longo das margens de baías, enseadas, desembocaduras de rios, lagunas e reentrâncias costeiras, onde as águas fluviais se misturam com as águas marinhas. Esses sistemas são notavelmente complexos, caracterizados por uma resistência e resiliência extremas, o que contribui para a sua estabilidade contínua. Eles estão constantemente sujeitos à influência das marés diárias, que trazem água salgada ou levemente salobra (Schaeffer-Novelli, 1999).

De acordo com Kathiresan & Bingham (2001), o termo "mangue" refere-se ao grupo de plantas superiores que habitam esse ecossistema. Essas plantas demonstram um alto grau de desenvolvimento morfológico, biológico, ecológico e fisiológico em comparação com outras espécies, sendo capazes de prosperar em condições nas quais a maioria das outras plantas não.

Esta feição ecossistêmica está distribuída mundialmente nas regiões intertropicais, limitados às latitudes 30° N e 30° S, com exceção de sua presença mais ao norte em Bermuda, nos 32° N, e no sul da Austrália, nos 38° S (**Figura 1**). Ocupam aproximadamente 136 mil km<sup>2</sup> em todo o mundo, distribuídos principalmente no Sul, Oeste e no Sudeste da Ásia, que apresentam 38,53% da presença deste ecossistema (**Tabela 1**) (Spalding & Leal, 2021).

Estão presentes nas regiões intertropicais, dentro das latitudes de 30° N e 30° S. Com exceções notáveis, como sua ocorrência mais ao norte em Bermuda, onde atinge os 32° N, e no sul da Austrália, estendendo-se até os 38° S (conforme ilustrado na **Figura 1**). A extensão global desses ecossistemas abrange cerca de 136 mil quilômetros quadrados, com a maior concentração localizada principalmente no Sul, Oeste e Sudeste da Ásia, representando 38,53% da presença global desse ecossistema (conforme demonstrado na **Tabela 1**) (Spalding & Leal, 2021).



Figura 1 – Distribuição dos manguezais na faixa intertropicais e suas exceções



Fonte: Giri *et al.* (2011)

Tabela 1 - Área de cobertura das Florestas de Mangue no Mundo

| Região do mundo              | Área de Manguezais |
|------------------------------|--------------------|
| Sul, Oeste e Sudeste da Ásia | 52.352             |
| Américas e Caribe            | 39.905             |
| África Central e Oeste       | 19.767             |
| Austrália e Nova Zelândia    | 9.983              |
| Leste e Sul da África        | 7.276              |
| Ilhas do Pacífico            | 6.285              |
| Oriente Médio                | 315                |
| <b>Total</b>                 | <b>135,883</b>     |

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de Giri *et al.* (2011)

No Brasil, os manguezais podem ser encontrados desde a latitude 04°20' N, começando no Parque Nacional do Cabo Orange e se estendendo até a Laguna Imaruí, situada na latitude 28°30' S, conforme indicado pelo ICMBio, 2018. Cobrem uma área total de 13.989 km<sup>2</sup> distribuindo-se em 123 unidades de conservação, abrangendo tanto áreas de Proteção Integral (PI) quanto de Uso Sustentável (US), conforme apresentado na **Tabela 2** (ICMBio, 2018b).

Tabela 2 – Manguezais por estado e percentual em relação ao total de manguezais no Brasil.

| <b>Estado</b>       | <b>Área (Km<sup>2</sup>)</b> | <b>Percentual da Área Total (%)</b> |
|---------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| Maranhão            | 5054,90                      | 36,13                               |
| Pará                | 3905,89                      | 27,92                               |
| Amapá               | 2268,94                      | 16,22                               |
| Bahia               | 889,32                       | 6,36                                |
| Paraná              | 311,99                       | 2,23                                |
| Sergipe             | 265,43                       | 1,90                                |
| São Paulo           | 222,87                       | 1,59                                |
| Ceará               | 195,18                       | 1,40                                |
| Pernambuco          | 171,72                       | 1,23                                |
| Rio de Janeiro      | 137,79                       | 0,98                                |
| Rio Grande do Norte | 135,35                       | 0,97                                |
| Paraíba             | 125,65                       | 0,90                                |
| Santa Catarina      | 104,01                       | 0,74                                |
| Espírito Santo      | 79,71                        | 0,57                                |
| Piauí               | 55,49                        | 0,40                                |
| Alagoas             | 55,35                        | 0,40                                |
| <b>Total</b>        | <b>13.989</b>                | <b>100</b>                          |

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de ICMBio (2018b).

Embora os manguezais se estendam por uma vasta área, 13% das suas extensões permanecem fora das áreas de conservação. Esses territórios, devido à sua condição, apresentam um maior potencial significativo para serem explorados sem a supervisão dos órgãos responsáveis, uma vez que não se encontram sob a jurisdição dessas entidades. (**Tabela 3**).

Tabela 3 – Áreas de manguezal em Unidades de Conservação (federais, estaduais e municipais), nos anos de 2010 e 2014.

| <b>Área de Manguezal</b>     | <b>2010</b> | <b>2014</b> |
|------------------------------|-------------|-------------|
| UC de Proteção Integral (PI) | 1606,48     | 1998,91     |
| UC de Uso Sustentável (US)   | 7590,49     | 10115,53    |
| Total PI + US                | 9196,97     | 12114,44    |
| <b>% total em UC</b>         | <b>75%</b>  | <b>87%</b>  |

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de ICMBio (2018a).

Apesar dos números impressionantes, os manguezais brasileiros enfrentam a exploração descontrolada de seus recursos. O desmatamento representa uma das atividades exploratórias mais antigas do Brasil, com raízes que remontam ao século XVI, quando as árvores eram abatidas para a extração de tanino, um pigmento amplamente usado para tingir roupas (Vannucci, 2003).

Na costa brasileira, foi registrado o desaparecimento de 360 km<sup>2</sup> de manguezais, convertidos em fazendas de camarão, no período entre 2013 e 2016. Além disso, essas áreas são utilizadas para fins agrícolas, com extração intensa de madeira, pesca desordenada, estabelecimento de indústrias e turismo irregular. Desde 1980 até os dias atuais, estima-se que o Brasil tenha perdido aproximadamente 10 km<sup>2</sup> de manguezais, com maior impacto nas regiões costeiras do Sul e Sudeste do país (ICMBio, 2018b).

### 3.1.1 Breve histórico de leis.

Em 1965 foi sancionada a Lei Federal, representando uma atualização do Código Florestal Brasileiro original, que remontava a 1934. Esta ficou marcada o marco do reconhecimento ecológico da importância do ecossistema de manguezal no Brasil, ao incluir no seu texto que esse ecossistema é relevante "em toda sua extensão". Posteriormente, em 1985, através da Resolução 004 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), os manguezais foram finalmente designados como "Reserva Ecológica" (Cassiano, 2016).

Desta forma, houve *gap* temporal entre as leis, onde:

A primeira tinha como foco apenas fazer uma delimitação das terras em função da exploração econômica, enquanto a segunda foi um passo importante para o entendimento da importância dos ecossistemas na manutenção da biodiversidade. A lei de 1934 não tinha como intenção trazer ecossistemas, como o manguezal, para o cerne da concepção de preservação, que só teria força anos depois. Já o Código Florestal, após atualizado, objetivava resguardar o mangue e suas associações, traz na letra da lei a ideia primordial para conduzir a futura necessidade da manutenção sustentável desses ecossistemas (Silva e Fontgalland, 2021).

Em outros países, existem leis específicas que também possuem como objetivo a preservação dos manguezais. Desta forma, na Flórida, há o exemplo da normativa 403.9323 na “Mangrove Trimming and Preservation Act” de 1996, que cita o seguinte:

É intenção do Legislativo proteger e preservar os recursos valiosos dos manguezais para o nosso meio ambiente e economia da remoção não regulamentada, desfolhamento e destruição”, e que “são propriedade pública ou em terras reservadas para conservação e preservação, ou mitigação, exceto quando necessário para proteger o público saúde, segurança e bem-estar, ou para melhorar o uso público de, ou o acesso a, áreas de conservação em de acordo com os planos de manejo aprovados. (Silva e Fontgalland, 2021).

Nesse contexto, o conceito de uso sustentável dos manguezais implica diretamente na utilização de suas riquezas de forma consciente, especialmente por parte das comunidades que residem em suas proximidades e que deles dependem. A modernização econômica traz consigo um aumento na intensividade de sua exploração, sendo percebido em grande parte por estas comunidades. Desta forma, surge a necessidade de se atribuir um valor apropriado a esses ecossistemas, uma vez que a subestimação desse valor, juntamente com os impactos das atividades humanas, são os principais fatores que contribuem para a expansão das perdas e da degradação dos manguezais (Costa, 2017).

### 3.1.3 Valoração dos manguezais

A valoração dos ecossistemas é um passo fundamental na formulação e desenvolvimento de políticas públicas essenciais que promovam o desenvolvimento sustentável

e a preservação dos recursos ambientais. Essa prática tem como objetivo avaliar o valor econômico de um recurso ambiental, determinando sua equivalência com aquilo que as pessoas estariam dispostas a abrir mão em prol de uma melhoria na qualidade de vida (Carvalho *et al.*, 2018). Conforme apontado por Bann (1998), há economistas que se dedicam em estabelecer a eficiência econômica dos manguezais, procurando desta forma um critério fundamental que oriente os investimentos públicos e crie políticas públicas destinadas à sua preservação.

Desta forma, a valoração econômica visa compreender e mensurar a capacidade que um manguezal possui em ser sustentável. No entanto:

A principal dificuldade na realização destas ações está em inicializar a ideia naqueles que estão diretamente ligados à sua exploração. O proveito exacerbado, sem que se haja a conscientização necessária, alarma e demonstra a urgência de ações que regulem e coibam a sua exploração, bem como sensibilizem a sociedade, principalmente no tocante àqueles que vivem deste, para a sua importância (Silva e Fontgalland, 2021).

Como observado, é de grande relevância identificar o seu valor econômico. Os manguezais apresentam valores intrinsecamente ligados aos seres que compõem seus ecossistemas e deles dependem para subsistir. Portanto:

A intensa circulação de energia em seus sistemas resulta em uma elevada produtividade, criando um ambiente propício para a produção, reprodução e manutenção da vida. Inquestionavelmente, esta riqueza torna os seres vivos altamente vulneráveis, o que representa o principal desafio em relação a essas áreas devido à exploração intensiva e à destruição global (Silva e Fontgalland, 2021).

O fornecimento de recursos naturais, obtidos através da pesca de peixes e crustáceos e utilização de suas terras para a aquicultura representam fidedignamente a sua importância para o ser humano. Soma-se também a sua beleza cênica, que se torna um grande atrativo para o turismo, o que gera um grande potencial econômico para as cidades onde eles estão inseridos.

#### 3.1.4 Ações de conservação realizadas no Brasil e no Mundo com a Educação Ambiental

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA), a Convenção de Ramsar é um tratado intergovernamental que define que as zonas úmidas dos países signatários devem ser

administradas tendo como visão a sustentabilidade, garantindo que tanto as gerações atuais como as futuras consigam usufruir de seus recursos. O Brasil é detentor de 20% da biodiversidade global e ocupa o quarto lugar em extensão na Lista Ramsar. Faz parte dessa convenção desde 02 de fevereiro de 1971, tendo sua aprovação oficial através do Decreto nº 33, em 16 de junho de 1992.

A Convenção de Ramsar é aderida por 133 países em todo o mundo, totalizando 1.079 sítios protegidos. Esta Convenção define zonas úmidas como áreas que englobam pântanos, charcos, turfeiras e corpos d'água naturais ou artificiais, que podem ser permanentes ou temporários, de água doce, salobra ou salgada. Isso também inclui áreas de água marítima com profundidade inferior a seis metros durante a maré baixa. Essas zonas úmidas desempenham um papel fundamental na sustentação de aves aquáticas, que são aves que dependem dessas áreas para seu ciclo de vida e recursos essenciais.

O Brasil não possui dispositivos legais específicos para a proteção dessas áreas com base na Convenção de Ramsar, mesmo que abrigando em sua extensão sítios de extrema importância. Em vez disso, há a Lei do Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC). Isso implica em uma correspondência entre os sítios Ramsar brasileiros e as Unidades de Conservação (UCs) em áreas úmidas do país (Granziera, Adame e Gallo, 2006). Desta forma:

Os programas que estão inseridos dentro das UCs com objetivos do uso sustentável do mangue são realizados por projetos de ONGs e outras instituições que visam aliar educação ambiental com a conservação do ecossistema manguezal. No Brasil, estas ações são desenvolvidas visando o uso e a conservação destes locais, tomando como base os serviços ambientais como um todo prestados por estes à sociedade (Silva e Fontgalland, 2021).

De acordo com o ICMBio (2018b), somente em reservas federais, cerca de 32 mil famílias dependem dos manguezais para obter seu sustento. Isso enfatiza a significativa importância desses ecossistemas para essa população.

No Rio de Janeiro, o projeto Uçá, realizado pela ONG Guardiões do Mar, oferece um excelente exemplo de conservação e monitoramento das áreas de manguezais. Desde 2012, suas atividades resultaram na preservação de 7 hectares de manguezal e no plantio de 64 mil mudas em oito municípios do Rio de Janeiro. O projeto também desempenha um papel crucial na retirada de dezenas de toneladas de resíduos sólidos dos manguezais, contribuindo para a preservação desses importantes ecossistemas. **(Figura 2).**

Figura 2 – Lixo retirado de um manguezal pelo projeto UÇÁ.



Fonte: Projeto Uçá (2021) Retirado de: <http://projetoUCA.org.br/2021/09/catadores-e-pescadores-artesanais-limpam-a-baia-de-guanabara-durante-o-defeso/>

No estado do Pará, o projeto Mangues da Amazônia é uma notável iniciativa que resultou de uma parceria entre o Instituto Peabiru, o Laboratório de Ecologia de Manguezal (LAMA) da Universidade Federal do Pará (UFPA) e a Associação Sarambuí. Foi patrocinado pela Petrobras, por meio do Programa Petrobras Socioambiental, e ocorreu ao longo do ano de 2021. O seu objetivo central foi atuar na restauração do ecossistema de manguezais, bem como promover ações de capacitação e educação ambiental que beneficiaram mais de 1600 pessoas nos municípios de Augusto Corrêa, Bragança e Tracuateua, no Pará.

Além disso, em outros países, merece destaque a *Pacific Mangroves Initiative* (PMI), que iniciou suas atividades em 2009 e prosseguiu até de 2015. O projeto tinha como missão implementar políticas de gestão para os manguezais em ilhas do Pacífico, onde os habitantes dependem principalmente da pesca e da coleta de recursos dessas áreas. O projeto se desdobrou em duas atividades principais: uma delas foi realizada em Fiji, Samoa, Ilhas Salomão, Tonga e Vanuatu, com o intuito de melhorar os meios de subsistência e a conservação da biodiversidade, capacitando as comunidades a aprimorar a gestão dos manguezais. A segunda atividade envolveu colaborações com universidades, instituições nacionais e a sociedade civil para

melhorar o conhecimento abrangente sobre os aspectos biológicos, econômicos, sociais e culturais dos recursos ambientais dos manguezais em cada país participante.

### 3.1.5 Conservação dos manguezais e os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

A modificação de uso e cobertura do solo no planeta tem afetado drasticamente a funcionalidade dos ecossistemas florestais, destruição esta que atinge conseqüentemente o clima global, visto que até 17% das emissões de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) no planeta advém desta atividade. Um dos principais fatores que contribuem para a sua destruição é a agropecuária, onde até 1990 aproximadamente 34% as áreas de terra no mundo foram convertidas em terras cultiváveis e pasto, especialmente as savanas. Com o advento da industrialização a partir do século XVIII, a mecanização da agropecuária foi inevitável, visto que em 2011 os níveis de CO<sub>2</sub> atingiram 391 ppm, demonstrando um aumento de 4% em relação ao período pré-industrialização. Entre os anos de 1850 e 1900 foi relatado um aumento de 1,5°C na temperatura média global, que até o final do século XXI, podendo ultrapassar a marca dos 4°C nos cenários mais calamitoso. (Fernandez, 2014; Salmona *et al.*, 2016).

Dentre os ecossistemas afetados, os manguezais são reconhecidos por sua importância na proteção nos estuários, nas áreas tropicais e subtropicais, por onde crescem e se desenvolvem. A floresta de mangue, devido a sua rede intrínseca de raízes, é responsável por reduzir a suscetibilidade das regiões costeiras, amenizando drasticamente a ação de desastres naturais. Também influenciam na retenção de sedimentos, o que diminui os processos erosivos costeiros através da ascensão do nível do mar. Além disto, provêm benefícios diretos à sociedade, fornecendo serviços ambientais através do seu valor cênico, alta produtividade e recursos extrativistas (alimentação, madeira, pesca e coleta de crustáceos), sendo as populações que vivem em suas adjacências as que mais utilizam dos seus serviços. Observa-se que o laço criado por estes povos ultrapassa o de apenas subsistência, alcançando o status cultural, sendo representado pela expressiva tradicionalidade herdada por diversas gerações (Carvalho e Jardim, 2019; Spalding; Blasco; Field, 1997).

Apesar disto, cerca de 50% dos manguezais em todo o mundo foram suprimidos, 35600 km<sup>2</sup>, numa taxa de 1 a 2% ao ano. As estimativas mais negativas informam que, em aproximadamente 100 anos, seus serviços e benefícios serão extintos em função da conversão de suas terras em locais para implementação de portos, marinas, silvicultura, áreas urbanas carcinocultura, etc. Esta última é uma das principais motivações da redução das suas áreas,



visto que, através de suas práticas não-sustentáveis, eutrofizam e poluem suas águas através do despejo de produtos químicos poluentes e introdução de parasitas e espécies exóticas em sua biota, alterando gravemente a teia alimentar presente neste ecossistema. Este setor expandiu cerca de 6,5% entre os anos de 2004 e 2013, em função do da crescente demanda do mercado internacional, sendo o Brasil com 10% do total de produção na América Latina e 1,5% do total mundial (Souza *et al.*, 2018; Spalding; Blasco; Field, 1997; Tahin; Damaceno; Araújo, 2018).

Desta forma, verifica-se que a necessidade de sua conservação no que concerne os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS, propostos na Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável (Rio+20), em 2012. Dentre os 17 atuais, os manguezais se encaixam na proposta 13, que visa a tomada de medidas urgentes para a redução da mudança climática em todo o mundo. Neste objetivo, três metas convergem diretamente com a conservação dos manguezais: reforçar a resiliência e a capacidade de adaptação a riscos relacionados ao clima e às catástrofes naturais em todos os países; integrar medidas da mudança do clima nas políticas, estratégias e planejamentos nacionais; e melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação, adaptação, redução de impacto e alerta precoce da mudança do clima. (Mariano Neto e Silva, 2022).

Nos manguezais, tanto a matéria orgânica decomposta nos oceanos e depositada através das marés até a região estuarina, juntamente com a presente em toda biomassa viva e morta (não decomposta) possuem carbono em sua composição. A este estoque, dá-se o nome de Carbono Azul. Desta forma, denomina-se como “sequestrado” ou estocado o carbono acumulado tanto no solo quanto na constituição dos organismos que compõem o mangue. Devido a esta capacidade, configuração como importantes mecanismos de resistência às mudanças climáticas. (Hori; Bayne; Kuwae, 2019; Mariano Neto e Silva, 2022).

### 3.4 BACIAS HIDROGRÁFICAS E ANÁLISE GEOAMBIENTAL

Uma Bacia Hidrográfica (BH) é a região composta por encostas, topos ou cristas de fundos de vales, canais e outros sistemas de drenagem naturais, que é delimitada por um divisor de águas, captando de forma natural a água da chuva por suas superfícies inclinadas. O acúmulo desta água nas regiões mais baixas forma cursos naturais, que convergem para um único local, determinado exutório. AS BHs são definidas como sistemas hidromorfológicos, pois o material de origem, topografia, vegetação e clima são os fatores determinantes de sua área topográfica. São consideradas sistemas ambientais abertos, pois recebem energia através dos diversos

agentes climáticos, perdendo-a através do deflúvio. São denominadas também de Bacia de Captação, quando atuam como principal coletora das águas das chuvas, ou Bacia de Drenagem, quando agem como uma região de escoamento dos cursos d'água (Araújo *et al.*, 2009; Arruda, 2015).

As BHs também podem ser consideradas espaços tridimensionais, que integram a interinfluência entre a cobertura do solo, sua profundidade e o entorno da linha divisória das águas. Neste espaço se encontram os recursos naturais e toda a base estrutural social do ser humano, podendo gerar efeitos favoráveis e desfavoráveis. Desta forma, em seu interior há a presença de quatro subsistemas:

- a) Biológico: composto pela fauna e flora da BH;
- b) Físico: definido pelo solo, subsolo, geologia, clima e recursos hídricos (temperatura, radiação, etc.);
- c) Econômico: determinado por todas as atividades antrópicas realizadas em seu interior, como agricultura, pecuária, indústria e infraestrutura de serviços (estradas, cidades, etc.);
- d) Social: constituído pelos elementos organizacionais que definem as propriedades de terra, instituições, habitação, educação, cultura, etc.

Estes elementos irão variar de acordo com a sua localização (Holanda; Campanharo; Cecílio, 2014).

De acordo com Christofolletti (1917) as BHs podem ser classificadas em:

- a) Exorreicas: quando o escoamento de suas águas se faz continuamente até o mar, na desembocadura;
- b) Endorreicas: quando as drenagens acontecem de forma interna, não havendo desembocadura no mar e sim em lagos ou dissipando nas areias do deserto ou em depressões cársticas;
- c) Arreicas: quando não há uma estrutura definida de bacia, como em áreas desérticas;
- d) Criptorreicas: bacias subterrâneas.

O conceito de BHs tem ultrapassado o entendimento dos aspectos hidrológicos, compreendendo em conjunto o conhecimento de suas estruturas físicas. Neste sentido, há a importância da conceituação das BHs como ecossistemas. Ecossistemas são locais espacialmente definidos e que possuem todos os seus componentes bióticos e abióticos em seu interior, delimitado por suas fronteiras. A partir desta conceituação, as BHs são utilizadas como unidades de análise e gerenciamento ambiental (Pires; Santos; Del Prete, 2002).

Desta forma, no Brasil, as BHs foram estabelecidas como unidades territoriais para a aplicação Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) através da Lei Federal nº 9.433/97. Para a realização de sua gestão é necessário planejamento socioeconômico ambiental, através da caracterização e conhecimento de sua capacidade (Alves Sobrinho *et al.*, 2010)

Para entender a dinâmica das BHs, é realizada fundamentalmente a análise dos seus elementos físicos e biogeográficos, relacionando-os com as variáveis socioeconômicas inseridas nestas bacias. Desta forma, as BHs constituem sistemas onde a associação entre os seus componentes estruturais que devem ser avaliados de forma conjuntural, permitindo assim uma visão aprofundada dos seus aspectos físicos, econômicos e sociais (Claudino-Sales; Lima; Diniz, 2020).

