

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

FERNANDA GOMES BARBOSA

**PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA LÍQUIDA ASSOCIADA À ESTRUTURA E FUNÇÃO  
DA FLORESTA DE MANGUE:**

**um estudo de caso no Manguezal do Pina, Recife/PE**

Recife

2019

FERNANDA GOMES BARBOSA

**PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA LÍQUIDA ASSOCIADA À ESTRUTURA E FUNÇÃO  
DA FLORESTA DE MANGUE:  
um estudo de caso no Manguezal do Pina, Recife/PE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para obtenção do Título de Doutora em Geografia.

Área de Concentração: Análise Regional e Regionalização

**Orientadora:** Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maria Fernanda Abrantes Torres

**Coorientadora:** Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Luciana Slomp Esteves

Recife

2019

Catálogo na fonte  
Bibliotecária Maria do Carmo de Paiva, CRB4-1291

B238p Barbosa, Fernanda Gomes.  
Produtividade primária líquida e bruta associada à estrutura e função da floresta de mangue : um estudo de caso no Manguezal do Pina, Recife/PE / Fernanda Gomes Barbosa. – 2019.  
112 f. : il.; 30 cm.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Fernanda Abrantes Torres.  
Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Luciana Slomp Esteves.  
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco, CFCH.  
Programa de Pós-Graduação em Geografia, Recife, 2019.  
Inclui referências.

1. Geografia. 2. Meio ambiente. 3. Ecossistemas. 4. Manguezais. 5. Indicadores biológicos. I. Torres, Maria Fernanda Abrantes (Orientadora). II. Esteves, Luciana Slomp (Coorientadora). III. Título.

910 CDD (22. ed.)

UFPE (BCFCH2019-252)

FERNANDA GOMES BARBOSA

**PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA LÍQUIDA ASSOCIADA À ESTRUTURA E FUNÇÃO  
DA FLORESTA DE MANGUE:**

**um estudo de caso no Manguezal do Pina, Recife/PE**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de doutora em geografia.

Aprovada em: 13/03/2019.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Maria Fernanda Abrantes Torres (Orientadora – Examinadora Interna)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Profa. Dra. Josiclêda Domiciano Galvêncio (Examinadora Externa)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Profa. Dra. Sigrid Neumann Leitão (Examinadora Externa)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Ranyére Silva Nóbrega (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Profa. Dra. Fátima Verônica Pereira Vila Nova (Examinadora Externa)  
Instituto Federal de Pernambuco

Ao meu irmão, meu anjo da guarda, que se faz presente em todos meus dias, ao meu amado Deus por me proporcionar o melhor que a vida tem a oferecer e aos ribeirinhos que melhor sabem da importância dos manguezais.

## AGRADECIMENTOS

À Deus a quem tudo devo e que colocou diversos anjos em forma de pessoas para que eu pudesse chegar nesta etapa da vida. Sem Ele não teria encontrado forças para seguir.

À minha irmã Flávia Maciel que foi meu ombro amigo e meu estímulo para sobrepor todas as barreiras e, ainda assim, achar motivo para sorrir e confiar. Agradeço de coração por você acreditar em mim e mostrar que a vida pode ser mais leve e fácil, bastando jogar fora os medos e buscando aceitar e/ou enfrentar os erros e contratempos. Afinal, estamos sujeitos diferentes momentos e eles nos edificam. Que sorte a minha de ter você como irmã e amiga.

Aos meus pais, Edivaldo Barbosa e Zuleide Barbosa, a quem devo o dom da vida e aos inúmeros aprendizados. Eles que fizeram o possível e o impossível para que tudo se realizasse. Amo vocês!

À minha orientadora que é meu suporte e a quem devo as melhores experiências que pude vivenciar no meio acadêmico. Ela que acreditou, confiou e não desistiu de mim. Uma pessoa de caráter invejável e que sabe conduzir as coisas de forma admirável. E mesmo que eu tivesse toda a tese para falar dela, não caberia. Aqui fica a minha gratidão e carinho infindáveis.

À Luciana Esteves que incentivou e ajudou a fazer a melhor e mais importante viagem acadêmica da vida. Ela que se fez presente no meu dia a dia quando fui estudar na Universidade de Bournemouth (um sonho de lugar!). Os ensinamentos, cobranças e sugestões sempre foram bem-vindos e me fizeram crescer de forma surreal. Minha gratidão pelas lindas lembranças! Jamais esquecerei!

Aos meus amigos e companheiros de manguê que participaram dos trabalhos de campo e não mediram esforços para registrar de maneira muito responsável todos os dados da pesquisa. São eles: Bruno Silva, Stelandia Silva, Emanuelle Batista, Raíza Oliveira, Keila Assis, Antonio Héilton e Maria do Carmo Portella. Muito obrigada e saibam que estarei à disposição para ajudar no que for possível.

À Capitania do Portos de Pernambuco por autorizar e acompanhar toda a parte de campo.

À UFPE e ao Programa de Pós Graduação em Geografia por proporcionar uma gama de aprendizado.

Ao CNPq e ao Projeto VALSA (Valoração de Serviços Ambientais Aplicados à Vulnerabilidade Costeira) pela ajuda à realização do doutorado sanduíche.

Aos meus amigos e professores que diretamente e indiretamente se fizeram presentes: Micheline Santos, Jo McAdam, Manuela Cortêz, Luciana Scoff, Flávia Melo, Lyvistone Galdino, Guilherme Araújo, Izabel Spacov, Karol Martins, Eduardo Vêras, Alethea Cavalcante, Carla Maciel, Camila Wanderley, Fátima Caio, Runá Costa Paiva, Josiclêda Galvêncio e Sigrid Neumann.

Por fim e, não menos importante, meus anjos da guarda. Sim! Eles são personificados e nem sabem que são anjos. Talvez desconfiem, então, segue a lista:

À Joaquim Freitas que nunca mediu esforços para me ajudar e sanar todas as dúvidas sobre geoprocessamento, além das boas risadas e longos períodos fazendo e refazendo estudos. Esse rapaz formidável dá orgulho a qualquer pessoa que cruze o caminho com ele. Joaquim, obrigada pela paciência e mesmo longe (agora é sua vez de morar na Europa e ser chique!) se fez presente, assim como os anjos fazem.

À Janaína Barbosa que também é anjo e talvez desconfie disso. Ela que fez toda a diferença em minha vida quando acreditou e me incentivou a continuar. Jana é o exemplo de pessoa que sabe usar as palavras para curar e/ou amenizar a dor.

À Cecília Rocha que, embora eu nunca tenha visto pessoalmente (até este momento), se propôs a fazer parte das pessoas que me ajudaram e incentivaram. Ela é o tipo de anjo que aparece para qualquer pessoa e transforma a vida mesmo não sendo vista. O meu muito obrigada e espero retribuir toda ajuda e atenção.

À toda equipe do espaço RIZOMA que fez grande diferença ao me acolher e cuidar de mim.

## RESUMO

A identificação e quantificação dos serviços do ecossistema de manguezal podem ser ferramentas valiosas para promover a conservação da natureza. Manguezais fornecem uma gama de serviços ecossistêmicos que beneficiam a sociedade direta e indiretamente, tais como, pesca, berçário natural para diversas espécies, fornecimento de madeira, proteção do litoral e o potencial de sequestro de carbono. A pesquisa buscou realizar uma análise estrutural e funcional do Manguezal do Pina (Recife/PE), entre os anos de 2009 e 2016, para compreender o funcionamento das suas principais características, assim como, correlacionar os dados de campo com os resultados de sequestro de carbono (CO<sub>2</sub>) pelo bosque. O estudo de campo se baseou em dados obtidos a partir do método de parcelas múltiplas e, para a obtenção de dados relacionados ao CO<sub>2</sub>, foram utilizadas três imagens (2005, 2010 e 2016) do Landsat 5 e 8 e processadas a Produtividade Primária Líquida (NPP) e Produtividade Primária Bruta (GPP) no programa ERDAS 9.3. Como resultado, a extensão da floresta de mangue apresentou uma redução de 315.42 ha em 2005 para 259.08 ha em 2010, porém aumentou para 324.31 ha em 2016. O estudo de caracterização estrutural no Manguezal do Pina demonstrou que o bosque é maduro e monoespecífico, no qual *Laguncularia racemose* (L.) Gaertn. f. (Combretacea) predomina em todas as parcelas, seguida por *R. mangle* L. (Rhizophoracea), sendo que esta apareceu com maior frequência nas margens dos rios e sendo gradualmente substituída por *L. racemosa*. Considerando a dominância de espécies, densidade de árvore e mudanças na área total, o sequestro de carbono líquido estimado para 2005, 2010 e 2016 foi de 6472,35 ton C ano<sup>-1</sup>, 6017,56 ton C ano<sup>-1</sup> e 6955,99 ton C ano<sup>-1</sup>, respectivamente. Conclui-se que os dados estruturais e funcionais estão diretamente relacionados ao sequestro de carbono. Além disso, o aumento e redução do bosque apresentou mudanças na NPP e GPP que foram proporcionais às alterações de tamanho e densidade do bosque. A presente pesquisa dará subsídios para a avaliação deste sequestro de carbono e do seu papel na compensação de carbono para a cidade do Recife, além das implicações para a conservação dos manguezais.

Palavras-chave: Bioindicadores. Geoprocessamento. Mangue. Serviços ecossistêmicos.

## ABSTRACT

The identification and quantification of mangrove ecosystem services can be valuable tools for the promotion of nature conservation. Mangroves provide a range of ecosystem services which help society directly and indirectly, such as fishing, a natural nursery for various species, the provision of wood, protection of the coast and potential carbon capture. The objective of the research was to carry out a structural and functional analysis of the Pina Mangrove (Recife/PE), between 2009 and 2016, to understand the functioning of its main characteristics, such as correlating field data with carbon (CO<sub>2</sub>) sequestration results in the forest. The field study was based on data obtained through the method of multiple parcels, and for obtaining data related to CO<sub>2</sub>, three images (2005, 2010 and 2016) were used of Landsat 5 and 8, and Primary Liquid Productivity (NPP) as well as Gross Primary Productivity (GPP) were processed through the ERDAS program. The results showed that the extension of the mangrove forest was reduced from 315.42 hectares in 2005 to 259.08 hectares in 2010, but then increased to 324.31 hectares in 2016. The study of structural characterization of the Pina Mangrove showed that the forest is mature and monospecific, where *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f. (Combretaceae) is predominant in all the parcels, followed by *R. mangle* L. (Rhizophoraceae), given that the latter appeared more frequently along the banks of the rivers and were gradually replaced by *L. racemosa*. Considering the dominance of species, the density of trees and changes in the total area, the total of net primary productivity for 2005, 2010 and 2016 was 6472,35 tons C year<sup>-1</sup>, 6017,56 tons C year<sup>-1</sup> and 6955,99 tons C year<sup>-1</sup>, respectively. The conclusion is that the structural and functional data are directly related to carbon sequestration. Moreover, the increase and decrease of the forest revealed changes in NPP and GPP which were proportionate to the changes in size and density of the forest. The next steps in the research include an assessment of this carbon sequestration and its role in carbon compensation for the city of Recife, besides the implications for mangrove conservation.

Key words: Bioindicators. Geoprocessing. Mangrove. Ecosystem Benefits.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Localização da área de estudo do Manguezal do Pina, Recife/PE. Destaque para a área de estudo e sítios analisados (A, B e C).....	32
Figura 2 – Classificação das Unidades Geoambientais encontradas no entorno do Manguezal do Pina. ....	33
Figura 3 – Classificação dos tipos de solos encontrados no entorno do Manguezal do Pina...	34
Figura 4 – Bacias hidrográficas no entorno do Manguezal do Pina. Localização dos principais rios (Tejipió, Pina e Jordão). ....	35
Figura 5 – Dados de temperatura e precipitação na área de estudo.....	36
Figura 6 – Balanço hídrico normal mensal utilizando as médias de dados de temperatura média e precipitação acumulada entre (1911 até 1990) da estação Recife. Dados: UFCG.....	37
Figura 7 – Uso e ocupação da terra no entorno do Manguezal do Pina. ....	39
Figura 8 – Etapas do estudo para a obtenção da GPP e NPP a partir do modelo SEBAL (BASIASSEN ET AL., 1998).....	47
Figura 9 – Análise granulométrica dos sedimentos nos sítios A, B e C em 2009 no Manguezal do Pina. ....	59
Figura 10 – Teores de Carbono Orgânico dos sedimentos que compõem os sítios A, B e C em 2009 no Manguezal do Pina. ....	60
Figura 12 – Densidade de troncos vivos das parcelas A, B e C entre os anos de 2009 e 2016 no Manguezal do Pina, Recife/PE. ....	67
Figura 13 – DAP médio nas parcelas A, B e C nos anos de 2009 e 2016 no Manguezal do Pina, Recife/PE. ....	69
Figura 14 – Valores referentes à área basal nas parcelas A, B e C nos anos de 2009 e 2016 no Manguezal do Pina, Recife/PE. ....	70
Figura 15 – Área basal média nas parcelas A, B e C nos anos de 2009 e 2016 no Manguezal do Pina, Recife/PE. ....	71
Figura 16 – Altura média, altura desvio padrão e altura do dossel nas parcelas A, B e C nos anos de 2009 e 2016 no Manguezal do Pina, Recife/PE. ....	72
Figura 17 – Número de árvores com características de cortes nas parcelas A, B e C entre os anos de 2009 e 2016 no Manguezal do Pina, Recife/PE. ....	72
Figura 18 – Número de árvores mortas nas parcelas A, B e C entre os anos de 2009 e 2016 no Manguezal do Pina, Recife/PE. ....	73

Figura 19 – (A) Vista parcial em 2009 da estrutura do bosque no sítio A; (B) armadilha para guaiamum; (C) clareira no sítio A; (D) armadilha tipo redinha para caranguejo..	75
Figura 20 – Sítios A e B, respectivamente no ano de 2009. Destaque para os resíduos sólidos encontrados no sítio B. ....	76
Figura 21 – Vista parcial do sítio C em 2009 no Manguezal do Pina. ....	76
Figura 22 – Coleta de dados de trabalho de campo nos sítios de amostragem (Sítio A, B e C, respectivamente) em 2016. ....	77
Figura 23 – Análise estrutural e funcional do Manguezal do Pina. Sítio B em 2016. ....	77
Figura 24 – Análise estrutural e funcional do Manguezal do Pina. Sítio A em 2016. ....	78
Figura 25 – Análise estrutural e funcional do Manguezal do Pina. Sítio C em 2016. ....	78
Figura 26 – Fatores estruturais dimensionados em gráfico bi-dimensional dos anos de 2009 e 2016 do Manguezal do Pina, Recife/PE. ....	81
Figura 27 – Box plots dos dados de altura e DAP para cada parcela do Manguezal do Pina, Recife-PE, considerando-se todas as árvores nos anos de 2009 e 2016.....	83
Figura 28 – Box plots dos dados de altura (m) para cada sítio do Manguezal do Pina, Recife/PE, considerando-se (a) todas as árvores, (b) apenas <i>Languncularia racemosa</i> , (c) apenas <i>Rhizophora mangle</i> e (d) apenas <i>Avicennia schaueriana</i> ...	86
Figura 29 – Box plots dos dados de DAP (cm) para cada sítio, considerando-se (a) todas as árvores, (b) apenas <i>Languncularia racemosa</i> , (c) apenas <i>Rhizophora mangle</i> e (d) apenas <i>Avicennia schaueriana</i> .....	86
Figura 30 – Box plots dos dados de altura (m) e DAP (cm) para os anos de 2009 e 2016 no Manguezal do Pina, Recife/PE, considerando-se (a) todas as árvores, (b) apenas <i>Languncularia racemosa</i> e (c) apenas <i>Rhizophora mangle</i> , indicando o tamanamostral e os resultados do teste Mann-Whitney. ....	87
Figura 31 – Correlação entre altura (m) e DAP (cm) para os anos de 2009 e 2016 no Manguezal do Pina, Recife/PE. ....	88
Figura 32 – Produtividade primária líquida do Manguezal do Pina em 2005, 2010 e 2016. ....	92
Figura 33 – Produtividade primária bruta do Manguezal do Pina em 2005, 2010 e 2016. ....	95
Figura 34 – SAVI do Manguezal do Pina para os anos de 2005, 2010 e 2016. ....	98
Figura 35 – Evapotranspiração o Manguezal do Pina para os anos de 2005, 2010 e 2016.....	99

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Granulometria dos sedimentos nos sítios A, B e C em 2009 no Manguezal do Pina. ....	60
Tabela 2 – Teores de C.O (Carbono Orgânico), pH, Ca (Cálcio) mais Mg (Magnésio), Ca (cálcio) e Mg (Magnésio) encontrados nos sítios A, B e C em 2009 no Manguezal do Pina. ....	61
Tabela 3 – Dados abióticos nas parcelas dos sítios A, B e C nos anos de 2016 e 2009 no Manguezal do Pina com dados sobre alturas das marés, horários, salinidade da água intersticial, temperatura do ar e do solo. ....	62
Tabela 4 – Dados por espécies para o ano 2009 das parcelas A, B e C no Manguezal do Pina, Recife-PE. Valores referentes à densidade de troncos vivos (ind/ha), densidade relativa(%), dominância relativa (%), altura média (m), altura desvio padrão (m), altura do dossel (m), diâmetro a altura do peito médio (m <sup>2</sup> /ha), área basal (m <sup>2</sup> /ha) e área basal média (m <sup>2</sup> /ha). ....	65
Tabela 5 – Dados por espécies para o ano de 2016 das parcelas A, B e C no Manguezal do Pina, Recife-PE. Valores referentes à densidade de troncos vivos (ind/ha), densidade relativa (%), dominância relativa (%), altura média (m), altura desvio padrão (m), altura do dossel (m), diâmetro a altura do peito médio (m <sup>2</sup> /ha), área basal (m <sup>2</sup> /ha) e área basal média (m <sup>2</sup> /ha). ....	66
Tabela 6 – Análise dos componentes principais (ACP) dos parâmetros estruturais do bosque do Manguezal do Pina, Recife/PE, entre os anos de 2009 e 2016. DTV (densidade de troncos vivos), AB (área Basal), ABM (área Basal Média), ALTMED (altura média), ALTDP (altura desvio padrão), ALTD (altura do dossel), NAM (número de árvores mortas), NAC (número de árvores cortadas) DAPM (diâmetro a altura do peito médio). ....	80
Tabela 7 – Resultados dos testes Kruskal-Wallis comparando valores medianos de altura e DAP entre parcelas do mesmo sítio amostral medidos em 2009 e em 2016 no Manguezal do Pina, Recife/PE. df (degrees of freedom); X <sup>2</sup> (variável); p (probabilidade). ....	82
Tabela 8 – Estatísticas descritivas de altura e DAP para cada parcela dos anos de 2009 e 2016 no Manguezal do Pina/PE. N (número de árvores). ....	84
Tabela 9 – Estatísticas para cada sítio, ano e para todos os dados considerando-se todas as espécies no Manguezal do Pina, Recife/PE. N (número de árvores). ....	85

Tabela 10 – Dados das imagens de 2005, 2010 e 2016 Manguezal do Pina, Recife/PE. Data das imagens, hora, satélite, sensor, quadrado da razão entre a distância Terra-Sol ( $d_r$ ), elevação do sol (sun elevation), cosseno de Z ( $\cos Z$ ), temperatura do ar - $T_a$ ( $^{\circ}\text{K}$ ) e velocidade do vento a 200 m.....	89
Tabela 11 – Dados das imagens de 2005, 2010 e 2016 Manguezal do Pina, Recife/PE. Soil-Adjusted Vegetation Índex (SAVI), saldo de radiação ( $R_n$ ), fluxo do calor no solo, radiação solar acumulada (RS), radiação fotossinteticamente ativa diária – RFA ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ), pressão atmosférica po (KPa), umidade relativa do ar UR (%) e valores de temperatura na eficiência de uso da luz pelas plantas T1 e T2. ....	89
Tabela 12 – Dados de amplitude, média, desvio padrão e soma dos valores de Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) e Soil-Adjusted Vegetation Índex (SAVI) do Manguezal do Pina, Recife/PE, para os anos de 2005, 2010 e 2016.....	90
Tabela 13 – Dados de amplitude, média, desvio padrão e soma dos valores da respiração autrófica e saldo de radiação do Manguezal do Pina, Recife/PE, para os anos de 2005, 2010 e 2016.....	90
Tabela 14 – Dados de amplitude, média, desvio padrão e soma dos valores do índice de área foliar (IAF) e fluxo do calor no solo do Manguezal do Pina, Recife/PE, para os anos de 2005, 2010 e 2016. ....	90
Tabela 15 – Dados de amplitude, média, desvio padrão e soma dos valores da evapotranspiração 24h e fração evaporativa do Manguezal do Pina, Recife/PE, para os anos de 2005, 2010 e 2016.....	91
Tabela 16 – Dados da produtividade primária líquida ( $\text{g C m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , $\text{ton C ano}^{-1}$ , $\text{ton C dia}^{-1}$ ) para cada imagem analisada. Valores referentes a área (ha) do Manguezal do Pina, Recife/PE, amplitude, média, desvio padrão e soma da NPP.....	91
Tabela 17 – Dados da produtividade primária bruta ( $\text{g C m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , $\text{ton C ano}^{-1}$ , $\text{ton C dia}^{-1}$ ) para cada imagem analisada. Valores referentes a área (ha) do Manguezal do Pina, Recife/PE, amplitude, média, desvio padrão e soma da GPP.....	94

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	Área Basal
ABM	Área Basal Média
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ALTD	Altura do Dossel
ALTDP	Altura Desvio Padrão
ALTMED	Altura Média
APAs	Áreas De Proteção Ambiental
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
APPs	Áreas de Preservação Permanente
CFC's	Clorofluorcarboneto
CPRH	Agência Estadual de Meio Ambiente
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CNZU	Comitê Nacional de Zonas Úmidas
CNZU-CT	Comissão Técnica sobre Manguezais
Manguezal	
DAP	Diâmetro a Altura do Peito
DAR	Disposição a Receber
DeR	Densidade Relativa
DoR	Dominância Relativa
DTV	Densidade de Troncos Vivos
EIA	Estudo de Impactos Ambientais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FR	Frequência Relativa
FE	Fração evaporativa
FPAR	Fração da radiação RFA
G	Densidade do fluxo de calor no solo
GGE	Gases do Efeito Estufa
GPP	Produtividade Primária Bruta
GPS	Global Positioning System
H	Densidade do fluxo de calor sensível
IAF	Índice de Área Foliar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças climáticas
IVDN	Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
LE	Densidade do calor latente ( $W m^{-2}$ )
MDE	Modelo Digital de Elevação
MMA	Ministério do Meio Ambiente
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
Mo	disponibilidade de molibdênio
NAM	Número de Árvores Cortadas
NPP	Produtividade Primária Líquida
NDVI	Índice por Diferença Normalizada
NTSYS	Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System

PAN manguezal	Plano de Ação Nacional para a Conservação das Espécies Ameaçadas e de Importância Socioeconômica do Ecossistema Manguezal
PCR	Prefeitura da Cidade do Recife
PNMA	Política Nacional de Meio Ambiente
PNGC	Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
PPB	Produtividade Primária Bruta
PPL	Produtividade Primária Líquida
PROEST	Programa Estruturador Cidade do Recife
Ra	Respiração autotrófica
RCE	Reduções Certificadas de Emissões
RFA	Fração da radiação solar
RFAA	Radiação fotossinteticamente ativa absorvida ( $Wm^{-2}$ )
RIMA	Relatório de Impactos Ambientais
Rn	Saldo de radiação ( $Wm^{-2}$ )
RPAs	Regiões Político-Administrativas
Rs, 24h	Radiação solar global diária
SEUC	Sistema Estadual de Unidades de Conservação da Natureza
SEBAL	Surface Energy Balance Algorithm for Land
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação
T	Temperatura do ar ( $^{\circ}C$ )
T <sub>dia</sub>	Temperatura média diária
T <sub>opt</sub>	Temperatura média do ar ( $^{\circ}C$ ) do mês de máximo NDVI
UCs	Unidades de Conservação
UCE	Unidades de Conservação Estaduais
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
UTM	Universal Transversa de Mercator
Zeis	Zona Especial de Interesse Social
ZAPE	Zoneamento Agrológico de Pernambuco
ZEPA	Zona Especial de Proteção Ambiental