As áreas das bacias hidrográficas ocupadas pela urbanização inevitavelmente possuem a sua dinâmica alterada, pois a presença do ser humano com suas cidades e empreendimentos modificam substancialmente o cenário dessas paisagens. Portanto, a decisão de se estudar bacias hidrográficas possibilita analisar e interpretar alterações físicas e ambientais causadas pelas ações antrópicas, agindo assim como ferramenta fundamental para preservação e conservação do ambiente estudado e seus arredores. Estudos geoambientais deste tipo podem ser empregados na avaliação da perturbação dos meios físicos, recuperação de áreas degradadas e monitoramento do meio ambiente (Encina *et al.*, 2018; Mariano Neto; Silva, 2022).

No tocante a realização desses estudos, é necessário que haja a delimitação das BHs, e seus divisores de águas, que são responsáveis por informar a direção principal do seu escoamento. Isto permite a realização de uma análise geoambiental estruturada, de seus elementos; das relações ambientais, sociais e econômicas a partir de serviços existentes em sua área. Neste sentido as geotecnologias são ferramentas significativas, pois possibilitam, além da delimitação, realizar a avaliação de seus parâmetros hidromorfológicos, uso e cobertura do solo e vegetação através da manipulação de dados vetoriais e matriciais de um banco de dados georreferenciado (Carvalho, 2020; Encina *et al.*, 2018).

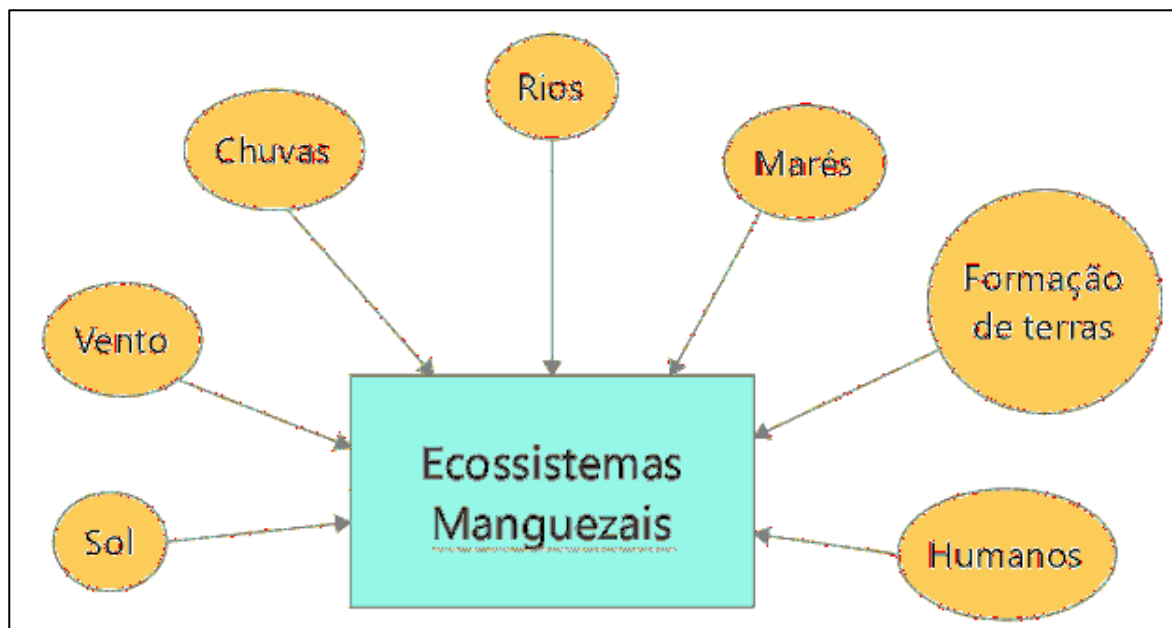
### 3.5 ASSINATURA ENERGÉTICA E ZONAÇÃO

A distribuição com a qual as espécies de mangue estão em um determinado manguezal é denominada de zonação. Cada zona presente no manguezal indica uma fase na qual está estabelecida uma área de sucessão em estado dinâmico, indo em direção ao mar, resultante da reação do ecossistema às perturbações nas quais ele está introduzido. A interação entre as

espécies também pode ser um fator influente na zonação, influenciando na sucessão natural entre elas. Desta forma, a zonação do mangue dependerá principalmente de fatores externos que influenciem no grau de energia presente no local. (Andrade, 2005; Lugo e Snedaker, 1974).

Desta forma, o conceito de zonação está associado ao de assinatura energética exposto por Twilley (1995) e Odum (2001), ao fazer referência a intensidade em que as restrições ambientais possuem de influenciar os processos ecológicos. Trata de que todas as forças presentes em um ecossistema tendem a se organizar e potencializar as suas ações, seguindo um fluxo, uma “assinatura” resultante das energias que a compõem. Essas forças, em conjunto com arranjos climáticos regionais, determinam a estrutura (ex.: área basal, altura) e o funcionamento (produtividade primária) de ecossistemas costeiros tropicais (Rovai, 2016) (Figura 3).

Figura 3 – Forças que influenciam a assinatura energética dos manguezais.



Fonte: Adaptado de Twilley (1995).

Sistemas ecológicos são retratados através da composição estrutura e suas interações. As suas funções são percebidas como consequências do comportamento desta estrutura, significando que alterações nela realizadas podem modificar substancialmente o seu funcionamento, reagindo de forma diferente de acordo com a sua composição faunística e florística. Desta forma, o desenvolvimento de um sistema ecológico pode ser avaliado através da sua produtividade primária líquida, onde o seu valor é representado pela sua produtividade primária bruta, menos toda energia utilizada na respiração, sendo limitado tanto pela própria

capacidade de assimilação dos organismos quanto a disponibilidade dos recursos que fornecem energia. (Almeida, 2001; Relyea e Ricklefs, 2021; Townsend e Begon, 2009).

No que tange o mangue, cada um destes recursos (forças subsidiárias) é único, observando-se a interação entre eles e as respostas ambientais. Os fatores abióticos (radiação solar, energia das marés, aporte de água doce, entrada de nutrientes no sistema, entre outros) estão intrínsecos ao desenvolvimento destas respostas. Quanto mais disponibilidade e abundância, maior será o desenvolvimento das florestas de mangue. Portanto, eles ditam os processos a formação dos manguezais, sendo presentes desde o início até a sua estrutura final. Todos estes fatores combinados de forma diferente nos mais diversos ecossistemas fazem com que cada um destes apresente feições e processos ecológicos diversificados (Almeida, 2001; Silva e Torres, 2021a; Silva e Torres, 2021b.)

Ao se avaliar a assinatura energética dos ecossistemas manguezais, pode-se entender que a distribuição em um nível global das espécies de mangue é influenciada pela radiação solar e temperatura, sendo seguida pela energia das marés. Em uma escala regional, o aporte de água doce controlado pela vazão dos rios e a chuva irão explicar esta diversidade. Chegando-se em uma escala local, tem-se como influenciador o aporte de nutrientes resultante das energias citadas anteriormente, subsidiando a manutenção e o desenvolvimento da floresta de mangue de uma determinada região (Silva e Torres, 2021a).

Thom (1982), cita que as características geomorfológicas e geofísicas presentes nas zonas costeiras controlam todos os processos envolvidos no desenvolvimento da estrutura e crescimento dos manguezais. Ele identificou cinco tipos de configurações ambientais que são influenciadas pelas marés, rios e *input* de energia nos processos costeiros:

- 1 - Costas alóctones de maré baixa que tendem a formar deltas;
- 2 - Costas alóctones com materiais terrígenos que também são influenciados por fortes correntes de maré resultando em baixios e baixios de lama;
- 3 - Costas com menor influência fluvial e materiais autóctones, resultando na formação de baías e lagoas dominadas por maior energia das ondas;
- 4 - Costas com uma combinação das configurações I e III tendo alta energia das ondas e descarga fluvial;
- 5 - Complexo composto por vales fluviais inundados por águas marinhas.

Thom (1982) usou um esquema de configurações ambientais que se aproximou ao conceito de assinatura energética, onde as energias geofísicas como pluviosidade, descarga dos rios, amplitude das marés e turbidez determinam as configurações ambientais das regiões dos

manguezais. Estas energias são classificadas em altas, médias e baixas, e suas combinações em conjunto as configurações ambientais são os responsáveis pela direção e as taxas das mudanças nas comunidades.

A hipótese tratada ainda por Thom (1982) é a de que quando a assinatura energética das regiões costeiras aumenta, maior é a evidência de que altas taxas de fluxos de energia e matéria circulam nos ecossistemas manguezais. Isto se reflete na grande produtividade de biomassa, alta regeneração da floresta e grande troca de nutrientes e matéria orgânica com as águas costeiras. Outra hipótese é a de que com o desenvolvimento de mais outros ciclos de nutrientes e matérias abertos, devem existir mecanismos intrassistêmicos que retêm importantes nutrientes primários.

Quando alguma das forças subsidiárias variam conjuntamente com as características do ambiente, tem-se a figura dos tensores. Tensores são fatores ou situações que reorientam as energias subsidiárias que poderiam ser utilizadas no metabolismo do ecossistema manguezal. Como exemplo: a frequência das marés e o aporte de água doce favorecem ou limitam o desenvolvimento do manguezal de forma mais contundente, com o aparecimento de bosques mono-específicos ou outros tipos de estruturas. Denota-se, portanto, que a salinidade regulada pelos dois fatores supracitados cria condições para o surgimento de bosques de mangues únicos (Lugo e Snedaker, 1974)

### 3.5.1 Luz solar e temperatura

Através da fotossíntese, os vegetais sintetizam os compostos químicos necessários para a sua sobrevivência. A luz solar é a base para a atividade bioquímica, servindo como fonte de energia e também como regulador dos processos de desenvolvimento dos frutos, além de direcionar positivamente e negativamente o geotropismo vegetal. Através dos receptores presentes nas células, há a detecção dos comprimentos de onda que induzem diferentes reações, iniciando os receptores hormonais, que finalizam na resposta fisiológica necessária. Por isto, uma das principais forças subsidiárias responsáveis pelo desenvolvimento da vegetação de mangue é a luz solar, visto que eles estão presentes principalmente em regiões de baixas latitudes (intertropicais). (Taiz e Zeiger, 2006; Silva e Torres, 2021b).

Desta forma, os manguezais se estendem no máximo nestas zonas, onde a temperatura máxima no mês mais não atinge valores abaixo de 20°C (Twilley, 1995). Estudos indicam que existe uma correlação entre a Biomassa Acima do Solo (AGB – *Aboveground Biomass*) e as

latitudes, influenciada diretamente pela quantidade de luz solar. Existe redução na altura das árvores em função das altas latitudes, influenciando na AGB. Segundo Cintrón e Schaeffer-Novelli (2000), isto está associado a diminuição da temperatura nestas regiões, em conjunto a presença de geadas.

### 3.5.2 Marés e aporte de água doce

As marés são variações periódicas na altura da superfície do oceano em um determinado lugar, ocasionadas pela atração gravitacional exercida pela Lua e o Sol sobre a Terra. No entanto, a Lua por estar próxima a Terra possui mais influência neste fenômeno. Existem dois principais tipos de maré em relação a sua amplitude: Sizígia, quando o Sol e Lua estão alinhados, ocasionando desta forma marés mais altas. Acontecem aproximadamente a cada duas semanas quando nas fases de Lua cheia e nova, sendo as de maiores amplitudes; e de Quadratura, quando o Sol e a Lua formam um ângulo reto. Neste caso, possuem menores amplitudes (Duarte, 2018).

Elas influenciam de forma considerável a composição e a distribuição dos organismos nas áreas de mangue, devido ao seu aspecto cíclico. A baixa variedade de espécies presentes nos manguezais está intrinsecamente ligada a reduzida oxigenação do seu substrato lodoso em conjunto as variações da salinidade que acontece concomitantemente a das marés. A distribuição destas espécies também possui ligação com este fator, devido a dispersão dos propágulos decorrer em função da sua ciclicidade, que quando em situações de maré alta, facilitam o carreamento dos propágulos para outras áreas, realizando a sua distribuição (Araújo, Mineiro e Cantalice, 2011). Cintrón *et al.*, (1978) descobriram que houve uma redução dos parâmetros estruturais das florestas de mangue em função do aumento da salinidade. Algumas árvores diminuíram a altura em função do avanço da salinidade nos solos. Portanto, a salinidade estressa a produção de biomassa e limita as funções ecossistêmicas dos manguezais.

O aporte de água doce nos manguezais se dá através da chuva, que influencia diretamente na descarga fluvial. Ela é condicionada pela sazonalidade de cada região, que em estações chuvosas tende a aumentar o fluxo dos rios, por consequência o aporte de água doce, diminuindo a salinidade das águas dos mangues. Em contrapartida, épocas mais secas diminuem o fluxo fluvial, aumentando assim a intrusão salina e reduzindo a translocação de sedimentos (Gens, Lessa e Cirano, 2008).

### 3.7.3 Nutrientes e solos de mangue

Os solos dos manguezais são compostos principalmente por sedimentos fluviais e marinhos das rochas aluvionais, acrescidos de matéria orgânica. Todos esses componentes são trazidos pelas marés, rios e chuva, possuindo também influência constante do mar. Tem como principais características o elevado teor de sais e a matéria orgânica, que possui uma cor escura que é influenciada pelo processo da anoxia e profundidade que, quanto mais profundo, maior será o processo de decomposição; baixa consistência; coloração cinza escuro, pela presença de sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S); e granulometria que varia entre argilosa e arenosa (Barros *et al.*, 2021; Hossain, 2016; Pascoalini *et al.*, 2014; Prada-Gamero; Torrado; Ferreira, 2004).

Além disto, as árvores do mangue possuem a capacidade de modificar a condição do solo, tanto pelo seu sistema radicular, que participa ativamente das reações químicas, como por sua capacidade de armazenar nutrientes, sendo também uma estratégia com a finalidade de manter o equilíbrio iônico das plantas (Madi; Boeger; Reissmann, 2015; Nova; Torres; Coelho 2017;).

#### 3.5.4 Tensores antrópicos

A existência do crescimento urbano desordenado em locais onde há a presença dos manguezais, somado ao espaço rural utilizado pela agropecuária, é responsável por todo o impacto antrópico direto ao ecossistema manguezal. A sua intensa utilização, tanto para o uso do seu espaço como para a exploração dos recursos naturais, acaba por desestabilizar o seu equilíbrio. A soma dos tensores naturais com os antrópicos limita em alguns aspectos o desenvolvimento do ecossistema manguezal, através da interferência em sua estrutura e também na sua diversidade funcional. (Coelho *et al.*, 2007; Martins e Wanderley, 2009).

De forma específica, são considerados tensores antrópicos nos manguezais:

- a) Desmatamento: o processo de erosão das margens dos rios é acelerado com a retirada das árvores, aumentando desta forma a salinidade dos solos;
- b) Lançamento de dejetos: altera a composição físico-química da água e dos solos, causando eutrofização e contaminação, por exemplo, por materiais pesados;
- c) Fogo: eliminação total ou parcial da fauna e flora, causando por consequência diminuição da umidade do solo e da complexidade estrutural do bosque de mangue;
- d) Caça e pesca: desestruturação da cadeia alimentar;



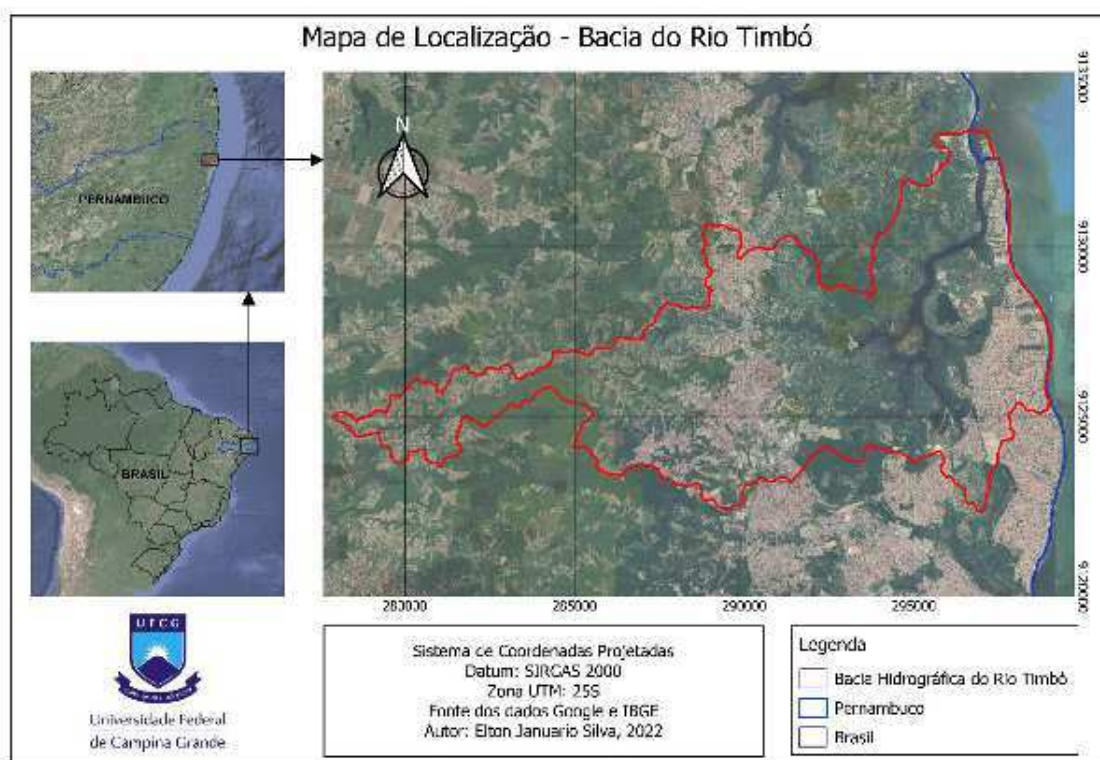
- e) Derramamento de petróleo: aumenta a mortalidade de espécies sensíveis a este produto químico, consequentemente afetando a disponibilidade de recursos naturais. (FREUEHAF, 2005)

## 4 METODOLOGIA

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado na área correspondente a Bacia Hidrográfica do Rio Timbó (BHRT) (**Figura 4**), localizada nos municípios de Abreu e Lima, Paulista e Igarassu, que detêm 32,5%, 25,7% e 7,7% de sua área, respectivamente. Limita-se com a bacia hidrográfica do Rio Igarassu e a microbacia do Rio Engenho Novo a norte, com a Bacia do Rio Paratibe a sul, com a união entre as bacias do Rio Igarassu e Paratibe a oeste e com as microbacias que banham a planície costeira a leste. O Rio Barro Branco nasce na região do Tabuleiro do Araçá, no município de Abreu e Lima-PE, quando adentra o município de Paulista, passa a ser denominado de Rio Timbó, nomeando todo o Estuário. A área estuarina do Rio Timbó é de 1.397 ha, com relevante vegetação de mangue (Oliveira, 2015).

Figura 4 – Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Timbó (BHRT) e respectivo polígono com sua delimitação.



A BHRT está inserida no Grupo de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos 1 (GL1), localizado no estado de Pernambuco. Este grupo possui uma área de 1199,11 km<sup>2</sup>, correspondendo a 1,21% do estado de Pernambuco. Ao norte, faz limite com a bacia do Rio

Goiana, ao sul com a bacia do Rio Capibaribe, ao leste com o Oceano Atlântico e ao oeste novamente com as bacias do Rio Capibaribe e Goiana (APAC, 2023).

O clima da região é do tipo As', de acordo com a classificação de Kôppen, descrito como tropical quente e úmido e chuvas de outono-inverno, principalmente nos meses de março a agosto. A temperatura média anual é de 26°C, possuindo uma amplitude térmica de aproximadamente 3°C devido à relativa proximidade equatorial e da influência marinha. O regime pluviométrico anual da região é de aproximadamente 1500 mm (Oliveira, 2015).

Ainda segundo Oliveira (2015), o lineamento de Pernambuco possui sua faixa costeira dividida em duas bacias sedimentares, possuindo cada uma delas características geológicas individuais: ao sul, a Bacia de Pernambuco, e ao norte a Bacia da Paraíba. A região da BHRT está inserida na Bacia da Paraíba, em um embasamento com profundidade de 400 m, onde estão presentes as formações Beberibe, Itamaracá, Gramame, Maria Farinha e Barreiras como preenchimento sedimentar (**Figura 5**).

Figura 5 - Coluna estratigráfica da Bacia do Paraíba, onde se insere a BHRT.

| IDADES             | BACIA DA PARAÍBA       |
|--------------------|------------------------|
| PLIO / PLEISTOCENO | FM. BARREIRAS          |
|                    | ? ? ?                  |
| DANIANO            | FM. MARIA FARINHA      |
| MAASTRICHTIANO     | FM. GRAMAME            |
| CAMPANIANO         | FM. ITAMARACÁ          |
| SANTONIANO         | FM. BEBERIBE           |
| CONIACIANO         | ? ? ?                  |
| TURONIANO          |                        |
| CENOMANIANO        |                        |
| ALBIANO            |                        |
| APTIANO            |                        |
| PRÉ-CAMBRIANO      | EMBASAMENTO CRISTALINO |

Fonte: Oliveira, 2015

Os tributários mais extensos da BHRT do rio Timbó são o Arroio Desterro e o Rio Zumbi pela margem esquerda, e o rio Fundo, pela margem direita. Ao chegar à área estuarina, subdivide-se em vários braços que seguem tanto pelo terraço marinho a leste, quanto pelas colinas que circundam a planície costeira ao norte, ao sul e a oeste. (Fidem, 1987). Seu estuário possui cerca de 1397 hectares e abriga uma significativa vegetação de mangue e é considerado um dos mais férteis da região devido ao seu alto índice de produtividade primária (Noronha; Silva; Duarte, 2011).

A região da BHRT é caracterizada pela predominância da policultura e granjas, prosseguidas da urbanização e industrialização. Expressivos remanescentes de mata nativa sofrem a ação antrópica, como a Reserva Ecológica Mata de São Bento, localizada entre a cidade de Abreu e Lima e o estuário da BHRT, que possui cerca de 10% da sua formação original. Esta destruição está diretamente ligada a diminuição dos recursos hídricos da Bacia, acarretando no desaparecimento de nascentes dos rios nas áreas, além de aumentar o período anual em que os rios secam (Souza, 2011).