## LISTA DE SÍMBOLOS

AS'	Clima quente e úmido
Ca	Cálcio
Cmol	Centimol de carga (unidade de capacidade de troca)
dm <sup>-3</sup>	decímetro cúbico
g	Área basal expressa por $\pi r^2$
Mg	Magnésio
Mo	Molibdênio
n	Número de indivíduos por hectare
pH	Potencial Hidrogênioônico
$\epsilon$	Eficiência do uso da luz (g C MJ <sup>-1</sup> );
m <sup>2</sup> /ha	Metro quadrado por hectare
$L_{\lambda i}$	radiância espectral de cada banda
$k_{\lambda i}$	Irradiância solar
Z	Ângulo zenital
d <sub>r</sub>	Distância terra sol
$\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5$	Reflectâncias das bandas
$\alpha_{toa}$	Albedo no topo da atmosfera
$\alpha_p$	Radiação refletida pela atmosfera
$\tau_{sw}$	Transmissividade atmosférica
$\rho_{IV}$	Banda 4
$\rho_V$	Banda 5
L	Constante 0,1
$\epsilon_{NB}$	Emissividade do termal
K2	= 607,76 Wm <sup>-2</sup> sr <sup>-1</sup> μm <sup>-1</sup> (constante)
K1	= 1260,56 K (constante)
$L_{\lambda,6}$	Radiância espectral
$\epsilon_0$	Emissividade de cada pixel
$\sigma$	Constante de Stefan-Boltzman ( $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ )
T <sub>s</sub>	Temperatura da superfície (K)
S	Constante solar (1367 w.m <sup>2</sup> )
Cos Z	Ângulo Zenital
D <sub>r</sub>	Distância Terra/Sol
$\tau_{sw}$	Tramissividade atmosférica

$\varepsilon_a$	Emissividade atmosférica
$T_a$	Temperatura do ar coletada na estação meteorológica
$R_{s\downarrow}$	Radiação de onda curta incidente (ou radiação solar global)
$r_a$	Resistência aerodinâmica ao transporte de calor ( $\text{sm}^{-1}$ )
H	Fluxo de calor sensível
K	Constante de Von Karman (0,41)
K	Constante de Von Karman
$U_x$	Velocidade do vento
$Z_{0m}$	Coefficiente de rugosidade local
$z_1$ e $z_2$	Níveis de altura acima da superfície
$U_{200}$	Velocidade do vento a 200m
$Z_{0m}$	Coefficiente de rugosidade local
$H_{quente}$	Fluxo de calor latente do píxel quente
$R_n$	Saldo de radiação do píxel quente
G	Fluxo de calor no solo do píxel quente
$\rho$	Massa específica do ar ( $\text{Kg m}^{-3}$ )
$c_p$	Calor específico à pressão constante ( $\text{Jkg}^{-1} \text{k}^{-1}$ )
dT	0 (píxel frio) resultando em $a + bT_{sup} = 0$
L	Indicativo de estabilidade
$\Psi_m$	Transporte de momentum
$\Psi_h$ )	Transporte de calor
$\Psi_m(200m)$	Correção de estabilidade para o transporte de momentum
$Z_2$	2,0m
$Z_1$	0,1m
$\Psi_h(z_2)$	Correção de estabilidade para transporte de calor
$\Psi_h(z_{0,1})$	Correção de estabilidade para transporte de calor
dT	Diferença de temperatura
$r_{ah}$	Resistência aerodinâmica
LE	Fluxo de calor latente
$R_n$	Saldo de radiação
G	Fluxo de calor no solo
H	Representa o fluxo de calor sensível
$LE_{24h}$	Valores diários do fluxo de calor latente

$Rn_{24h}$	Saldo de radiação
$\tau_{24h}$	Transmissividade atmosférica diária
$R_{\text{toa}24h}$	Radiação solar no topo da atmosfera no dia da passagem do satélite
$ET$	Evapotranspiração real diária ( $\text{mm dia}^{-1}$ )
$T$	Temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ )
$\varepsilon$	Eficiência do uso da luz ( $\text{g C MJ}^{-1}$ )
$R_s, 24h$	Radiação solar global diária.
$T1$ e $T2$	Temperatura na eficiência de uso da luz pelas plantas
$T_{\text{opt}}$	Temperatura média do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) do mês de máximo NDVI
$T_{\text{dia}}$	Temperatura média diária
$LE$	Densidade do calor latente ( $\text{W m}^{-2}$ )
$R_n$	Saldo de radiação ( $\text{Wm}^{-2}$ )
$G$	Densidade do fluxo de calor no solo
$H$	Densidade do fluxo de calor sensível
$FE$	Fração evaporativa
$R_n$	Saldo de radiação ( $\text{Wm}^{-2}$ )

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>20</b>
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>25</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>31</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	31
3.1.1	Localização da Área .....	31
3.1.2	Geologia e Geomorfologia.....	32
3.1.3	Sedimentos.....	33
3.1.4	Hidrografia.....	34
3.1.5	Clima.....	35
3.1.6	Vegetação.....	37
3.1.7	Fauna .....	38
3.1.8	Aspectos Socioeconômicos .....	38
3.2	CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL E FUNCIONAL .....	40
3.2.1	Delimitação das Parcelas .....	40
3.2.2	Temperatura do Solo e do Ar, Salinidade da Água Intersticial e Análise de Sedimento .....	41
3.2.3	Contagem e Diâmetro das Árvores .....	42
3.2.4	Altura das Árvores .....	42
3.2.5	Área Basal e Área Basal Média de Troncos Vivos .....	42
3.2.6	Número de Troncos Mortos e Cortados .....	43
3.2.7	Densidade Relativa .....	43
3.2.8	Dominância Relativa .....	44
3.2.9	Frequência Relativa.....	44
3.2.10	Análise dos Componentes Principais .....	44
3.2.11	Método Estatístico IBM SPSS 22 .....	45
3.3	ANÁLISE DAS IMAGENS E COLETA DE DADOS .....	45
3.3.1	Definição das imagens, reprojeção e recorte.....	45
3.3.2	Balço de Energia (SEBAL) .....	46
3.3.3	Etapas para a obtenção da Produtividade Primária Líquida (NPP) e Produtividade Primária Bruta (GPP).....	46
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>59</b>

4.1	ANÁLISE DE SEDIMENTOS .....	59
4.2	FATORES ABIÓTICOS .....	62
4.3	ANÁLISE ESTRUTURAL E FUNCIONAL DA VEGETAÇÃO DE MANGUE EM 2009 E 2016.....	64
4.3.1	<b>Tipos de Espécies .....</b>	<b>67</b>
4.3.2	<b>DAP (Diâmetro a Altura do Peito) e Área Basal (AB) .....</b>	<b>68</b>
4.3.3	<b>Altura da Vegetação, Número de Árvores Cortadas e Mortas .....</b>	<b>71</b>
4.3.4	<b>Densidade, Frequência e Dominância.....</b>	<b>74</b>
4.3.5	<b>Impactos Antrópicos .....</b>	<b>75</b>
4.4	ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP) .....	80
4.5	RESULTADOS DO MÉTODO ESTATÍSTICO IBM SPSS 22 .....	81
4.5.1	<b>Em 2009 .....</b>	<b>81</b>
4.5.2	<b>Em 2016 .....</b>	<b>82</b>
4.5.3	<b>Variabilidade de Altura e DAP entre os sítios .....</b>	<b>85</b>
4.5.4	<b>Variabilidade entre 2009 e 2016 .....</b>	<b>87</b>
4.5.5	<b>Correlação entre altura e DAP .....</b>	<b>87</b>
4.5.6	<b>Produtividade Primária Líquida (NNP) e Produtividade Primária Bruta (GPP).....</b>	<b>89</b>
5	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>102</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>104</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O efeito estufa é um fenômeno atmosférico natural no qual gases como o metano (CH<sub>4</sub>), gás carbônico (CO<sub>2</sub>) e o vapor de água (H<sub>2</sub>O) mantêm o calor do sol na Terra garantindo o aquecimento e a vida no planeta. A grande questão é que o aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE), como o metano, Clorofluorcarboneto (CFC's), óxido nitroso, estão aumentando de forma crescente ao longo dos anos, provocando diversas transformações no espaço natural, dentre elas: aumento da temperatura nos oceanos e do ar, derretimento das calotas polares, inundações de áreas costeiras e aumento de áreas desérticas (IPCC, 2018).

De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças climáticas (IPCC) a variabilidade climática está relacionada aos eventos climáticos em todas as escalas espaciais e temporais, ligadas tanto às modificações naturais e antropogênicas. Caso medidas de prevenções de emissões não sejam aplicadas, a temperatura média global poderá aumentar 5°C até 2100 (IPCC, 2018).

Em 1997, buscando amenizar as consequências e emissão de gases, foi estabelecido o Protocolo de Quioto, no qual os países desenvolvidos definiram metas para a redução de emissões de gases, onde o uso do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), possibilita gerar e comercializar Reduções Certificadas de Emissões (RCE). A partir desse contexto e, tendo em vista que as florestas exercem um papel fundamental na diminuição do dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) na atmosfera, é que a presente pesquisa vem fundamentar a importância de se conhecer a relevância dos mangues com o objetivo de estocar CO<sub>2</sub> por meio da fotossíntese.

Os manguezais são reconhecidos por seus serviços ecossistêmicos, funcionando como importantes habitats das zonas tropicais e subtropicais. Esses ecossistemas favorecem atividades essenciais para as populações costeiras, como a pesca (ALONGI, 2011, MEENAKSHI, 2016), fonte renovável de combustível, depósitos de sedimentos e de carbono (KAUFFMAN et al., 2011), serve como abrigo e reprodução de espécies, protegendo a costa contra efeitos de tempestades e tsunamis (SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; VALE, C.C.; CINTRÓN, G, 2015), além de contribuir para a mitigação dos efeitos das mudanças climáticas (SIKAMAKI et al., 2012). Além disso, os manguezais são bioindicadores que indicam os gradientes de inundação, de nutrientes e salinidade (ALONGI, 2008), porém estão sendo destruídos a uma taxa média de anual de 1-2% (ALONGI; 2002 E SPPALDING et al; 2010).

Os manguezais brasileiros, embora apresentem uma baixa diversidade de espécies vegetais, contam com uma grande quantidade de indivíduos e de funções, formando um dos ecossistemas mais importantes do mundo. Tal importância vem fundamentar a presente tese, que visa realizar uma análise funcional e estrutural do bosque de manguezal e sua relação com o sequestro de carbono no Manguezal do Pina, Recife/PE, considerando as condições ambientais em que o ecossistema se encontra e suas contribuições ao espaço urbano.

O Manguezal do Pina está localizado na porção sul da cidade do Recife, entre as coordenadas de 8°5'30" e 8°6'30" S; 34°54'30" e 34°53'00" W, no bairro do Pina, numa área conhecida como "Antiga Estação Rádio Pina" pertencente à Marinha do Brasil. Esta área está inserida na Região Político Administrativa 6 (RPA 6), sendo considerada uma Zona Especial de Proteção Ambiental (ZEPA). O manguezal possui aspecto essencialmente aquático, com vegetação e ilhas envolvidas por braços dos rios Jordão e Pina, mas com influência de outros dois rios, Tejipió e Capibaribe.

O manguezal do Pina, de acordo com os dados parciais obtidos na pesquisa "Estrutura e Análise Espaço Temporal da Vegetação do Manguezal do Pina, Recife/PE: Subsídios para o Manejo, Monitoramento e Conservação da Área" (BARBOSA, 2010), encontra-se em um grau de antropização considerável. Os dados iniciais mostram que os cálculos do Índice por Diferença Normalizada (IVDN) e a classificação das imagens correspondentes aos anos de 1987, 1991 e 2008 possibilitaram visualizar e quantificar variações espaço temporais. Os índices de IVDN mostram que houve modificações tanto na configuração da área urbana e solo exposto, quanto na distribuição da vegetação ao longo do período analisado. Desta forma, foi possível constatar que ocorreu um aumento de 6,49% da área total ocupada por vegetação num período de apenas cinco anos (1987 a 1991), decrescendo em 2008.

No que se refere às áreas urbanas e solo exposto, a partir de estudos iniciais, notou-se um aumento gradativo da vegetação de mangue, principalmente no entorno do manguezal. Em 1987, área urbana e o solo exposto ocupavam 104,72ha, em 1991 passou para 118,49ha e, em 2008 já abrangiam 146,53ha, ou seja, um aumento de 28,5% (41,81ha) em 21 anos (BARBOSA, 2010).

Em relação à avaliação espaço temporal, no bosque do Manguezal do Pina, ocorreram mudanças significativas de suas áreas de mangue, solo exposto e área urbana, indicando que este foi submetido a processos desestabilizadores.

Esses dados retratam como o ecossistema em questão tem sofrido diversos efeitos ao longo dos anos. Podem ser destacados alguns fatores não naturais que vêm interferindo nesse sistema, tais como a grande quantidade de resíduos sólidos, o elevado número de cortes de

árvores, a pesca irregular, a expansão desordenada de ocupações no entorno do manguezal, além da construção de grandes empreendimentos viários (Via Mangue) e imobiliários (shopping Rio Mar e o condomínio Le Parc).

A presente tese utiliza técnicas de sensoriamento remoto, análises estruturais e funcionais da vegetação em campo e análises para a determinação do sequestro de carbono pela vegetação do manguezal. Verificadas as relações entre as emissões de gases de CO<sub>2</sub> e valores absorvidos pelas espécies vegetais, pode-se determinar os serviços ambientais prestados pelo mangue, além da importância de compreender fatores relevantes para a construção de um espaço equilibrado e respeitando as condições ambientais.

Das áreas estuarinas do Estado de Pernambuco, o Manguezal do Pina, devido à sua localização, tem sido uma das áreas mais ameaçadas pela expansão imobiliária ao longo dos últimos anos com aterros dos mangues e de áreas alagadas. Nas últimas décadas esse vem sofrendo forte influência do uso desordenado dos recursos naturais, como cortes de árvores, poluição, pesca indevida, além de ser submetido aos processos relacionados ao crescimento urbano, construção de vias e estabelecimentos comerciais. Não obstante, observa-se que a área tem sido bastante negligenciada, mesmo sendo uma área Zona Especial de Proteção Ambiental (ZEPA).

Neste sentido, a pesquisa busca dar ênfase a importância de manter a conservação do ecossistema, apresentando valores quantitativos e qualitativos relacionados à retenção do sequestro de carbono pela vegetação da área, sendo mais um fator de destaque para o uso ordenado do ecossistema. Esses dados são fundamentais para a implementação de políticas públicas que visem o equilíbrio e a sustentabilidade dos seus recursos.

- **Objetivo Geral**

Realizar um estudo temporal da estrutura e função do Manguezal do Pina visando compreender seu funcionamento e suas características principais, assim como, mensurar o sequestro de carbono pela biomassa vegetal.

- **Objetivos Específicos**

- Compreender o funcionamento estrutural e funcional do ecossistema do Manguezal do Pina e suas principais características ambientais;
- Identificar a área de ocupação do manguezal e a quantidade de carbono sequestrado por essa vegetação;

- Correlacionar os dados de campo sobre estrutura e função dos manguezais com os resultados de captura do CO<sub>2</sub> pelo bosque;
- Abordar sobre os efeitos futuros relacionados ao desenvolvimento do bosque e sequestro de CO<sub>2</sub>, caso o ecossistema seja conservado ou não.

- **Justificativa**

Alguns estudos têm sido desenvolvidos no Manguezal do Pina, no entanto, grande parte desses estudos não têm sido utilizados em Políticas de Preservação e Conservação dessa área. Segundo Andrade et al. (2014), o Manguezal do Pina apresenta uma extensão considerável de vegetação favorecendo as diversas atividades que são desenvolvidas por comunidades que vivem da pesca, além disso, o manguezal vem auxiliando nos processos estabilizadores da costa, funcionando como área de reprodução, abrigo e alimentação de espécies, além de ser um importante banco genético para a recuperação de áreas degradadas.

Um estudo realizado por Barbosa (2010), mostrou que o manguezal em questão apresentou uma perda significativa das suas áreas de vegetação, o que ocasionou uma predominância da espécie *Laguncularia ranceosa*, que é uma espécie típica do mangue, porém mais resiliente às mudanças ocasionadas por processos desestabilizadores.

De acordo com o Novo Código Florestal, Lei nº 12.651/12 – na legislação ambiental federal, os manguezais são considerados Áreas de Preservação Permanente (APPs). Segundo o Código Florestal arts. 2º e 3º, as APPs têm a função ambiental de preservar a paisagem, os recursos hídricos, a biodiversidade, a estabilidade geológica, o fluxo gênico de fauna e flora, além de resguardar o solo e garantir o bem-estar das populações humanas. Os manguezais são ambientes responsáveis, em parte, pela preservação da biodiversidade, do solo, da estabilidade geomorfológica. São ecossistemas litorâneos, sujeitos à ação de marés, formados por vasas lodosas ou arenosas, associados a vegetação conhecida como mangue, típica de solos limosos de regiões estuarinas.

O Manguezal do Pina é considerado a última reserva de manguezal em área urbana do Brasil (SOUZA, 2012; MMA, 2018). Este ecossistema tem sofrido pressões com moradias espontâneas, depósito de resíduos, corte de árvores e, principalmente, com alterações em decorrência de diversos empreendimentos (imobiliários e viários). Tais empreendimentos, de acordo com o Relatório de Impactos Ambientais e Estudos de Impactos Ambientais (EIA/RIMA) da área em questão, apresentado na audiência pública realizada em setembro de 2009, foi duramente criticado pelo Ministério Público, que alegou que obras básicas não

poderiam ser deixadas de lado por causa do projeto viário.

O estudo sobre estrutura e função, e sequestro de carbono em áreas de manguezais permitirá compreender o funcionamento desses ecossistemas para a redução da quantidade de carbono, além de agregar conhecimentos, mostrando a importância da conservação dessas áreas que são santuários ecológicos e que influenciam a biodiversidade dos ecossistemas associados, exercendo também grande relevância na vida do ser humano.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Miranda et al. (2002), definem estuários como ambientes de transição entre o continente e o oceano, onde rios encontram o mar, resultando na diluição mensurável da água salgada, caracterizando uma foz litorânea. Esses autores abordam ainda que, em condições naturais, os estuários são biologicamente mais produtivos do que os rios e o oceano adjacente, por apresentarem altas concentrações de nutrientes que estimulam a produção primária. Os ambientes estuarinos, em regiões tropicais e subtropicais, se caracterizam pela presença da vegetação lenhosa típica de mangue, constituindo os denominados manguezais.

Os manguezais, além de cumprirem o papel de fornecedores de matéria orgânica, alimentam uma variedade enorme de espécies dos estuários e funcionam como estabilizadores da costa, pois suas raízes fixam os sedimentos que formam o manguezal (KIENER, 1973; SCHAEFFER-NOVELLI, 1985; DIEGUES, 1987; PROEST, 1996; COELHO et al., 2004; FAO, 2007; GERCO, 2009).

O ecossistema manguezal encontra-se distribuído ao longo do litoral brasileiro, associado a lagunas, estuários e baías, ou ao longo da linha de costa (SCHAEFFER-NOVELLI et al, 1994), perfazendo 8% da linha da costa do planeta e um quarto na zona tropical. No mundo há cerca de 162.000 km<sup>2</sup>, destes, o Brasil possui uma área estimada de 12.264,43 km<sup>2</sup> (GIRI et al. 2011; ALMEIDA, 2014; MMA, 2018).

Esses ecossistemas são compostos por árvores e arbustos com grande tolerância a águas salgadas e salobras, distribuindo-se em zonas costeiras, praias lodosas, planícies e desembocaduras de rios e caracterizam-se por possuir condições ideais para a reprodução e desenvolvimento de espécies estuarinas, marinhas e dulciaquícolas, além de serem responsáveis pelo fornecimento de grande quantidade de nutrientes para o ambiente marinho (MIRANDA et al. 2002).

Os mangues, conhecidos como “florestas de beira-mar”, são ambientes que sofrem interferência dos sistemas de águas semi-fechadas, cujos fatores resultam da mistura de águas doces e salgadas, o que confere a riqueza de nutrientes e alta produtividade das águas. É um ambiente típico de vegetação hidrófila, que representa a transição entre os ambientes terrestres e marinhos. Nesse ambiente existem também espécies herbáceas, epífitas, hemiparasitas e aquáticas (TURRA E DENADAI, 2015).

*R. mangue* é uma espécie comumente encontrada na franja dos manguezais, em áreas que frequentemente são inundadas pelas preamares e frequentemente encontradas nas

desembocaduras dos rios, sendo gradualmente substituída por *Avicennia schaueriana* Stapf. & Leechman (Aviceniaceae) e/ou *L. racemosa* nas porções mais internas do bosque (SOUZA; SAMPAIO, 2001).

Na vegetação típica de mangue, é possível notar diferentes espécies de líquens, samambais, musgos, filodendros, gravatás, orquídeas, sendo possível encontrar micro e macroalgas na parte inferior dos troncos, rizóforos e pneumatóforos, além de uma semiparasita, a erva-de-passarinho, que pertencente aos gêneros *Struthanthus* e *Phoradendron*, cujos frutos são muito apreciados pelas aves (MARCELLI, 1992; SUGIYAMA, 1995).

O manguezal é um ecossistema aquático bastante rico em nutrientes, matéria orgânica e, conseqüentemente, fitoplâncton. Durante a baixa-mar grande parte desse material é carregado para o ambiente marinho, sendo posteriormente distribuído através das correntes ao longo da plataforma continental. Esse aporte de material orgânico, nutrientes, fitoplâncton é responsável pela grande produção pesqueira marinha. Entre os diversos grupos de animais encontrados nos ecossistemas estuarinos, destacam-se: peixes, moluscos e crustáceos (LIRA et al., 1992; COELHO et al., 2004, MMA, 2018). Embora os dados de pesca em manguezais sejam limitados, estima-se que, em alguns estados brasileiros, a contribuição desses ecossistemas atinja quase 50% da produção total da pesca artesanal (MMA, 2018).

Nos espaços estuarinos se formam ambientes, os quais os aspectos biológicos são impulsionados por diversos fatores como ventos, marés, temperaturas, correntes, entre outros, os quais são decisivos para nutrir diversas espécies, portanto, estas áreas estão incluídas como os ambientes naturais mais férteis (PROEST I, 1996, MMA, 2018).

De acordo com Salm (2006), os manguezais são sujeitos a mudanças diárias, mensais e anuais em seus ambientes físicos, tendo uma notável capacidade de lidar com altos níveis e tipos de estresses. Ainda, segundo o autor, embora os manguezais apresentem alta resiliência para lidar com mudanças, observa-se a falta de atenção para os efeitos sinérgicos das mudanças induzidas pela própria natureza e pelo ser humano. Sabe-se que milhões de moradores de áreas costeiras se beneficiam dos serviços prestados pelos manguezais, por isso a necessidade em desenvolver rapidamente e proativamente programas de gestão de áreas de mangue orientadas para a mudança climática.

Salm (2006) enfatiza que os registros geológicos mostram que as mudanças climáticas ao longo da história e a taxa atual de aquecimento global ameaçam a sobrevivência de ecossistemas inteiros, dentre eles, alguns ecossistemas de manguezais, que são especialmente vulneráveis à elevação do nível do mar.

Segundo Houghton et al. (2001), o CO<sub>2</sub> atmosférico aumentou de 280 partes por milhão por volume (ppmv) no ano de 1980 a cerca de 370 ppmv no ano de 2000, o que significa que parte do CO<sub>2</sub> atmosférico será absorvido pelos oceanos, afetando a química dos mesmos, além de degradar os recifes de corais, que protegem os manguezais da ação das ondas.

Os manguezais estão entre as florestas tropicais mais ricas em carbono, apresentando média de até 1.023 Mg C/ha (DONATO et al, 2011; ALONGI, 2015), em comparação com florestas tropicais, temperadas e boreais que apresentam em média 200-400 Mg C/ha (PAN et al, 2011). É importante destacar que, em áreas protegidas, os manguezais maduros armazenam mais carbono que as florestas ou plantações restauradas (MEENAKSHI, 2016). Embora os manguezais ocupem apenas 0,7% das áreas de florestas tropicais, quando ocorre o desmatamento nessas áreas, acabam contribuindo em 10% (0,02 – 0,12 Pg por ano) as emissões globais de CO<sub>2</sub> na atmosfera (DONATO et al., 2011; SIIKAMAKI et al., 2012; MEENAKSHI, 2016).

Esses ecossistemas estão sujeitos ao desmatamento e, portanto, podem ser fontes significativas de emissões atmosféricas (KAUFFMAN et.al, 2011), então, é preciso destacar a necessidade de conciliar o crescimento das populações humanas nas zonas costeiras em função da manutenção dos ecossistemas costeiros, produzindo alimentos e serviços à população (ALONGI, 2011), principalmente, porque 10% da população mundial e 13% da população urbana do mundo vivem na zona costeira (MCGRANAHAN et al., 2007, HOPKINSON et al., 2012).

O desmatamento dos diferentes tipos de florestas e mortalidade das árvores deverá ocorrer em muitas regiões ao longo do século 21, ocasionados pelo aumento das temperaturas e períodos de seca, esses fatores contribuem com riscos para o armazenamento do carbono, a biodiversidade, produção de madeira, atividades econômicas e qualidade da água (IPCC, 2018).

É necessário destacar a importância das áreas de proteção ambiental (APAs) em manguezais para a redução das emissões de carbono. Em um estudo realizado na Indonésia (2000 – 2010), notou-se que as áreas marinhas protegidas evitaram a perda de manguezais em 14.000 ha e conseqüentemente emissões de CO<sub>2</sub> em aproximadamente 13 milhões de toneladas métricas (MITEVA et al.,2015).

Para estudos sobre armazenamento de carbono pelos ecossistemas, deve-se ressaltar a diferença entre estoque e sequestro de carbono, o primeiro refere-se à quantidade de carbono armazenado na biomassa e no solo, enquanto a floresta for mantida. Já o sequestro de

carbono, está relacionado a quantidade líquida de carbono que é absorvida da atmosfera por unidade de tempo por plantas e solo (MEENAKSHI et al., 2016; CALDEIRA, 2012; SIIKAMAKI et al.2012). Neste sentido, é importante identificar a diferença entre estoque e sequestro de carbono, já que as taxas a curto e longo prazos podem ser diferentes. Destaca-se que em uma floresta jovem de mangue, recém-plantada, os estoques de C no solo e de madeira são de fato pequenos, mas as taxas de produção líquida (PPL) de C pelas árvores serão tão rápidas quanto as correspondentes taxas de acúmulo no solo (ALONGI, 2011).

Para Donato et al. (2011), os manguezais desempenham papel fundamental no controle e emissões de carbono atmosférico, armazenando grande quantidade desse gás nas camadas mais profundas do solo. Quando ocorre degradação e desmatamento, o carbono é liberado, resultando em emissões extremamente elevadas de gases de efeito estufa. Segundo estes autores, os manguezais estão entre as florestas mais ricas em carbono nos trópicos, contendo, em média, 1.023 mg de carbono por hectare.

Vale salientar que os manguezais fazem parte dos ecossistemas mais produtivos do planeta, sendo de grande relevância para a manutenção de bens e serviço. Além disso, são importantes sequestradores e estocadores de carbono na biomassa e solo, assim como na florestas tropicais úmidas. Porém, quando se trata de carbono total no sistema incluindo a biomassa subterrânea e estoque no solo o estoque de carbono em manguezais tropicais por unidade de área é significativamente maior que o observado em quaisquer florestas terrestres, incluindo as florestas tropicais úmidas, como a Amazônia (MMA, 2018).

Sabendo da importância dos ecossistemas de manguezais e seus serviços ecossistêmicos, buscou-se compreender a Produtividade Primária Líquida (PPL) e Produtividade Primária Bruta (PPB) como medidas para avaliar sua importância e contribuição ao meio ambiente e das sociedades que se beneficiam dessas áreas. A Produtividade Primária Líquida está diretamente ligada ao ciclo do carbono. A PPL é calculada a partir da biomassa produzida pela fotossíntese (Produtividade Primária Bruta - PPB) sendo descontada quantidade de matéria orgânica bruta perdida no processo da respiração autotrófica ( $R_a$ ) da vegetação (FERREIRA, VARONE e ALVES, 2013). Ressalta-se que, esses processos estão relacionados tanto a produção de matéria orgânica quanto ao estoque de carbono, ou seja, são indicadores da composição atmosférica, disponibilidade de água, biodiversidade e mudanças ambientais (FERREIRA, VARONE e ALVES, 2013).

Segundo Patil et al. (2012) com o crescente problema do aquecimento global, há uma necessidade imediata de reduzir a emissão de gases de efeito estufa, conservar o ecossistema existente capaz de armazenar carbono e encontrar novos meios de sequestrar o carbono. Os

manguezais que crescem perto da costa desempenham um papel importante no sequestro de carbono agindo como coletor de carbono, recebendo assim uma considerável atenção internacional.

Os manguezais do Brasil são áreas protegidas pelo Código Florestal (lei n. 12.727, de 17 de outubro de 2012) e são identificados como Área de Preservação Permanente, porém os mesmos são ameaçados por diversos fatores antrópicos como: crescimento de áreas urbanas, portuárias e construção civil, poluição por despejo de esgotos, pesca predatória, derramamento de petróleo, extração de madeira, carcinicultura, além eliminação da cobertura vegetal (VANUCCI, 2002; SOBRINHO; ANDRADE, 2009).

Em Pernambuco o Sistema Estadual de Unidades de Conservação da Natureza (SEUC) (Lei n. 13.787, 2009), instituiu 66 Unidades de Conservação Estaduais (UCE), sendo 25 de Proteção Integral e 41 de Uso Sustentável. No entanto, 33 aguardam a recategorização e implantação e 13 foram designadas como Áreas de Proteção Ambiental Estuarina (SILVA et al, 2018).

O Ministério do Meio Ambiente (MMA) traz informações no Atlas dos Manguezais do Brasil (2018) sobre o Plano de Ação Nacional para a Conservação das Espécies Ameaçadas e de Importância Socioeconômica do Ecossistema Manguezal - PAN Manguezal. Dentro desse plano destacam-se o Sistema Nacional de Unidades de Conservação - SNUC (Lei No 9.985, de 18 de junho de 2000), para as diversas categorias de Unidades de Conservação - UCs; com resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA/órgão consultivo e deliberativo da Política Nacional de Meio Ambiente – PNMA (Lei No 6.938/1981); o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro – PNGC (Lei Nº 7.661, de 16 de maio de 1988); Resolução CIRM Nº 01/1990, de 21 de novembro de 1990) e o Comitê Nacional de Zonas Úmidas – CNZU assessorado pelo Comissão Técnica sobre Manguezais – CNZU-CT Manguezal.

Pode-se destacar algumas pesquisas relacionadas à importância de se estudar o estoque e/ou sequestro de carbono em áreas de manguezais (COGLIATTI; FONSECA, 2003; FONSECA; ROCHA, 2004; MURDIYARSO et al., 2009; ALONGI, 2011; DONATO, 2011; KAUFFMAN, 2011; BELTRAN et al., 2012; CALDEIRA, 2012; PATIL et al., 2012; ALCANTARA, 2014; HAMILTON E LOVETTE, 2015; MITEVA *et al.* 2015; SANTOS; SANTOS, 2015; MEENAKSHI *et al.* 2016), as quais fornecem importantes informações sobre formas de reduzir a quantidade de CO<sub>2</sub> na atmosfera a partir da fotossíntese.

Sabendo da importância dos manguezais para a manutenção dos diversos ecossistemas, vale destacar os diversos estudos sobre as características estruturais dos

manguezais (KIENER, 1973; SAENGER et al., 1983; YÁÑEZ, 1987; KANGAS; LUGO, 1990; CANNICCI, 2008; BERNINI; REZENDE, 2004; COELHO et al., 2004, ALMEIDA, 2014; COSTA et al., 2014), os quais fornecem dados relevantes sobre seus aspectos ecológicos, biológicos e físicos, sendo fundamentais para análises comportamentais dessa estrutura e suas relações com ações antrópicas desenvolvidas. É importante salientar que não é possível definir um padrão típico de florestas de mangue, visto que suas estruturas são altamente variáveis, tornando cada manguezal único.

Grande parte dos estudos realizados sobre estrutura de bosques de mangue na costa brasileira (SOARES, 1999; SOUZA; SAMPAIO, 2000; 2001; DEUS et al., 2003; BERNINI; REZENDE, 2004; MATNI; MENEZES e MEHLIG, 2006; BARBOSA, 2010; BERNINI et al., 2010; KILKA et al., 2010; LIMA; TOGNELLA, 2012; SANTOS et al., 2012), adotaram a metodologia proposta por Schaeffer-Novelli e Cintrón (1986), a qual fornece métodos e técnicas a serem utilizados em estudos relevantes em áreas de manguezal. Esses autores propõem a identificação e descrição dos recursos naturais, envolvendo a preparação de mapas e descrição da região, além da caracterização estrutural, a qual envolve os parâmetros de diâmetro das árvores (DAP), identificação de espécies, área basal, altura média do bosque, densidade, fitomassa, área foliar e espaço ocupado pela copa. Esses dois últimos parâmetros são utilizados com menor frequência, devido às dificuldades na obtenção de valores.

A metodologia de caracterização estrutural dos bosques de mangue funciona como indicadores da qualidade ambiental do ecossistema manguezal, resultado de uma forte discussão científica na década de 80, amplamente difundida no Brasil e no mundo (ALMEIDA, V.C et al, 2014).

### 3 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento da pesquisa foram feitos estudos de caracterização da área, sendo estrutura e função do bosque, além da análise de imagens. Seguem as etapas realizadas:

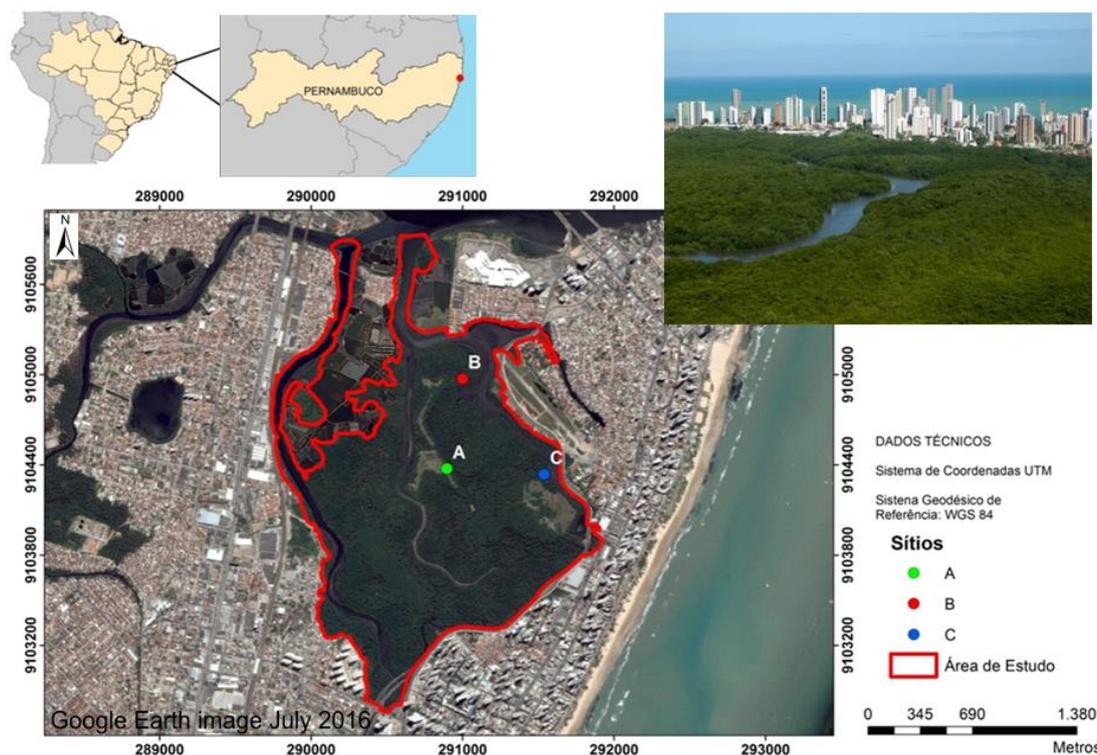
#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Nesta etapa do estudo foram destacadas as seguintes informações:

##### 3.1.1 Localização da Área

A pesquisa foi desenvolvida em três sítios no Manguezal do Pina, esse localizado na cidade do Recife, Bairro do Pina, Pernambuco (PE)/Brasil (**Figura 1**). A área é uma Zona Especial de Proteção Ambiental (ZEPA), assegurada pela Lei de Uso e Ocupação do Solo da Cidade do Recife (30 de janeiro de 1997) e pelo Código Florestal sob a lei n. 12.727, de 17 de outubro de 2012, além de ser reconhecida como Área de Preservação Permanente.

Figura 1 – Localização da área de estudo do Manguezal do Pina, Recife/PE. Destaque para a área de estudo e sítios analisados (A, B e C).



Fonte: Fernanda Gomes e Joaquim Freitas, 2018.

O Manguezal do Pina fica localizado entre os bairros do Pina, Boa Viagem e Imbiribeira, possui 324, 31 ha, extensão de 3,6 km e larguras que variam de 0,26 km a

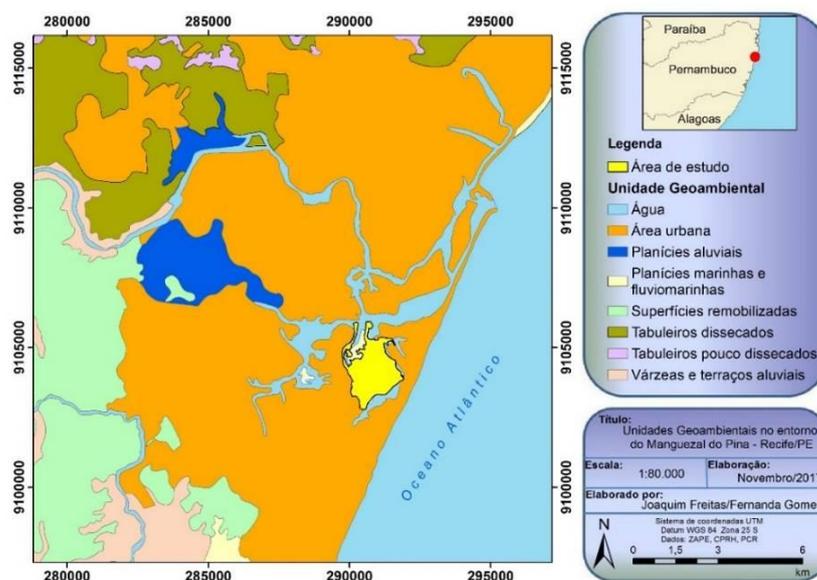
mínima e 0,86 km a máxima. Situado na zona sul da Cidade do Recife entre os paralelos 8°5'30" S e 8°6'30" S e os meridianos 34°54'30" W e 34°53'00" W e é considerado um dos maiores manguezais em área urbana do Brasil (FEITOSA et al., 1988; RECIFE, 2007; BARBOSA, 2010, CAVALCANTI et al, 2017).

### 3.1.2 Geologia e Geomorfologia

A área está inserida sobre a planície flúvio-marinha do Recife originada no Quaternário, o substrato de rochas cristalinas e sedimentares, são subdivididas nos domínios das rochas cristalinas de idade pré-cambriana, domínio dos sedimentos de coberturas e domínios das bacias sedimentares da margem continental. Essa estrutura geológica dá origem aos solos arenosos, latossolos e indiscriminados de mangue (PCR/ATLAS AMBIENTAL DA CIDADE DO RECIFE, 2000).

De acordo com dados disponíveis do Zoneamento Agrológico de Pernambuco (ZAPE), Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) e Prefeitura da Cidade do Recife (PCR), foi possível identificar as Unidades Geoambientais do entorno da área de estudo que perfazem planícies marinhas, fluvio-marinhas, aluviais, várzeas e terraços aluviais (**Figura 2**).

Figura 2 – Classificação das Unidades Geoambientais encontradas no entorno do Manguezal do Pina.



Fonte: Joaquim Freitas e Fernanda Gomes, 2017.

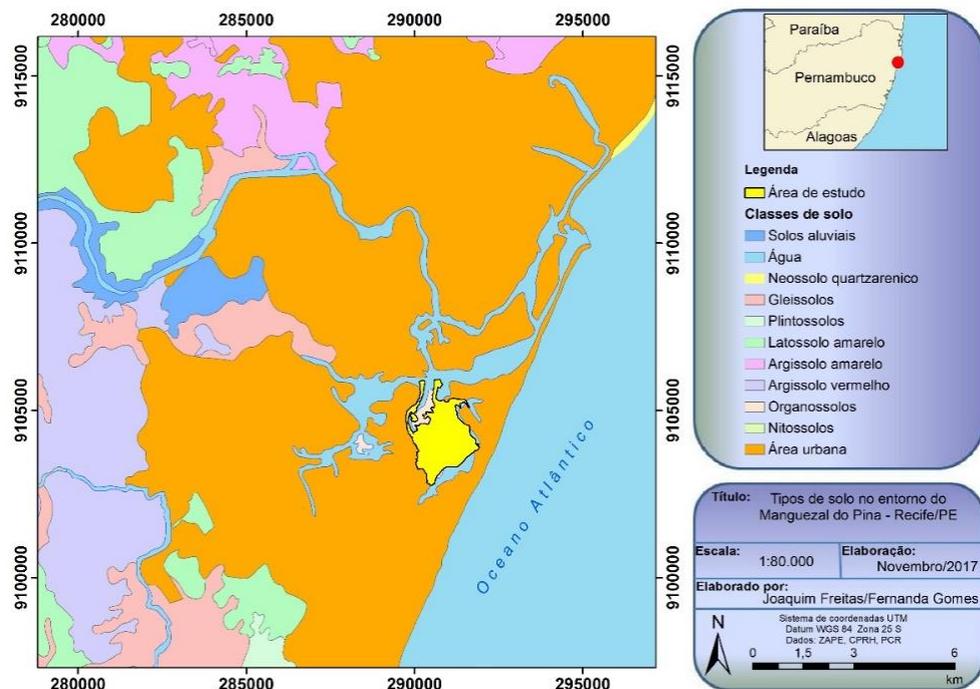
A topografia desse trecho é plana e com ocupação urbana densa (PROEST I, 1996). O Manguezal do Pina também tem influência da bacia do Canal de Setúbal, que se desenvolve

paralelamente à linha da costa e se interliga ao Rio Pina. Esse canal se encontra revestido em todo o seu curso e com as margens ocupadas.

### 3.1.3 Sedimentos

As classes de solos encontradas no entorno do Manguezal do Pina envolvem neossolos quartzarenitos, solos aluviais, gleissolos, plitossolos e organossolos (**Figura 3**). Apresenta uma classe granulométrica que varia de arenosa a franco arenosa, com porcentagens de areia total de 87,7 a 91,9  $\text{kg.kg}^{-1}$ , com médias de 86,4  $\text{kg.kg}^{-1}$ ; sendo o teor de argila máximo de 17% e o de silte 10% (BARBOSA, 2010).

Figura 3 – Classificação dos tipos de solos encontrados no entorno do Manguezal do Pina.



Fonte: Joaquim Freitas e Fernanda Gomes, 2017.

Os valores de pH (potencial Hidrogênioônico) caracterizaram os sedimentos como ácidos, com valores entre 4,7 e 5,8 (valores menores que 7 indicam uma solução ácida). Estes valores podem estar relacionados à oxidação de sulfetos, decomposição de serrapilheira, hidrólise de tanino das plantas de mangue (as quais liberam vários ácidos orgânicos) (LIAO, 1990), ou em função das flutuações do nível freático ou do conteúdo de umidade. Tanto os teores de carbono orgânico quanto os de pH são dados que variam de acordo com as condições ambientais em que as áreas analisadas se encontram.

Em relação aos teores de cálcio (Ca) e magnésio (Mg), Barbosa (2010) em estudo na área identificou teores de Mg variando entre 6,1 e 9,1  $\text{Cmol c dm}^{-3}$ , enquanto os Ca oscilaram entre 2,2  $\text{Cmol c dm}^{-3}$  e 4  $\text{Cmol c dm}^{-3}$ , ambos os elementos são macro nutrientes secundários para as plantas, juntamente com o enxofre. Os teores altos de Mg no Manguezal do Pina podem estar relacionados às menores perdas por lixiviação, pois o Mg é mais solúvel que o cálcio e sujeito, então, às perdas por lixiviação. Gismonti (2009) ressalta que o cálcio promove a redução da acidez do solo, melhora o crescimento das raízes e aumenta a atividade microbiana, a disponibilidade de molibdênio (Mo) e de outros nutrientes de acordo com Gismonti (2009).

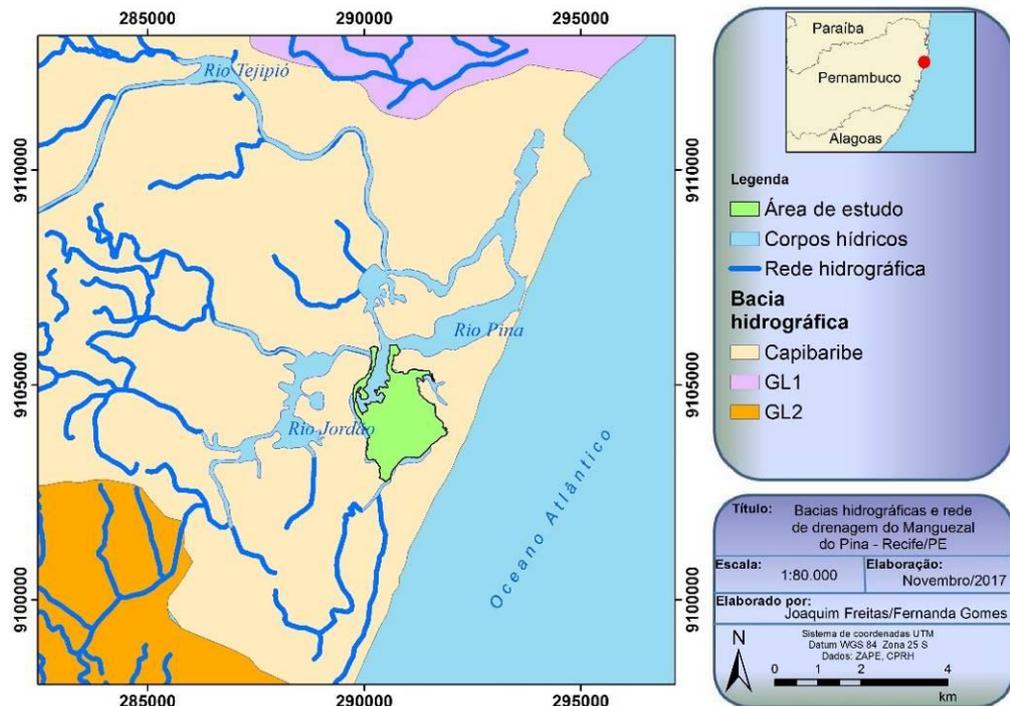
O percentual de areia fina apresentou valores superiores ao de areia grossa, variando de 49 a 66% e de 21 a 43%, respectivamente, os teores de argila oscilaram entre 4 e 14%, enquanto os de silte, entre 2 a 10% (BARBOSA, 2010). O carbono orgânico nas amostras de sedimentos do Manguezal do Pina variou de 0,7 a 2,5  $\text{dag.kg}^{-1}$  (BARBOSA, 2010).