Dentro da Bacia, está inserido o Estuário do Rio Timbó (ERT). O ERT, segundo Correia (2002), tem uma superfície de 93,5 km<sup>2</sup>, pertencente aos municípios de Abreu e Lima, Igarassu e Paulista. As indústrias que mais se destacam no ERT são têxteis, metalúrgica, minerais não metálicos, produtos alimentares, matéria plástica, perfumes/sabões/velas e editora gráfica (CPRH, 2003). No entanto, devido à sua alta produtividade primária, a principal atividade econômica desenvolvida na área é a pesca, predominantemente artesanal. A pesca artesanal é caracterizada pela retirada de espécies aquáticas por meio de mão-de-obra familiar e/ou não-assalariada, explorando ambiente ecológicos próximos a costa, pois as embarcações e os materiais utilizados para o trabalho possuem pouca autonomia. A captura da deste tipo de pesca é realizada através de técnicas de pouco rendimento, e sua produção é total ou parcialmente destinada ao mercado (Posey, 1987).

O ERT possui três zonas bem distintas:

- a) **Zona Estuarina Superior** – Região baixa, alagada, apresentando uma morfologia intrincada pela presença de vários canais anastomosados, divididos por bancos arenosos e pequenas ilhas. O mangue da região, com suas raízes escoras e correntes de marés de baixa intensidade favorece a deposição de um sedimento fino, cinza escuro e preto, que possui relação intrínseca com o material em suspensão na água. Esta lama recobre praticamente toda esta zona, especialmente nas margens, ilhas e

fundo de gamboas. Seu canal principal tem a profundidade de 0,5 m na margem esquerda, onde na baixa-mar é possível perceber a presença de bancos arenolamosos; na margem direita, o canal possui maior profundidade, com 1,0 m e chegando em alguns locais até 4,0m, onde se encontra a navegação de barcos de pequeno porte (**Figura 6**).

Figura 6 – Zona Estuarina Superior da BHRT



Fonte: Autor, 2023

- b) **Zona Estuarina Média** – Nesta região, o estuário toma a configuração de um “S”, indo da confluência do rio Arroio Desterro até a grande curva antes do rio seguir em linha reta paralelamente a restinga de Maria Farinha. Possui morfologia mais simplificada, com a presença de margens retilíneas e mais altas. Possui menos vegetação que a Zona Estuarina Superior, porém mais desenvolvida neste quesito. À montante da Fábrica de Cimento Poty, apresenta-se um banco de areia, que bloqueia a margem direita do rio. A jusante do banco, a profundidade pode chegar até 6,0m, que se mantém até a saída do Estuário. A maior parte desta Zona é recoberta por areias quartzosas de granulação média, areias estas que podem chegar até a Zona Estuarina Inferior.
- c) **Zona Estuarina Inferior** – Corresponde a parte do rio que acompanha a restinga de Maria Farinha, que possui uma textura arenosa. Tem morfologia acidentada em sua margem esquerda, composta pelos sedimentos da formação Barreiras, além de

aluvião, enquanto em sua margem direita, devido a presença de sedimentos arenosos fluviomarinhos, é mais baixa, apresentando sua praia e restinga. Possui canais mais amplos e de grandes profundidades, fundo arenoso, ondulados e pequenos bancos, por causa da grande velocidade das correntes de marés (**Figura 7**).

Figura 7 – Zona Estuarina Inferior da BHRT



Fonte: Autor, 2023

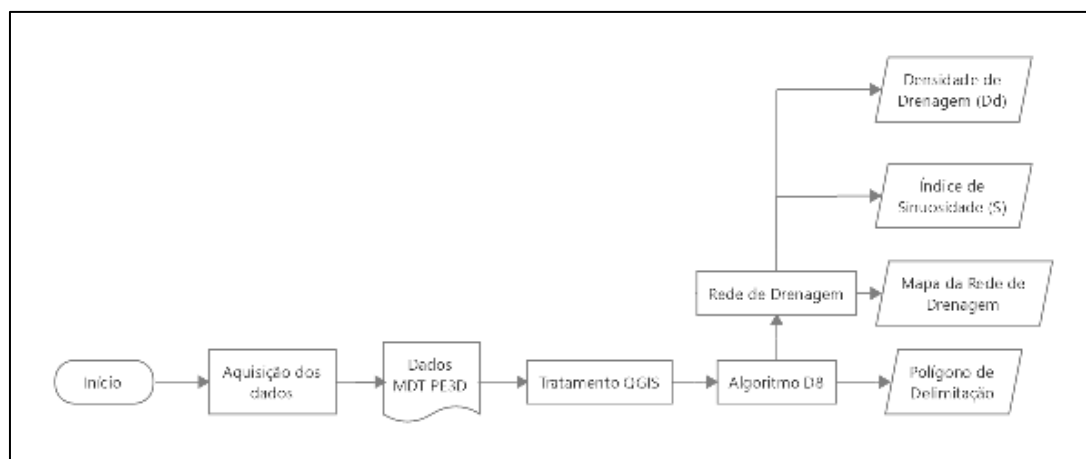
## 4.2 ANÁLISE GEOAMBIENTAL DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TIMBÓ

Nesta primeira etapa, procedeu-se através da análise geoambiental da BHRT, com a utilização de software de geoprocessamento para tratamento dos dados e posterior análise de informações atualizadas sobre a área da Bacia, como será visto a seguir.

### 4.2.1 Tratamento dos Dados

Para a realização do tratamento dos dados, foi utilizado o software de geoprocessamento QGIS, versão 3.26-Buenos Aires, através do fluxo apresentado na **Figura 8**.

Figura 8 – Fluxograma do processamento dos dados no software QGIS.

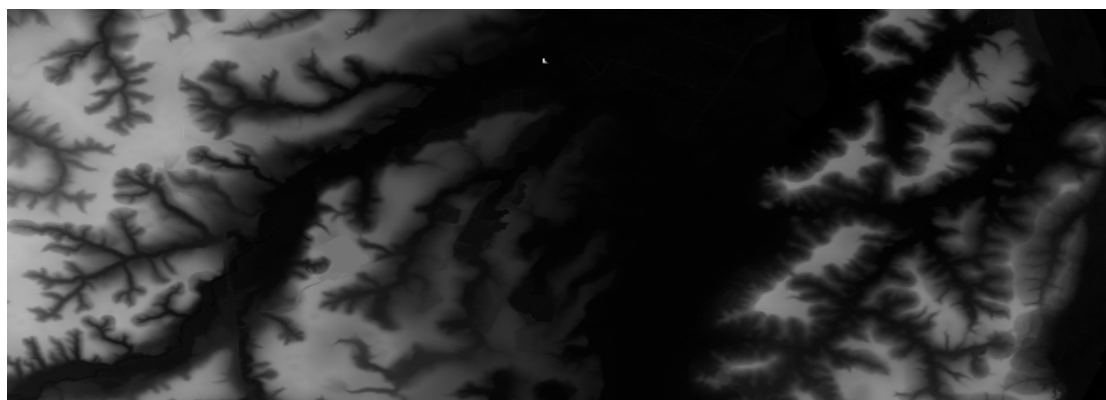


Fonte: Autor, 2022.

Para o estabelecimento da rede de drenagem e do polígono de delimitação da área da BHRT, foram utilizadas ortofotos com dados Modelo Digital de Elevação (MDT), obtidas no *site* do programa Pernambuco Tridimensional (PE3D). A aquisição destes dados pelo projeto foi realizada através de varredura a *laser* do terreno, que consiste na observação da altura dos pontos de uma superfície através de sua projeção denominado *Light Detection and Ranging* – (LiDAR) (Cirilo *et al.*, 2014).

Então, da imagem selecionada foi recortado especificamente um retângulo envolvente da área da BHRT, englobando desta forma uma região que pudesse retratar os principais rios que a compõem, presumindo as nascentes destes principais rios até a área estuarina (**Figura 9**).

Figura 9 – Imagem obtida por varredura a *laser* no projeto PE3D utilizada no trabalho.



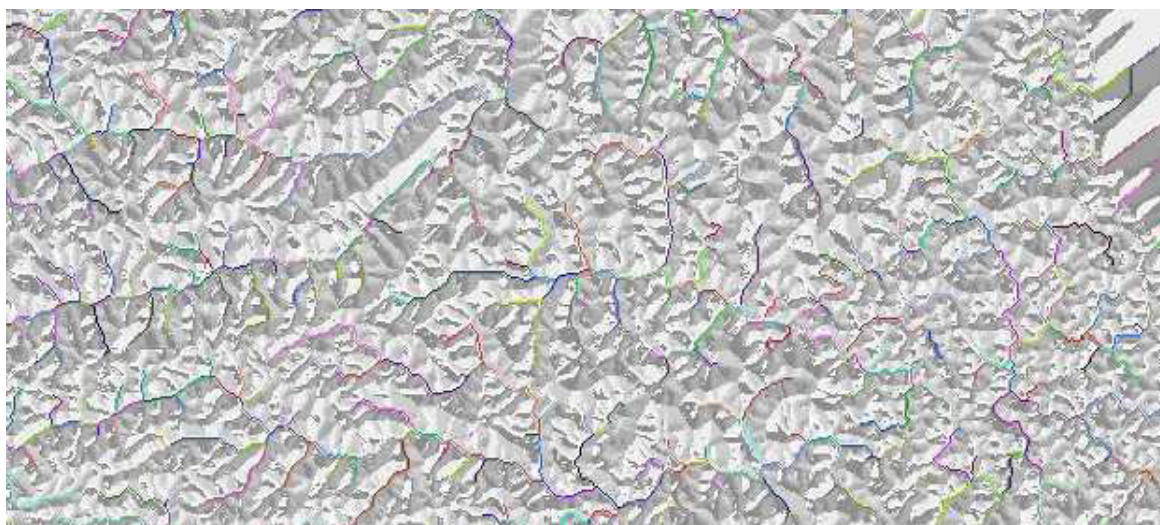
Fonte: Pernambuco Tridimensional (2022).

#### 4.2.2 Delimitação da Área da Bacia e Rede de Drenagem

Para a aquisição da rede de drenagem, foi utilizada a ferramenta *r.watershed* do QGIS. Esta ferramenta faz parte do pacote GRASS, presente na Caixa de Ferramentas do QGIS > GRASS > Raster > *r.watershed*.

O algoritmo desta ferramenta é denominado de D8, onde cada célula da imagem trabalhada é definida em oito direções de escoamento, e cada uma das células pode escoar para a célula adjacente, em uma janela de 3x3 células. O algoritmo define as direções de fluxo para cada célula da imagem, utilizando a altimetria da própria célula. Então, é calculada as declividades da célula para as oito células adjacentes. Por fim, a direção do fluxo irá apontar para a célula que possuir a maior declividade (Jardim, 2017). Após a aplicação da ferramenta, obteve-se a imagem *raster* da Direção da drenagem da bacia, como se vê na **Figura 10**.

Figura 10 – Raster Direção de drenagem, com a hidrografia obtida da região da BHRT, através da ferramenta *r.watershed*.



Fonte: Autor, 2023

Para a criação da delimitação da região da bacia, utilizou-se a ferramenta *r.water.outlet*, que utiliza o *raster* Direção da drenagem para estabelecer os limites da região da bacia estudada. Na **Figura 11**, pode-se ver o resultado obtido após a execução da ferramenta. O *raster* resultante obtido foi convertido em um arquivo do tipo *shapefile* que será utilizado na obtenção de dados sobre a região.



Figura 11 – Delimitação realizada através da ferramenta *r.water.outlet* no QGIS.



Fonte: Autor, 2022

Com o *shapefile* da delimitação da bacia, inicialmente foi possível extrair do *raster* Direção de drenagem apenas os cursos d'água referentes à sua área, obtendo-se desta forma a atual rede de drenagem da BHRT.

#### 4.2.3 Análise dos Dados

Com as informações anteriormente apresentadas, foram realizados os cálculos da Hierarquia fluvial, Densidade de drenagem, e Índice de sinuosidade da Bacia. A Hierarquia fluvial foi obtida através da metodologia de Strahler descrita por Collischonn e Dornelles (2013); a densidade da drenagem ( $D_d$ ) foi obtida através do comprimento de todos rios e cursos d'água que compõem a bacia e sua área obtidos através da ferramenta do QGIS supracitada, através da Equação 1:

$$D_d = \frac{\sum L}{A} \quad (1)$$

Onde o comprimento dos cursos d'água é dado por “L” e a área da bacia é dada por “A”. Através do *shapefile* delimitante da Bacia, foi calculado o Coeficiente de Compacidade ( $K_c$ ), através da relação entre o perímetro da BHRT e a circunferência de um círculo com área equivalente (Equação 2):

(2)

$$K_c = 0,28 * \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Onde “A” é a área da BHRT e “P” seu perímetro. Valores de  $K_c$  mais próximos de 1 indicam que a bacia apresenta formatos mais próximos de um círculo, enquanto valores maiores demonstram uma maior irregularidade em sua área e menor probabilidade de cheias (Collischonn E Dornelles, 2013).

O índice de sinuosidade (S) representa a relação entre distância retilínea nascente-foz ( $D_c$ ) e o comprimento do canal principal ( $L_c$ ) (Equação 3). Através deste índice, define-se se um rio possui seus canais meândricos (sinuosos) ou não. Define-se como meândricos os rios com índice igual ou superior a 1,5. No caso de bacias como a BHRT, formadas por mais de um rio principal, escolhe-se o maior rio para definição do índice (Christofoletti, 2017).

(3)

$$S = \frac{L_c}{D_c}$$

Por fim, através da ferramenta “recortar *raster* pela camada de máscara” do QGIS, a área correspondente à BHRT foi extraída das imagens com o uso da delimitação, e através dela serão confeccionados dois mapas: hipsometria e declividade.

A hipsometria é definida como uma técnica de representação através de cores para o estudo do relevo, ou seja, a elevação de terrenos, enquanto a declividade é o dado caracteriza a inclinação do terreno, representado pela diferença entre as regiões mais altas e mais baixas, geralmente representada em termos de porcentagens (%) (Francischett *et al.*, 2020; Vasconcelos, 2022). Neste trabalho, ambas foram obtidas através dos dados de altitude presentes nas imagens do PE3D tratadas no *software* QGIS para representar os valores encontrados na região da BHRT. Para a Hipsometria, os dados encontrados refletem as diferentes altitudes do local, enquanto a Declividade foi representada em “%”.

A partir de pesquisas exploratórias em *sites* oficiais, foram obtidos *rasters* e *shapefiles* relativos à geologia do estado de Pernambuco no banco de dados do Serviço Geológico do Brasil, disponível no *site* do Repositório Institucional de Geociências (2022); pedologia no Mapa de Solos do Brasil da Embrapa disponível no *site* do GEOINFO (2022); e uso e ocupação do solo e vegetação do Banco de Dados de Informações Ambientais – BDIA do IBGE (2022) da BHRT. Com o auxílio do mesmo arquivo de delimitação, no QGIS todos os dados serão

extraídos para confecção de mapas representando a região das feições supracitadas, referente apenas a BHRT.

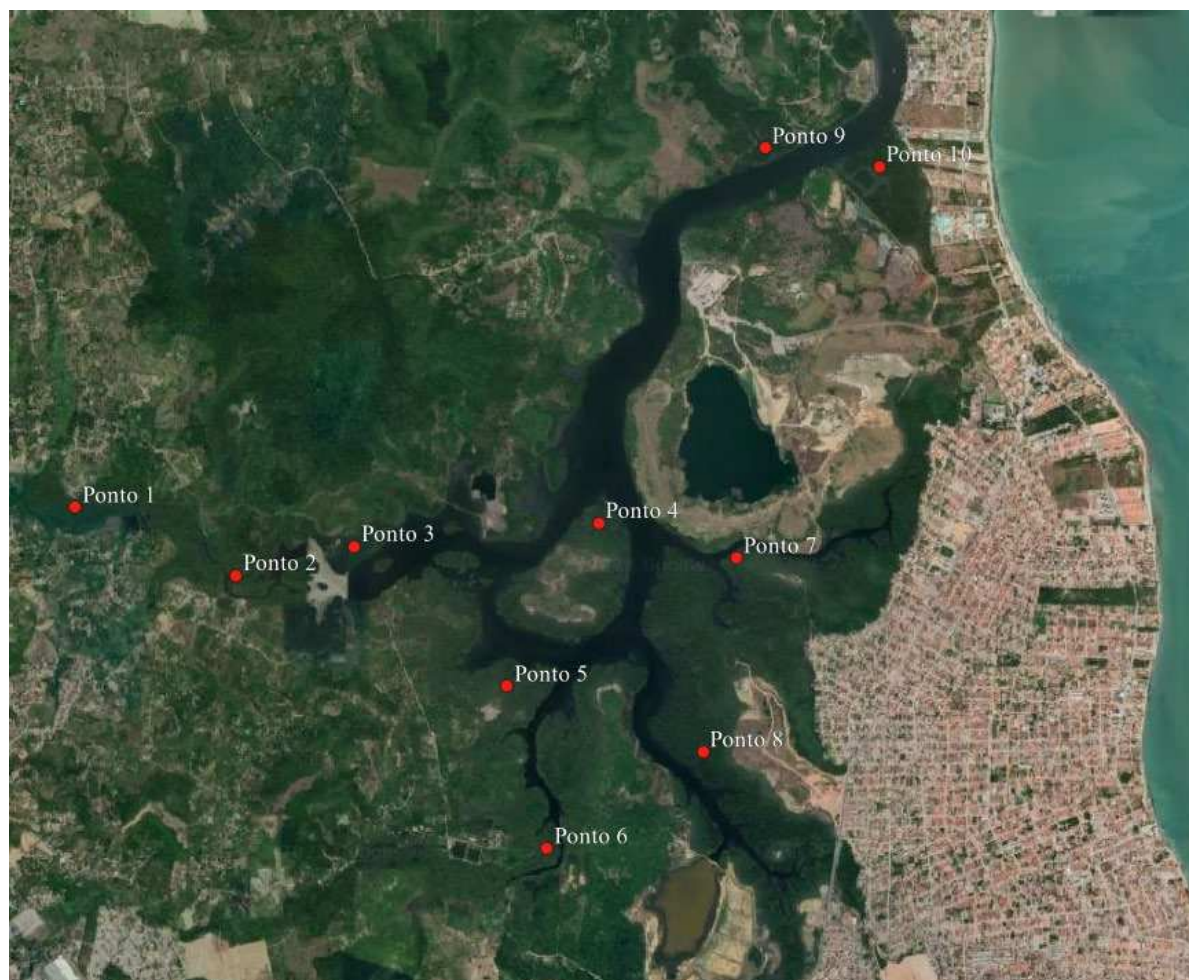
#### 4.3 TRABALHO DE CAMPO

O trabalho de campo foi realizado entre os dias 03 e 08 de outubro de 2021, tendo como objetivo realizar a análise fitossociológica e do solo da região do ERT, além da coleta de dados para estabelecimento da vazão nos seus tributários. Foi executada com o auxílio de seis alunos de graduação e pós-graduação da Universidade Federal de Campina Grande, sendo viabilizada através de aporte financeiro disponibilizado pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande – PB (PPGEGRN – UFCG), tanto para aquisição dos materiais necessários para avaliação e coleta, bem como estadia e transporte durante todos os dias de trabalho. A data escolhida teve como objetivo abranger a época menos chuvosa da região, que corresponde ao período entre os meses de setembro a fevereiro (Barbosa, 2006).

##### 4.3.1 Análise Fitossociológica e Coleta do Solo

Para a realização da análise fitossociológica, foi utilizada a metodologia descrita por Schaeffer-Novelli, Vale e Cintrón (2015). Para a coleta dos dados, foram demarcadas parcelas fixas ao longo da região de estudo, para analisar as características estruturais e a composição florística do Estuário. Foram escolhidos 10 locais ao longo da área do ERT, que representassem a distribuição da vegetação ao longo de toda região. Na **Figura 12**, é possível ver a localização das parcelas ao longo da região, de ambos os lados dos cursos d'água.

Figura 12 – Localização das parcelas no ERT, representantes da vegetação de mangue.



Fonte: Autor, 2022

Para a realização do trabalho, foram escolhidos períodos de início de baixa-mar de acordo com a tábua de marés disponibilizada pela Marinha do Brasil no *site* do Centro de Hidrografia da Marinha, correspondentes às mensurações realizadas no Porto do Recife. Desta forma, foi possível maximizar o tempo de coleta nas parcelas ao máximo ao se aproveitar a maré no ponto mais baixo do dia, acompanhando o aumento do nível das águas (**Tabela 4**).

Tabela 4 – Tábua de marés dos dias de trabalho de campo.

| <b>Dia</b> | <b>1º Preamar</b> | <b>1º Baixamar</b> | <b>2º Preamar</b> | <b>2º Baixamar</b> |
|------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| 04/10/2021 | 02:11             | 08:26              | 14:36             | 20:37              |
| 05/10/2021 | 02:48             | 09:26              | 15:12             | 21:14              |
| 06/10/2021 | 03:27             | 09:41              | 15:49             | 21:52              |
| 07/10/2021 | 04:07             | 10:21              | 16:28             | 22:33              |
| 08/10/2021 | 04:49             | 11:03              | 17:09             | 23:17              |

Fonte: Elaborado pelo autor com base em Marinha do Brasil.

Foram realizadas três atividades nos locais demarcados: identificação das espécies de mangue, determinação de características fitossociológicas e coleta de amostras de solo, entre os dias 04 de outubro a 08 de outubro de 2021. Para o deslocamento na área de trabalho, foi realizada a contratação de um pescador local, que utilizou de sua embarcação denominada popularmente de “baiteira” (**Figura 13**) para levar as equipes aos pontos pré-definidos. Em cada dia de trabalho, cada equipe demarcava uma parcela, totalizando duas parcelas por dia. Posteriormente era realizada a fitossociologia e coleta do solo. O pescador era responsável em levá-las no início dos trabalhos, realizando o deslocamento a partir do Porto Jatobá (colônia de pescadores de Abreu e Lima) até os locais e, posteriormente, realizar o seu retorno, geralmente no período de início da preamar.

Figura 13 – Embarcação denominada popularmente de “baiteira”, utilizada para a realização do trabalho.



Fonte: Autor, 2021.

Então, ao chegarem aos pontos, parcelas de 30 x 30m foram demarcadas com estacas azuis nos seus vértices e fita zebraada nos lados para facilitar a identificação no interior do bosque de mangue, como é observado na **Figura 14**. A demarcação foi realizada observando-se a metodologia de Schaeffer-Novelli e Vale e Cintrón (2015), ou seja, considerando duas zonas ao longo do perfil de inundação do ERT: a franja do bosque, próximo ao curso d'água; e o ambiente de transição do bosque para outras feições típicas dos manguezais.

Figura 14 – Estacas e fitas zebradas delimitadoras das parcelas estudadas.



Fonte: Autor, 2021

Nas parcelas, as espécies foram identificadas e os parâmetros fitossociológicos coletados foram a altura e a Circunferência à Altura do Peito (CAP) de todos os espécimes vivos presentes. Para a aferição da altura, foi utilizada uma régua expansível, onde em árvores que atingissem alturas maiores que a desta ferramenta, estimou-se a medida por comparação. Na obtenção dos dados referentes a circunferência, usou-se fitas métricas graduadas em cm. A medida do CAP foi realizada aproximadamente 1,30m a partir da última raiz aérea, de acordo com Schaeffer-Novelli e Vale e Cintrón (2015). Em espécies onde na região do CAP existiam dois ou mais troncos (bifurcações), foi realizada uma medida em cada um destes troncos e os valores de circunferência foram somados.

Posteriormente em gabinete, os valores de CAP foram transformados em Diâmetro à Altura do Peito (DAP), então foram realizados os cálculos da Área Basal Total, Área Basal por Classe e Espécie, Densidade Relativa por Parcela (DRp) e Espécie (DRe), Dominância Relativa da Parcela (DoRp) e espécie (DoRe) e Altura Média. Foram estabelecidas classes de DAP: Classe 1, com árvores com menos de 2,5 cm de DAP; Classe 2, com árvores com DAP entre 2,5 e 10 cm; e Classe 3, com árvores com mais de 10 cm de DAP. Também foi calculado o

Índice do Valor de Cobertura (IVC) para cada uma das parcelas. (Carvalho e Jardim, 2017; Schaeffer-Novelli e Vale e Cintrón, 2015; Scolforo e Mello, 1997).

Para o estabelecimento de uma amostra que representasse a composição físico-química do solo das parcelas, esta foi composta tomando como local de coleta cinco pontos da parcela, que são os seus vértices (próximos as estacas azuis) e ponto central. Como observado na **Figura 15**, o solo foi perfurado a 1m de profundidade com o auxílio de um trado manual, onde as amostras retiradas foram acondicionadas em sacos plásticos com a utilização de uma pá. Entre cada coleta de solo lavou-se as ferramentas com água desmineralizada, evitando assim contaminação entre amostras e, com isto, a geração de resultados errôneos da sua composição durante a análise físico-química. Os sacos foram levados a refrigeração em geladeira doméstica, evitando assim a degradação da matéria orgânica do solo através da decomposição realizada pela microbiota. Posteriormente, foram levados ao laboratório para a análise.

Figura 15 – Coleta do solo nas parcelas. Utilização do trado para perfuração do solo (A) e acondicionamento do solo em saco plástico (B).



Fonte: Autor, 2021.

#### 4.3.2 Cálculo da vazão

A BHRT, com dito anteriormente, pertence ao Grupo de Bacias de Pequenos Rios Litorâneos 1 de Pernambuco (GL1). Desta forma, foram utilizados dados obtidos pela APAC (2013), que utilizou o modelo chuva-razão, que realizam o balanço hídrico nas bacias em um

intervalo de tempo definido (LIMA *et al*, 2022). Na aplicação deste modelo, foram utilizados parâmetros de bacias vizinhas com condições climatológicas e físicas semelhantes aos da bacia estudada. Para este trabalho foi utilizado o valor médio anual em m<sup>3</sup>/s obtido entre os anos de 2011-2012 para a GL1.

#### 4.3.3 Estabelecimento da Assinatura Energética do Manguezal do ERT

Para se obter o valor Radiação Solar/Insolação e Temperatura, foram obtidos os valores de insolação (h/Sol/ano) e temperatura média (°C/ano) no *site* do INMET, através da estação meteorológica manual de Recife (Cabo), que mais se aproxima da região do Estuário e que possui dados até o mês de agosto de 2020 para insolação. Neste último ano, foi calculada a média da insolação dos meses anteriores a agosto de 2020, sendo tomada como os valores dos meses posteriores, e então somados. Também foram calculados os valores da insolação e temperatura média para os anos de 1990 a 2019, para comparação.

Em relação aos dados das Marés e aporte de água doce, foram obtidas as estimativas de amplitude de marés para o ano de 2020 e 2021, na estação do Porto de Suape, que se situa mais próximo da região da ERT. A metodologia utilizada pela Marinha do Brasil (2023) para a coleta das informações foi a Análise Harmônica. A vazão dos rios foi calculada previamente através do trabalho de campo, enquanto a precipitação chuvosa média anual da região da ERT foi obtida através do *site* de monitoramento pluviométrico da APAC (2021) com os valores para os meses dos anos de 1994 a 2020 através do posto de monitoramento instalado na cidade de Abreu e Lima – PE.

Para o entendimento da composição e características dos solos do ERT, foram estudados os resultados da análise físico-química, através das amostras coletadas no trabalho de campo. As dez amostras homogêneas foram encaminhadas ao laboratório AgroBrito, que através da metodologia da EMBRAPA e ROLAS (Rede Oficial de laboratórios de análise de Solos) (Tedesco *et al.*, 1995) foram realizadas as seguintes análises químicas para macronutrientes: pH da água intersticial, Matéria Orgânica, Carbono Orgânico, Nitrogênio Total, Fósforo, Potássio, Potássio Disponível, Hidrogênio e Alumínio, Cálcio, Magnésio, Alumínio, Sódio e Enxofre. Para os micronutrientes: Boro, Cobre, Zinco, Ferro, Molibdênio e Manganês. Para a composição física e classificação destes solos, foi utilizado o Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos (Santos *et al*, 2018), onde foi definida sua classe textural e classificação.



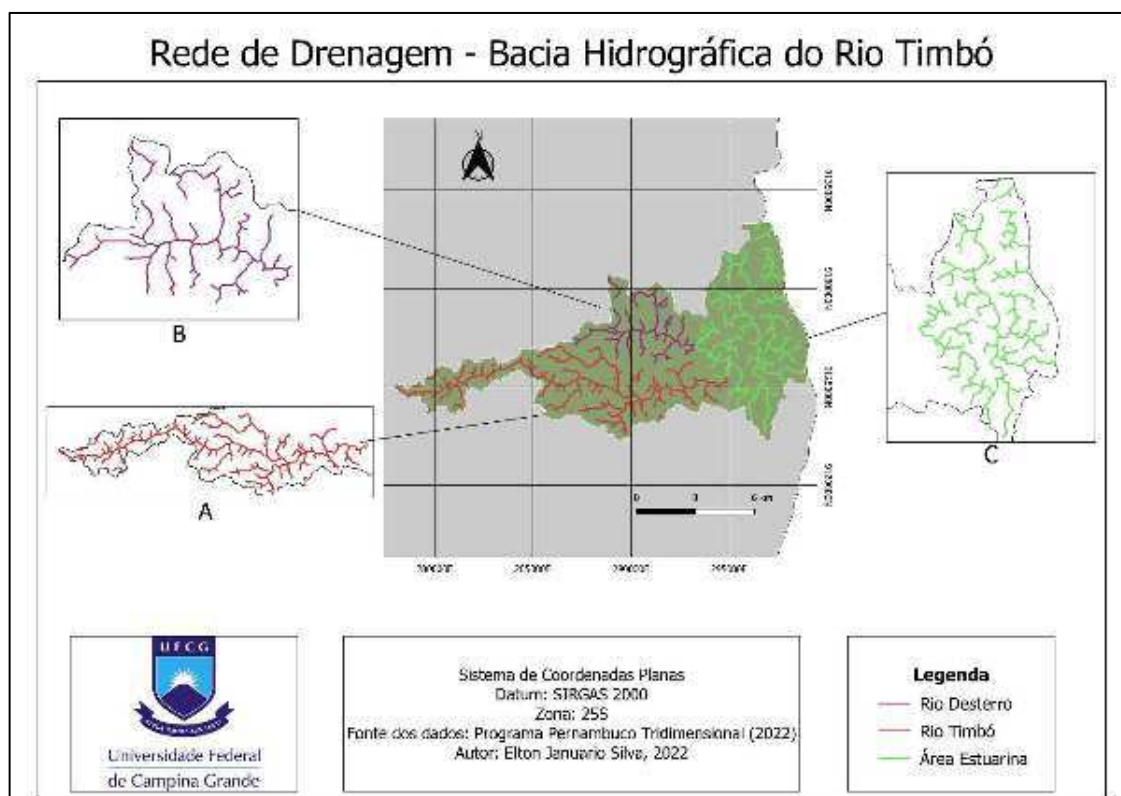
## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 ANÁLISE GEOAMBIENTAL

#### 5.1.1 Rede de Drenagem

A área total da Bacia Hidrográfica do Rio Timbó (BHRT) encontrada foi de 9546,26 ha. Dentro dos seus limites, a BHRT possui dois cursos d'água principais, o maior é o Rio Barro Branco (**Figura 16A**), o segundo é o Rio Desterro (**Figura 16B**). Esses, desaguam na área estuarina do estuário do Rio Timbó (**Figura 16C**), com foz no Oceano Atlântico, mais precisamente seguindo o Canal de Nova Cruz, Pontal de Maria Farinha na cidade de Paulista. Para este trabalho, visto que a Bacia se apresenta com o mesmo nome do estuário, o nome utilizado para representar o Rio Barro Branco será Rio Timbó.

Figura 16 – Rede de Drenagem da BHRT.



Ao se observar o tipo de escoamento padrão da BHRT, classifica-se como exorréica, ou seja, os cursos d'água seguem o seu fluxo de continuidade até a sua foz, através da área estuarina. Os rios Timbó e Desterro possuem como padrão de drenagem o tipo dendrítico ou

arborescente, denotado através da visualização dos cursos d'água em formato de “tronco de árvore”, em angulações de vários graus, mas nunca chegando em ângulo reto (**Figura 15A e 15B**) (Christofolletti, 2017).

Em relação a hierarquia fluvial, que compreende a classificação em função da ordem de grandeza dos cursos d'água que compõem a bacia segundo a metodologia de Strahler *apud* Collischonn e Dornelles (2013), a BHRT possui afluentes de até com classificação de até quarta ordem alimentando os seus principais leitos.

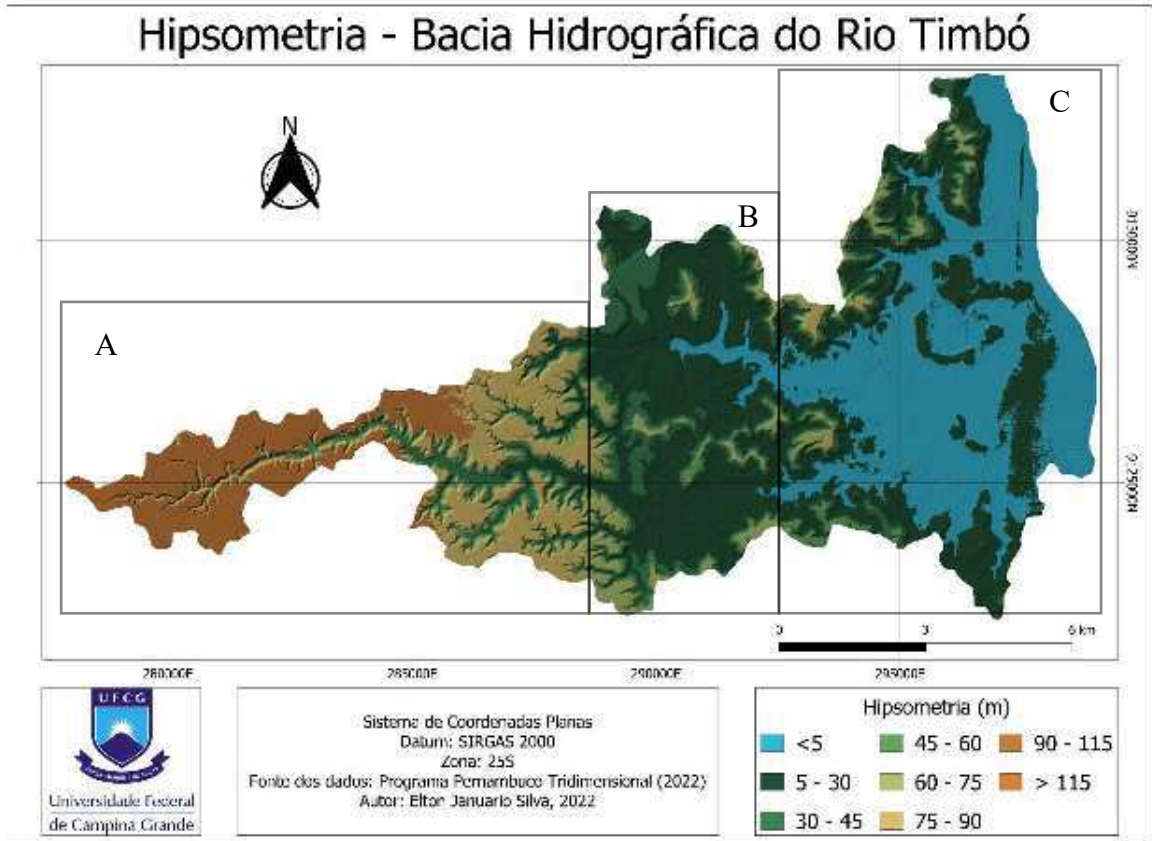
O coeficiente de compactidade ( $K_c$ ) obtido para a BHRT foi de 2,183, indicando que a BHRT possui baixa tendência a enchentes. Isto é perceptível pelo seu formato alongado. O alongamento facilita o escoamento rápido das águas pluviais. No entanto, sabe-se que outros fatores como solos, geologia, declividade, etc., influenciam no escoamento superficial das águas, portanto estes devem ser levados em consideração na probabilidade do acontecimento de cheias em bacias hidrográficas, apesar da notória relevância do dado (Collischonn e Dornelles, 2013; Lopes; Leal; Ramos, 2018).

O índice de sinuosidade ( $S$ ) do canal principal da BHRT correspondente ao Rio Timbó obtido foi o de 1,29, sendo considerado como pouco sinuoso. Valores de sinuosidade que estejam acima de 1,5 evidenciam canais sinuosos, enquanto valores abaixo são associados aos mais retilíneos. O valor da densidade da drenagem ( $D_d$ ) obtido foi de 1,829 km/km<sup>2</sup>, caracterizando a BHRT com uma drenagem regular, visto que a densidade pode variar entre 0,5 km/km<sup>2</sup> (típico de bacias mal drenadas por causa da alta permeabilidade ou baixa precipitação chuvosa) a 3,5 km/km<sup>2</sup> de bacias bem drenadas presentes em áreas com alta precipitação chuvosa ou alta impermeabilidade, (Christofolletti, 2017; Marcuzzo; Romero; Cardoso, 2011).

### 5.1.2 Hipsometria e Declividade

Os valores de altitude encontrados na BHRT estão representados **na Figura 17 (A, B e C)**. As classes hipsométricas com os maiores valores estão presentes entre 75 e 155 m (**Figura 17A**). A faixa entre 75 e 5 m de altitude (**Figura 17B**) é caracterizada por intensa ocupação antrópica. A faixa estuarina (**Figura 17C**) é a que apresenta os menores valores de altitude, estando alguns locais no mesmo nível do mar ( $\geq 5$ ).

Figura 17 – Hipsometria da BHRT. Região com altitudes entre 115 e 75 m (A); região com altitudes entre 5 e 75 m (B); e região com altitudes menores que 5 m (C).



As maiores altitudes são pertencentes a fisionomia geoambiental denominada Tabuleiros Costeiros. Esta corresponde a uma faixa que atravessa o litoral brasileiro que se origina no estado do Amapá até aproximadamente o estado do Rio de Janeiro. São formados por planaltos sedimentares correlacionados a formação Barreiras, e possuem uma largura entre 100 e 200 quilômetros, com altitudes que variam entre 20 a 50 metros (Faria *et al.*, 2020).

No caso da BHRT, estes valores atingem aproximadamente 115 metros de altitude. Nestes locais onde estão os maiores remanescentes de florestas da região, que será visto mais à frente. Há elevada presença de ocupações antrópicas, visto que a partir dos 75 aos 90 m de altitude há uma estabilização, com a presença de planaltos que favorecem a construção de moradias. Estas áreas planas são cortadas por regiões com altitudes menores, nos locais onde há a presença dos cursos d'água que perpassam a região (**Figura 8**). Ao se analisar a região, é possível encontrar residências dispostas nas áreas de encostas. O meio físico (relevo, rochas, solo, etc.) onde as populações se estabelecem criam potencialidades que beneficiam a ocupação. No entanto, também podem expor características que, devido ao impacto desta ocupação, serão danosas aos próprios seres humanos. A região descrita foi amplamente ocupada de forma

desordenada, o que pode acarretar em prejuízos sociais e ambientais, posto que nestas áreas a maioria da população não possui recursos que possibilite melhores condições habitacionais. (Cheliz; Rodrigues; Ladeira, 2022; Duarte e Nóbrega, 2021).

Figura 18 – Regiões de baixa altitude por onde passam os cursos d'água entrecortando os tabuleiros costeiros da BHRT.



Fonte: Autores, 2022.

Na faixa entre 75 e 5 m denotada na **Figura 17B**, está presente a região com mais interferência antrópica da BHRT. Este local é majoritariamente ocupado por empresas, comércio e moradias, devido à proximidade com a BR-101 (**Figura 19A e 19B**). Também estão presentes os últimos afluentes, usados para o despejo de efluentes da região. (**Figura 19C e 19D**).

Figura 19 – Áreas entre 75 e 5 m na BHRT. Região densamente ocupada às margens da BR-101 (A e B); afluentes do Rio Timbó utilizados para o despejo de efluentes (C e D).



Fonte: Autor, 2022

O crescimento desta região está atrelado ao fenômeno da metropolização existente em toda a Região Metropolitana do Recife (RMR), que se iniciou nos anos 50 tendo como núcleo a cidade do Recife, seguido ao longo da BR 101 (Maciel e Crespo, 2021).

Analisando a área estuarina da Bacia (**Figura 17C**), é perceptível que a grande maioria da região possui altitudes próximas ao nível do mar ( $\leq 5$ ), tendo também como regiões entre 5 e 30 metros, densamente ocupada por habitações. Devido a ampla área estuarina ocupada, o Estuário do Rio Timbó, presente na região, é classificado como de Planície Costeira, caracterizado pela invasão da água do mar que inundou as áreas marginais, gerando uma feição morfológicamente diferenciada e com a sua largura reduzida em direção ao continente. As dimensões destes tipos de estuário estão correlacionadas com a área fluvial que recebe esta influência marinha. Este tipo é considerado um estuário clássico, por serem os primeiros descritos na literatura (Lessa, 2020) (**Figura 20**).

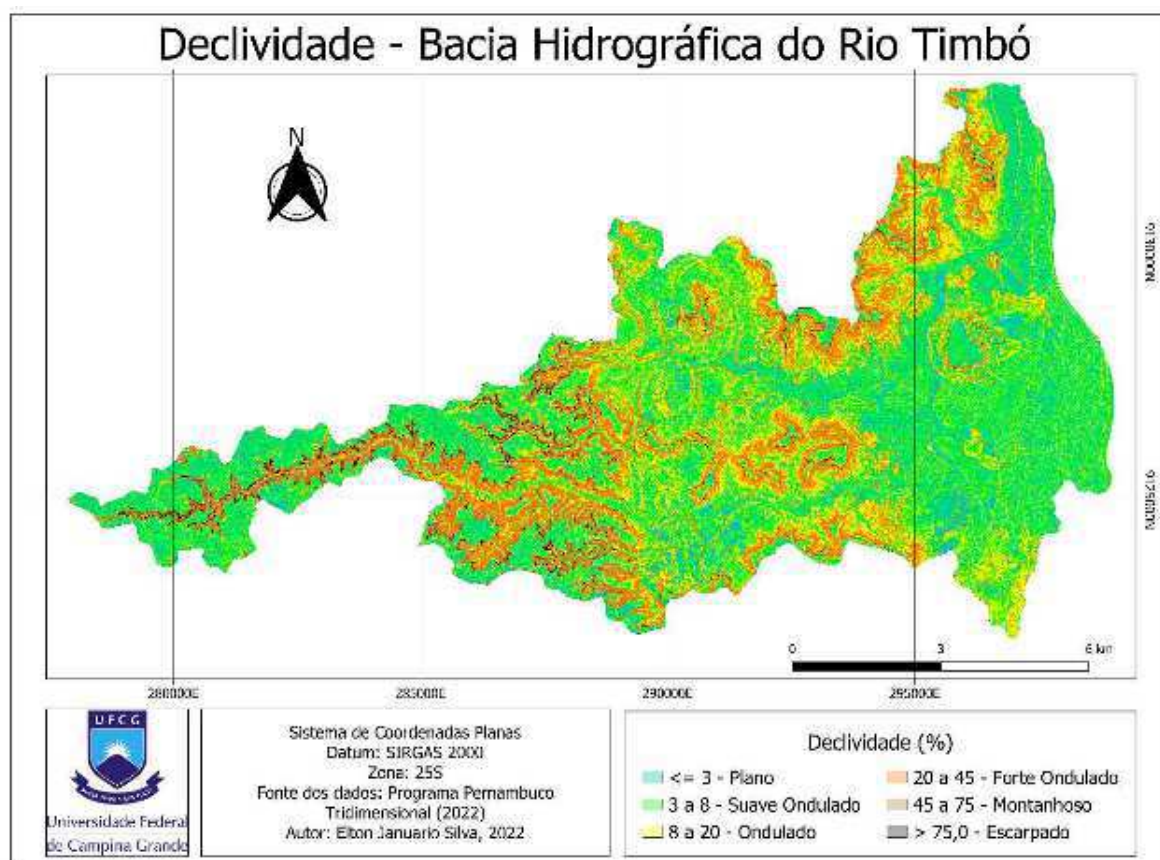
Figura 20 – Região estuarina da BHRT.



Fonte: Autor, 2022

Em relação a declividade da Bacia, utilizando-se da metodologia descrita em Santos *et al.*, (2018), encontrou-se na BHRT todas as categorias, variando entre o Escarpado ( $> 75\%$ ) e Plano ( $\leq 3\%$ ) (**Figura 21**). A maior parte da região apresenta relevos dentro da categoria Suave Ondulado (3 a 8%), sendo a presença dos Tabuleiros Costeiros uma das causas das poucas variações pois, como descrito anteriormente, as regiões mais altas são locais com planaltos bastante extensos. As áreas que possuem os maiores valores de declividade são as encostas destes Tabuleiros, com o relevo variando entre Forte Ondulado e Montanhoso. Isto se verifica principalmente nas regiões dos cursos d'água principais da Bacia.

Figura 21 – Declividade da BHRT.