### 3.1.4 Hidrografia

De acordo com a classificação de Cintron e Schaeffer-Novelli (1985), o manguezal do Pina é do tipo ribeirinho, ou seja, localizado ao longo das margens de rios e canais de marés. Nessas áreas ocorre grande entrada de nutrientes e os níveis de salinidade são baixos, o que favorece o desenvolvimento da vegetação.

O Manguezal do Pina está localizado no complexo estuarino dos rios Pina e Jordão (22  $\text{km}^2$ ) e Tejipió que sofre influência dos Rios Moxotó e Jiquiá (70  $\text{km}^2$ ) (PROEST I, 1996, MMA, 2018). Essa área de espelho líquido faz parte do complexo estuarino do Recife, no qual o principal rio é o Capibaribe (**Figura 4**).

Figura 4 – Bacias hidrográficas no entorno do Manguezal do Pina. Localização dos principais rios (Tejipió, Pina e Jordão).



Fonte: Joaquim Freitas e Fernanda Gomes, 2017.

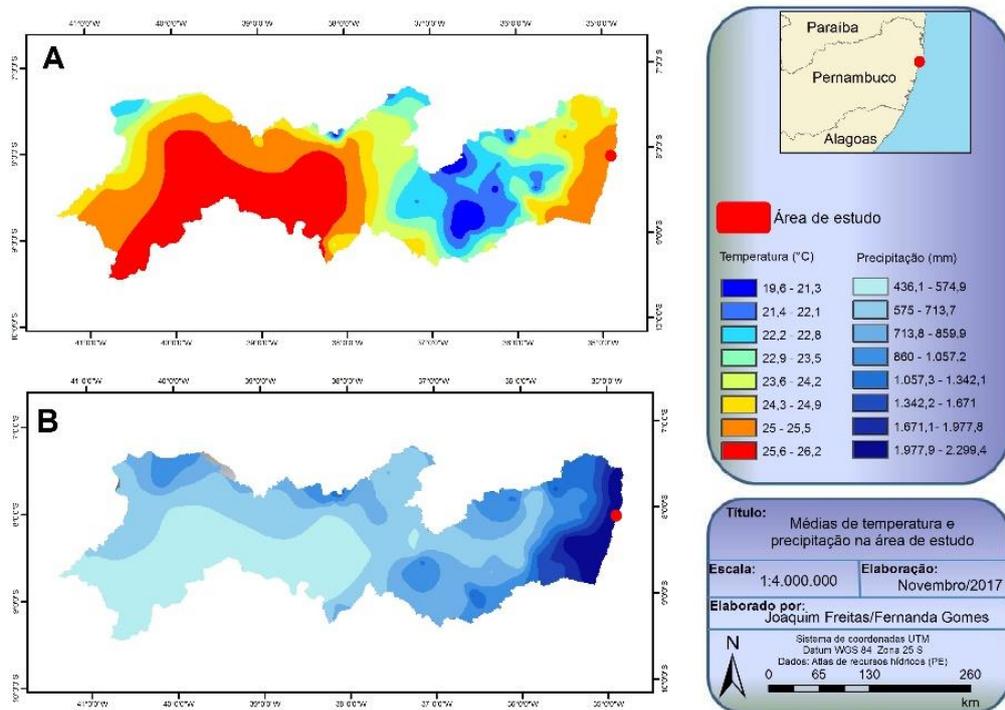
A maré é do tipo semidiurna, o que indica que são produzidas duas preamares e duas baixa-mares por dia lunar, podendo as marés de sizígia no porto do Recife alcançarem 2,70 m na preamar e -0,20 m na baixa-mar (dados estimados), apresentando, na maré astronômica, uma amplitude de potencial máxima da ordem de 2,90 m (ARAÚJO, MINEIRO e CATALICE, 2011). Os autores ainda enfatizam que entre os rios Pina e Jordão ocorreu uma defasagem de cerca de uma hora, acompanhada de um amortecimento de 5,3%, e esse efeito pode ser explicado pelo “efeito do mangue” na propagação do sinal de maré entre a foz comum e o local próximo à bifurcação do Jordão. Ressaltam que o manguezal é um meio eficaz de proteção contra o processo erosivo causado pela propagação da energia da onda de maré e o escoamento alternativo de afluxos e refluxos induzidos pelas correntes associadas.

O crescimento na taxa de urbanização, nesta área, deve-se à ocupação da cidade sobre o espaço natural nas margens dos rios e dos manguezais através de aterros que provocaram sérias modificações na macro e micro drenagem. (SOBRINHO; ANDRADE, 2009). Os autores chamam atenção para o desaparecimento de alguns canais e a artificialização de outros, além do alto grau de impermeabilização a que a bacia está submetida evidenciam-se enchentes periódicas.

### 3.1.5 Clima

Na classificação climática de Köppen o clima é AS' (quente e úmido). Esse tipo de clima é definido por Andrade (1997) como tendo um regime de chuvas de outono (antecipada) e inverno (concentrada) (PCR/ATLAS AMBIENTAL DA CIDADE DO RECIFE, 2000). Segundo o Atlas de Recursos Hídricos de Pernambuco, a temperatura pode variar de 25 a 25,5°C, com precipitação anual de 1.977,9 a 2.299,4 mm (**Figura 5**).

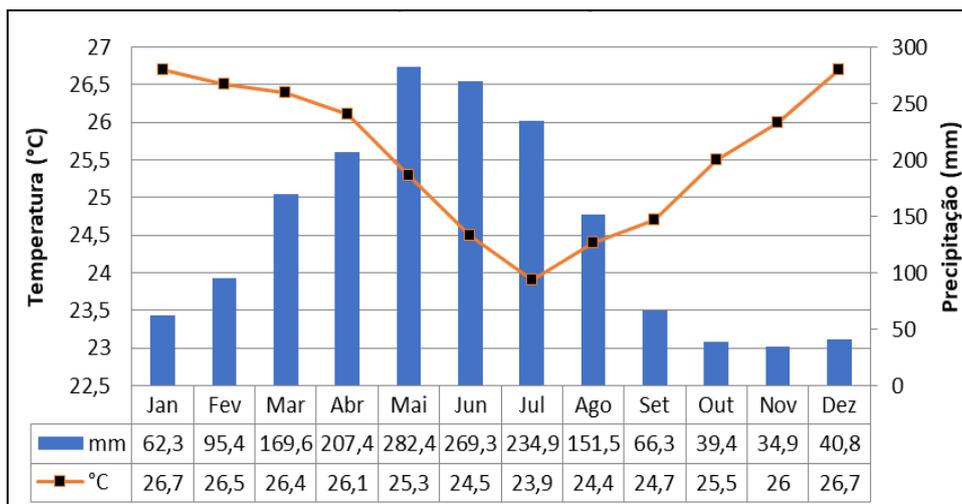
Figura 5 – Dados de temperatura e precipitação na área de estudo.



Fonte: Joaquim Freitas e Fernanda Gomes, 2017.

A temperatura média da cidade do Recife é 25,6°C com precipitação média anual de 1651,3 mm segundo dados (2018) do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade de Campina Grande (UFCG). A **Figura 6** apresenta o balanço hídrico das médias de precipitação e temperaturas mensais no período de 1911 até 1990 para a estação de Recife (Código: 3960026).

Figura 6 – Balanço hídrico normal mensal utilizando as médias de dados de temperatura média e precipitação acumulada entre (1911 até 1990) da estação Recife. Dados: UFCG.



Fonte: Autora, 2018.

### 3.1.6 Vegetação

Na desembocadura dos rios Pina e Jordão, os movimentos das marés e sedimentos argilosos misturados com materiais de natureza orgânica formam um ambiente favorável ao desenvolvimento da vegetação característica de mangue, embora a área sofra com uma grande descarga de resíduos sólidos oriundos da Cidade do Recife (PCR/ATLAS AMBIENTAL DA CIDADE DO RECIFE, 2000).

O ecossistema manguezal pode ser caracterizado como um *continuum* de feições: lavado que caracteriza-se como a feição exposta à maior frequência de inundação com substrato lamoso ou areno-lamoso sem a presença de cobertura vegetal vascularizada; feição de mangue que apresenta cobertura vegetal típica com espécies arbóreas; apicum que pode estar envolvida com feição de mangue ou limitando-se a esta em sua feição mais interna, sendo uma área de transição para a terra firme e zona de amortecimento (TURRA; DENADAI, 2015).

No Manguezal do Pina a predominância em termos de densidade relativa é da *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. f. (Combretacea) (85%), seguida de *R. mangle* L. (Rhizophoracea) (15%) (BARBOSA, 2010). A *L. racemosa* apresenta folhas com pecíolo vermelho com duas glândulas em sua parte superior, junto à lâmina da folha. Esse tipo de espécie apresenta em seu sistema radicular pneumatóforos que favorece as trocas gasosas entre a planta e o meio. Outra característica, é que esse tipo de espécie produz uma grande quantidade de propágulos, formando cachos (rácemos) que pendem nas terminações dos galhos (SCHAEFFER-NOVELLI, 1985).

Cavalcanti et al. (2017) chamam atenção para dados de Índices de Área Foliar (IAF) no Manguezal do Pina, no qual os resultados apresentaram diminuição desses valores na década de 80 e aumento desses em 2011, corroborando com dados da pesquisa de Barbosa (2010) sobre a alta resiliência da vegetação de mangue frente a diversos tensores. De acordo com Cavalcanti et al. (2017), o índice de área foliar (IAF) é utilizado para estimar o nível de biomassa na área, estando relacionado ao tamanho do dossel florestal e ao tamanho das folhas das plantas.

### 3.1.7 Fauna

Na Bacia do Pina é comum se deparar com pescadores que durante o período de baixamares coletam diversas espécies com valor comercial, como por exemplo, camarões, siris, marisco, além de outras espécies como tainhas, curimãs, camurins e carapebas. O grande aumento de poluição na bacia vem trazendo uma redução na produtividade, tanto para a criação em viveiros quanto para a pesca.

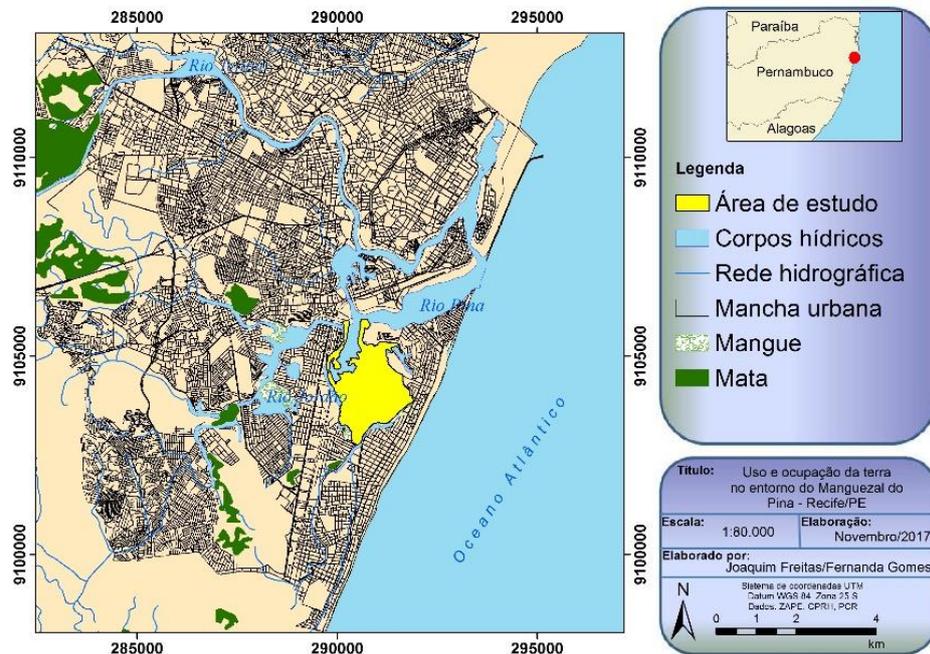
Sobre a fauna no Manguezal do Pina, não foram identificados estudos e catalogação das espécies, o que gera uma grande dificuldade para compreender o ecossistema como um todo. A área é representada pelo aratu do mangue (*Goniopsis cruentata*, Latreille, 1803), chama-maré (*Uca ssp.*), ostra do mangue (*Crassostrea rhizophorae*) (Guilding, 1828), guaiamum (*Cardisoma guanhumi* Latreille, 1825), caranguejo uça (*Ucides cordatus* Linnaeus, 1763) e siris (*Callinectes ssp.*) (SILVA, 2003 apud SANTANA et al, 2017).

### 3.1.8 Aspectos Socioeconômicos

Desde a década de 1940, o Manguezal do Pina tem sido afetado pela especulação imobiliária, lançamento de efluentes domésticos, corte da vegetação para obtenção da lenha ou para a construção de ocupações, aumento populacional, produção de alimentos, além da ocupação de suas margens por diversas comunidades de pescadores. Atualmente, o manguezal se encontra envolvido por ocupações urbanas de alto e baixo poder aquisitivo, totalizando 11 comunidades (Zeis Ilha de Deus: Ilha de Deus, no bairro do Pina e Zeis Pina/Encanta/Moça: Bode, Encanta Moça, Areinha e Beira Rio/Joca, Pantanal, Pantanal 2 e Xuxa, no Bairro do Pina) que se estabeleceram nas margens dos rios Pina e Jordão, sendo ocupações espontâneas

e sem planejamento urbano (**Figura 7**).

Figura 7 – Uso e ocupação da terra no entorno do Manguezal do Pina.



Fonte: Joaquim Freitas e Fernanda Gomes, 2017.

A área parte da Região Político Administrativa 6 (RPA 6), e a maioria da população reside em áreas carentes e engloba a maior parte dos domicílios (ATLAS DE DESENVOLVIMENTO DA CIDADE DO RECIFE, 2005; NETO, 2015). Além da expansão urbana, a área recebe uma grande quantidade de resíduos oriundo de diversos bairros do entorno carreados pelos rios Pina, Jordão e Tejió. Barbosa (2010), Melo et al. (2013) e Cavalcanti (2017) chamam a atenção para o crescimento da área urbana dos bairros centrais do Recife e do Pina as margens do estuário ao longo dos últimos 20 anos e esse crescimento ocasionou redução e aumento das áreas florestadas do Manguezal do Pina. Porém, apesar da alta resiliência do ecossistema frente a diversos fatores, não significa que o mesmo se encontra em um grau de conservação adequado ou que o mesmo tenha alcançado o máximo grau de desenvolvimento.

Almeida (2016) destaca que a transformação de áreas de manguezais que se baseiam em modelos de desenvolvimento e propícias a instalação de portos e expansão das cidades, acabam gerando desigualdades e impedindo convivência humana com a natureza, resultando a diminuição, ou até a extinção de ecossistemas.

Neto (2015), chama atenção para o crescimento dos cinturões de miséria na Bacia do Pina, como resultado de um acelerado processo de urbanização e “favelização”, além da construção da Via Mangue, em 2014. Ele enfatiza que após a construção da Via, diversas

atividades foram afetadas, a inviabilização da navegação fluvial dos pescadores e a quebra da estrutura socioeconômica da população ribeirinha, que tinha, no manguezal, a sua forma de sustento econômico, caracterizado, principalmente, pela atividade dos pescadores e marisqueiras. Pode-se adicionar a esses fatores, as diversas alterações no próprio ambiente natural.

É interessante destacar que há um grande contingente de população ribeirinha assentada às margens deste ecossistema, perfazendo um total de dez aglomerados de baixa renda que se encontram, física e sanitariamente, em precárias condições de habitabilidade

Na tentativa de impedir ocupações irregulares às margens dos manguezais, a Prefeitura da Cidade do Recife anunciou um reforço nas fiscalizações e demolições das construções inacabadas e desabitadas, contando, inclusive, com o apoio da Delegacia de Polícia e Meio Ambiente. Essa decisão se deu por conta das construções irregulares nas áreas de preservação ambiental, principalmente às margens dos manguezais, infringindo leis municipais e federais (Lei Federal de nº 9605/1988). No bairro do Jiquiá (local com condições mais críticas) a área devastada corresponde a cerca de 20 hectares, o equivalente a 20 estádios de futebol (JORNAL DO COMÉRCIO, 2018).

### 3.2 CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL E FUNCIONAL

Seguem as etapas para a obtenção dos dados em questão:

#### 3.2.1 Delimitação das Parcelas

Para a análise da caracterização estrutural do Manguezal do Pina foi adotado o método de parcelas múltiplas proposto por Schaeffer-Novelli e Cintrón (1986 e 2015). A metodologia de caracterização estrutural dos bosques de mangue funciona como indicadora da qualidade ambiental do ecossistema manguezal, resultado de uma forte discussão científica na década de 1980 e amplamente difundida no Brasil e no mundo (ALMEIDA *et al.*, 2014).

As análises foram realizadas nos anos de 2009 e 2016 em três sítios de amostragem (A, B e C), sendo cada sítio composto por três parcelas de 400 m<sup>2</sup>, totalizando nove parcelas para cada ano, com exceção do ponto B1 (em 2016), quando a grande quantidade de resíduos sólidos e número de árvores mortas impossibilitaram a coleta de dados. As parcelas foram delimitadas com o uso de trenas, cordas de náilon e estacas de bambu.

Em 2009 as análises foram realizadas nas seguintes datas: 25/07/09 (parcelas A1 e

A2); 26/06/2009 (parcela A3); 20/08/09 (sítio B) e 18/09/09 (sítio C). Para o ano de 2016 as análises foram feitas em: 02/12/16 (sítio A), 13/08/16 (sítio B) e 16/12/16 (sítio C).

As parcelas foram posicionadas obedecendo aos gradientes ambientais físico-químicos, orientadas paralelas à margem do Rio Pina, obedecendo à distância de 10 m uma das outras e com densidade da vegetação de no mínimo 30 indivíduos por parcela. O sítio A foi delimitado a aproximadamente 30 metros das margens de um dos braços do Rio Pina, nas coordenadas UTM de 0290895 e 9104376 (erro de 10 m). O ponto B situou-se a 10 metros de um dos braços do rio Pina, nas coordenadas UTM 0290998 e 9104338 (erro de 15 m), enquanto o sítio C foi localizado nas coordenadas UTM 0291537 e 9104338 (erro de 10 m) a uma média de distância de 10 metros das margens do Rio Pina. Para a localização dos pontos foi usado o GPS (*Global Positioning System*) do tipo Garmin Etrex SUMMIT HC.

Para cada parcela foram verificadas as coordenadas em UTM, escala de marés, temperaturas da superfície e do solo e água intersticial. Além desses dados, foram verificados os parâmetros estruturais do bosque de mangue: identificação das espécies, D.A.P (diâmetro à altura do peito dos troncos vivos), altura dos indivíduos, área basal (AB), área basal média (ABM), número de troncos cortados e número de troncos mortos, densidade, frequência e dominância das espécies.

### **3.2.2 Temperatura do Solo e do Ar, Salinidade da Água Intersticial e Análise de Sedimento**

Para a aferição da temperatura do ar e do solo foi utilizado um termômetro graduado. A análise da salinidade intersticial foi realizada a partir de uma amostra localizada na região central de cada parcela estudada. A água coletada foi obtida escavando-se a área a 30 cm de profundidade. Os valores referentes à água intersticial foram medidos utilizando um refratômetro óptico modelo Instruthem, escala de 0 a 100,  $\pm$ UPS.

As análises de sedimentos foram realizadas no laboratório de Química do Solo da Universidade Federal Rural de Pernambuco no ano de 2009, tendo sido determinadas a caracterização física (granulometria) e química (pH em água,  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  trocáveis e carbono orgânico). Foram recolhidas quatro amostras de cerca de 150 g de sedimentos em cada parcela para as análises (30 cm de profundidade). Após a coleta o material foi seco ao ar, destorroado e peneirado em malha de 2 mm para a realização das análises. Essa análise fundamentou-se na quantificação dos teores das frações do solo, determinados pela

metodologia proposta pela EMBRAPA (1997). O teor de carbono nas amostras foi analisado pelo método de Yeomans; Bremner (2000).

### 3.2.3 Contagem e Diâmetro das Árvores

O diâmetro médio é caracterizado como sendo o diâmetro da árvore de área basal média. Em cada parcela as árvores foram contabilizadas, incluindo o número de indivíduos vivos, mortos e cortados (apresentavam características de cortes). Todas as árvores foram marcadas com tinta spray para evitar recontagem dos indivíduos e as medidas referentes aos diâmetros foram obtidas com trenas graduadas calibradas em centímetros e posteriormente agrupadas por classes de diâmetros, sendo  $< 2,5$ ,  $\geq 2,5$  e  $\geq 10$  cm. Os diâmetros (DAP) foram medidos a partir de 1,30 m do solo, obedecendo às irregularidades de cada espécie, sendo que em indivíduos de *R. mangle* este parâmetro foi aferido a partir da última extensão caulinar. Posteriormente as medidas foram registradas em fichas e planilhas do excel para o tratamento dos dados estruturais. Para a obtenção dos valores de D.A.P, cada valor de circunferência foi dividido por  $\pi = 3,1416$ . O diâmetro médio é dado pela seguinte fórmula:

$$D.A.P \text{ Médio} = \sqrt{(AB) * (12732,39)/n}$$

Onde: AB é o valor da área basal e n é o número de indivíduos por hectare.

### 3.2.4 Altura das Árvores

As alturas das espécies vegetais foram medidas com hipsômetro OPTI-Logic 1000 LH. Para a altura média do bosque foi feita a média da altura de todas as árvores contabilizadas em cada parcela. A altura do dossel foi calculada a partir da média de altura das três maiores árvores de cada parcela. Por fim, foi feita a altura desvio padrão para todas as parcelas estudadas, aplicando o desvio padrão para todos os intervalos de alturas.

### 3.2.5 Área Basal e Área Basal Média de Troncos Vivos

A área ocupada por um tronco com determinadas medidas de diâmetro define a área basal (SCHAEFFER-NOVELLI; CINTRÓN 1986; 2015). Essa medida fornece dados

quantitativos sobre a estrutura arbórea expressa em metro quadrado por ha ( $m^2/ha$ ) e é calculada a partir D.A.P. A área basal funciona como um bioindicador do índice de grau de desenvolvimento, expressando a quantidade de biomassa do bosque e volume.

Para cada parcela, a área basal ( $g$ ) de um tronco é expressa por  $g = \pi r^2$ , sendo  $r$  o raio. Considerando o  $r = D.A.P/2$ , o  $g$  é representado por:

$$g = \frac{\pi}{4(D.A.P)^2}$$

Transformando  $g$  em  $m^2$ , a fórmula é dada por:  $g = \frac{\pi(D.A.P)^2}{4(10.000)}$ , portanto,  $g = 0,00007854 (D.A.P \text{ cm})^2$ .

Por fim, os dados foram posteriormente transformados em 0,04 ha (1.000  $m^2$ ), para homogeneizar, os dados de todas as parcelas analisadas.

### 3.2.6 Número de Troncos Mortos e Cortados

Foram contabilizados todos os troncos em cada parcela. Considerou-se os indivíduos vivos, mortos (com morte apical, característica que pode estar relacionada com valores de salinização) e indivíduos cortados (quando apresentavam características de cortes). Os indivíduos eram marcados com tinta spray ou com barbantes para evitar a recontagem.

### 3.2.7 Densidade Relativa

Para os dados de densidade relativa (DeR), os indivíduos eram identificados (tipo de espécie), e contabilizados o número de troncos por unidade de área (indivíduos por hectare). Essa medida é uma comparação entre as diversas parcelas estudadas, obtidas pela seguinte fórmula:

$$DeR = \frac{(\text{Número de troncos por classe})}{(\text{Número total de troncos})} * 100$$

A densidade do bosque está diretamente relacionada ao amadurecimento e idade do bosque, ou seja, os bosques mais novos apresentam densidade mais elevada, já os bosques mais maduros apresentam baixa densidade por unidade de área. É importante salientar que os

dados de densidade relativa, além de estarem relacionados ao grau de maturidade do bosque, podem ser um indicativo de sucessão.