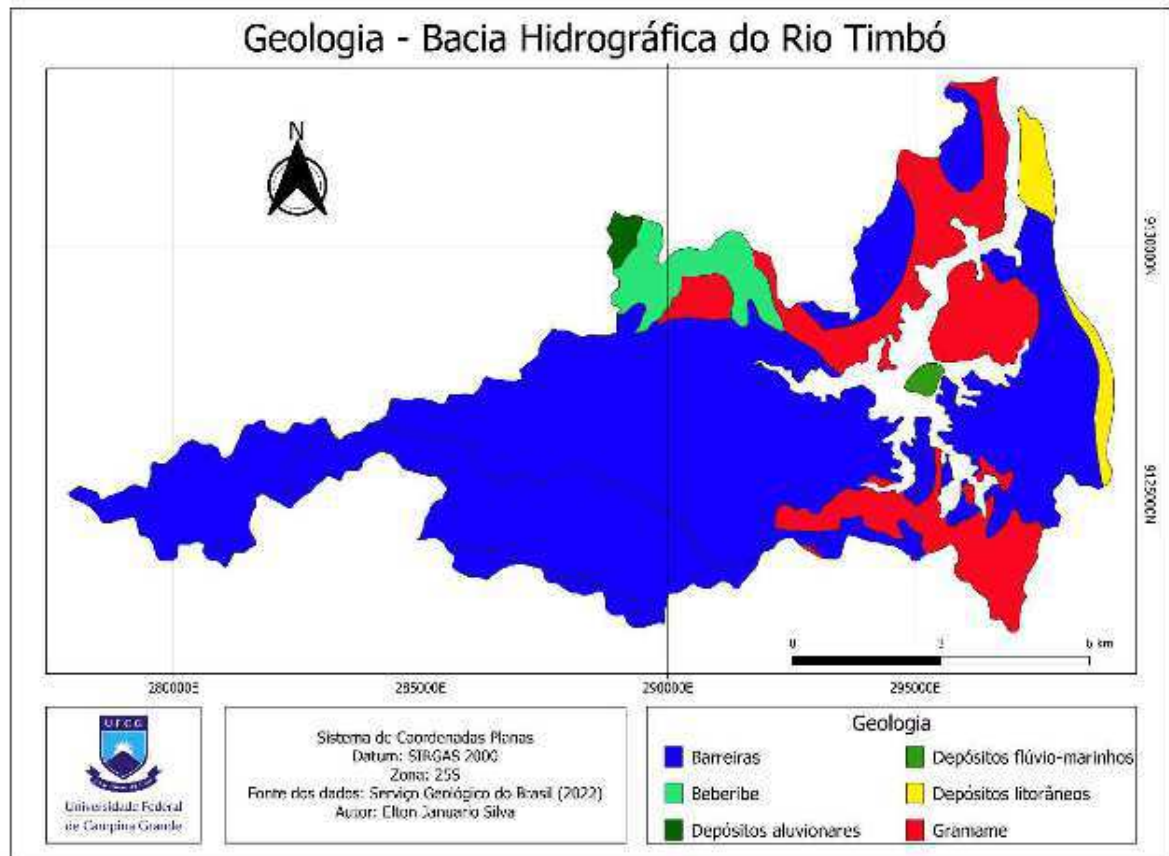


Percebe-se que a região do estuário da BHRT possui uma vasta extensão, com pouca variação de declividade. Isto está atrelada a característica deste tipo de estuário, o de Planície Costeira, citado anteriormente. Segundo Miranda; Castro; Kjerfve (2002), o processo de inundação responsável pelo surgimento deste tipo de estuário estabiliza a declividade destes ambientes em função da consolidação dos sedimentos em suas áreas.

### 5.1.3 Geologia

Ao longo da BHRT, percebe-se a presença de diversas formações geológicas, tendo como destaque as Formações Barreiras e Gramame. Também são observadas as formações Beberibe em associação aos Depósitos Aluvionares, ao norte da BHRT, bem como Depósitos Fluviomarinhos e Litorâneos, na região do Estuário (**Figura 22**).

Figura 22 – Mapa das Formações Geológicas da BHRT.



A Formação Barreiras (**Figura 23A**) é predominante em toda Bacia, com formações de falésias erodidas ao longo de praias, vales e taludes ao longo de rodovias. É constituída por uma cobertura sedimentar que se estende desde a foz do Amazonas, seguindo pela região costeira norte e nordeste chegando até o estado do Rio de Janeiro. Apresentam tonalidades com coloração vermelhas, amarelas e brancas (Souza, 2018).

Figura 23 – Formação Barreiras (A) e Gramame (B) presentes no Estuário da BHRT.



Fonte: Autor, 2022.



A Formação Gramame (**Figura 23B**) é composta por calcários margosos sem influência siliclástica depositadas em plataforma rasa com rasa ou baixa energia, com ação regular de tempestades (Topan e Lima Filho, 2017). Esta deposição se deu principalmente no período Maastrichtiano, através da deposição de camadas finas de sedimentos intercaladas com outras argilosas e intensamente bioturbadas (Oliveira, 2017).

Ao longo da região estuarina da BHRT são encontradas outras formações: Depósitos Aluvionares, resultado dos sedimentos de qualquer natureza carregados em suspensão pelos rios e por fim se acumulando em bancos (Silva *et al*, 2014); Formação Beberibe, composta principalmente por arenitos continentais, quartzosos, com uma espessura média de 50 metros e texturas de solo médias finas e grossas (Oliveira e Rego, 2019); e Depósitos Litorâneos, formados principalmente por areias de textura média a grossa e presença de conchas, localizados na área de atuação das marés até o limite do início do pós-praia (Morais e Araújo, 2015). Na BHRT, esta última formação está presente principalmente nas praias do Janga e Marinha Farinha, pertencentes ao município do Paulista (**Figura 24**).

Figura 24 – Depósitos Litorâneos presentes na praia de Maria Farinha, Paulista – PE.



Fonte: Autor, 2022.

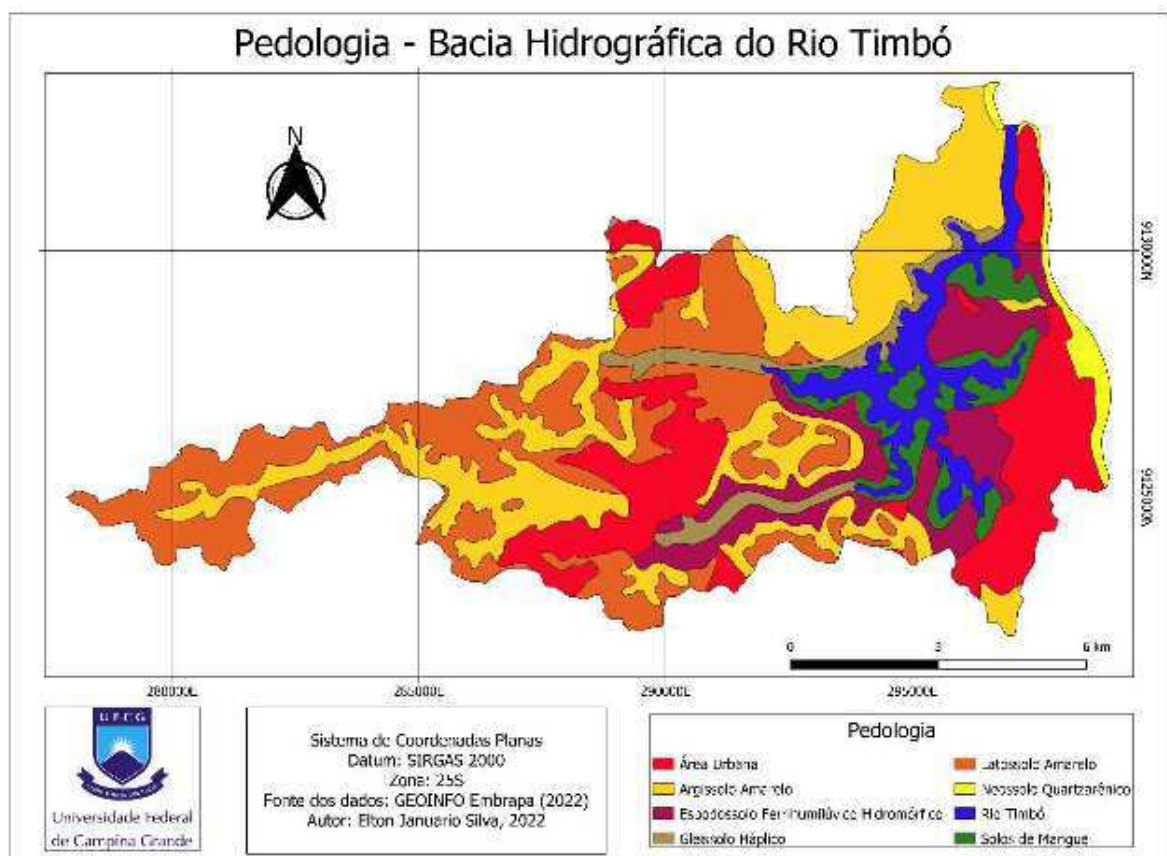
Os Depósitos Aluvionares são formações encontradas no leito de rios ou riachos por onde estes percolam. São compostos por detritos (cascalho, areia, silte e argila) gerados por sucessivos processos erosivos ao longo dos cursos d'água e trazidos pelas correntezas até o

leito, onde se deposita ou sedimenta ao longo dos anos em camas contínuas ou descontínuas (Santos, 2018). Os Depósitos Fluvio-marinhos se formaram através dos sedimentos argilosos ou muito argilosos originados da última presença marinha na região com posterior decantação destes sedimentos (Farias Filho, Bueno e Valladares, 2020).

#### 5.1.4 Pedologia

Como visto na **Figura 25**, há a presença dos Latossolos Amarelos e Argissolos Amarelos nas zonas de planícies e planaltos mais distantes do Estuário; Espodossolos Ferrihumilúvicos Hidromórficos e Gleissolos Háplicos próximos as margens dos Rios Timbó e Desterro; e Neossolo Quartzarênico e Solos de Mangue também nas margens dos cursos d'água e Estuário, respectivamente.

Figura 25 – Pedologia da Bacia Hidrográfica do Rio Timbó - PE.



A ordem Latossolo é caracterizada por possuir um avançado estágio de intemperização resultante de transformações intensas no material matriz. É majoritariamente profundo e raramente apresenta menos de um metro de profundidade. Surge em áreas de baixa declividade,

onde o relevo varia de plano a suave ondulado. Está presente em regiões equatoriais e tropicais, principalmente em antigas superfícies de erosão e terraços fluviais antigos formados por rochas e sedimentos (Santos *et al.*, 2018).

No Brasil, ocupa aproximadamente 32% do território brasileiro; o Argissolo do tipo amarelo é a segunda ordem com mais presença no Brasil. São compostos por material mineral e possuem como característica marcante a presença do horizonte B textural devido ao acúmulo de argila; os Neossolos apresentam-se como a terceira ordem mais abundante em solo brasileiro. possuem baixo grau de desenvolvimento em comparação ao material originário por consequência da intensidade baixa de atuação de processos pedogênicos. O caráter quartzarênico está relacionado a presença de textura areia ou areia franca em todos os horizontes e profundidade de 150 cm (Santos *et al.*, 2018; Pinheiro Junior *et al.*, 2020).

Espodossolos são formados pela acumulação de materiais orgânicos em conjunto a íons de Fe e Al, com horizonte B espódico abaixo de 200 cm do solo. Os ácidos orgânicos configuram estes íons em substâncias compostas, conferindo a eles maior estabilidade química após a translocação. Os Gleissolos têm como principal processo formador a gleização, que consiste na ação dos microrganismos na redução e remoção do Fe, com horizonte glei surgindo geralmente a partir dos 50 cm de profundidade; (Santos *et al.*, 2018; Pinheiro Junior *et al.*, 2020).

O solo do mangue (**Figura 26**) tem como características ser lodoso, possuir alta salinidade, baixa taxa de oxigenação e odor característico devido a decomposição da matéria orgânica (mais acentuado em locais poluídos). Esta matéria orgânica é a chave para uma extensa cadeia alimentar, onde a vegetação é a principal encarregada pela dinâmica produtiva dos estuários tropicais e subtropicais (Barreto *et al.*, 2020). Através coleta de solo realizada no trabalho de campo, este solo foi mais estudado, e sua classificação de solo foi atualizada de acordo com sua classe textural, sendo abordada em capítulo específico adiante.

Figura 26 – Solo de mangue do Estuário da BHRT.

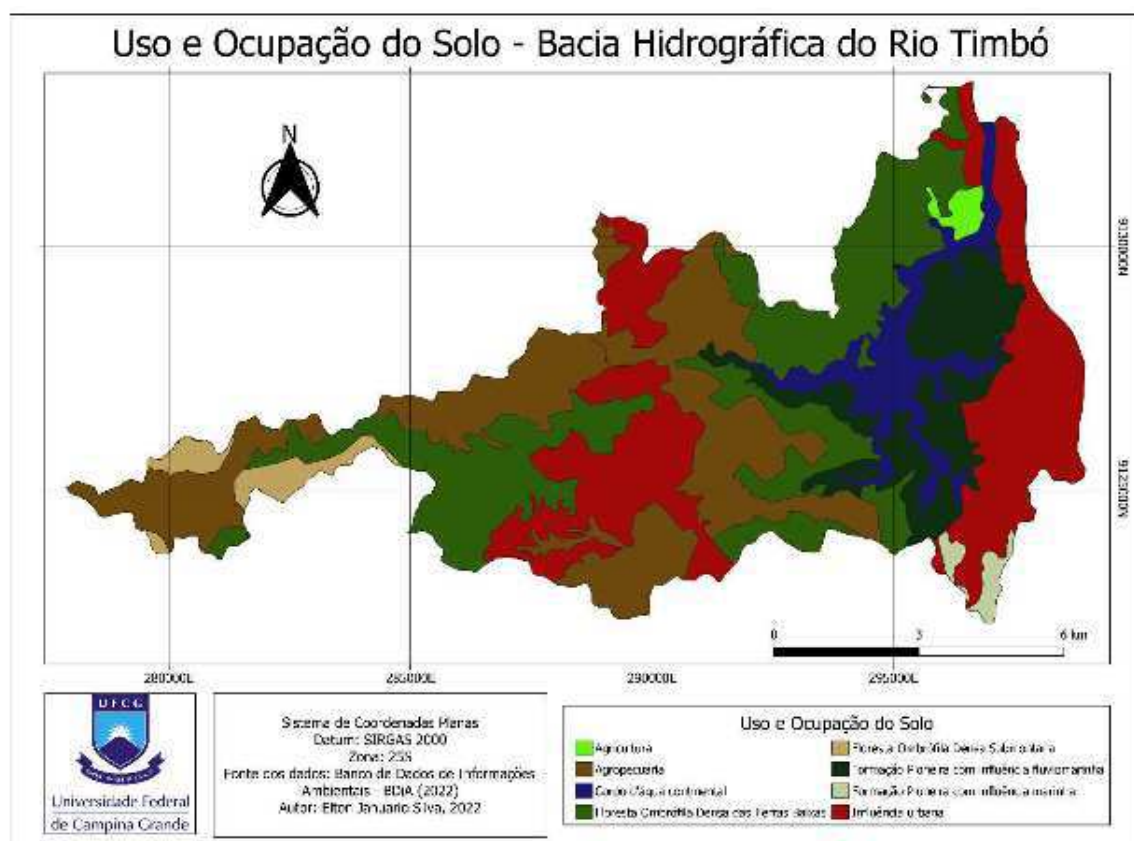


Fonte: Autor, 2022

#### 5.1.4 Uso e Ocupação do Solo e Vegetação

A área BHRT é densamente ocupada pela Agricultura, Agropecuária e Urbanização, em substituição as terras preenchidas anteriormente por Florestas Ombrófilas Densas de Terras Baixas e Submontanas (**Figura 27**). Na região da orla, pertencente ao município de Paulista-PE, e o centro da cidade de Abreu e Lima-PE são os locais onde se apresenta a maior ocupação urbana da Bacia.

Figura 27 – Mapa de Uso e Ocupação do Solo da BHRT.



A **Tabela 5** apresenta os valores da ocupação das áreas da BHRT por suas diversas feições em ordem de grandeza.

Tabela 5 – Uso e Ocupação do Solo na Bacia Hidrográfica do Rio Timbó – PE

| Feição  | Área<br>(ha)    | %          |
|---|-----------------|------------|
| Floresta Ombrófila Densa das Terras Baixas    | 2.525,48        | 26,45      |
| Agropecuária                                  | 2.465,47        | 25,82      |
| Influência Urbana                             | 2.408,31        | 25,22      |
| Formação Pioneira com Influência Fluviomarina | 1.000,50        | 10,48      |
| Corpo d'água Continental                      | 680,17          | 7,12       |
| Floresta Ombrófila Densa Submontana           | 290,46          | 3,05       |
| Formação Pioneira com Influência Marinha      | 98,56           | 1,04       |
| Agricultura                                   | 77,31           | 0,82       |
| <b>Total</b>                                  | <b>9.546,26</b> | <b>100</b> |

Fonte: Elaborado pelo autor, com base em BDIA, 2022.

Segundo Maciel e Crespo (2021), é possível identificar duas faixas principais de uso e ocupação do solo, a saber: a faixa a oeste da RMR, com a presença predominante da policultura, fazendas e granjas associadas a remanescentes da Mata Atlântica e usos urbanos; e a faixa litorânea, onde também são encontradas as feições citadas anteriormente, porém com a presença do ecossistema manguezal e instalação de indústrias

A Floresta Ombrófila de Densa das Terras Baixas ocupa a maior parte da região das planícies costeiras da região da Bacia, enquanto a Floresta Ombrófila Densa Submontana, identificada em locais com relevos montanhosos ou de planaltos. A Vegetação com Influência Marinha e Fluviomarinha (**Figura 28**) do Estuário da BHRT é composta por espécies vegetais comuns às restingas e manguezais no Brasil (BDiA, 2022).

Figura 28 – Vegetação com Influência Marinha e Fluviomarinha presente no Estuário da BHRT.



Fonte: Autores, 2022.

A Influência Urbana é significativa e evidente na BHRT, sendo a terceira em área de ocupação. Na orla das praias de Paulista-PE, nos bairros de Maria Farinha e do Janga (**Figuras 29 A e B**). As praias são os espaços ao longo das orlas são os que sofrem mais pressão, devido a construção de residências secundárias que funcionam geralmente como propriedades para ocasiões turísticas, descanso e veraneio. O acentuado procedimento de utilização dos recursos praias reflete em uma devastação que acaba por atingir níveis socioambientais severos (Silva; Carvalho; Oliveira, 2018).

Figura 29 – Orla da praia de Maria Farinha e da Praia do Janga, Paulista-PE.



Fonte: Blog Eduardo Feitosa, 2022: JC online, 2020.

O município de Abreu e Lima-PE é a região da BHRT possui um intenso processo de Urbanização, como visto nas **Figuras 30A e 30B**. Diversos bairros despejam efluentes domésticos diretamente nos cursos d'água. Também existem denúncias de indústrias à Agência Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (CPRH) e ao Ministério Público de Pernambuco relativas ao despejo de efluentes, aterro ilegal de mangue e extração ilegal de argila. Dentre as indústrias denunciadas, estão a Saint-Gobain, Janga e Mercofricon. Houve uma intensa mobilização popular, com protestos que repercutiram nos meios de comunicação, o que levou a CPRH em 2007 a realizar vistoria nas empresas citadas acima. Com isto, a empresa Saint-Gobain foi autuada em 50 mil reais e firmou junto ao ministério público um TAC (Termo de Ajuste de Conduta) para compensação do dano causado pelo despejo irregular de efluentes sem tratamento no riacho arroio Desterro, visto que a sua estação de primária de tratamento estava fora dos padrões ambientais (Paiva, Silva e Fernandes, 2010).

Figura 30 – Região do município de Abreu e Lima-PE próximo ao Estuário do Rio Timbó, com intenso processo de urbanização.

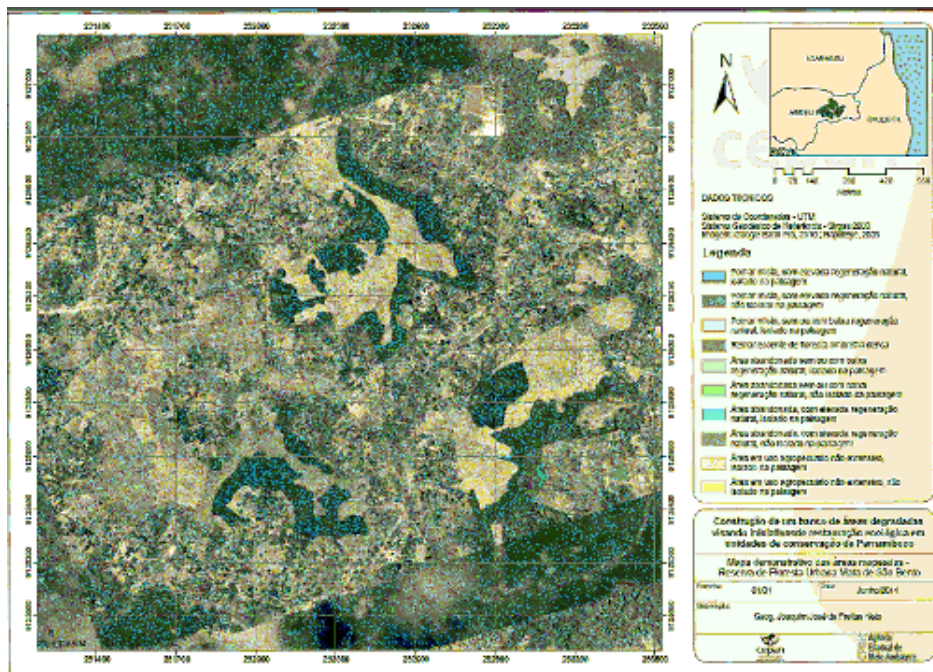


com isto lançando-os diretamente nestes canais. No bairro de Caetés 3 há a presença de uma

invasão populacional nas margens do rio Barro Branco, onde não há sistema de coleta de esgoto. Esta situação obriga os residentes a fazer o descarte no rio da água residual das fezes, urina e higiene pessoal através de tubos de PVC. A poluição causada por esgotos sanitários e efluentes industriais não devidamente tratados acaba por reduzir drasticamente a qualidade da água fluvial, além de que o despejo direto de matéria orgânica reprime a concentração do oxigênio dissolvido em suas águas, influenciando negativamente na biota ao longo do seu curso (Santana e Machado, 2017; Silva Júnior e Azevedo, 2022).

A presença da agropecuária está em segundo lugar na quantidade de área ocupada da BHRT, com 2.465,47 ha. Esta atividade é realizada principalmente nas áreas que circundam os rios da Bacia. Como exemplo, uma das áreas utilizadas para a agricultura é a da Reserva de Floresta Urbana Mata de São Bento. Esta, possui 109,6 ha, e apresenta como função a proteção as nascentes dos rios, realizar a manutenção e proteção do solo, redução da poluição atmosférica, etc., (CPRH, 2022). Percebe-se que boa parte das suas terras atualmente é utilizada para a criação de animais e plantio de árvores frutíferas, combinadas com áreas de regeneração natural (**Figura 31**).

Figura 31 – Reserva de Floresta Urbana Mata de São Bento - Abreu e Lima, PE



Fonte: CPRH, 2022.

Na região estuarina, há presença também da carcinocultura, com diversos recintos de criação de camarão localizados próximos as regiões de maior influência das marés. Este tipo de atividade está diretamente relacionado a inúmeros impactos ambientais, como o acréscimo da



erosão, diminuição da biodiversidade, perda da qualidade hídrica e modificações na paisagem (**Figura 32**) (Silva-Júnior; Nicácio; Rodrigues, 2020).