### 3.2.8 Dominância Relativa

O tipo de comunidade arbórea é definido pela dominância relativa (DoR), ou seja, é a área basal de dominância de indivíduos entre as várias parcelas, de cada espécie vegetal viva, morta ou com perda de biomassa, podendo ser obtida pela fórmula:

$$DoR = \frac{(\text{Área basal por classe})}{(\text{Área basal total})} * 100$$

### 3.2.9 Frequência Relativa

Os resultados relacionados à frequência relativa referem-se à probabilidade de ocorrência das espécies nas áreas estudadas de um mesmo tamanho. Para a obtenção dos dados de frequência relativa (F.R), usa-se a seguinte expressão:

$$F.R = \frac{\text{Frequência de uma espécie}}{\text{Soma da frequência de todas as espécies}} * 100$$

### 3.2.10 Análise dos Componentes Principais

Para a obtenção dos resultados estatísticos foi utilizado o programa Numerical Taxonomy and Multivariate Analysis System (NTSYS) da *metagraphics Software Corporation*, Califórnia/USA, disponível no Laboratório de Zooplâncton do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco.

O estudo analisou os principais componentes da matriz formada com todos os dados das espécies e parâmetros ambientais mais significativos, sendo submetidos à padronização para reduzir os efeitos das diferentes escalas. Posteriormente, foram calculadas as similaridades por correção momento-produto de Pearson, depois computados autovalores da matriz de dispersão, associando os autovalores e auto vetores, que correspondem aos eixos principais do espaço multidimensional. O primeiro eixo apresenta a maior dimensão elipsoide

multidimensional, enquanto os demais passam por dimensões gradativamente menores (LEGENDRE; LEGENDRE, 1998). Os dois primeiros fatores são projetados em espaço bidimensional.

### **3.2.11 Método Estatístico IBM SPSS 22**

As análises estatísticas foram realizadas utilizando testes não-paramétricos (Mann-Whitney para duas amostras e Kruskal-Wallis para maior número de amostras) no programa IBM SPSS 22, pois os dados de altura e DAP medidos em 2009 (df=583) e 2016 (df=312) não passaram o teste Shapiro-Wilk de normalidade ( $p < 0.05$ ). A estatística foi realizada no Departamento de Geografia e Ciências Ambientais da Universidade de Bournemouth na Inglaterra.

## **3.3 ANÁLISE DAS IMAGENS E COLETA DE DADOS**

Para análise e coleta de dados foram seguidas as seguintes etapas:

### **3.3.1 Definição das imagens, reprojeção e recorte**

Para o mapeamento da área de estudo, com o intuito de obter dados sobre a Produtividade Primária Líquida (NPP) e Produtividade Primária Bruta (GPP), foram necessárias aquisições de dados orbitais e climáticos, assim como imagens com baixa nebulosidade para melhor representatividade dos resultados.

Foram utilizadas duas imagens do Landsat 5 (sensor Thematic Mapper (TM)) e uma do Landsat 8 (sensores Operational Land Imager (OLI) e Thermal Infrared Sensor (TIRS)) disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pertencentes a órbita 214/66, para os dias 08/09/2005; 06/09/2010 e 18/06/2016. Esses produtos foram adquiridos com suas bandas separadas, empilhadas e corrigidos seus sistemas de coordenadas através do processo de reprojeção.

O Landsat 8 possui resolução de 15 m no sensor Pancromático (PAN) e 30 m no sensor Multiespectral (MS), além de ter 8 bandas multiespectrais de 1-7 e 9 e termais de 10-11. Já o Landsat 5 apresenta 7 bandas espectrais captadas pelo sensor TM com resolução

média da superfície terrestre das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 de 30 m e, para a banda 6, a resolução é de 120 m.

Para o Modelo Digital de Elevação (MDE ) foram consultadas as bases de dados Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/EMBRAPA. Os dados de temperatura do ar, índices pluviométricos e umidade relativa foram adquiridos no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e na base de dados da Universidade de Campina Grande (UFCG). Após a reprojeção foi feito um recorte na primeira imagem envolvendo a área de estudo e seu entorno, sendo esse mesmo recorte utilizado nas demais imagens, o que favoreceu calcular o tamanho da área de estudo.

### **3.3.2 Balanço de Energia (SEBAL)**

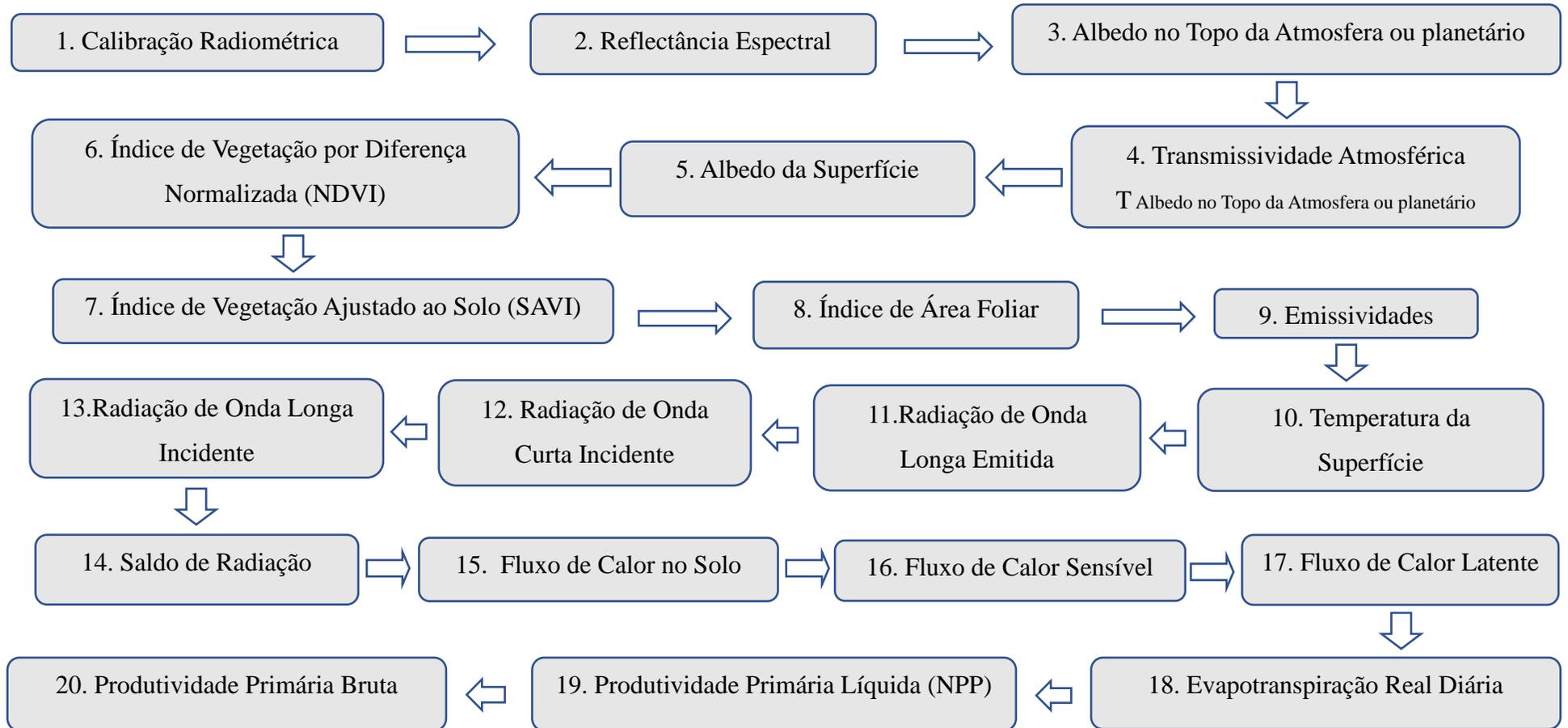
O SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) é um modelo processado por meio de rotinas computacionais que predizem um balanço completo da radiação e da energia ao longo da superfície da Terra (MENEZES et al. 2009) nos diversos ecossistemas e em diversas condições climáticas. Esse modelo esquemático foi desenvolvido por Bastiassen et al. (1998) utilizado em conjunto com o método do perfil do fluxo interativo (GIESKE, 2003), desenvolvidos para a eficiência de cálculo.

O objetivo do algoritmo é de calcular os diversos componentes do balanço de radiação na superfície da Terra, assim como utilizar imagens de satélite que apresentam bandas de reflexão e termal, além de dados disponibilizados nas estações meteorológicas. Em escalas menores apresenta dados de até 1% de erro, comprovando a eficácia do método (BASTIASSEN, 2000). Neto (2017) enfatiza o modelo como uma opção viável e menos custosa para a obtenção de dados relacionados ao balanço de energia, principalmente, em médias escalas.

### **3.3.3 Etapas para a obtenção da Produtividade Primária Líquida (NPP) e Produtividade Primária Bruta (GPP)**

Para se chegar aos valores de NPP e GPP foi necessário a construção dos componentes de balanço de energia das imagens, a partir do *model maker* do ERDAS 9.3. Foram seguidos os seguintes passos do modelo SEBAL (**Figura 8**):

Figura 8 – Etapas do estudo para a obtenção da GPP e NPP a partir do modelo SEBAL (BASIASSEN ET AL., 1998).



Fonte: Autora, 2019.

### *Calibração Radiométrica*

Essa variável está relacionada a energia solar refletida por cada pixel por unidade de área, tempo, comprimento de onda (MARKHAM e BAKER, 1987). A calibração radiométrica é a conversão do ND (número digital) de cada pixel em radiância espectral monocromática.

A calibração é efetivada pela equação:

$$L_{\lambda_i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} \text{ND} \quad \text{ou} \quad a + ((b-a)/255) * \text{ND}$$

No qual **a** e **b** são as radiâncias máximas e mínimas captadas pelo sensor em cada banda. O **ND** corresponde ao número digital (0-255) e o **i** corresponde as bandas de 1 a 7 da imagem do Landsat (TM). É preciso ressaltar que as imagens Landsat 8 (OLI) já possuem calibração radiométrica.

### *Reflectância Espectral*

A reflectância corresponde à razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, considerando a irradiação de cada banda, através da seguinte equação:

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{k_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r}$$

Onde:

$L_{\lambda_i}$  = radiância espectral de cada banda;

$k_{\lambda_i}$  = irradiância solar

Z = ângulo zenital = 90° - B (elevação solar, dado retirado da própria imagem);

$d_r$  = distância terra sol

### *Albedo Planetário (Topo da Atmosfera)*

O albedo planetário corresponde a reflectância no topo da atmosfera, portanto, sem correção atmosférica. É a integração da reflectância de todas as bandas através da junção linear das reflectâncias monocromáticas, sendo:

$$\alpha_{\text{toa}} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7$$

Onde:

$\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5 =$  correspondente as reflectâncias das bandas 1, 2, 3, 4, 5, 7.

### *Albedo da Superfície*

Trata da reflectância corrigida para os efeitos da atmosfera, calculado através da equação:

$$\alpha = \frac{\alpha_{\text{toa}} - \alpha_{\text{p}}}{\tau_{\text{sw}}^2} \quad \text{ou} \quad 0,75 + 2 * 10^{-5}z \quad (z=\text{altitude})$$

Onde:

$\alpha_{\text{toa}}$  = albedo no topo da atmosfera

$\alpha_{\text{p}}$  = porção da radiação refletida pela atmosfera (varia de 0,025 – 0,04) segundo Bastiaanssen (2000) foi utilizado o valor de 0.03.

$\tau_{\text{sw}}^2$  = transmissividade atmosférica para a radiação solar em condições de céu claro. Corresponde à fração da radiação que é transmitida.

Z = altitude proveniente de imagens de radar, sendo o valor do pixel igual ao valor da altitude local.

### *NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)*

Leva em consideração a relação entre a reflectância na banda do vermelho e no infravermelho. É um índice indicador sensível da quantidade e condição da vegetação. Varia de -1 a 1. Para água e nuvens, o NDVI é geralmente menor que zero.

$$\text{NDVI} = \frac{\rho_{\text{IV}} - \rho_{\text{V}}}{\rho_{\text{IV}} + \rho_{\text{V}}}$$

Onde:

$\rho_{\text{IV}}$  e  $\rho_{\text{V}}$  indicam respectivamente, banda 4 e banda 5.

### *SAVI (Índice de Vegetação Ajustado ao Solo)*

Corresponde a um índice ajustado ao solo. Tem menor ponto de saturação que o NDVI.

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)}$$

Onde:

L = constante 0,1 (Allen *et al*, 2002);

$\rho_{IV}$  e  $\rho_V$  = indicam respectivamente, banda 4 e banda 5.

### *IAF (Índice de Área Foliar)*

É definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área, funcionando como um indicador de biomassa. Sendo o ln um logaritmo.

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91}$$

### *Emissividades*

Segundo Silva (2009) como cada pixel não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, há a necessidade de introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal  $\epsilon_{NB}$ , qual seja: 10,4 – 12,5  $\mu\text{m}$  (emissividade do canal termal). Por sua vez, quando do cômputo da radiação de onda longa emitida por cada pixel, há de ser considerada a emissividade no domínio da banda larga  $\epsilon_0$  (5 – 100  $\mu\text{m}$ ) (emissividade de cada pixel). A aplicação da fórmula serve para  $NDVI > 0$  e  $IAF < 3$ . Valores de IAF maiores ou igual a 3. Já os valores de  $\epsilon_{nb}$  e  $\epsilon_0$  se igualam a 0,98. Para  $IVDN < 0$ , o  $\epsilon_0=0,985$  e  $\epsilon_{nb}= 0,99$ .

$$\epsilon_{nb} = 0,97 X 0,00331.IAF \quad \text{e} \quad \epsilon_0 = 0,95 + 0,01.IAF$$

Onde:

IAF = Índice de área foliar

### *Temperatura da Superfície*

Nesta etapa foram utilizados valores referentes a radiância espectral da banda termal e

a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal.

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\varepsilon_{NB} K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)}$$

Na qual as variantes são:

$K_2 = 607,76 \text{ Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$  (constante)

$\varepsilon_{NB}$  = emissividade do termal

$K_1 = 1260,56 \text{ K}$  (constante)

$L_{\lambda,6}$  = radiância espectral

### *Radiação de Onda Longa Emitida*

Dada pela fórmula:

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_o \cdot \sigma \cdot T_s^4$$

Sendo:

$\varepsilon_o$  = emissividade de cada pixel

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzman ( $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$ )

$T_s$  = temperatura da superfície (K)

### *Radiação de Onda Curta Incidente*

Esta radiação é classificada como a radiação solar que incide no sensor no momento em que o satélite imageia a área. Dada como:

$$R_{s\downarrow} = S \cdot \cos Z \cdot d_r \cdot \tau_{sw}$$

Onde:

$S$  = constante solar ( $1367 \text{ w.m}^2$ )

$\cos Z$  = ângulo Zenital

$d_r$  = distância Terra/Sol

$\tau_{sw}$  = tramissividade atmosférica

### *Radiação de Onda Longa Incidente*

Refere-se à radiação que incide da atmosfera em direção à superfície terrestre a partir da emissividade atmosférica.

Sendo:

$$R_{L\downarrow} = \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4$$

$\varepsilon_a$  = emissividade atmosférica

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzman

$T_a$  = temperatura do ar coletada na estação meteorológica e convertida em Kelvin (K)

### *Saldo de Radiação*

Segundo Silva, 2009, o saldo de radiação à superfície  $R_n$  ( $Wm^{-2}$ ) é computado utilizando-se a seguinte equação do balanço de radiação à superfície:

$$R_n = R_{s\downarrow} - \alpha R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_o)R_{L\downarrow}$$

Onde:

$R_{s\downarrow}$  = radiação de onda curta incidente (ou radiação solar global)

$r_a$  = resistência aerodinâmica ao transporte de calor ( $sm^{-1}$ )

H = fluxo de calor sensível (levando em consideração a variação temperatura, rugosidade da superfície e velocidade do vento)

Para a estimativa do fluxo de calor sensível, deve-se considerar a estimativa da velocidade de fricção, calculada a partir do seguinte logarítmico:

$$U_x = \frac{K u_x}{\ln\left(\frac{Z_x}{Z_{0m}}\right)}$$

Onde:

K = constante de Von Karman (0,41)

$U_x$  = velocidade do vento (à altitude fornecida pela estação meteorológica)

$Z_{0m}$  = o coeficiente de rugosidade local.

Ainda considerando a atmosfera em equilíbrio neutro, faz a projeção da velocidade do vento (*blending height*) não afetada pelas rugosidades da superfície. Para a presente pesquisa, foi utilizada a altura de 200 metros (MOREIRA, 2014).

Sendo:

$$U_{200} = \frac{Ku_{200}}{\ln\left(\frac{200}{Z_{0m}}\right)}$$

Ainda considerando a atmosfera em equilíbrio neutro, faz a projeção da velocidade do vento (*blending height*) não afetada pelas rugosidades da superfície. Para a presente pesquisa, foi utilizada a altura de 200 metros (MOREIRA, 2014).

Sendo:

$$U_{200} = \frac{Ku_{200}}{\ln\left(\frac{200}{Z_{0m}}\right)}$$

Onde:

$U_{200}$  = velocidade do vento a 200m ( $\text{ms}^{-1}$ )

$Z_{0m}$  = coeficiente de rugosidade local (dados obtidos a partir do SAVI) (BASTIAANSEN, 2000).

$$Z_{0m} = \exp(-5,809 + 5,62 IVAS)$$

O próximo passo foi a realização do cálculo para encontrar a resistência aerodinâmica ao transporte do calor sensível (ALLEN *et al.*, 2002; TREZZA, 2002).

$$r_{ah} = \frac{\ln\left(\frac{z_2}{z_1}\right)}{u_* K}$$

Sendo:

$z_1$  e  $z_2$  = níveis de altura acima da superfície

Nas imagens escolhidas foram escolhidos pixels âncoras, sendo um pixel frio (corpos hídricos) e outro quente (solo exposto ou impermeabilizado).

$$H_{quente} = R_n - G = \frac{\rho c_p (a + bT_{sup})}{r_{ah}}$$

Onde:

$H_{quente}$  = fluxo de calor latente do píxel quente

$R_n$  = o saldo de radiação do píxel quente

$G$  = fluxo de calor no solo do píxel quente

$\rho$  = massa específica do ar ( $\text{Kg m}^{-3}$ )

$c_p$  = calor específico à pressão constante ( $\text{Jkg}^{-1} \text{K}^{-1}$ )

$dT = 0$  (píxel frio) resultando em  $a + bT_{sup} = 0$ , possibilitando o cálculo de a e b.

O passo seguinte foi a aplicação da teoria de similaridade de Monin-Obukhov (1954), dada por:

$$L = - \frac{\rho c U_*^3 T_{sup}}{KgH}$$

Sendo:

$L$  = indicativo de estabilidade ( $L < 0$ , a atmosfera considera-se instável;  $L = 0$  a atmosfera é considerada neutra;  $L > 0$  a atmosfera é considerada estável).

Após essa etapa, foram inseridas as variáveis de transporte de momentum ( $\Psi_m$ ) e de transporte de calor ( $\Psi_h$ ), através das equações de Paulson (1970) e Webb (1970):

I – Se  $L < 0$  (Condição de instabilidade):

$$x_{(0,1m)} = \left(1 - 16 \frac{0,1}{L}\right)^{0,25}$$

$$x_{(2m)} = \left(1 - 16 \frac{2}{L}\right)^{0,25}$$

$$x_{(200m)} = \left(1 - 16 \frac{200}{L}\right)^{0,25}$$

$$\Psi_{h(0,1m)} = 2 \ln \left( \frac{1 + x_{(0,1m)}^2}{2} \right)$$

$$\Psi_{h(2m)} = 2 \ln \left( \frac{1 + x_{(2m)}^2}{2} \right)$$

$$\Psi_{m(200m)} = 2 \ln\left(\frac{1+x(200m)}{2}\right) + \ln\left(\frac{1+x(200m)^2}{2}\right) - 2 \operatorname{arctg}(x(200m)) + 0,5\pi$$

II – Se  $L > 0$  (Condição de estabilidade):

$$\Psi_{h(0,1m)} = -5 \left(\frac{0,1}{L}\right)$$

$$\Psi_{h(2m)} = -5 \left(\frac{2}{L}\right)$$

$$\Psi_{m(200m)} = -5 \left(\frac{200}{L}\right)$$

O valor corrigido para a velocidade de fricção é dada pela equação:

$$u_* = \frac{u_{200} \cdot k}{\ln\left(\frac{200}{Z_{0m}}\right) - \Psi_{m(200m)}}$$

Onde:

$\Psi_{m(200m)}$  = correção de estabilidade para o transporte de momentum

Após essa etapa, calcula-se a resistência aerodinâmica corrigida através do cálculo:

$$r_{ah} = \frac{\ln(Z_2/Z_1) - \Psi_{h(z_2)} + \Psi_{h(z_{0,1})}}{k \cdot u^*}$$

No qual:

$Z_2 = 2,0m$ ,  $Z_1 = 0,1m$ ,  $\Psi_{h(z_2)}$  e  $\Psi_{h(z_{0,1})}$  = as correções de estabilidade para transporte de calor.

Após os valores corrigidos de  $u^*$  corrigido e  $r_{ah}$ , retorna-se ao cálculo da diferença de temperatura (dT), refazendo o processo, até que os valores de estabilidade sejam compatíveis com a metodologia.

#### *Fluxo de calor latente*

O fluxo de calor latente é classificado como o fluxo total do transporte de água da superfície do solo ou encontrado na atmosfera através da evaporação e da evaporação a partir da vegetação (LIU, 2006). Calculado pela seguinte equação:

$$LE = R_n - G - H$$

LE = o fluxo de calor latente

$R_n$  = o saldo de radiação

G = fluxo de calor no solo

H = representa o fluxo de calor sensível

### *Evapotranspiração real diária*

A evapotranspiração real diária é computada utilizando como referência a fração evaporativa instantânea, em mm dia<sup>-1</sup> (SHUTTLEWORTH *et al.*, 1989). Sendo:

$$FE = \left( \frac{LE}{R_n - G} \right) = \frac{LE_{24h}}{Rn_{24h}} = FE_{24h}$$

No qual:

$LE_{24h}$  e  $Rn_{24h}$  = valores diários do fluxo de calor latente e saldo de radiação.

Para encontrar os valores de  $Rn_{24h}$ , usa-se a equação:

$$R_{n24h} = (1 - \alpha)R_{s24h} - 110 \tau_{24h}$$

$R_{s24h}$  = a soma da radiação solar incidente no dia

$\tau_{24h}$  = transmissividade atmosférica diária, computada através da equação (ALLEN *et al.*, 1998).

$$\tau_{24h} = \frac{R_{s24h}}{R_{toa24h}}$$

$R_{toa24h}$  = radiação solar no topo da atmosfera no dia da passagem do satélite

A partir dessa etapa, é possível calcular a evapotranspiração real diária (mm dia<sup>-1</sup>) através da seguinte equação:

$$ET = 0,035 \left( \frac{LE}{R_n - G} \right) [(1 - \alpha)R_{s24h} - 110\tau_{24h}]$$

### *Primária Bruta (GPP)*

Para a obtenção dos valores relacionados a NPP, utilizou-se a metodologia baseada em Ferreira, Varone e Alves (2013). Segundo esses autores, o balanço de carbono está relacionado as trocas de dióxido de carbono entre a atmosfera e o ecossistema terrestre. Sendo a NPP o balanço entre a GPP e a  $Ra$ .