Figura 32 – Recinto sendo preparado para a carcinocultura, presente no Estuário da BHRT.



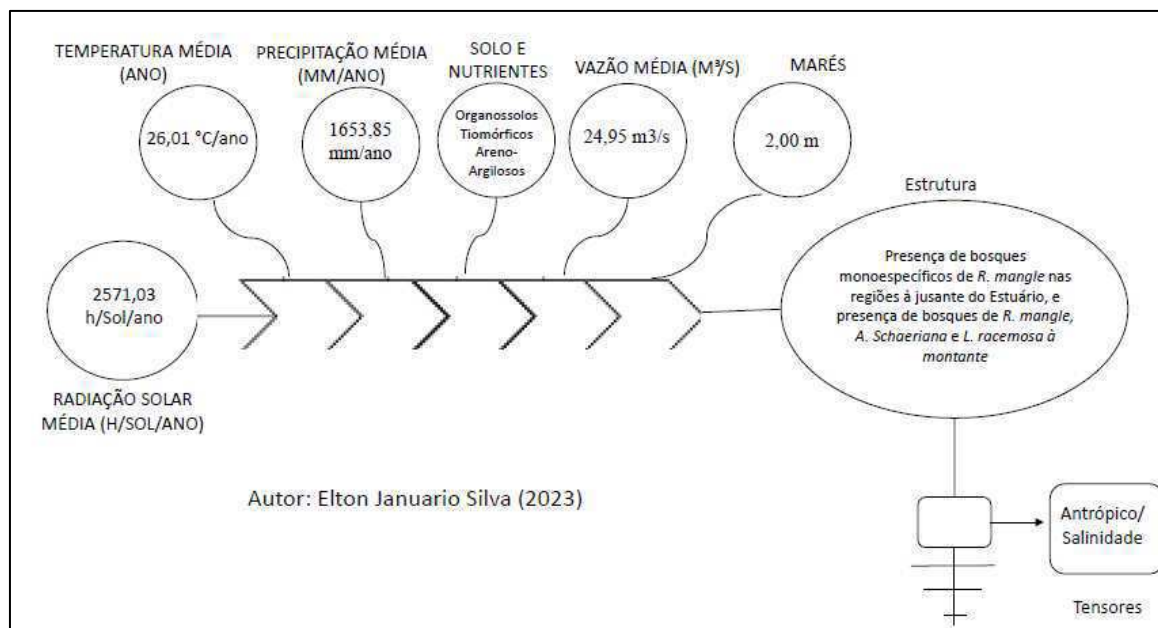
Fonte: Autores, 2022.

## **6 ESTABELECIMENTO DA ASSINATURA ENERGÉTICA**

### **6.1 ASSINATURA ENERGÉTICA.**

Com as variáveis estabelecidas, chegou-se à configuração de assinatura energética do manguezal do ERT, tendo como tensores a ação antrópica e a salinidade. (**Figura 33**):

Figura 33 – Assinatura Energética do mangue do Estuário do Rio Timbó – PE segundo o modelo de Odum (1968).



Fonte: Adaptado de Schaeffer-Novelli *et al.*, 1990.

## 6.2 VARIÁVEIS DA ASSINATURA ENERGÉTICA

### 6.2.1 Radiação Solar/Insolação e Temperatura.

Para o Estuário do Rio Timbó, o valor total da Radiação Solar para o ano de 2020 foi de 2316 h/Sol/ano, com uma média de 2571,03 h/Sol/ano. Como descrito por Silva e Torres (2021), a região do Estuário do Rio Timbó pertence a Unidade VI, que vai do Cabo Calcanhar - RN (05°08' S) ao Recôncavo Baiano - BA (13°00' S). Este valor está associado a proximidade da área, que se encontra em uma região intertropical, possuindo média de 2600 h/Sol por ano, com baixas variações ao longo do período anual. Também na **Tabela 6** foram dispostos os valores da temperatura média da região a partir do ano de 1990.

Tabela 6 - Valores de insolação anuais encontrados para a área da região do Estuário do Rio Timbó

| <b>Ano</b>  | <b>Insolação (h/Sol/ano)</b> | <b>Temperatura média (°C/ano)</b> |
|-------------|------------------------------|-----------------------------------|
| <b>1990</b> | 2462,9                       | 25,68                             |
| <b>1991</b> | 2112,5                       | 25,63                             |
| <b>1992</b> | 2350,8                       | 25,53                             |
| <b>1993</b> | 2786,2                       | 25,96                             |
| <b>1994</b> | 2538,4                       | 25,90                             |
| <b>1995</b> | 2637,2                       | 25,94                             |
| <b>1996</b> | 2620,3                       | 26,03                             |
| <b>1997</b> | 2676,3                       | 25,95                             |
| <b>1998</b> | 2784,4                       | 26,65                             |
| <b>1999</b> | 2753,4                       | 26,15                             |
| <b>2000</b> | 2354,8                       | 25,83                             |
| <b>2001</b> | 2540,1                       | 26,02                             |
| <b>2002</b> | 2317,1                       | 25,96                             |
| <b>2003</b> | 2665,7                       | 25,96                             |
| <b>2004</b> | 2401                         | 25,75                             |
| <b>2005</b> | 2635,2                       | 26,21                             |
| <b>2006</b> | 2693,9                       | 26,25                             |
| <b>2007</b> | 2584,3                       | 25,86                             |
| <b>2008</b> | 2461,7                       | 25,89                             |
| <b>2009</b> | 2525,2                       | 26,15                             |
| <b>2010</b> | 2445                         | 26,22                             |
| <b>2011</b> | 2169,2                       | 25,83                             |
| <b>2012</b> | 2411,5                       | 25,78                             |
| <b>2013</b> | 2165,2                       | 26,19                             |
| <b>2014</b> | 2208,4                       | 25,76                             |
| <b>2015</b> | 2701,1                       | 26,24                             |
| <b>2016</b> | 2563,3                       | 26,33                             |
| <b>2017</b> | 2272,6                       | 26,13                             |
| <b>2018</b> | 2465                         | 26,01                             |
| <b>2019</b> | 2512,3                       | 25,98                             |
| <b>2020</b> | 2316                         | 26,46                             |

Fonte: Elaborado pelo autor a partir de INMET (2023)

Para os valores de temperatura média encontrados, entre os anos de 1990 e 2020 foi encontrado o valor médio de 26,01°C. Este corresponde ao encontrados para o litoral pernambucano, com variações em um intervalo de mínima de 21,6 °C nos meses mais frios, chegando até os 27,2 °C em meses mais quentes (Medeiros *et al.*, 2016).

## 6.2.2 Marés e Aporte de Água Doce.

Para as marés, foi encontrado valor médio da 2,00 m. Conforme Araújo, Mineiro e Cantalice (2011), as marés na região podem atingir 2,70 m na preamar e -0,20 na baixa-mar, tendo desta forma uma amplitude previsível potencial máxima de 2,90 m. Estas variações podem ser explicadas tanto pela atração gravitacional realizada principalmente pela Lua como também pelos ventos, dependendo da direção com que o ar se desloca. Além disto, Alfredini e Arasaki (2009) citam que as correntes de maré possuem movimentos horizontais que afetam a massa líquida, ocorrendo de forma concomitante ao movimento vertical de subida (enchente) e descida (vazante), onde em certos momentos há um estacionamento destes movimentos, determinado estofa.

O aporte de água doce é representado pela vazão dos rios em conjunto a precipitação chuvosa que se apresentam na região estuarina. O valor encontrado para a vazão média mensal para a GL1 foi de 24,95 m<sup>3</sup>/s. Os dados de precipitação chuvosa para a ERT estão apresentados na **Tabela 7**, onde o valor médio encontrado foi de 1653,85 mm/ano. Durante os 26 anos, percebeu-se que os meses mais chuvosos estão entre março e julho, com o maior valor de 640 mm para junho de 2004. Nos outros meses do ano, os valores permanecem em sua grande maioria menores que 200 mm, sendo o mês de janeiro de 2004 o mais chuvoso fora do intervalo, com 344,1 mm.

Tabela 7 – Dados de precipitação chuvosa para o Estuário do Rio Timbó, entre os anos de 1994 e 2020

| Precipitação Chuvosa Mensal e Anual |         |           |       |       |       |       |       |        |          |         |          |          |           |        |
|-------------------------------------|---------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|----------|---------|----------|----------|-----------|--------|
| Ano                                 | Janeiro | Fevereiro | Março | Abril | Maió  | Junho | Julho | Agosto | Setembro | Outubro | Novembro | Dezembro | Acumulado | Média  |
| 1994                                | -       | -         | -     | 80    | 468,4 | 322   | 226,4 | 112,9  | 77,6     | 31      | 17,2     | 29,7     | 1365,2    | 113,77 |
| 1995                                | 13      | 53,7      | 189,6 | 172,7 | 366,1 | 437,4 | 355,7 | 31,2   | 11,4     | 13      | 55,8     | 10       | 1709,6    | 142,47 |
| 1996                                | 116,5   | 112       | 52    | 309,9 | 144,5 | 359,3 | 397,3 | 244,5  | 207      | 15,3    | 76,2     | 82,1     | 2116,6    | 176,38 |
| 1997                                | 10,2    | 153,8     | 205,9 | 256,8 | 409,1 | 223,4 | 106,8 | 87,8   | 13,1     | 6       | 4        | 80       | 1556,9    | 129,74 |
| 1998                                | 49      | 8,8       | 53,1  | 49,1  | -     | -     | 10    | -      | -        | -       | -        | 11       | 181       | 15,08  |
| 1999                                | -       | 55,4      | 174,1 | 47,2  | 202,7 | 152,9 | 253,9 | 145,5  | 77,1     | 84,8    | 3,3      | 51,1     | 1248      | 104,00 |
| 2000                                | 190     | 121,2     | 100,7 | 281,8 | 185,6 | 475,1 | 502,2 | 295,2  | 239,9    | 37,6    | 11,7     | 246      | 2687      | 223,92 |
| 2001                                | 80,5    | 5,6       | 107,7 | 288,8 | 32,7  | 330,8 | 293,5 | 191,5  | 113,6    | 120     | 25,6     | 25       | 1615,3    | 134,61 |
| 2002                                | 212,4   | 97        | 194,4 | 98,9  | 200,5 | 493,5 | 206,9 | 107,1  | 29,3     | 45,4    | 76,3     | 33,2     | 1794,9    | 149,58 |
| 2003                                | 57,4    | 118,1     | 422,8 | 121,2 | 157,9 | 269,8 | 230,5 | 141,1  | 60,1     | 56,3    | 22       | 55,7     | 1712,9    | 142,74 |
| 2004                                | 344,1   | 179,8     | 153,7 | 229,9 | 264,3 | 640   | 317,8 | 138    | 95,7     | 28,3    | 3,2      | 6,2      | 2401      | 200,08 |
| 2005                                | 8,6     | 47,5      | 29,6  | 81,8  | 504,6 | 778   | 164,3 | 326,5  | 12,9     | 4,1     | 7,1      | 38,1     | 2003,1    | 166,93 |
| 2006                                | 14,8    | 4,1       | 13,5  | 189,6 | 236,4 | 335,8 | 167,2 | 87,9   | 39,1     | 4,7     | 7,5      | 5,7      | 1106,3    | 92,19  |
| 2007                                | 61,1    | 153,9     | 73,4  | 157,2 | 220,9 | 395,9 | 231,8 | 191,7  | 132,8    | 19,1    | 10,4     | 33,6     | 1681,8    | 140,15 |
| 2008                                | 49,2    | 29,5      | 151,1 | 224,5 | 228,6 | 384   | 256,7 | 271,3  | 49,2     | 24,8    | 5,4      | 14,5     | 1688,8    | 140,73 |
| 2009                                | 57,9    | 307,9     | 167,1 | 430,7 | 377,3 | 219,4 | 316,4 | 146,3  | 84,9     | 5,1     | 10,6     | 21,1     | 2144,7    | 178,73 |
| 2010                                | 83,5    | 44,4      | 69,2  | 188,4 | 142,8 | 258,4 | 158,4 | 43,7   | 52,2     | 15,9    | 10,1     | 46,4     | 1113,4    | 92,78  |
| 2011                                | 173     | 151,8     | 38,1  | 5,3   | 303,4 | 261,4 | 609,6 | 191,4  | 24,6     | 29,7    | 13,4     | 15,1     | 1816,8    | 151,40 |
| 2012                                | 221,5   | 144,3     | 103,4 | 53    | 117,3 | 390,6 | 233,8 | 136,7  | 12,4     | 33,7    | 4,4      | 33,4     | 1484,5    | 123,71 |
| 2013                                | 74,6    | 45,6      | 108,7 | 174,5 | 252,6 | 373   | 388,4 | 149,3  | 167,8    | 44,6    | 64,7     | 96,1     | 1939,9    | 161,66 |
| 2014                                | 110,8   | 161       | 90,5  | 77    | 112,3 | 285,2 | 201,8 | 169,7  | 270      | 86,2    | 42,1     | 52       | 1658,6    | 138,22 |
| 2015                                | 37,2    | 47,2      | 217,7 | 68    | 126,3 | 332   | 334   | 93     | 25,9     | 5,2     | 24,1     | 131,3    | 1441,9    | 120,16 |
| 2016                                | 75,9    | 51,4      | 158,1 | 249,2 | 491,8 | 148,8 | 79,4  | 36,3   | 51,1     | 10,4    | 13,7     | 32,7     | 1398,8    | 116,57 |
| 2017                                | 45,1    | 32,3      | 225,3 | 213,1 | 254,2 | 343,4 | 388   | 89,9   | 72,8     | 29,4    | 4,5      | 40,6     | 1738,6    | 144,88 |
| 2018                                | 122,1   | 55,1      | 221,2 | 517,9 | 159,5 | 136,4 | 135,5 | 32,9   | 59,1     | 13,1    | 51       | 21,6     | 1525,4    | 127,12 |
| 2019                                | 85,3    | 104,5     | 219,6 | 171,5 | 158   | 372,6 | 484,6 | 206,3  | 77,3     | 77,5    | -        | 18,2     | 1975,4    | 164,62 |
| 2020                                | 2,7     | 51,5      | 75,9  | 328   | 291,4 | 286,9 | 269,1 | 87,7   | 79,2     | 13,6    | 31,9     | 29,9     | 1547,8    | 128,98 |

Fonte: Elaborada pelo autor com dados próprios.

### 6.2.3 Solo e Nutrientes

Os solos da ERT foram classificados como Organossolos Tiomórficos, ou seja, solos constituídos principalmente por matéria orgânica no horizonte hístico (horizonte que possui coloração preta ou cinza, resultante do acúmulo de matéria orgânica em diversos graus de decomposição) e presença de materiais sulfídricos até 100 cm a partir da superfície do solo. Como observado na **Tabela 8**, o grupo textural predominante encontrado em todas as parcelas foi o areno-argiloso.

Tabela 8 – Texturas presentes no solo do Estuário do Rio Timbó

| Parcela    | Textura   |           |            |
|------------|-----------|-----------|------------|
|            | Areia (%) | Silte (%) | Argila (%) |
| <b>P1</b>  | 62,00     | 18,00     | 20,00      |
| <b>P2</b>  | 60,00     | 19,00     | 21,00      |
| <b>P3</b>  | 50,00     | 24,00     | 26,00      |
| <b>P4</b>  | 48,00     | 25,00     | 27,00      |
| <b>P5</b>  | 59,00     | 19,00     | 22,00      |
| <b>P6</b>  | 54,00     | 19,00     | 27,00      |
| <b>P7</b>  | 61,00     | 18,00     | 21,00      |
| <b>P8</b>  | 56,00     | 20,00     | 24,00      |
| <b>P9</b>  | 56,00     | 19,00     | 25,00      |
| <b>P10</b> | 59,00     | 18,00     | 23,00      |

Fonte: Elaborada pelo autor com dados próprios.

Após a análise físico-química do solo (**Tabelas 9 e 10**) das amostras obtidas, observa-se que a quantidade de matéria orgânica presente nas amostras é considerada alta em todas as parcelas, porém com média ou baixa presença de carbono orgânico. É comum verificar esta diferença nos solos de mangue, devido ao grande aporte de biomassa vegetal resultante da frequente deposição da serapilheira e outros resíduos vegetais advindos dos rios que, em condições anaeróbicas devido à alta saturação, são submetidas a anoxia (Andrade, 2013).

Tabela 9 – Análise de matéria orgânica, pH, carbono e macronutrientes presentes no solo do Estuário do Rio Timbó.

| Macronutrientes |           |                      |                      |  |                    |   |                                |                            |
|-----------------|-----------|----------------------|----------------------|--|--------------------|---|--------------------------------|----------------------------|
| Parcela         | PH - Água | Matéria Orgânica (%) | Carbono Orgânico (%) | N (Amoniacal) - Nitrogenio Total (mg/dm <sup>3</sup> ) | P - Fósforo (mg/L) | K - Potássio Disponível (mg/dm <sup>3</sup> ) | H + Al (cmol/dm <sup>3</sup> ) | Ca (cmol/dm <sup>3</sup> ) |
| P1              | 5,20      | 26,48                | 15,22                | 1,32   | 27,86              | 424,00  | 9,18                           | 3,84                       |
| P2              | 4,70      | 32,29                | 18,56                | 1,62   | 82,55              | 2971,00                                       | 13,79                          | 6,32                       |
| P3              | 4,60      | 30,26                | 17,39                | 1,51   | 100,17             | 714,00  | 10,36                          | 3,28                       |
| P4              | 5,80      | 25,95                | 14,91                | 1,30   | 83,53              | 544,70  | 2,65                           | 5,52                       |
| P5              | 5,20      | 11,50                | 6,61                 | 0,58   | 17,71              | 1975,00                                       | 4,22                           | 1,68                       |
| P6              | 4,80      | 32,42                | 18,63                | 1,62   | 38,47              | 1160,00                                       | 7,22                           | 3,68                       |
| P7              | 4,40      | 10,93                | 6,28                 | 0,55   | 22,05              | 708,00  | 4,58                           | 1,60                       |
| P8              | 4,90      | 14,67                | 8,43                 | 0,73   | 41,17              | 2898,00                                       | 4,27                           | 2,72                       |
| P9              | 7,20      | 32,06                | 18,43                | 1,60   | 4,50               | 737,00  | 0,27                           | 7,60                       |
| P10             | 6,50      | 24,43                | 14,04                | 14,04  | 35,33              | 586,00  | 3,48                           | 4,88                       |

| Parcela | Mg (cmol/dm <sup>3</sup> ) | Al (cmol/dm <sup>3</sup> ) | Na (cmol/dm <sup>3</sup> ) | S (mg/dm <sup>3</sup> ) |
|---------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|
| P1      | 0,72                       | 0,66                       | 0,90                       | 3,90                    |
| P2      | 4,72                       | 0,16                       | 1,30                       | 4,60                    |
| P3      | 2,48                       | 0,30                       | 1,40                       | 4,00                    |
| P4      | 0,08                       | 0,01                       | 0,70                       | 1,39                    |
| P5      | 0,56                       | 0,10                       | 0,80                       | 2,25                    |
| P6      | 2,16                       | 0,13                       | 1,60                       | 3,15                    |
| P7      | 2,32                       | 0,29                       | 0,90                       | 2,81                    |
| P8      | 2,00                       | 0,15                       | 0,70                       | 2,48                    |
| P9      | 0,24                       | 0,01                       | 0,30                       | 0,50                    |
| P10     | 1,68                       | 0,02                       | 0,90                       | 3,20                    |

Fonte: Elaborada pelo autor com dados próprios.

Tabela 10 – Análise de micronutrientes presentes no solo do Estuário do Rio Timbó.

| Micronutrientes |                            |                             |                             |                             |                             |                             |
|-----------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Parcela         | B<br>(mg/dm <sup>3</sup> ) | Cu<br>(mg/dm <sup>3</sup> ) | Zn<br>(mg/dm <sup>3</sup> ) | Fe<br>(mg/dm <sup>3</sup> ) | Mo<br>(mg/dm <sup>3</sup> ) | Mn<br>(mg/dm <sup>3</sup> ) |
| P1              | 1,00                       | 23,80                       | 0,01                        | 17,00                       | 0,11                        | 32,20                       |
| P2              | 1,60                       | 26,60                       | 0,01                        | 36,00                       | 0,16                        | 24,50                       |
| P3              | 2,80                       | 18,20                       | 0,01                        | 35,00                       | 0,33                        | 23,00                       |
| P4              | 0,80                       | 19,70                       | 0,01                        | 55,00                       | 0,35                        | 36,40                       |
| P5              | 1,10                       | 20,80                       | 0,01                        | 37,00                       | 0,10                        | 13,70                       |
| P6              | 0,45                       | 43,70                       | 0,10                        | 63,80                       | 0,68                        | 44,90                       |
| P7              | 0,50                       | 24,10                       | 0,08                        | 81,00                       | 0,23                        | 12,20                       |
| P8              | 0,46                       | 19,30                       | 0,01                        | 27,00                       | 0,22                        | 45,60                       |
| P9              | 0,10                       | 0,20                        | 0,10                        | 10,30                       | 0,15                        | 22,90                       |
| P10             | 0,41                       | 48,30                       | 0,01                        | 40,00                       | 0,24                        | 34,80                       |

Fonte: Elaborada pelo autor com dados próprios

Os valores de fósforo variaram de 4,50 a 100,17 mg/dm<sup>3</sup>, com os maiores valores encontrados para as parcelas 3, 4 e 2 consecutivamente. A presença deste macronutriente nas localizações estudadas parece não ter relação direta com a sua distribuição, pois em duas das três parcelas há a presença de *R. mangle*, *A. schaueriana* e *L. racemosa*, sendo que a parcela 4 apresenta bosque monoespecíficos de *R. mangle*. Vila Nova (2013) encontrou os valores de 3 mg/dm<sup>3</sup> a 24 mg/dm<sup>3</sup> para as áreas próximas a esta espécie, porém encontrou valores semelhantes em áreas com *A. schaueriana* e *L. racemosa*, não encontrando relação visível de suas distribuições na parcela com este elemento.

Em relação aos valores de nitrogênio encontrados, a parcela 10 demonstrou-se a que contém maior presença deste elemento, com 14,04 mg/dm<sup>3</sup>. Esta parcela se apresenta próxima a região das instalações de um parque aquático, localizado na cidade de Paulista, PE. Também há próximo um conjunto residencial, que faz limite com a vegetação de mangue. É possível que interferência antrópica possa estar contribuindo para a que haja excesso deste elemento, sendo as principais fontes o despejo do esgoto doméstico e industrial. Esta situação causa a perda da biodiversidade, bem como a eutrofização das águas, ao longo do tempo (Sarmiento, 2019).