Onde:

$$NPP = GPP - Ra$$

NPP – Produtividade Primária Líquida

GPP- Produtividade Primária Bruta

Ra –respiração autotrófica

$$Ra = GPP * [(7,825 + 1,145 * T)/100]$$

Ra – Respiração autotrófica

T – Temperatura do ar (°C)

GPP =Produtividade Primária Bruta

A GPP está relacionada ao total de carbono assimilado pela vegetação, sendo contabilizada a fração perdida para a atmosfera segundo a respiração (FERREIRA, VARONE E ALVES, 2013). O último passo foi a obtenção da GPP a partir dos dados baseados em SILVA et al, 2013.

$$GPP = RFAA * \varepsilon = RFA * FPAR$$

GPP – Produtividade Primária Bruta

RFAA - Radiação fotossinteticamente ativa absorvida ( $Wm^{-2}$ )

$\varepsilon$  – Eficiência do uso da luz ( $g C MJ^{-1}$ ) adotada nesse trabalho com 1.6

RFA - Fração da radiação solar

FPAR - Fração da radiação RFA

Onde:

$$RFA = 0,48 * Rs, 24h (W m^{-2})$$

Rs, 24h = Radiação solar global diária.

Para a obtenção do RFAA:

$$RFAA = RFA * (-0,16 + 1,257 NDVI)(Wm^{-2} dia^{-1})$$

NDVI – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.

$$\varepsilon = \varepsilon' . T1 . T2 . FE$$

$\varepsilon$  - Eficiência do uso da luz (utilizada 1.6 g C MJ<sup>-1</sup>);

FE - Fração evaporativa;

T1 e T2 – Temperatura na eficiência de uso da luz pelas plantas.

$$T1 = 0,8 + 0,02T_{opt} - 0,0005T_{opt}^2$$

$$T_2 = \frac{1}{1 + \exp(0,2TT_{opt} - 10 - T_{dia})} \cdot \frac{1}{1 + \exp[0,3(-T_{opt} - 10 + T_{dia})]}$$

T<sub>opt</sub> – Temperatura média do ar (°C) do mês de máximo NDVI;

T<sub>dia</sub> – Temperatura média diária dia.

$$LE = Rn - G - H$$

LE – Densidade do calor latente (W m<sup>-2</sup>);

Rn – Saldo de radiação (Wm<sup>-2</sup>);

G – Densidade do fluxo de calor no solo;

H – Densidade do fluxo de calor sensível.

$$FE = \frac{LE}{(Rn - G)}$$

FE - Fração evaporativa;

LE – Densidade do calor latente (W m<sup>-2</sup>);

Rn – Saldo de radiação (Wm<sup>-2</sup>);

G – Densidade do fluxo de calor no solo.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

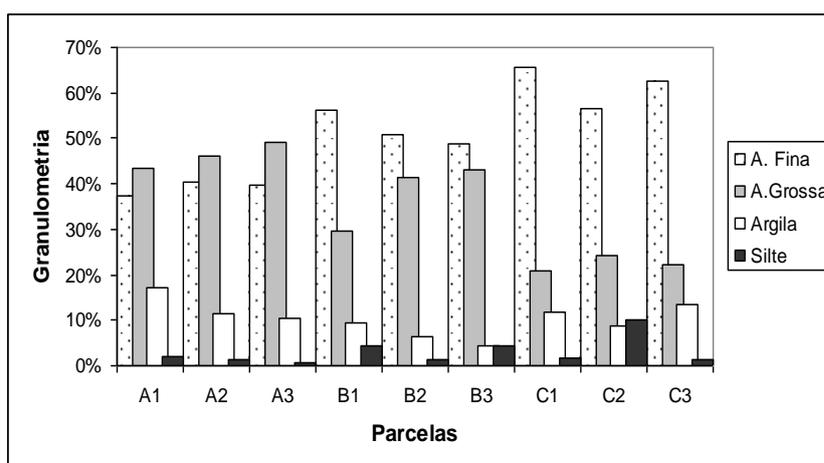
Seguem os resultados e a discussão da pesquisa em questão.

### 4.1 ANÁLISE DE SEDIMENTOS

As características principais dos sedimentos analisados (ano de 2009 nos sítios A, B e C) foram a granulometria, carbono orgânico, pH, cálcio (Ca) e magnésio (Mg). A análise de sedimentos não foi reaplicada para o ano de 2016, tendo em vista que os valores se enquadram nos atributos comuns para áreas de manguezais (CUZZUOL et al., 2001; SILVA; BERNINI; CARMO, 2005).

Na análise granulométrica (**Figura 9 e Tabela 1**) observou-se que a classe textural variou de arenosa a franco arenosa, com porcentagens de areia total de 87,7 a 91,9 kg.kg<sup>-1</sup>, com médias de 86,4 kg.kg<sup>-1</sup>; o teor de argila atingiu o máximo de 17% e o de silte, 10%. As análises das amostras em seis parcelas (B1, B2, B3, C1, C2 e C3) indicaram que o percentual de areia fina foi superior ao de areia grossa, variando de 49 a 66% e de 21 a 43%, respectivamente, os teores de argila oscilaram entre 4 e 14%, enquanto os de silte, entre 2 e 10%. Nas demais parcelas (A1, A2 e A3) as porcentagens de areia fina variaram de 38 a 41%, areia grossa, de 44 a 49%, com teores de argila entre 11 e 17% e silte de 1 a 2%.

Figura 9 – Análise granulométrica dos sedimentos nos sítios A, B e C em 2009 no Manguezal do Pina.



Fonte: Barbosa, 2010.

Tabela 1 – Granulometria dos sedimentos nos sítios A, B e C em 2009 no Manguezal do Pina.

PARCELAS	Areia Fina (%)	Areia Grossa (%)	Argila (%)	Silte (%)
A1	38	44	17	2
A2	41	46	12	2
A3	40	49	11	1
B1	56	30	10	4
B2	51	41	6	2
B3	49	43	4	4
C1	66	21	12	2
C2	57	24	9	10
C3	63	22	14	2

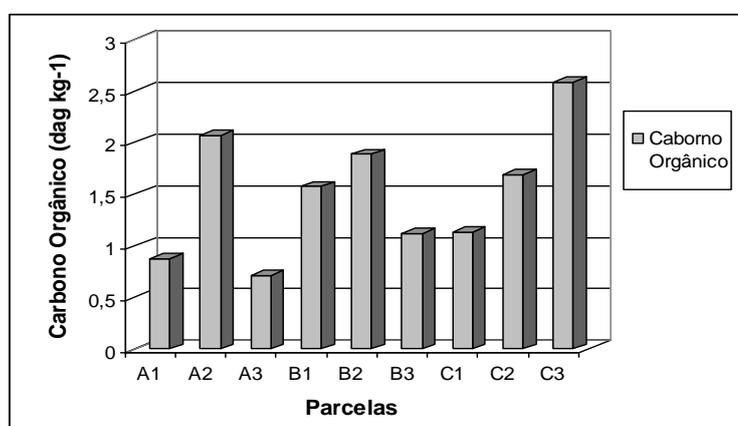
Fonte:

Barbosa, 2010

As amostras de sedimentos coletadas são classificadas como arenosa e franco arenosa, apresentando em sua composição areia fina, argila orgânica e silte. Os sedimentos que constituem os substratos do Manguezal do Pina são arenosos e profundamente misturados a restos de vegetais e matéria orgânica em decomposição, com vegetação característica, água salobra, de idade quaternária, típicos de ambientes estuarinos (PCR/ATLAS AMBIENTAL DA CIDADE DO RECIFE, 2000).

Analisando a granulometria nos três sítios foi possível observar que houve uma nítida diminuição da fração areia grossa do sítio A em direção ao C, havendo, por outro lado, um aumento da percentagem de areia fina. O carbono orgânico variou de 0,7 a 2,5 dag.kg<sup>-1</sup>, com maior representatividade nas parcelas A2 e C3, com valores de 2 e 2,5 dag kg<sup>-1</sup>, respectivamente, enquanto os menores valores foram registrados nas parcelas A3 e A1, com 0,7 e 0,8 dag kg<sup>-1</sup>, respectivamente (**Figura 10 e Tabela 2**).

Figura 10 – Teores de Carbono Orgânico dos sedimentos que compõem os sítios A, B e C em 2009 no Manguezal do Pina.



Fonte: Barbosa, 2010.

Tabela 2 – Teores de C.O (Carbono Orgânico), pH, Ca (Cálcio) mais Mg (Magnésio), Ca (cálcio) e Mg (Magnésio) encontrados nos sítios A, B e C em 2009 no Manguezal do Pina.

PARCELAS	C. O. (dag kg <sup>-1</sup> )	pH	Ca + Mg (cmolc dm <sup>-3</sup> )	Ca (cmolc dm <sup>-3</sup> )	Mg (cmolc dm <sup>-3</sup> )
A1	0,877	5,245	8,850	2,725	6,125
A2	2,070	5,357	10,625	4,050	6,575
A3	0,712	4,757	9,000	2,725	6,275
B1	1,572	5,630	10,150	2,650	7,500
B2	1,882	5,835	12,700	3,575	9,125
B3	1,120	5,482	10,450	3,150	7,300
C1	1,132	5,287	9,850	2,875	6,975
C2	1,692	5,367	9,950	2,225	7,725
C3	2,582	5,187	7,950	2,675	7,025

Fonte: Barbosa, 2010

Os manguezais se desenvolvem em diferentes substratos, como os compostos por partículas mais grosseiras (recifes de coral, areias), porém se desenvolvem melhor em locais onde o substrato se apresenta menos consistente, com baixa declividade e granulometria fina (FERNANDES; PERIA, 1995).

Os valores referentes ao pH variaram entre 4,7 na parcela A3 e 5,8 na B2. Em relação aos teores de Ca e Mg, as amostras apresentaram teores de Mg variando entre 6,1 e 9,1 cmolc dm<sup>-3</sup>, nas parcelas A1 e B2, respectivamente, enquanto os de Ca oscilaram entre 2,2 cmolc dm<sup>-3</sup> (parcela C2) e 4 cmolc dm<sup>-3</sup> (parcela A2) (**Tabela 2**).

Os dados de pH podem estar relacionados à oxidação de sulfetos, decomposição de serrapilheira, hidrólise de tanino das plantas de mangue (as quais liberam vários ácidos orgânicos) (LIAO, 1990), ou em função das flutuações do nível freático ou do conteúdo de umidade. Tanto os teores de carbono orgânico quanto os de pH são dados que variam de acordo com as condições ambientais em que as áreas analisadas se encontram.

Odum (1988, citado por CUZZUOI et al. 2001) enfatiza que os dados de pH e o teor de matéria orgânica contribuem para a zonação. Em áreas de mangue, essas medidas são variáveis e sujeitas às alterações das marés. No entanto, não determinam a ocorrência de agrupamentos vegetais, pois esses dependem de outros fatores como a salinidade e composição mineralógica do sedimento. Fernandes e Peria (1995) salientam que, em contato com o ar, esses sedimentos baixam os valores de pH, resultando condições ácidas, podendo haver produção de ácido sulfúrico.

Os valores de magnésio foram mais expressivos que os de cálcio, ambos funcionam como macronutrientes catiônico e secundário para a vegetação, assim como o enxofre. A presença de magnésio no sedimento, além de contribuir para a produção de clorofila, ativa

enzimas, facilita o metabolismo do nitrogênio, contribui para a absorção do fósforo, afeta a síntese de proteínas e ativa os aminoácidos, porém sua falta inibe a fixação do CO<sub>2</sub> (LABOSLO, 2019). Já o magnésio, como o nitrogênio, é parte da clorofila e a falta é refletida entre as nervuras das folhas mais envelhecidas (GISMONTI, 2009).

O cálcio tem papel importante como nutriente, além de promover a redução da acidez do solo, a disponibilidade de molibdênio (Mo) e outros nutrientes, melhora o crescimento das raízes e aumenta a atividade microbiana. Além disso, reduz a acidez do solo e diminui a toxidez do alumínio (Al), cobre (Cu) e manganês (Mn) (GISMONTI, 2009).

## 4.2 FATORES ABIÓTICOS

Os fatores abióticos foram coletados em todas as parcelas dos sítios A, B e C para os anos de 2009 e 2016. Os dados são referentes às alturas das marés, horários, salinidade da água intersticial, temperatura do ar e do solo (**Tabela 3**). Vale destacar, que os valores encontrados nas amostragens estão dentro dos padrões estabelecidos para áreas de manguezais (KIENER, 1973; DIEGUES, 1987; SCHAEFFER-NOVELLI, 1995; VANNUCCI, 2002).

Tabela 3 – Dados abióticos nas parcelas dos sítios A, B e C nos anos de 2016 e 2009 no Manguezal do Pina com dados sobre alturas das marés, horários, salinidade da água intersticial, temperatura do ar e do solo.

Parcelas em 2016 e 2009	Data da Coleta	Altura da Maré	Horário da Maré	Salinidade Água Intersticial	Temperatura do Ar (°C)	Temperatura do Solo (°C)	Horário das Amostragens
A1_16	02/12/16	0,5	11h23	20	30	25	09h35
A1_09	25/07/09	0,1	12h36	0,5	25	29	12h00
A2_16	02/12/16	0,5	11h23	30	28	24	11h20
A2_09	25/07/09	0,1	12h36	0,5	25,5	29	10h15
A3_16	02/12/16	0,5	11h23	30	28	24	12h10
A3_09	26/06/09	0,2	13h00	0,5	25	30	11h58
B1_09	20/08/09	0	10h04	0,5	24	25	9h28
B2_16	13/12/16	0,1	09h15	19	29	30	11h48
B2_09	20/08/09	0	10h04	0,5	25	26	10h42
B3_16	13/12/16	0,1	09h15	25	30	24	11h15
B3_09	20/08/09	0	10h04	40	24	26	12h35
C1_16	16/12/16	0,1	09h15	18	30	25	9h40
C1_09	18/09/09	0	09h47	0,5	24	26	10h42
C2_16	16/12/16	0,1	11h36	20	27	25	10h28
C2_09	18/09/09	0	09h47	0,5	24	27	12h35
C3_16	16/12/16	0,1	11h36	20	25	23	11h45
C3_09	18/09/09	0	09h47	0,5	25	26	14h35

Fonte: Autora, 2019.

Os valores de salinidade da água intersticial em 2009 para o Manguezal do Pina foram inferiores a 0.5, e apenas na parcela B3 a salinidade foi de 40, classificada como hiperalina. A temperatura do ar apresentou mínima de 24<sup>o</sup>C e máxima de 30<sup>o</sup>C, com temperatura de solo variando de 25<sup>o</sup>C até 29<sup>o</sup>C.

Para o ano de 2016, a salinidade variou de 18 a 30, sendo que os valores de salinidade aumentaram em direção ao interior do bosque, corroborando com o trabalho de Almeida *et al.* (2014). A temperatura do ar apresentou máxima de 30<sup>o</sup>C e mínima de 27<sup>o</sup>C, com temperatura do solo variando entre 23<sup>o</sup>C e 30<sup>o</sup>C.

A salinidade funciona como um importante indicador do crescimento, altura e sobrevivência das espécies. Vale destacar que, além do fluxo e refluxo das marés, a altura, a distância do mar e o regime do rio são fatores que determinam a grande variedade da salinidade no manguezal, além de condicionar a zonação das espécies de mangue.

A alta salinidade na parcela B3 pode ser explicada por causa da maior influência da maré no horário da coleta ou , de acordo com Coelho et al. (2004), a distância do mar e a vazão do rio podem influenciar diretamente os índices de salinidade. Além disso, quando a evaporação é maior que a quantidade de água doce a salinidade aumenta com o afastamento do mar, são os chamados estuários “negativos”. Ainda, segundo os autores, esse fato pode ser observado na primavera/verão, quando a preamar coincide com as horas de maior insolação.

Nascimento-Filho (2007), em seu estudo sobre o rio Ariquindá (Tamandaré/PE), encontrou valores de salinidade que variaram de 40 a 90 e no estuário do rio São Mateus/ES, Silva et al. (2005), encontraram valores de salinidade que variaram entre 2 e 38. Os valores de salinidade determinam a sobrevivência de determinadas espécies, como por exemplo: espécies de água doce que não se desenvolvem com salinidade acima de 5 ou espécies marinhas que não ocorrem com salinidade abaixo de 18 (COELHO et al., 2004). As espécies de mangue são próprias de ambientes salinos, porém podem sobreviver em ambientes com ausência de salinidade (FERNANDES; PERIA, 1995).

Ainda, Segundo Fernandes e Peria (1995), *R.mangle* é o gênero menos tolerante à presença de sal (água intersticial < 50), a *A. schaueriana* é o gênero mais tolerante (água intersticial pode variar de 65 a 90) e a *L.racemosa*, apresenta tolerância intermediária quando comparada com os dois gêneros anteriores.

Os valores de temperaturas no Manguezal do Pina estão em conformidade com as condições para esse tipo de ambiente, ou seja, com temperaturas médias acima de 20<sup>o</sup>C e amplitude térmica média de 5<sup>o</sup>C (KIENER, 1973; DIEGUES, 1987; SCHAEFFER-NOVELLI, 1995; VANNUCCI, 2002).

Neste sentido, vale ressaltar que o mangue é submetido a uma série de fatores ambientais que atuam com forças de diferentes intensidades e frequência. Pode-se destacar a interferência das marés, do aporte de água, da precipitação, sedimentos fluviais que são captados pelo ambiente e transformados em estrutura florestal. Essas disponibilidades ambientais contribuem para o desenvolvimento do bosque de mangue (CINTRÓN; LUGO; MARTINEZ, 1980; SCHAEFFER-NOVELLI, 2002).

#### 4.3 ANÁLISE ESTRUTURAL E FUNCIONAL DA VEGETAÇÃO DE MANGUE EM 2009 E 2016

Para uma melhor visualização dos resultados, os dados foram agrupados em duas etapas. Na primeira estão contidas as informações, em tabelas, sobre os tipos de espécies encontradas nas parcelas para cada sítio (**Figura 11**) para os anos de 2009 (A1\_09, A2\_09, A3\_09, B1\_09, B2\_09, B3\_09, C1\_09, C2\_09, C3\_09) e 2016 (A1\_16, A2\_16, A3\_16, B2\_16, B3\_16, C1\_16, C2\_16, C3\_16) (**Tabela 4** e **Tabela 5**). No segundo grupo foram identificados dados em gráficos considerando as características das espécies, independentemente do tipo, para os anos de 2009 e 2016.

Figura 11 – Localização da área de estudo e dos sítios de amostragem no Manguezal do Pina (Sítio A, B e C).



Fonte: Fernanda Gomes e Joaquim Freitas, 2018.

Tabela 4 – Dados por espécies para o ano 2009 das parcelas A, B e C no Manguezal do Pina, Recife-PE. Valores referentes à densidade de troncos vivos (ind/ha), densidade relativa(%), dominância relativa (%), altura média (m), altura desvio padrão (m), altura do dossel (m), diâmetro a altura do peito médio (m<sup>2</sup>/ha), área basal (m<sup>2</sup>/ha) e área basal média (m<sup>2</sup>/ha).

Parcelas	Espécies	Densidade de Troncos Vivos (ind/ha)	Densidade Relativa (%)	Dominância Relativa (%)	Altura Média (m)	Altura Desvio Padrão (m)	Altura do Dossel (m)	DAP Médio (cm)	Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)	Área Basal Média (m <sup>2</sup> /ha)
A1_09	<i>L. racemosa</i>	325	19,40	43,48	11,23	1,88	13,33	16,99	7,83	0,60
	<i>R. mangle</i>	1200	71,64	51,73	8,73	2,46	11,00	9,36	9,31	0,19
	<i>A. schaueriana</i>	150	8,96	4,79	4,17	4,36	9,67	0,79	0,86	0,14
A2_09	<i>L. racemosa</i>	400	51,61	80,59	10,38	1,26	11,33	16,97	10,14	1,27
	<i>R. mangle</i>	200	25,81	18,51	9,13	1,55	10,33	11,74	2,33	0,29
	<i>A. schaueriana</i>	175	22,58	0,91	1,96	0,46	2,67	2,28	0,11	0,02
A3_09	<i>L. racemosa</i>	1400	63,64	97,07	10,65	2,37	13,00	10,63	14,95	0,27
	<i>R. mangle</i>	125	5,68	0,15	2,24	0,56	2,57	1,46	0,02	0,00
	<i>A. schaueriana</i>	675	30,68	2,78	2,72	0,76	4,00	2,62	0,43	0,02
B1_09	<i>L. racemosa</i>	1400	49,12	69,66	8,16	1,96	11,33	12,53	21,50	0,38
	<i>R. mangle</i>	1325	46,49	21,47	6,04	2,19	10,33	7,28	6,63	0,13
	<i>A. schaueriana</i>	125	4,39	8,87	8,00	3,94	10,00	14,51	2,74	0,55
B2_09	<i>L. racemosa</i>	600	66,67	85,14	6,74	1,60	8,00	12,83	8,54	0,36
	<i>R. mangle</i>	250	27,78	12,85	5,23	2,06	7,33	7,16	1,29	0,13
	<i>A. schaueriana</i>	50	5,56	2,01	7,00	0,00	7,00	7,16	0,20	0,10
B3_09	<i>L. racemosa</i>	975	41,94	72,42	7,91	1,65	10,00	14,92	18,38	0,47
	<i>R. mangle</i>	1350	58,06	27,58	6,07	1,62	8,33	7,75	7,00	0,13
	<i>A. schaueriana</i>	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C1_09	<i>L. racemosa</i>	1000	75,47	94,39	11,05	2,61	15,00	16,37	23,23	0,58
	<i>R. mangle</i>	200	15,09	0,60	2,96	1,78	4,00	2,94	0,15	0,02
	<i>A. schaueriana</i>	125	11,32	1,10	6,00	0,00	6,00	4,65	0,27	0,05
C2_09	<i>L. racemosa</i>	575	58,97	89,79	11,43	2,41	13,33	18,92	17,16	0,75
	<i>R. mangle</i>	25	2,56	0,07	3,50	0,00	3,50	2,55	0,01	0,01
	<i>A. schaueriana</i>	375	38,46	10,14	5,17	2,40	1,73	5,96	1,94	0,13
C3_09	<i>L. racemosa</i>	1150	74,19	96,62	11,04	1,70	13,33	15,38	22,92	0,50
	<i>R. mangle</i>	375	24,19	3,31	4,56	2,14	7,67	4,50	0,79	0,05
	<i>A. schaueriana</i>	1	1,61	0,07	5,00	0,00	5,00	2,86	0,02	0,02

Fonte: Autora, 2018.

Tabela 5 – Dados por espécies para o ano de 2016 das parcelas A, B e C no Manguezal do Pina, Recife-PE.

Valores referentes à densidade de troncos vivos (ind/ha), densidade relativa (%), dominância relativa (%), altura média (m), altura desvio padrão (m), altura do dossel (m), diâmetro a altura do peito médio (m<sup>2</sup>/ha), área basal (m<sup>2</sup>/ha) e área basal média (m<sup>2</sup>/ha).

Parcelas	Espécies	Densidade de Troncos Vivos (ind/ha)	Densidade Relativa (%)	Dominância Relativa (%)	Altura Média (m)	Altura Desvio Padrão (m)	Altura do Dossel (m)	DAP Médio (cm)	Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)	Área Basal Média (m <sup>2</sup> /ha)
A1_16	<i>L. racemosa</i>	1000	64,5	92,4	9,96	3,28	15,47	19,63	30,26	0,76
	<i>R. mangue</i>	550	35,4	7,6	9,40	2,63	13,73	7,61	2,50	0,11
A2_16	<i>L. racemosa</i>	850	100	100	13,30	3,11	17,10	20,44	27,90	0,82
	<i>R. mangue</i>	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
A3_16	<i>L. racemosa</i>	1175	98	99,5	12,27	3,02	16,53	17,02	26,75	0,57
	<i>R. mangue</i>	25	2	0,5	15,59	0,00	15,59	8,91	0,16	0,62
B2_16	<i>L. racemosa</i>	750	88,24	95	9,36	2,90	12,83	16,81	16,64	0,55
	<i>R. mangue</i>	100	11,76	5	9,15	1,75	9,67	10,54	0,87	0,22
B3_16	<i>L. racemosa</i>	325	43,33	63	9,15	3,10	12,70	22,65	13,10	1,01
	<i>R. mangue</i>	425	56,67	37	7,97	2,94	11,53	15,26	7,77	0,46
C1_16	<i>L. racemosa</i>	850	100	100	11,29	4,13	17,33	18,42	22,66	0,67
	<i>R. mangue</i>	0	0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C2_16	<i>L. racemosa</i>	750	100	100	11,70	4,12	17,50	19,68	22,81	0,76
	<i>R. mangue</i>	0	0	0	0,00		0,00	0,00	0,00	0,00
C3_16	<i>L. racemosa</i>	900	90	99	13,54	3,67	18,83	19,20	26,06	0,72
	<i>R. mangue</i>	100	10	1	2,80	1,09	3,00	1,84	0,03	0,01

Fonte: Autora, 2018.