Para os valores de potássio presentes nas amostras, as parcelas que apresentaram quantidades elevadas do elemento foram a 2, 8 e 5. Estas se situam nas partes mais interiores do manguezal do ERT, com a presença das três espécies de mangue, sendo a *R. mangle* em menores valores. O potássio é um macronutriente de bastante importância para as plantas de mangue, pois, em conjunto o sódio, é responsável pela sua regulação osmótica, síntese de



proteínas, carboidratos, etc. Em ambientes hipersalinos, este elemento auxilia a formar o potencial elétrico necessário para absorção da água pelas plantas, devido à alta concentração de sais. Sua participação efetiva na abertura e fechamento dos estômatos influencia diretamente na diminuição da perda de umidade para o ambiente. (Andrade, 2013)

Os valores de pH das Parcelas de 1 a 8 foram considerados de acidez média ou elevada (entre 4,4 e 5,8), com destaque para Parcela 7, com o maior teor de acidez. Esta localiza-se próximo a uma fábrica de cimentos que realiza a extração de calcário da região próxima ao local da coleta. Além disto, o mesmo local é também próximo ao bairro de Nossa Senhora da Conceição, em Paulista-PE, onde diversas residências fazem o descarte direto de esgoto na região estuarina. Em locais de alta perturbação antrópica, os valores de pH tendem a serem mais ácidos, devido ao desequilíbrio dos processos de oxirredução (Andrade, 2013). Para as Parcelas 9 e 10, foram encontrados os menores valores de pH. Estes valores mais baixos provavelmente estão correlacionados a maior frequência de inundação e diferenças microtopográficas presentes na região da foz da ERT (Andrade, 2013).

Foram também encontrados altos índices de Cobre (Cu) e Manganês (Mn) para as Parcelas, menos a Parcela 9. As atividades industriais em conjunto as urbanas supracitadas são as principais causadoras da contaminação do ERT, sendo que a atividade mineradora na região causadora de pressão nos solos, remoção de vegetação remanescente, poluição hídrica, aérea, lixo e esgoto. (Correia, 2002).

#### 6.2.4 Influências Antrópicas

De acordo com a análise geoambiental realizada na BHRT, é possível constatar que há uma intensa interferência antrópica em toda a sua extensão, no que tange principalmente as áreas próximas ao Estuário (tensor antrópico). Estas regiões são ocupadas principalmente por moradias e empresas, que usaram as áreas ao redor da região para se estabelecerem. Na região da desembocadura do estuário (Zona Estuarina Inferior), existem diversas casas de veraneio e marinas, que outrora foram áreas de forte presença do ecossistema manguezal (**Figura 34**). O exacerbado crescimento demográfico aliado a baixas condições financeiras faz com que as populações se desloquem em busca de outros locais para ocuparem, indo para as regiões de manguezais, o que resulta em desmatamento, expansão urbana desordenada, deposição de esgoto e resíduos sólidos sem tratamento e pesca predatória, aumentando concomitantemente ao crescimento da população e atividades econômicas. (Leal *et al.*, 2017; Lopes, 1999).

Figura 34 – Zona Estuarina Inferior do ERT, onde se apresentam diversas residências e marinas.



Fonte: Autor, 2023.

Próximo as áreas de mangue, foram constatados alguns criadouros de camarão. Estes empreendimentos geralmente estão instalados em áreas mais a montante do estuário (Zona Estuarina Inferior) (**Figura 35**).

Figura 35 – Exemplo de criadouro de camarão presente na região da ERT.



Fonte: Autor, 2023.

As instalações destes criadouros próximos as áreas de manguezais, sem a devida regulação pelos órgãos ambientais, degeneram os solos de mangue. Isto é causado pela redução da entrada de água salgada advinda das marés nas regiões mais a jusante do estuário, causando desta forma um desequilíbrio ambiental, o que reflete no crescimento e na distribuição das espécies de mangue locais. Eles também são responsáveis pela diminuição do acúmulo do carbono em seus solos, em resposta a remoção da vegetação para instalação e diminuição em seu crescimento; e acúmulo de nutrientes através do descarte de efluentes, causando eutrofização. No nordeste brasileiro, estima-se que 15% das áreas de mangue foram convertidas em criadouros, sem contabilizar as inúmeras áreas que foram modificadas em canais para o seu abastecimento, alterando a dinâmica hidrológica devido a erosão e sedimentação dos cursos d'água que as compõem. (Ferreira; Lacerda, 2016; Lacerda *et al.*, 2021; Perez *et al.*, 2020; Hong, 1996).

Desta forma, é possível perceber a ação antrópica como estressor da presença da vegetação do mangue em todo o Estuário do Rio Timbó.

#### 6.2.5 Análise Fitossociológica e Zonação

Através do trabalho de campo realizado nas dez parcelas, foi possível compreender a zonação das espécies de mangue ao longo do ERT, sendo possível identificar suas características fitossociológicas. Ao longo do perfil do manguezal, foram identificadas três espécies de mangue: *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* e *Avicennia schaueriana*.

Na **Tabela 11**, têm-se os valores encontrados e calculados para as espécies de mangue do ERT, de acordo com a metodologia de Schaeffer-Novelli e Vale e Cintrón, (2015).

Tabela 11 - Dados fitossociológicos dos espécimes de mangue encontrados nas parcelas analisadas no Estuário do Rio Timbó.

| Parcela | Altura Média (m) | Área Basal (g) (m <sup>2</sup> ) | Área Basal por Classe (g) (m <sup>2</sup> ) |          |          | Área Basal Por Espécie (g) (m <sup>2</sup> ) |      |      |
|---------|------------------|----------------------------------|---|----------|----------|--|------|------|
|         |                  |                                  | Classe 1                                    | Classe 2 | Classe 3 | AS   | LR   | RM   |
| P1      | 6,02             | 2,58                             | 0,00  | 0,06     | 2,52     | 0,29   | 2,29 | 0,00 |
| P2      | 6,16             | 0,73                             | 0,00  | 0,12     | 0,66     | 0,37   | 0,34 | 0,02 |
| P3      | 4,69             | 0,73                             | 0,00  | 0,09     | 0,37     | 0,24   | 0,17 | 0,74 |
| P4      | 8,89             | 0,73                             | 0,00  | 0,03     | 1,98     | 0,00   | 0,00 | 2,01 |
| P5      | 4,44             | 0,54                             | 0,00  | 0,29     | 0,29     | 0,19   | 0,27 | 0,07 |
| P6      | 8,82             | 1,48                             | 0,00  | 0,21     | 0,54     | 0,74   | 0,40 | 0,34 |
| P7      | 5,28             | 1,35                             | 0,01  | 0,15     | 1,19     | 0,00   | 0,07 | 1,27 |
| P8      | 5,63             | 1,13                             | 0,00  | 0,16     | 1,04     | 0,22   | 0,73 | 0,18 |
| P9      | 10,38            | 1,72                             | 0,00  | 0,05     | 1,66     | 0,00   | 0,00 | 1,72 |
| P10     | 8,36             | 0,65                             | 0,00  | 0,03     | 0,62     | 0,00   | 0,00 | 0,65 |

|     | DRp (%)  |          |          | DoRp (%) |          |          | DRe (%) |       |        | DoRe (%) |       |        | IVC (%) |       |        |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------|-------|--------|----------|-------|--------|---------|-------|--------|
|     | Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | AS      | LR    | RM     | AS       | LR    | RM     | AS      | LR    | RM     |
| P1  | 7,25     | 39,13    | 53,62    | 0,05     | 2,52     | 97,44    | 21,74   | 76,81 | 1,45   | 11,26    | 88,71 | 0,04   | 16,50   | 82,76 | 0,74   |
| P2  | 2,70     | 50,00    | 47,30    | 0,11     | 16,51    | 91,63    | 50,72   | 42,03 | 2,90   | 46,87    | 42,60 | 2,62   | 48,80   | 42,60 | 2,62   |
| P3  | 14,18    | 58,21    | 27,61    | 0,51     | 14,54    | 88,35    | 18,66   | 14,93 | 64,18  | 20,78    | 15,00 | 64,23  | 19,72   | 14,96 | 64,20  |
| P4  | 6,90     | 46,55    | 46,55    | 0,07     | 1,68     | 98,25    | 0,00    | 0,00  | 100,00 | -        | -     | 100,00 | -       | -     | 100,00 |
| P5  | 0,36     | 73,87    | 22,52    | 0,21     | 49,84    | 49,95    | 27,93   | 46,85 | 14,41  | 32,81    | 46,64 | 12,75  | 30,37   | 46,74 | 13,58  |
| P6  | 0,81     | 54,03    | 45,16    | 0,01     | 14,47    | 85,52    | 59,68   | 25,81 | 14,52  | 49,62    | 27,22 | 23,16  | 54,65   | 26,51 | 18,84  |
| P7  | 15,79    | 48,68    | 35,53    | 0,51     | 11,23    | 88,26    | 1,32    | 4,61  | 94,08  | 0,12     | 5,51  | 94,38  | 0,72    | 5,06  | 94,23  |
| P8  | 8,60     | 47,31    | 44,09    | 0,20     | 13,88    | 91,52    | 19,35   | 36,56 | 32,26  | 18,73    | 60,72 | 15,24  | 19,04   | 48,64 | 23,75% |
| P9  | 15,87    | 22,22    | 61,90    | 0,02     | 3,01     | 96,96    | 0,00    | 0,00  | 100,00 | -        | -     | 100,00 | -       | -     | 100,00 |
| P10 | 0,00     | 16,67    | 83,33    | 0,00     | 5,11     | 94,89    | 0,00    | 0,00  | 100,00 | -        | -     | 100,00 | -       | -     | 100,00 |

Fonte: Elaborado pelo autor com dados próprios.

Para a Altura Média, o maior valor encontrado foi de 10,38 m, na Parcela 9. Também foi possível perceber que os maiores valores de altura mensurados são dos bosques monoespecíficos ou de maioria de *R. mangle*, com exceção da Parcela 6, que possui maior presença de *A. schaueriana* e Altura média de 8,82 m. Nesta mesma parcela, o IVC para a última espécie foi de 54,65%, demonstrando o seu alto grau de desenvolvimento na região. *R. mangle* possui alturas que variam entre 9 e 12 m, com espécimes possuindo até 21 metros, como encontrados no Sul da Flórida, e 40 m, em Cayapas Mataje, Equador (Gill e Tomlinson, 1969; Hamilton *et al.*, 2017).

Foi observada a presença de bosques monoespecíficos da espécie *R. mangle* nas parcelas 4, 9 e 10 do ERT, com valores de DoRe e IVC de 100% para todas. As duas últimas parcelas se encontram em regiões mais próximas da foz do estuário, enquanto a 4 está presente na ilha central do local, principal ambiente de convergência do fluxo de água dos rios com o mar. Esta monoespecificidade pode estar ligada ao maior gradiente de inundação nesta região dos estuários, onde a *R. mangle* geralmente está presente em locais de maior variação da concentração salina, possivelmente por sua capacidade de ultrafiltração (absorção de grandes quantidades de água para dissolução do sal, além das raízes escora, que evitam boa parte de sua exposição ao ambiente hipersalino (Cuzzuol e Campos, 2001; Sgarbi *et al.*, 2013; Melo; Soriano-Sierra; Veado, 2011).

As Parcelas 1 e 5 apresentam a predominância da espécie *L. racemosa*, enquanto as parcelas 2 e 6, de *A. schaueriana*. Isto é evidenciado através dos valores de DoRe e IVC para estas espécies nestas Parcelas, que são 88,71% e 82,76% na Parcela 1 e 44,64% e 46,74%, respectivamente. No estuário estudado, os indivíduos destas espécies se apresentam em maior número à montante dos rios, onde o gradiente de inundação é menor. Ambas espécies foram encontradas em outros estuários nas suas regiões baixa e média, geralmente associadas ou formando bosques específicos. Elas possuem glândulas excretoras de sal e a compartimentalização em vacúolos celulares que mantêm o seu equilíbrio iônico, conferindo-as mais tolerância à ambientes hipersalinos. (Costa; Rocha; Cestaro, 2014; Londe *et al.*, 2013; Melo; Soriano-Sierra; Veado, 2011; Nascimento *et al.*, 2021).

Desta forma, percebe-se que à medida que se aumenta o distanciamento da desembocadura do estuário, há também a modificação da distribuição das espécies presentes nos manguezais remanescentes, indicando que o principal componente local que dita esta distribuição é a salinidade. Isto é perceptível quando se observa os bosques monoespecíficos de *R. mangle*, que praticamente dominam as regiões com mais influência do mar e que,

consequentemente, possuem mais amplitudes de marés, como citado anteriormente. Outrossim, observa-se que as espécies *L. racemosa* e *A. schaueriana* competem pelas áreas mais a montante, de água doce. Esta situação pode ser observada através das Parcelas 1, há maior presença de *L. racemosa* (IVC 82,76%) e 6, com maior presença de *A. schaueriana* (IVC 54,65%). No entanto, os tensores antrópicos também podem influenciar na distribuição das espécies, não podendo ser descartados (Petri *et al.*, 2011).

Em relação a Área Basal por Classe, a Classe 3 obteve os maiores valores de em todas as parcelas, enquanto o maior valor desta mesma variável por Espécie foi encontrado na Parcela 1, para *L. racemosa*. Esta demonstra-se uma espécie de maior crescimento em diâmetro de tronco ao longo do tempo, chegando a crescer até 0,3 mm por ano a mais que as outras espécies, principalmente em seu estágio inicial. Isto reflete diretamente na área basal dos bosques, podendo estar correlacionado a esta característica de crescimento no ecossistema manguezal. (Queiroz *et al.*, 2013). Além disto, é possível desta forma considerar todas as áreas de mangue como adultas, pois possuem Área Basal em sua maioria presentes em indivíduos com o DAP maior que 10 cm.

## 7 CONCLUSÃO

A Bacia Hidrográfica do Rio Timbó possui uma área total de 9546,26 ha. Possui uma hierarquia fluvial classificada até a quarta ordem, e coeficiente de compacidade 2,183, indicando baixa tendência a enchentes. Seu índice de sinuosidade foi de 1,29, considerado pouco sinuoso. Sua densidade de drenagem possui o valor de 1,829 km/km<sup>2</sup>, caracterizando uma drenagem regular.

A Hipsometria da Bacia mostrou três faixas distintas, onde a faixa com entre 75 e 5 m de altitude possui maior ocupação antrópica. Nesta região também se encontra todo o Estuário do Rio Timbó, cerceado de empreendimentos e residências. O Estuário, por sua fisionomia, é classificado como de Planície Costeira. A Declividade da Bacia varia entre Escarpado e Plano, com a maioria do seu relevo sendo considerado Suave Ondulado. Nos locais com maiores declividades os cursos d'água da região tomam forma, até atingirem as regiões mais baixas e o Estuário.

As formações geológicas Barreiras e Gramame são as mais presentes ao longo da Bacia, onde a Barreiras toma mais espaço. A formação Gramame, por ser sedimentar, compõe maior

parte da região estuarina, visto que sua sedimentação aconteceu durante o período Maastrichtiano, mais recente, e que apresenta características de locais litorâneos.

Diversos tipos de solos compõem a região da BHRT, com a presença de Argissolos e Latossolos nas áreas mais a oeste, e Neossolos, Espodossolos e Solos de Mangue na região do Estuário. Os Solos de Mangue ocupam a área onde há a presença do manguezal. Em relação ao uso e ocupação destes solos, há uma intensa ocupação antrópica, principalmente nas terras próximas ao estuário, com destaque a orla da região, densamente ocupada.

Em relação a Assinatura Energética do ERT, foi constatado que os principais tensores que influenciam na distribuição e presença da vegetação de mangue no Estuário do Rio Timbó são a Salinidade e a o Antrópico. A influência da Salinidade é percebida pela distribuição das espécies, onde *R. mangle* possui bosques monoespecíficos nas regiões mais à jusante, regiões estas mais influenciadas pela amplitude das marés, enquanto as regiões à montante dos rios, é percebida a presença de bosques mistos da espécie supracitada com *A. schaueriana* e *L. racemosa*.

A presença de ocupações humanas que tomam as áreas através do desmatamento, descarte de efluentes advindos e de empresas e residências e uso de diversas localizações ao longo da região estuarina como criadouros de camarão demonstram a intensa pressão que estas áreas sofrem, o que impacta diretamente no arranjo do manguezal do Estuário do Rio Timbó. Desta forma, são necessárias ações do poder público, com a intenção de se mitigar este tipo de pressão, pressupondo-se a importância ambiental que estes locais possuem, além do arcabouço legal que os protegem.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Bacias Hidrográficas GL-1**. Disponível em: <https://www.apac.pe.gov.br/184-bacias-hidrograficas-gl-1/222-gl-1>. Acesso em 05 jun. 2023.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA (APAC). **Relatório de Situação de Recursos Hídricos Do Estado de Pernambuco**. Disponível em: <https://www.lai.pe.gov.br/apac/wp-content/uploads/sites/9/2019/03/Relat%C3%B3rio-de-situa%C3%A7%C3%A3o-de-recursos-h%C3%ADricos-do-Estado-de-Pernambuco-APAC-2011-2012.pdf>. Acesso em 06 ago. 2023.

AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. **Monitoramento pluviométrico**. 2021. Disponível em <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>. Acesso em 23 ago. 2021.

ALFREDINI, P.; ARASAKI, E. **Obras e gestão de portos e costas: a técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental**. 2. Ed. São Paulo: Editora Edgard Blücher, 2009.

ALMEIDA, R. **Manguezal do canal da Passagem, Vitória, Espírito Santo: conteúdo e transferência de nutrientes na fração folhas da serapilheira**. 2001 Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, 2001.

ALMEIDA, R.; CLEMENTE JÚNIOR, C. Manguezal e serviços ecossistêmicos. **Atlas dos Manguezais**. p.85-96. 2018.

ALONGI, D. M. Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 76, n. 1, p. 1–13, 2008.

ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, v. 30, p. 46-57, 2010.

ANDRADE, K. V. S. **A dinâmica físico-química de solos de florestas de mangue em Sergipe, Nordeste do Brasil**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Sergipe, 2013.



- ANDRADE, V. M. S. **Fluxos de CO<sub>2</sub>, vapor d'água e de energia em um ecossistema de manguezal em Bragança-PA**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, 2005.
- ARAÚJO, A. M.; MINEIRO, A. L. B.; CANTALICE, J. R. B. Estimativa do potencial de sedimentação e erosão: caso Manguezal do Pina, Recife (PE). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 16, n. 2, p. 133–140, 2011.
- ARAÚJO, A. M.; MINEIRO, A. L. B.; CANTALICE, J. R. B. Estimativa do potencial de sedimentação e erosão: caso Manguezal do Pina, Recife (PE). **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 16, p. 133-140, 2011.
- ARAÚJO, L. E.; SOUZA, F.; MORAIS NETO, J. M.; SOUTO, J. S. Bacias hidrográficas e impactos ambientais. **Qualit@s**, v. 8, p. 1-18, 2009.
- ARRUDA, G. Bacias hidrográficas, história ambiental e temporalidades. **Revista de História Regional**, v. 20, n. 2, 2015.
- BANN, C. **The economic valuation of mangroves: a manual for researchers**. Economy and Environment Program for Southeast Asia, 1998.
- BARBOSA M. J. O. **Estudos sedimentológicos do estuário do Rio Timbó-PE**. Dissertação (Mestrado em geociências) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, 2006.
- BARRETO, A. D. *et al.* Relações socioambientais nas áreas de manguezais na cidade de Magé no estado do Rio de Janeiro. **Revista Augustus**, v. 25, n. 50, p. 92–110, 2020.
- BARROS, A. B. *et al.* Caracterização e biodisponibilidade de metais no mangue da Foz do Rio Meirim, Maceió-AL. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 2, p. 20133-20147, 2021.
- CARVALHO, A. T. F. Bacia hidrográfica como unidade de planejamento: discussão sobre os impactos da produção social na gestão de recursos hídricos no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 1, n. 42, p. 140–161, 2020.
- CARVALHO, A. V. *et al.* Valoração econômica contingente dos recursos ambientais do ecossistema manguezal em São Caetano de Odivelas (PA). **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 6, p. 409–427, 2018.
- CARVALHO, E A.; JARDIM, M. A. G. Composição e estrutura florística em bosques de manguezais paraenses, Brasil. **Ciência Florestal**, v. 27, p. 923-930, 2017.

- CARVALHO, E. A.; JARDIM, M. A. G. Usos sociais do manguezal por comunidades tradicionais no estado do Pará, Brasil. **Biota Amazônia**. v. 9, n. 2, p. 43-46, 2019.
- CASSIANO, L. A. **Pagamento por serviços ambientais: uma alternativa para a preservação das áreas de mangue do estuário do rio Paraíba**. Monografia—Paraíba: Universidade Federal da Paraíba, 2016.
- CHELIZ, P. M., RODRIGUES, J. A., LADEIRA, F. S. B. **O papel do meio físico e relevo na ocupação humana: potencialidades, vulnerabilidades e impactos ambientais (enchentes, erosão e assoreamento) na trajetória histórica da região de Araraquara (SP)**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 16, 584-632, 2023. DOI: 10.26848/rbgf.v16.1.p584-632.
- CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgard Blüncher, 2017.
- CINTRON, G. *et al.* Mangroves of arid environments in Puerto Rico and adjacent islands. **Biotropica**, p. 110-121, 1978.
- CINTRON, G.; SCHAEFFER NOVELLI, Y. Methods for studying mangrove structure. **Monographs on oceanographic methodology**, v. 8, p. 91-113, 1984.
- CIRILO, J. A. *et al.* Suporte de informações georreferenciadas de alta resolução para implantação de infraestrutura e planejamento territorial. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 4, p. 755-763, 2014.
- CLAUDINO-SALES, V.; LIMA, E. C.; DINIZ, S. F. Análise geoambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Acaraú, Ceará, nordeste do Brasil. **Revista Geonorte**, v. 11, n. 38, p. 90-109, 2020.
- COELHO, A. C. *et al.* Impactos causados por tensores de origem antrópica no manguezal do Araçagy-Ilha de São Luís-MA. *In: VIII Congresso de Ecologia do Brasil, Caxambu – Mg. Anais [...]*. 2007.
- COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. Hidrologia para engenharia e ciências ambientais. **Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 1, p. 336, 2013.
- CORREIA, V. L. **O Bosque de mangue do estuário do rio Timbó, estado de Pernambuco, Brasil: características estruturais e vulnerabilidades da área frente às tensões antrópicas**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, Paraíba, 2002.

COSTA, D. F. S.; ROCHA, R. M.; CESTARO, L. A. Análise fitoecológica e zonação de manguezal em estuário hipersalino. **Mercator (Fortaleza)**, v. 13, p. 119-126, 2014.

COSTA, D. F. S. **Serviços ecossistêmicos prestados pelos manguezais do Rio Grande do Norte (nordeste do Brasil)**. Os desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. **Anais...** In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. Campinas - SP: 2017.

COSTA, D. F. S. Serviços ecossistêmicos prestados pelos manguezais do Rio Grande do Norte (nordeste do Brasil). Os desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento. *In*: XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Campinas, São Paulo, 2017. **Anais [...]**. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2017.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DE CONTROLE DA POLUIÇÃO AMBIENTAL E DE ADMINISTRAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS. **Diagnóstico socioambiental do litoral norte de Pernambuco**. Recife, 2003, 214p.