Os dados acima apresentam uma variabilidade no número de espécies encontradas nos anos analisados na parcela A1. Os valores relacionados aos tipos de espécies, dominância e frequência nas parcelas A1 para anos de 2009 e 2016, mostram que houve uma predominância da *L. racemosa* em detrimento a *R. mangue*. Esses valores podem estar relacionados ao número de árvores mortas, número de cortes ou, até mesmo, por erro de localização do GPS (erro de 10 m). Para uma melhor visualização dos resultados, serão abordadas as características estruturais e funcionais nos subtópicos abaixo.

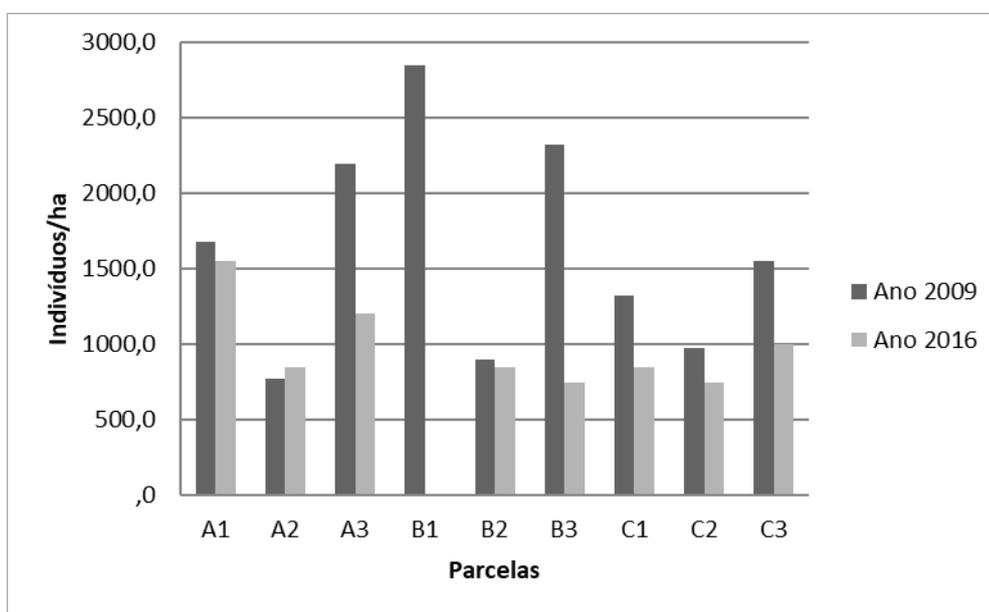
### 4.3.1 Tipos de Espécies

A caracterização estrutural e funcional do Manguezal do Pina em 2009 demonstrou a presença das espécies *L. racemosa*, *R. mangle* e *A. schaueriana*, com densidade de 14.575 indivíduos por hectare nas nove parcelas analisadas (**Tabela 4** e **Figura 12**). Em todos os sítios observou-se a presença mais significativa de *L. racemosa*, seguida de *R.mangle* e *A. schaueriana*, com exceção do sítio B3, onde não foi encontrada a espécie *A. schaueriana* (**Tabela 4**).

Na **Figura 12** é possível destacar a grande quantidade de indivíduos para o ano de 2009 em detrimento ao ano de 2016. Esses valores corroboram com a afirmação de Schaeffer-Novelli e Cintrón (1986) que relaciona a diminuição da quantidade de espécies conforme o amadurecimento do bosque ocasionada por uma competição intraespecífica.

A parcela B1 em 2016 não foi analisada devido à grande quantidade de resíduos sólidos, árvores mortas e instabilidade do sedimento, na qual não favoreceu a realização da coleta de dados na área em questão.

Figura 12 – Densidade de troncos vivos das parcelas A, B e C entre os anos de 2009 e 2016 no Manguezal do Pina, Recife/PE.



Fonte: Autora, 2019.

Para os anos analisados, na composição do bosque, foram verificadas três espécies de mangue pertencentes a três gêneros e três famílias, *R. mangle* (Rhizophoraceae), *L. racemosa* (Combretaceae) e *A. schaueriana* (Avicenniaceae). No entanto, para o ano de 2016 nos sítios analisados, não foram registradas a ocorrência da *A. schaueriana*. De acordo com Coelho et

al. (2004), no litoral de Pernambuco são encontrados os três gêneros típicos de manguezal (*Rhizophora*, *Avicennia* e *Laguncularia*) e o gênero considerado de transição (*Conocarpus*).

Para o ano de 2016, o estudo de caracterização estrutural no Manguezal do Pina mostra que o bosque é maduro e monoespecífico, no qual *L. racemosa* predomina em todas as parcelas, seguida por *R. mangle*, sendo que esta apareceu com maior frequência nas margens dos rios e sendo gradualmente substituída por *L. racemosa*, confirmando a similaridade de distribuição das espécies de mangues no Nordeste encontrada por Cintrón; Schaeffer-Novelli (1984). A densidade de indivíduos por hectare foi de 7.800 nas oito parcelas analisadas (**Tabela 5 e Figura 12**).

A distribuição e composição das espécies do Manguezal do Pina corrobora com os resultados obtidos por Schuler; Andrade e Santos (2000), no manguezal do Canal de Santa Cruz, por Nascimento Filho (2007), no estuário do rio Ariquindá e por Correia (2002), no estuário do Rio Timbó. Já em relação à Suape, Souza; Sampaio (2001) referem quatro espécies: *R. mangle*, *L. racemosa*, *A. schaueriana* e *A. germinans*.

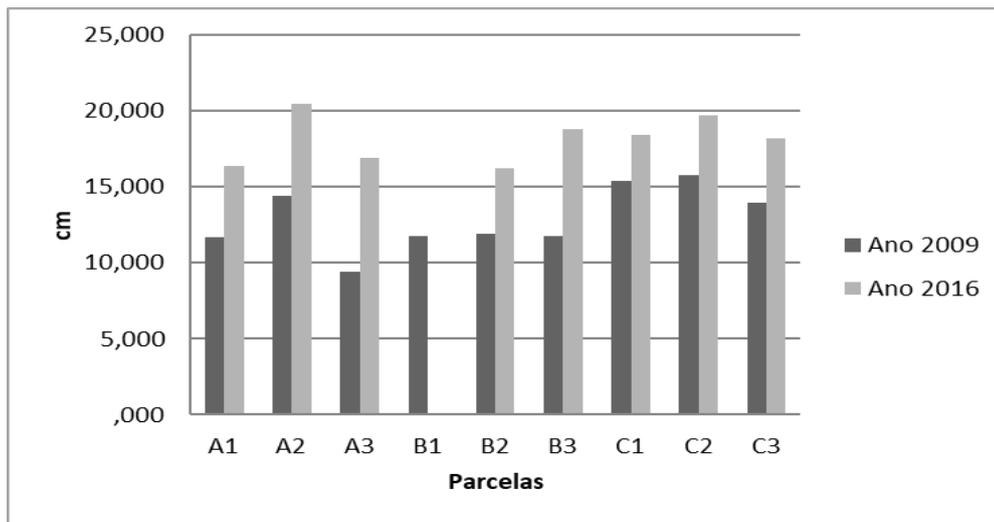
Observou-se que o manguezal em questão não apresentou um padrão de zonação definido, o que se confirma também nos trabalhos realizados: Lagoa da Tijuca/RJ (SOARES, 1999), Suape/PE (SOUZA; SAMPAIO, 2001), Guaraqueçaba/SP (MELO, 2002), Cananéia Iguape/SP (CUNHA-LIGNON, 2006) e Ariquindá/PE (NASCIMENTO-FILHO, 2007).

Coelho et. al. (2004), destacam que as espécies de mangue apresentam um padrão regular nem sempre notado; o mangue vermelho (*R. mangle*) seria mais comum na parte mais próxima do mar, o mangue de botão (*Conocarpus*) na margem externa do manguezal, o mangue siriúba (*A. schaueriana*) na porção média e o mangue branco (*L. racemosa*) na porção mais afastado do mar, rio acima. No entanto, essa forma de distribuição pode ser modificada, ora por acidentes naturais, ora por causas antrópicas.

#### **4.3.2 DAP (Diâmetro a Altura do Peito) e Área Basal (AB)**

Em 2009 em todas as parcelas a contribuição por classe de diâmetro foi  $\geq 10$  cm, com a quantidade de troncos por indivíduo variando de 1 a 2, o que reporta a um bosque com bom desenvolvimento estrutural (**Figura 13**). No entanto, neste período de análise, foram evidenciados uma quantidade significativa de árvores mortas, resíduos sólidos e número elevado de cortes. Os valores de DAP médio variaram entre 9,44 e 15,80 cm.

Figura 13 – DAP médio nas parcelas A, B e C nos anos de 2009 e 2016 no Manguezal do Pina, Recife/PE.

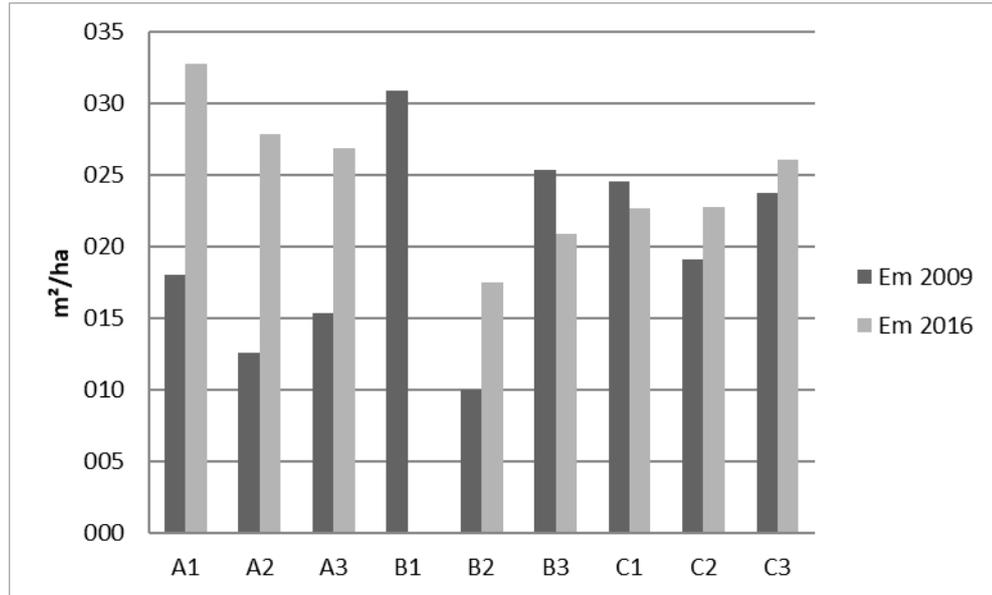


Fonte: Autora, 2019.

A área basal, contribuição de madeira por diâmetro das árvores, apresentou valores entre 10,03 e 30,86 m<sup>2</sup>/ha, sendo os menores valores no sítio A. Dessa forma, as parcelas B1, B3, A3 (em 2009) apresentaram características de bosque mais jovem, em relação aos bosques das parcelas C1 e C2. Em relação à parcela A2, a parcela apresentou baixa densidade por causa do elevado número de cortes e, conseqüentemente, o maior valor de DAP médio (**Figura 13**).

Para o ano de 2016, nas oito parcelas analisadas foram encontrados indivíduos de *L. racemosa* e *R. mangle* com variação de classe de diâmetro  $\geq 10$  cm e quantidade de troncos por indivíduo igual a 1,0, o que caracteriza um bosque desenvolvido, de acordo com Almeida *et al.* (2014). O DAP médio apresentou valores que variaram de 16,4 até 20,4 cm (**Figura 13** e **Tabela 5**). Essa diferença de valores também foi reportada nos trabalhos de Almeida *et al.* (2014) e Souza e Sampaio (2001). A área basal, que é a área ocupada por um tronco com um dado diâmetro, variou entre 17,5 e 32,7 cm<sup>2</sup>/há, sendo os maiores valores no sítio A e menores no sítio B. Esses dados indicam que o bosque analisado é maduro e que apresenta bom desenvolvimento estrutural, tendo em vista que a contribuição de área basal foi maior na classe diamétrica  $\geq 10$  cm, com base em Almeida *et al.* (2014) e Petri *et al.* (2011) (**Figura 14**).

Figura 14 – Valores referentes à área basal nas parcelas A, B e C nos anos de 2009 e 2016 no Manguezal do Pina, Recife/PE.

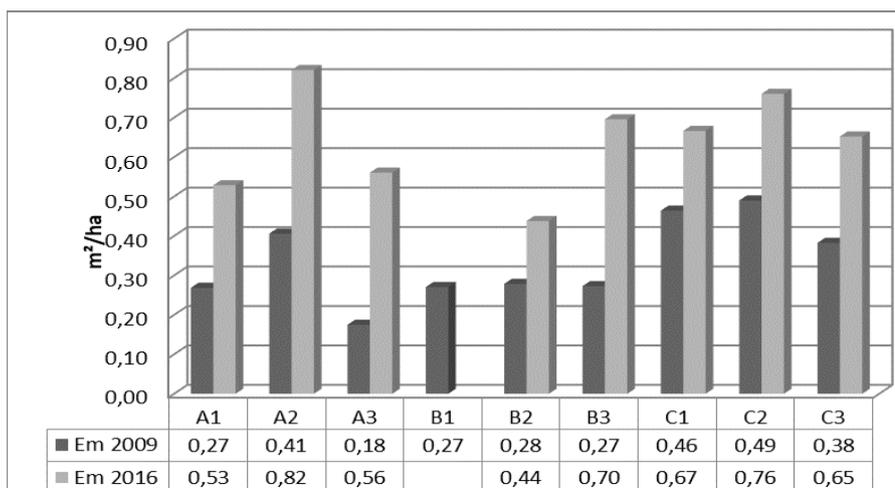


Fonte: Autora, 2019.

Em termos de área basal média, os valores mais altos em 2016 foram de 0,82 m<sup>2</sup>/ha (parcela A2) e 0,76 m<sup>2</sup>/ha (parcela C2), mostrando que houve um aumento na quantidade de madeira nas duas parcelas em questão, quando comparados os valores com o ano de 2009, onde os valores apresentavam 0,41 m<sup>2</sup>/ha e 0,49 m<sup>2</sup>/ha, respectivamente (**Figura 15**).

Demonstrando o que Schaeffer-Novelli e Cintrón (1986) afirmavam que, de forma geral, os valores de densidade são indiretamente proporcionais ao DAP médio, ou seja, a densidade de árvores diminui à medida que o bosque amadurece e, conseqüentemente, os diâmetros médios aumentam.

Figura 15 – Área basal média nas parcelas A, B e C nos anos de 2009 e 2016 no Manguezal do Pina, Recife/PE.



Fonte: Autora, 2019.

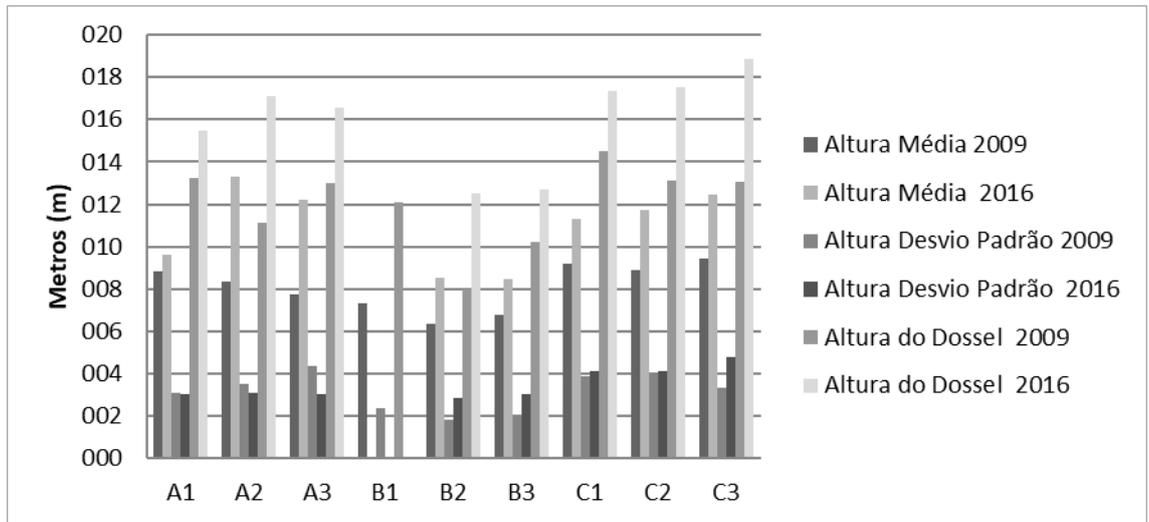
Diversos estudos realizados em áreas de mangues no Brasil abordam sobre o desenvolvimento estrutural do bosque de manguezais em relação ao DAP médio e área basal comprovados na análise aplicada no Manguezal do Pina (MELO, 2002; DEUS et al., 2003; BERNINI, REZENDE, 2004; MENEZES, MEHLIG, 2006; NASCIMENTO-FILHO, 2007).

#### 4.3.3 Altura da Vegetação, Número de Árvores Cortadas e Mortas

Em 2009, os valores de altura do dossel variaram de 8,01 até 14,53 m, sendo que as alturas médias foram de 6,37 até 9,42 m, com desvio padrão entre 1,81 até 4,35 m (**Figura 16**). As maiores alturas de dossel e alturas médias foram registradas no sítio C, com valor máximo de 14,53 m (**Figura 16**). Em relação ao número de árvores cortadas, foram contabilizados 50 até 1.075 indivíduos por hectare, sendo os maiores valores nos sítios A e B (**Figura 17**). O número de árvores mortas, neste período de análise, variou de 225 até 1375 indivíduos por hectare, nos quais se destacam, mais uma vez, os sítios A e B (**Figura 18**).

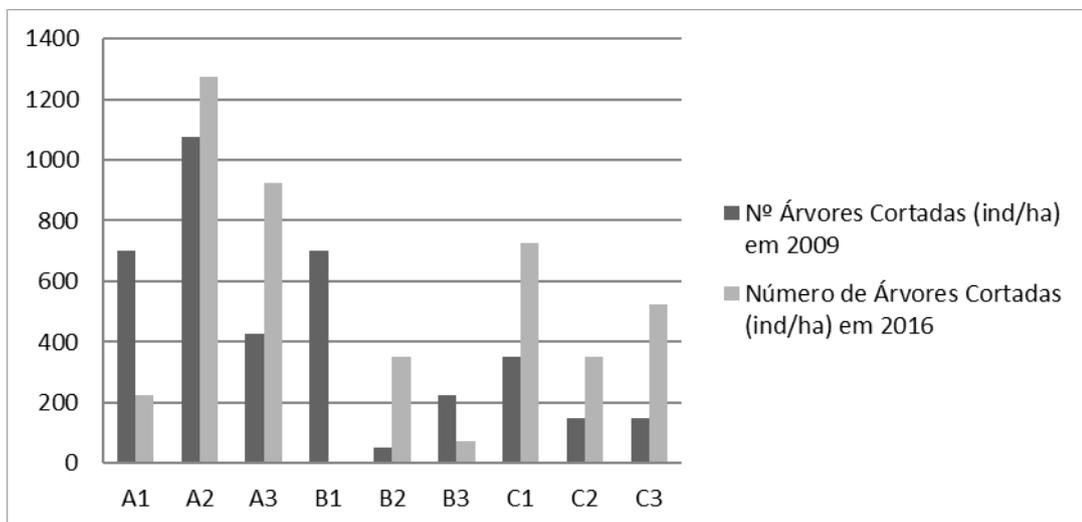
Figura 16 – Altura média, altura desvio padrão e altura do dossel nas parcelas A, B e C nos anos de 2009 e 2016

no Manguezal do Pina, Recife/PE.



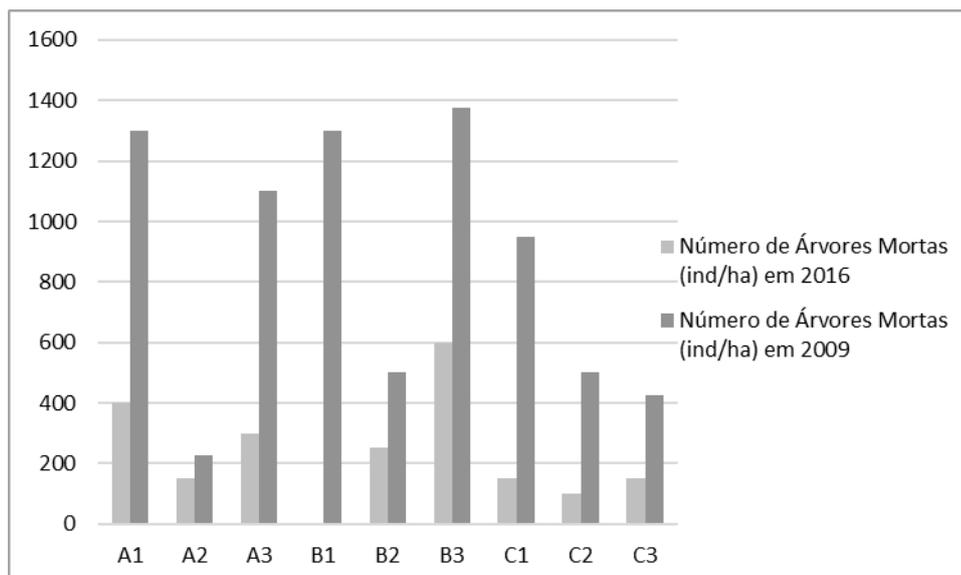
Fonte: Autora, 2019.

Figura 17 – Número de árvores com características de cortes nas parcelas A, B e C entre os anos de 2009 e 2016 no Manguezal do Pina, Recife/PE.



Fonte: Autora, 2019.

Figura 18 – Número de árvores mortas nas parcelas A, B e C entre os anos de 2009 e 2016 no Manguezal do Pina, Recife/PE.



Fonte: Autora, 2019.

Em 2016, sobre a altura do dossel, foram contabilizadas alturas máximas de 18,8 m, no qual o sítio C se destaca (**Figura 16**). A altura média variou entre 8,4 e 13,3 m, destacando-se o sítio A e C com os maiores valores, valores similares foram encontrados por Souza e Sampaio (2001) no manguezal de Suape/Pernambuco. O desvio padrão da altura média variou entre 2,8 e 4,7 m. O número de árvores cortadas apresentou valores entre 75 e 1.275 indivíduos por hectare, sendo o maior número de cortes registrado nas parcelas do sítio A e menores valores no sítio C, isso devido ao sítio A ser mais afastado da área vigiada pela Capitania dos Portos de Pernambuco, o que pode favorecer o corte das árvores para o uso da madeira (**Figura 17**). Já o número de árvores mortas apresentou valores próximos nos três sítios, variando de 40 até 600 indivíduos por hectare, fato que pode estar relacionado ao nível de estresse por ação antrópica nas áreas analisadas e/ou a competição entre as copas das árvores (**Figura 18**).