COMPANHIA PERNAMBUCANA DE CONTROLE DA POLUIÇÃO AMBIENTAL E DE ADMINISTRAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS – CPRH. **Unidade de conservação – FURB Mata de São Bento**. Disponível em <http://www2.cprh.pe.gov.br/uc/furb-mata-sao-bento/>. Acesso em 27 ago. 2022.

DUARTE, C. C., ARRUDA NÓBREGA, J. V. **Cartografia da vulnerabilidade socioambiental da área urbana do município de Abreu e Lima-PE**. Revista de Geografia (Recife), v. 38, n. 2, 2021. DOI: 0.51359/2238-6211.2021.248656.

CUZZUOL, G. R. F.; CAMPOS, A.. Aspectos nutricionais na vegetação de manguezal do estuário do Rio Mucuri, Bahia, Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 24, p. 227-234, 2001.

DUARTE, R. *et al.* O incrível fenômeno das marés: uma onda oceânica. **Revista Biologia Marinha de Divulgação Científica**, v. 1, n. 1, p. 20-28, 2018.

ENCINA, C. C. C. *et al.* Geotecnologias aplicadas à análise ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Olho d' Água, município de Jardim, Mato Grosso do Sul-Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 41, n. 2, p. 577-584, 2018.

ESTER, W. B. L. **Ocupação humana em áreas de manguezal: o caso do manguezal de Palhoça, SC**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

FARIA, M. T. P. *et al.* Entre naturalistas e cronistas: viajantes que percorreram o norte-fluminense entre os séculos XVII e XIX, suas respectivas percepções do “Novo Mundo” e a expansão biológica na região. **Mundo Livre: Revista Multidisciplinar**, v. 6, n. 1, p. 93-109, 2020.

FARIAS FILHO, M. S. F.; BUENO, C. R. P.; VALLADARES, G. S. Caracterização e classificação de solos hidromórficos sobre os aluviões fluviomarinhos no município de Arari - MA. **Revista RA’EGA**, v. 47, n. 1, p. 85–98, 2020

FERNANDEZ, V. **Para onde vamos com o sequestro de carbono?** A rede sociotécnica do carbono assimilado por manguezais. 2014. Tese (Doutorado em Meio Ambiente) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

FERREIRA, A. C.; LACERDA, L. D. Degradation and conservation of Brazilian mangroves, status and perspectives. **Ocean & Coastal Management**, v. 125, p. 38-46, 2016.

FRANCISCHETT, M. N.; BIZ, A. C. O mapa hipsométrico no estudo dos continentes. **Signos Geográficos**, v. 2, 2020.

FRUEHAUF, Sandra Pavan. **Rhizophora mangle (Mangue vermelho) em áreas contaminadas de manguezal na Baixada Santista**. Tese (Doutorado). Universidade de São Paulo-SP, 2005.

FUNDAÇÃO DE DESENVOLVIMENTO DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE. **Reservas ecológicas: região metropolitana do Recife**. Recife, 1987, 188p.

GENZ, F. *et al.* As tendências de longo prazo das vazões fluviais no litoral do Estado da Bahia. *In: CONGRESS OF ABEQUA (Associação Brasileira de Estudos do Quaternário)*, 9, Recife. **Anais [...]** 2003. p. 25-29.

GENZ, F.; LESSA, G. C.; CIRANO, M.. Vazão mínima para estuários: um estudo de caso no rio Paraguaçu (BA). **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 3, p. 73-82, 2008.

GILL, A. M.; TOMLINSON, P. B. Studies on the growth of red mangrove (*Rhizophora mangle* L.) I. Habit and general morphology. **Biotropica**, p. 1-9, 1969.

GIRI, C. *et al.* **Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data**. *Global ecology and biogeography*. p. 154–159, 2011.

GRANZIERA, M. L. M.; ADAME, A.; GALLO, G. N. **Direito ambiental internacional**.

**Conservação dos espaços e da biodiversidade. Convenção RAMSAR.** In: CONGRESSO NACIONAL DO CONSELHO NACIONAL DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM DIREITO. Manaus: Fundação Boiteux, 2006. Disponível em [http://www.publicadireito.com.br/conpedi/manaus/arquivos/anais/manaus/direito\\_ambiental\\_maria\\_luiza\\_m\\_granziera\\_e\\_outros.pdf](http://www.publicadireito.com.br/conpedi/manaus/arquivos/anais/manaus/direito_ambiental_maria_luiza_m_granziera_e_outros.pdf). Acesso em: 10 out. 2021.

HAMILTON, S. E. *et al.* The carbon holdings of northern Ecuador's mangrove forests. **Annals of the American Association of Geographers**, v. 107, n. 1, p. 54-71, 2017.

HONG, P. N. Mangrove destruction for shrimp rearing in Minh Hai, Viet Nam: its damage to natural resources and the environment. Southeast Asian Fisheries Development Center – SEAFDEC, v. 28, n. 3, p. 7, 1996. Disponível em <https://aquadocs.org/bitstream/handle/1834/35105/HongPN1996.pdf?sequence=1>. Acesso em 17 ago. 2022.

HOLLANDA, M. P.; CAMPANHARO, W. A.; CECÍLO, R. A. Manejo de bacias hidrográficas e a gestão sustentável dos recursos naturais. **São Paulo: CETESB**, 2014.

HORI, M.; BAYNE, C. J.; KUWAE, T. Blue carbon: characteristics of the ocean's sequestration and storage ability of carbon dioxide. **Blue carbon in shallow coastal ecosystems: Carbon dynamics, policy, and implementation**, p. 1-31, 2019.

HOSSAIN, M. D. *et al.* Soil and mangrove: a review. **Journal of environmental science and technology**, v. 9, n. 2, p. 198-207, 2016.

IUCN. **Pacific Mangroves Initiative.** Disponível em <https://www.iucn.org/regions/oceania/our-work/deploying-nature-based-solutions/water-and-wetlands/completed-projects/pacific-mangroves-initiative>. Acesso em: 15 out. 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Banco de Dados de Informações Ambientais - BDIA.** Disponível em <https://bdiaweb.ibge.gov.br/>. Acesso em 27 ago. 2022.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Atlas dos manguezais do Brasil.** Brasília, 2018a. 176p.

INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE. **Brazilian mangrove atlas.** 2018b. 23p.

INSTITUTO PEABIRU. “Mangues da Amazônia” promove educação ambiental e recuperação de áreas na maior faixa de manguezal contínuo do mundo. Disponível em <https://peabiru.org.br/2021/03/04/mangues-da-amazonia-promove-educacao-ambiental-e-recuperacao-de-areas-na-maior-faixa-de-manguezal-contínuo-do-mundo/>. Acesso em: 10 out. 2021.

JARDIM, A. C. **Direções de fluxo em modelos digitais de elevação: um método com foco na qualidade da estimativa e processamento de grande volume de dados.** São José dos Campos, 2007. 109 p. Tese (Doutorado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada. São José dos Campos, São Paulo, 2017.

KATHIRESAN, K.; BINGHAM, B. L. **Biology of mangroves and mangrove ecosystems.** *Advances in Marine Biology*, v. 40, p. 81–251, 2001.

LACERDA, L. D. *et al.* 20-years cumulative impact from shrimp farming on mangroves of Northeast Brazil. **Frontiers in Forests and Global Change**, v. 4, 2021, 17p.

LEAL, E. B. *et al.* Análise do processo de ocupação em área de mangue no bairro de São Miguel, no município de Maracanã/PA. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**, v. 1, p. 6804-6816, 2017.

LESSA, G. Aspectos básicos da circulação estuarina e sua relação com o ambiente costeiro. In: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L.S. (orgs.) **Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos.** Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p. 74-103.

LIMA *et al.* Modelo chuva-vazão baseado no método dos resíduos ponderados: resultados preliminares. XVI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste - 15º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa. Caruaru, Pernambuco, 2022. **Anais [...]**. Disponível em <https://files.abrhidro.org.br/Eventos/Trabalhos/187/XVISRHNE0258-1-0-20220725-102310.pdf>. Acesso em 05 ago. 2023.

LONDE, Vinícius *et al.* Estrutura da vegetação de mangue associada ao gradiente de inundação no litoral norte do Espírito Santo, Brasil. **Revista Árvore**, v.37, n.4, p.629-637, 2013.

LOPES, I.; RAMOS, C. M. C.; LEAL, B. G. Caracterização morfométrica de bacia hidrográfica no semiárido de Pernambuco através de dados SRTM em softwares livre. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 8, n. 1, p. 31-40, 2018.

LUGO, Ariel E.; SNEDAKER, Samuel C. The ecology of mangroves. **Annual review of ecology and systematics**, v. 5, n. 1, p. 39-64, 1974.

MACIEL, S. J.; CRESPO, J. L. Desafios urbanos contemporâneos: a problemática da habitabilidade na Região Metropolitana do Recife (Brasil). *In*: 9º Congresso luso-brasileiro para o planejamento urbano, regional, integrado e sustentável (PLURIS 2021 digital): Pequenas cidades, grandes desafios, múltiplas oportunidades. 2021. **Anais** [...] Disponível em: <https://pluris2020.faac.unesp.br/Paper886.pdf>. Acesso em 08 jun. 2023.

MADI, A. P. L. M.; BOEGER, M. R. T.; REISSMANN, C. B. Chemical composition of soil and leaves and nutrient use efficiency of mangrove species/Composicao quimica do solo e das folhas e eficiencia do uso de nutrientes por especies de manguezal. **Revista Brasileira de Engenharia Agricola e Ambiental**, v. 19, n. 5, p. 433-439, 2015.

MARCUZZO, Francisco Fernando Noronha *et al.* Hipsometria da sub-bacia 17 na região hidrográfica do rio Amazonas. *In*: XL Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, Ribeirão Preto – São Paulo. 2011. **Anais** [...].

MARIANO NETO, M.; SILVA, J. B. Análise geoambiental do Baixo Mamanguape - Paraíba, Brasil. **GeoTextos**, v. 18, n. 1, p. 193–220, 2022.

MARTINS, P. T. A.; WANDERLEY, L. L. Dinâmica de ocupação espacial de áreas contíguas (período 1987-2008) e sua relação com tensores de origem antrópica no manguezal do Rio Cachoeira, Ilhéus, Bahia. **Sociedade & Natureza**, v. 21, p. 77-89, 2009.

MEDEIROS, R. M. *et al.* Temperatura média do ar e suas flutuações no Estado de Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 2, n. 1, 2018.

MEDEIROS, S. R. M. DE; CARVALHO, R. G. DE; PIMENTA, M. R. C. **A proteção do ecossistema manguezal a luz da lei 12.651/2012**: novos desafios para a sustentabilidade dos manguezais do Rio Grande do Norte. **Geotemas**, v. 4, n. 2, p. 59–78, 2014.

MELO, A. T.; SORIANO-SIERRA, E. J. S.; VEADO, R. W. V. Biogeografia dos manguezais. **Geografia**, v. 36, n. 2, p. 311-334, 2011.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Áreas Úmidas – Convenção de Ramsar**. Disponível em <https://antigo.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-aquatica/zonas-umidas-convencao-de-ramsar.html>. Acesso em: 01 out. 2021.

MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. **Princípios de Oceanografia Física dos Estuários**. Edusp, 2002.

MORAIS, R. C. S.; ARAÚJO, I. R. G. DE. Análise espacial da concentração de sólidos totais dissolvidos (STD) em águas subterrâneas da Região Norte do Piauí. **Revista Equador**, v. 4, n. 4, p. 67–80, 2015.

NASCIMENTO, M. G. P. *et al.* Mapeamento científico e tecnológico de espécies de manguezal. **Humanidades & Inovação**, v. 8, n. 50, p. 41-55, 2021.

NORONHA, T. J. M. DE; SILVA, H. K. P. DA; DUARTE, M. M. M. B. **Avaliação das concentrações de metais pesados em sedimentos do estuário do Rio Timbó, Pernambuco-Brasil**. Arquivos de Ciências do Mar, Fortaleza, v. 44, p. 70–82. 2011.

ODUM, E. P. **Fundamentos de ecologia**. 2001.

OLIVEIRA, G. S.; RÉGO, J. C. **Estimativa dos parâmetros Hidráulicos/Hidrodinâmicos da Bacia Sedimentar Costeira Paraíba/Pernambuco**. Anais IV CONAPESC. Anais[...] Em: IV CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO EM CIÊNCIAS - CONAPESC. Campina Grande - PB: 2019.

OLIVEIRA, T. R. S. **Ecologia de foraminíferos bentônicos no Estuário do Rio Timbó, município de Paulista-PE: influência da geoquímica ambiental**. 2015. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, 2015.

OLIVEIRA, D. S. **Fósseis e Paleoambientes da Formação Gramame, Maastrichtiano da Bacia da Paraíba, Pedreira do Roger, João Pessoa - PB**. Dissertação (Mestrado) - Pernambuco: Programa de Pós-Graduação em Geociências do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, 2017.

PAIVA, M. V. C.; SILVA, J. B. da; FERNANDES, J. G. **Estuário do rio Timbó-PE: territorialidade da pesca e impactos ambientais**. Revista de Geografia (Recife), v. 26, n. 2, p. 185-199, 2010

PALHARES, J. C. P. *et al.* **Medição da vazão em rios pelo método do flutuador**. Embrapa. 2007. 4p. Disponível em <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/443939/medicao-da-vazao-em-rios-pelo-metodo-do-flutuador>. Acesso em 27 ago. 2022.



- PASCOALINI, S. S. *et al.* Abordagem ecofisiológica dos manguezais: uma revisão. **Biotemas**, v. 27, n. 3, p. 1-11, 2014.
- PÉREZ, A. *et al.* Shrimp farming influence on carbon and nutrient accumulation within Peruvian mangroves sediments. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 243, 2020, 10p.
- PETRI, D. J. C. *et al.* Distribuição das espécies e estrutura do manguezal do rio Benevente, Anchieta, ES. **Biota Neotropica**, v. 11, p. 107-116, 2011.
- PINHEIRO JUNIOR, C. R.; PEREIRA, M. G.; SILVA NETO, E. C.; ANJOS, L. H. C.; FONTANA, A. Solos do Brasil: gênese, classificação e limitações ao seu uso. In: RIBEIRO, J. C. (org.). **Ciência exatas e da Terra: conhecimentos estratégicos para o desenvolvimento do país**. Ponta Grossa: Atena, 2020. cap. 15, p 183-199.
- PIRES, J. S. R.; SANTOS, J.; DEL PRETTE, M. E. A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais. **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, p. 17-35, 2002.
- POSEY, D.A. Etnobiologia: teoria e prática. **Suma etnológica brasileira**, v. 1, p. 15-25, 1987.
- PRADA-GAMERO, R. M; VIDAL-TORRADO, P.; FERREIRA, T. O. Mineralogia e físico-química dos solos de mangue do rio Iriri no canal de Bertioga (Santos, SP). **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, p. 233-243, 2004.
- PROJETO UÇÁ. Catadores e pescadores limpam a bacia da Guanabara. **Projeto Uçá**, Rio de Janeiro-RJ, 2021. Disponível em <http://projetuouca.org.br/2021/09/catadores-e-pescadores-artesanais-limpam-a-baia-de-guanabara-durante-o-defeso/>. Acesso em 04 out. 2021.
- RELYEA, R.; RICKLEFS, R. E. **A economia da natureza**. Rio de Janeiro: Guanabara, 2021.
- REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DE CIÊNCIAS. **Mapa Geodiversidade do Estado de Pernambuco**: Serviço Geológico do Brasil. Disponível em <https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/14707>. Acesso em 27 ago. 2022.
- ROVAI, A. S. **Assinatura energética e estoque de carbono na biomassa aérea e em solos de manguezais na região neotropical**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina. 2016.
- SANTANA, J. F. C. DE; MACHADO, J. Sanitary Exhaustion in Abreu e Lima City: The shocks caused in Timbó river. **Revista GEAMA**, v. 3, n. 1, 2017.

SANTOS, A. M. A.; SANTANA, J. K. R.; SILVA, H. M. V. Análise da mudança na cobertura vegetal da Reserva Ecológica Dois Irmãos Recife (PE). **Revista GeoUECE (Online)**, v. 08, n. 14, p. 23–33, jun. 2019.

SANTOS, G. T. L. **Influência da espessura da zona não saturada na dinâmica da água em depósito aluvionar no semiárido**. Dissertação de Mestrado—Pernambuco: Universidade Federal de Pernambuco, 2018.

SANTOS, H. V. S.; DE OLIVEIRA SANTOS, T.; HOLANDA, F. S. R. Indicadores para diagnóstico das alterações antrópicas no manguezal do estuário do rio São Francisco. **Tropical Oceanography**, v. 39, n. 2, p. 166-178, 2016.

SALMONA, B. Y. *et al.* Estimativas futuras de desmatamento e emissões de CO<sub>2</sub> equivalente no oeste baiano. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 68/7, p. 1385-1395, 2016.

SARMENTO, I. C. C. **Dinâmica do nitrato, amônio e nitrogênio total dissolvido no Estuário Guajarino**. 2019. Monografia (Engenharia Ambiental e Energias Renováveis) Universidade Federal Rural da Amazônia, Amazonas, 2019.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Grupo de ecossistemas: manguezal, marisma e apicum. **Caribbean Ecological Research**. 2000. 119p.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; VALE, C. C.; CINTRÓN, G. Monitoramento do Ecossistema Manguezal: Estrutura e Características Funcionais. *In*: TURRA, A., and DENADAI, MR., orgs. **Protocolos para o Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros – Rede de Monitoramento de Habitat Bentônicos Costeiros – ReBentos [online]**. São Paulo: Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 2015.

SCOLFORO, J. R. S.; MELLO, J. M. **Inventário Florestal**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 341p.

SGARBI, L.F.; BERGAMINI, L.L.; BELO, R.M.; CARVALHO, A.E. Gradiente de salinidade como determinante da variação na riqueza e composição de espécies vegetais em um estuário. **Prática da Pesquisa em ecologia da mata atlântica**. Curso de pós-graduação em Ecologia, Universidade de São Paulo. 2011. Disponível em [https://www.researchgate.net/profile/Leonardo-Bergamini/publication/353348825\\_Gradiente\\_de\\_salinidade\\_como\\_determinante\\_da\\_variacao\\_na\\_riqueza\\_e\\_composicao\\_de\\_especies\\_vegetais\\_em\\_um\\_estuario/links/60f6e13416f9f313](https://www.researchgate.net/profile/Leonardo-Bergamini/publication/353348825_Gradiente_de_salinidade_como_determinante_da_variacao_na_riqueza_e_composicao_de_especies_vegetais_em_um_estuario/links/60f6e13416f9f313)

0099406a/Gradiente-de-salinidade-como-determinante-da-variacao-na-riqueza-e-composicao-de-especies-vegetais-em-um-estuario.pdf. Acesso 27 ago. 2022.

SILVA, A. L. B.; CARVALHO, R. G.; OLIVEIRA, A. R. Percepção ambiental de usuários de praia no Litoral Setentrional Potiguar:-RN: embates e perspectivas frente a ocupação da orla marítima. **Geotemas**, v. 8, n. 2, p. 17–41, 2018.

SILVA, T. S. C. *et al.* Caracterização dos depósitos aluvionares do igarapé Paiva na Serra do Tepequém-RR. **Revista Geonorte**, v. 10, n. 1, p. 196–201, 2014.

SILVA, J. B.; TORRES, M. F. A. Dos níveis hierárquicos à assinatura energética: uma síntese para o estudo dos manguezais. *In: Terra: Vulnerabilidades e Riscos Ecológicos*. 1. ed. Ituiutaba: Barlavento, 2021a. p. 1689–1699.

SILVA, J. B.; TORRES, M. F. A. Assinatura energética dos manguezais do domínio costeiro brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 4, p. 2286–2303, 2021b.

SILVA JÚNIOR, L. C. S. DA; AZEVEDO, J. P. S. DE. Influência do saneamento na qualidade da água em rios: uma análise através da modelagem de qualidade de água. **Mix Sustentável**, v. 8, n. 1, p. 41–52, 2022.

SILVA-JÚNIOR, J. J.; NICÁCIO, G.; RODRIGUES, G. G. A carcinicultura nos manguezais do Nordeste brasileiro: problemáticas socioambientais nas comunidades tradicionais. **Revista Movimentos Sociais e Dinâmicas Espaciais**, v. 9, n. 2, p. 70, 6 out. 2020.

SOUZA, C. A. *et al.* Biodiversidade e conservação dos manguezais: Importância bioecológica e econômica. *In: Educação ambiental sobre manguezais*. São Vicente: UNESP, Instituto de Biociências, Câmpus do Litoral Paulista, p. 16-56, 2018.

SOUZA, J. M. Desafio da medição experimental da descarga de fundo no estuário do Timbó: construção e testes de um amostrador. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Pernambuco, 2011.

SOUZA, R. A. **Resistência e compressibilidade dos solos da formação Barreiras na região de Natal/RN**. Dissertação de Mestrado—Rio Grande do Norte: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2018.

SPALDING, M.; BLASCO, F.; FIELD, C. **World mangrove Atlas**. The International Society for Mangrove Ecosystems, Paris, 1997. 178p.

- SPALDING, M.; LEAL, M. The state of the world's mangroves 2021. **Global Mangrove Alliance**, 2021.
- TAHIM, E. F.; DAMACENO, M. N.; ARAÚJO, I. Trajetória tecnológica e sustentabilidade ambiental na cadeia de produção da carcinicultura no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 57, p. 93-108, 2019.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed. 2006. 719p.
- TEDESCO J. M. *et al.* **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed. Porto Alegre, RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p. (Boletim Técnico de Solos, 5).
- THOM, B. G. Mangrove ecology: a geomorphological perspective. **Mangrove ecosystems in Australia, structure, function and management**, p. 3-17, 1982.
- TOPAN, J. G. O.; LIMA FILHO, M. Estudo aeromagnetométrico e morfotectônico da Sub-Bacia Olinda, Bacia Paraíba, e do embasamento adjacente. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 40, n. 3, p. 281–293, 2017.
- TOWNSEND, Colin R.; BEGON, Michael; HARPER, John L. **Fundamentos em ecologia**. Artmed Editora, 2009.
- TRIMMING, Mangrove. Preservation Act of 1999. **Florida State Law**, p. 9321-9333.
- TWILLEY, R. R. Properties of mangrove ecosystems related to the energy signature of coastal environments. **Maximum power: The ideas and Applications of HT Odum**, p. 43-62, 1995.
- VASCONCELOS, B. R. Análise do uso da terra e da declividade na sub-bacia hidrográfica do Córrego do Pombal. **Geofrontier**, v. 8, p. 1–19, 2022.
- VILA NOVA F. V. P. **Geoquímica dos solos e as espécies arbóreas do ecossistema manguezal: estuário do rio Maracaípe, Ipojuca/PE, Brasil**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, 2013.