Vale destacar que houve uma relação direta entre as alturas das árvores e os valores de DAP, ou seja, quanto maior a altura, maior o valor do DAP. Esse padrão se repetiu com a maior parte dos indivíduos das parcelas analisadas.

Alguns trabalhos apresentaram índices superiores de características estruturais em relação à altura das espécies, área basal e densidades de trocos vivos em áreas de manguezais no Brasil, dentre eles, os manguezais de: Suape/PE (SOUZA-SAMPAIO, 2001), rio Paraíba do Sul/RJ (BERNINI; REZENDE 2004), Bragança/PA (MENEZES; MEHLIG et al. 2006) e no Piauí (DEUS et al. 2003).

#### 4.3.4 Densidade, Frequência e Dominância

Em 2009, os valores de densidade relativa foram mais significativos para *L. racemosa* (54%), seguido da *R. mangle* (35%) e *A. schuaeriana* (11%). A dominância relativa foi de 82% para *L. racemosa*, 15% para *R. mangle* e 3% para *A. schuaeriana*. Por fim, a frequência relativa foi de 60% para *L. racemosa*, 29% para *R. mangle* e de 11% para *A. schuaeriana* (**Tabela 4**).

No ano de 2016, a densidade relativa foi mais evidente em relação a *L. racemosa* (85%), seguida por *R. mangle* (15%). A dominância relativa foi 94% para *L. racemosa* e de 6% para *R. mangle*. A frequência relativa foi de 85% para *L. racemosa* e de 15% para *R. mangle* (**Tabela 5**).

Ao longo desse período, nota-se que a estrutura do bosque teve a predominância da *L. racemosa* tanto para a dominância, densidade e frequência. Esse fator classifica o bosque do Manguezal do Pina como monoespecífico, visto que há uma predominância de *L. racemosa* em todas as parcelas para o ano de 2016.

Alguns estudos analisados (SOUZA; SAMPAIO, 2001; DEUS et al. 2003; MATNI; MENEZES; MEHLIG, 2003; MENEZES; MEHLIG, 2006) não apresentaram um padrão de zonação bem definido. Porém, Matni; Menezes e Mehlig (2003) afirmam que os bosques monoespecíficos de *L. racemosa*, que é o caso do Manguezal do Pina, com estrutura homogênea, apresenta um forte indicador de bosque secundário. Esta espécie é típica de bosques degradados em processo de regeneração, caracterizando-se como pioneira num processo de sucessão secundária. Sobre esse assunto estes autores citam diversos estudos (TOMLISON, 1986; PERIA et al., 1990; PIRES, 1992)

Schaeffer-Novelli; Cintrón, 1986, destacam que a densidade de um bosque de mangue é em função de sua idade e amadurecimento, assim, os bosques que apresentam uma grande densidade de árvores com diâmetro reduzido, são bosques mais jovens. Os bosques maduros se caracterizam por apresentar uma menor quantidade de indivíduos de grande porte e volume, ou seja, ocorre uma redução na densidade do bosque com o amadurecimento. Segundo esses autores, a redução se dá pela competição das copas por espaço, assim como, a busca pelo desenvolvimento radicular. Por isso, as árvores mais altas recebem a luz solar diretamente e crescem rapidamente, impedindo o crescimento e desenvolvimento das espécies que não recebem luz diretamente, os quais morrem devido à competição.

### 4.3.5 Impactos Antrópicos

Sobre os impactos antrópicos ao ecossistema, em 2009, foi possível identificar: grande quantidade de resíduos sólidos, elevado número de cortes de árvores, expansão desordenada de ocupações no entorno do manguezal e pesca irregular, com número elevado de armadilhas para guaiamum e do tipo redinha para a coleta de caranguejos (**Figura 19** e Figura 20). Algumas características se evidenciaram em cada sítio para o ano de 2009. No sítio A foi possível identificar o elevado número de armadilhas para guaiamum e do tipo redinha para a coleta de caranguejos (**Figura 19**). No sítio B a elevada quantidade de resíduos sólidos foi bastante expressiva (Figura 20). No sítio C, área menos degradada, os indícios de desmatamento e resíduos sólidos foram pouco evidenciados (**Figura 21**).

Figura 19 – (A) Vista parcial em 2009 da estrutura do bosque no sítio A; (B) armadilha para guaiamum; (C) clareira no sítio A; (D) armadilha tipo redinha para caranguejo.



Fonte: Barbosa, 2010.

Figura 20 – Sítios A e B, respectivamente no ano de 2009. Destaque para os resíduos sólidos encontrados no sítio B.



Fonte: Barbosa, 2010.

Figura 21 – Vista parcial do sítio C em 2009 no Manguezal do Pina.



Fonte: Barbosa, 2010.

Para o ano de 2016, no que se refere ao nível de degradação ambiental, pode-se notar que os mesmos padrões de 2009 se repetiram. Foram identificados pontos com: número elevado de cortes, grande quantidade de resíduos sólidos, pesca predatória e ocupações no

entorno do manguezal. O sítio A (A1, A2 e A3) apresentou maior densidade de troncos vivos (3600 ind/ha) quando comparado aos demais sítios (**Figura 22**). O sítio B (B2 e B3) apresentou maior quantidade de resíduos sólidos, o que dificultou o acesso e a coleta de dados da parcela B1, localizado em um dos braços do Rio Pina, mais ao norte do manguezal e com maior proximidade com as áreas urbanas (**Figura 23**).

Figura 22 – Coleta de dados de trabalho de campo nos sítios de amostragem (Sítio A, B e C, respectivamente) em 2016.



Fonte: Autora, 2016.

Figura 23 – Análise estrutural e funcional do Manguezal do Pina. Sítio B em 2016.



Fonte: Autora, 2016.

Para cada sítio, os pontos marcantes também se mantiveram para os sítios B e C, tanto em 2009 quanto em 2016. No sítio A, destacou-se o elevado número de cortes (**Figura 24**). No sítio B a quantidade de resíduos sólidos foi tão elevada que impossibilitou a coleta de informações para a parcela B1 em 2016 (**Figura 23**). Já no sítio C o desmatamento e quantidade de resíduos sólidos foi menor quando comparado aos sítios A e B (**Figura 25**).

Figura 24 – Análise estrutural e funcional do Manguezal do Pina. Sítio A em 2016.



Fonte: Autora, 2016.

Figura 25 – Análise estrutural e funcional do Manguezal do Pina. Sítio C em 2016.



Fonte: Autora, 2016.

O Manguezal do Pina apresenta um grau elevado de desgaste ocasionado pela grande quantidade de resíduos sólidos, cortes para a extração de madeira e expansão desordenada de ocupações do entorno. A maior parte dos resíduos sólidos são trazidos de diversas áreas do Recife, através das bacias que compõem o Manguezal do Pina (rios Tejipió, Jordão e Pina) (SOBRINHO; ANDRADE, 2009).

Durante as observações em campo identificou-se clareiras em diversas áreas, embora o

aumento evidenciado de área de mangue em 2016 para 324,31 ha tenha sido constatado. Vale lembrar que, o aumento da vegetação não é um indicador de bom desenvolvimento do bosque, principalmente, por se tratar de um manguezal monoespecífico. Porém, o crescimento indica o quanto o manguezal é resiliente a diversas interferências. Esse fator não pode e nem deve ser utilizado como justificativa para a não conservação do ecossistema, visto que, em ecossistemas preservados ou conservados, os serviços ecossistêmicos prestados são muito mais evidentes.

Schaeffer-Novelli (1984), destaca que o manguezal é um ecossistema aberto que interage com os sistemas vizinhos e importa e exporta energia, o que lhe confere grande fragilidade. Neste sentido, as interferências sobre os sistemas próximos aos manguezais podem vir a provocar-lhes danos representados por alterações nos suprimentos de água doce e salgada, nutrientes, aporte dos sedimentos, alterações térmicas na água, entre outros fatores.

A instalação de diversos empreendimentos, dentre eles: o conjunto residencial Le Parc, shopping RioMar e construção da Via Mangue, têm sido objetos de discussão em relação aos impactos ocasionados ao Manguezal do Pina. Considera-se que, essas ações são impactantes a nível de meio ambiente devido a eliminação de retorno da vegetação original, além da retirada do horizonte orgânico, modificação da estrutura natural do sedimento, supressão de parte da cobertura vegetal, o que reflete na fauna terrestre e na biota estuarina. De acordo com Yáñez-Arancibia (1987), as zonas costeiras estão constantemente sob a influência do homem e é inevitável que a utilização destas áreas provoque alterações muitas vezes irreversíveis.

Para Diegues (2009), o manejo dos recursos naturais objetiva a utilização apropriada desses recursos e dos ecossistemas, de forma a respeitar sua capacidade de reprodução e de carga e seu emprego de forma sustentável. Segundo o autor, o critério de produção máxima sustentável é baseado em parâmetros biológicos e define o volume de recursos naturais. Critérios de caráter econômico ou social também são utilizados.

Não há como negar que o Manguezal do Pina beneficie em todos os sentidos a sociedade e aos diversos ecossistemas em seu entorno, porém o mesmo vem sofrendo interferências que ocasionam e ocasionaram perdas significativas da sua estrutura e função, o que provocou um desequilíbrio no meio ambiente, porém esse fato acabou sendo ignorado ou não observado.

#### 4.4 ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS (ACP)

Os resultados mostraram que os autovalores dos três vetores explicaram 86,03% da variação dos dados. O primeiro vetor explicou 56,68% da variação dos dados, o segundo 18,86% e o terceiro 10,49% (Tabela 6).

**Tabela 6** – Análise dos componentes principais (ACP) dos parâmetros estruturais do bosque do Manguezal do Pina, Recife/PE, entre os anos de 2009 e 2016. DTV (densidade de troncos vivos), AB (área Basal), ABM (área Basal Média), ALTMED (altura média), ALTDP (altura desvio padrão), ALTD (altura do dossel), NAM (número de árvores mortas), NAC (número de árvores cortadas) DAPM (diâmetro a altura do peito médio).

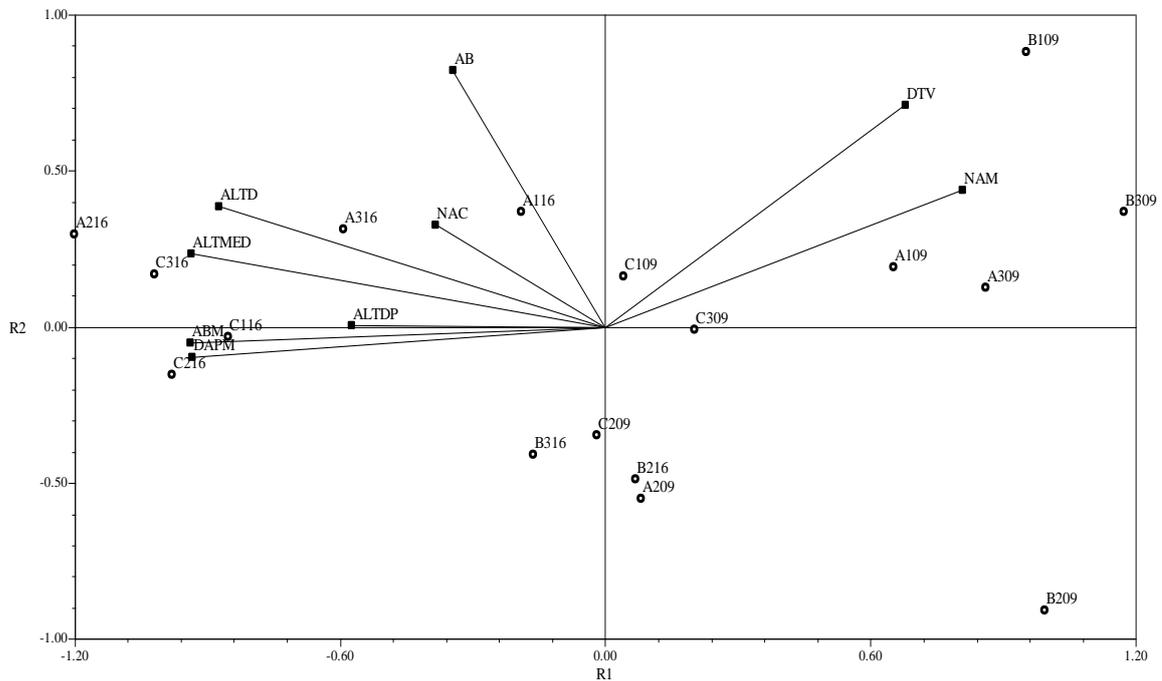
PARÂMETROS	CÓDIGO	FATOR 1 (56,68%)	FATOR 2 (18,86%)	FATOR 3 (10,49%)
Densidade de Troncos Vivos (ind/ha)	DTV	0,6775	<b>0,7106</b>	0,0491
Área Basal (m <sup>2</sup> /ha)	AB	-0,3449	<b>0,8221</b>	-0,4165
Área Basal Média (m <sup>2</sup> /ha)	ABM	<b>-0,9382</b>	-0,0487	-0,2619
Altura Média (m)	ALTMED	<b>-0,9361</b>	0,2361	0,1072
Altura Desvio Padrão (m)	ALTDP	-0,5749	0,0070	<b>0,5934</b>
Altura do Dossel (m)	ALTD	<b>-0,8746</b>	0,3852	0,1457
Nº Árvores Mortas (m <sup>2</sup> /ha)	NAM	<b>0,8071</b>	0,4399	
Nº Árvores Cortadas (m <sup>2</sup> /ha)	NAC	-0,3853	0,3275	<b>0,4709</b>
DAP Médio (m <sup>2</sup> /ha)	DAPM	<b>-0,9336</b>	-0,0958	-0,2994

Fonte: Autora, 2018.

O primeiro fator revelou que a área basal média (m<sup>2</sup>/ha), altura média (m), altura do dossel (m) e DAP médio (m<sup>2</sup>/ha) estiveram correlacionados diretamente entre si e inversamente correlacionados com o número de árvores mortas (m<sup>2</sup>/ha) e densidade de troncos vivos (ind/ha). O fator 2 correlacionou diretamente entre si a densidade de troncos vivos (ind/ha) com a área basal. E o fator 3 correlacionou a altura desvio padrão (m) com o número de árvores cortadas (ind/ha) (Tabela 6). A projeção no espaço dos dois primeiros fatores pode ser vista na Figura 26, onde o DTV e NAM predominaram nas estações do ano 2009 e os demais parâmetros nas estações de 2016.

A análise de componentes principais demonstrou que existe um mosaico de fatores que estão influenciando diferentemente determinadas parcelas (**Figura 26**). Isso significa que alguns fatores agem de forma mais acentuada, o que caracteriza a importância de se conhecer os diversos mecanismos que interferem no ecossistema em questão, seja ele, de origem natural ou antrópica. Pode-se destacar o fator 1 no qual apresentou valores de crescimento do bosque como área basal, alturas e DAP, os quais diminuem na medida em que as árvores morrem ou são cortadas. Esses dados oferecem uma qualidade maior quando se trata de observação do comportamento dos ecossistemas de mangue frente aos diversos sensores.

Figura 26 – Fatores estruturais dimensionados em gráfico bi-dimensional dos anos de 2009 e 2016 do Manguezal do Pina, Recife/PE.



Fonte: Autora, 2018.

#### 4.5 RESULTADOS DO MÉTODO ESTATÍSTICO IBM SPSS 22

Em relação aos resultados estatísticos pode-se entender que:

##### 4.5.1 Em 2009

Os resultados dos testes não-paramétricos (Kruskal-Wallis) indicam que as parcelas do sítio B e C podem ser consideradas homogêneas, já que não há diferença significativa na altura e DAP medianos (**Tabela 7**). Entre as parcelas A, há homogeneidade com à relação à altura mediana, mas há diferença significativa no DAP. O teste Mann-Whitney indica que a diferença se deve à parcela A3 que tem DAP significativamente menor do que as parcelas A1 ( $Z = -3.308$ ,  $p = 0.001$ ) e A2 ( $Z = -3.662$ ,  $p = 0.000$ ). Diferença significativa no DAP é observado nas três espécies de mangue, enquanto apenas *R. mangle* mostra diferença significativa também para altura ( $X^2(2) = 14.109$ ,  $p = 0.001$ ).

Tabela 7 – Resultados dos testes Kruskal-Wallis comparando valores medianos de altura e DAP entre parcelas do mesmo sítio amostral medidos em 2009 e em 2016 no Manguezal do Pina, Recife/PE. df (degrees of freedom);  $X^2$  (variável); p (probabilidade).

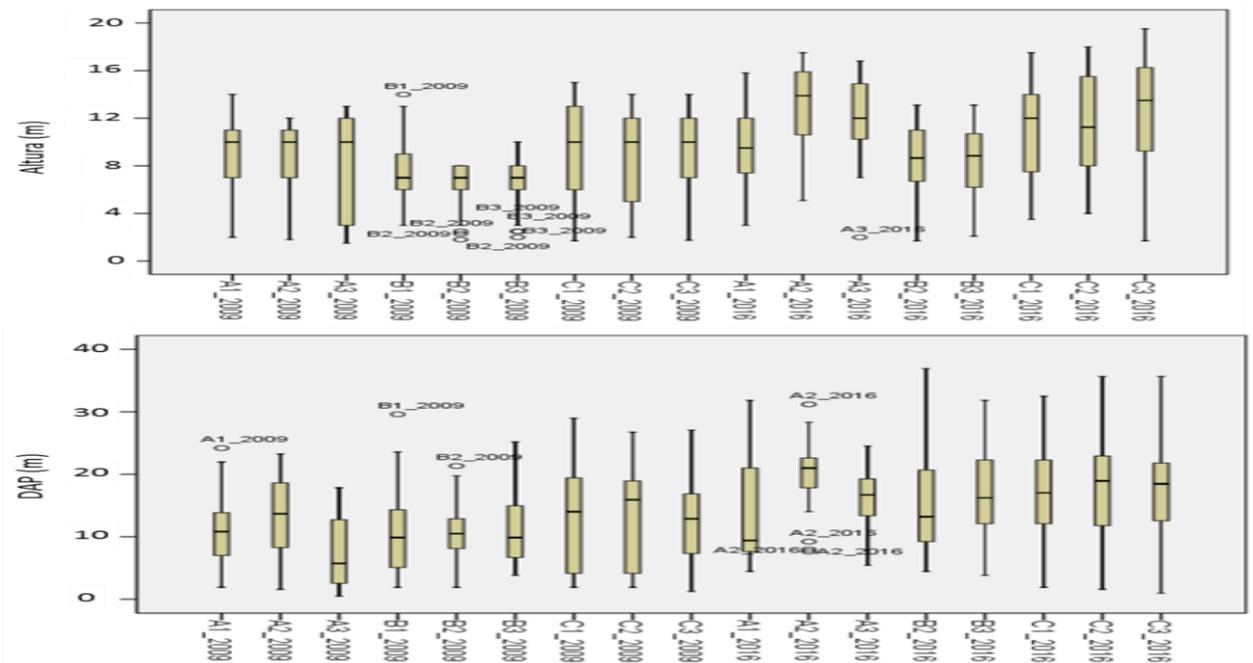
Ano	Parcelas ou sítios	Altura (m)			DAP (cm)		
		df	$X^2$	p	$X^2$	p	
2009	A1, 2, 3	2	0.744	0.689	19.233	<b>0.000*</b>	A3 significativamente menor do que as outras duas parcelas
	B1, 2, 3	2	5.877	0.053	1.669	0.434	
	C1, 2, 3	2	0.318	0.853	0.822	0.663	
2016	A1, 2, 3	2	30.457	<b>0.000*</b>	15.654	<b>0.000*</b>	exceto para altura entre as parcelas A2 e A3
	B2, 3	1	0.000	0.989	2.673	0.102	
	C1, 2, 3	2	1.924	0.382	0.344	0.842	
2009	A, B, C	2	54.271	<b>0.000*</b>	22.318	<b>0.000*</b>	Exceto para o DAP entre os sítios A e B
2016	A, B, C	2	33.940	<b>0.000*</b>	1.639	0.441	B significativamente menor do que os outros dois sítios

Fonte: Fernanda Gomes e Luciana Esteves, 2018.

#### 4.5.2 Em 2016

Assim como em 2009, os resultados dos testes não-paramétricos (Kruskal-Wallis) indicam que as parcelas dos sítios B e C podem ser consideradas homogêneas, já que não há diferença significativa na altura e DAP medianos (**Tabela 7**). Entre as parcelas A, há diferença significativa tanto na altura quanto no DAP (**Tabela 7** e **Figura 27**); exceto para altura entre as parcelas A2 e A3 ( $Z = -1.544$ ,  $p = 0.123$ ). O teste Mann-Whitney indica que, para *L. racemosa* a diferença significativa existe apenas no DAP entre as parcelas A2 e A3 ( $Z = -1.513$ ,  $p = 0.130$ ), e na altura a parcela A1 é significativamente menor que A2 ( $Z = -4.145$ ,  $p = 0.000$ ) e A3 ( $Z = -3.477$ ,  $p = 0.001$ ). Devido à ausência de árvores não é possível a análise das outras duas espécies.

Figura 27 – Box plots dos dados de altura e DAP para cada parcela do Manguezal do Pina, Recife-PE, considerando-se todas as árvores nos anos de 2009 e 2016.



Fonte: Fernanda Gomes e Luciana Esteves, 2018.

A seguir são apresentadas as alturas e valores de DAP para os anos de 2009 e 2016 no Manguezal do Pina/PE com intuito de apresentar os valores máximos e mínimos para cada parâmetro utilizado no teste de Kruskal-Wallis (**Tabela 8**).

Tabela 8 – Estatísticas descritivas de altura e DAP para cada parcela dos anos de 2009 e 2016 no Manguezal do Pina/PE. N (número de árvores).

		N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Altura (m)	A1_2009	67	2.00	14.00	8.8060	3.08092
	A2_2009	31	1.80	12.00	8.2323	3.49632
	A3_2009	88	1.50	13.00	7.7398	4.33196
	B1_2009	114	3.00	14.00	7.3070	2.34002
	B2_2009	36	1.80	8.00	6.3361	1.80288
	B3_2009	93	2.00	10.00	6.8441	1.86352
	C1_2009	53	1.70	15.00	9.3528	3.88833
	C2_2009	39	2.00	14.00	8.8205	3.95283
	C3_2009	62	1.75	14.00	9.3782	3.35897
	A1_2016	62	3.00	15.80	9.7613	3.05305
	A2_2016	34	5.10	17.50	13.3000	3.11409
	A3_2016	48	2.00	16.80	12.2458	2.99900
	B2_2016	34	1.70	13.10	8.4971	2.82741
	B3_2016	30	2.10	13.10	8.4800	3.01358
	C1_2016	34	3.50	17.50	11.2941	4.12699
	C2_2016	30	4.00	18.00	11.7000	4.12227
	C3_2016	40	1.70	19.50	12.4675	4.77802
	DAP (cm)	A1_2009	67	1.91	24.19	10.6130
A2_2009		31	1.59	23.24	12.7226	6.81056
A3_2009		88	0.48	17.83	7.6518	5.56377
B1_2009		114	1.91	29.60	10.1751	5.88811
B2_2009		36	1.91	21.33	10.9372	4.78227
B3_2009		93	3.82	25.15	10.7545	4.85596
C1_2009		53	1.91	28.97	13.2375	7.90074
C2_2009		39	1.91	26.74	13.5156	8.28092
C3_2009		62	1.27	27.06	12.5424	6.17857
A1_2016		62	4.46	31.83	14.1697	8.33416
A2_2016		34	7.64	31.19	19.8285	5.04468
A3_2016		48	5.41	24.51	16.2973	4.50580
B2_2016		34	4.46	36.92	14.5856	7.14933
B3_2016		30	3.82	31.83	17.3383	7.45785
C1_2016		34	1.91	32.47	16.6929	7.91233
C2_2016		30	1.59	35.65	17.9850	8.11961
C3_2016		40	0.95	35.65	16.4533	7.93712

Fonte: Fernanda Gomes e Luciana Esteves, 2018.

#### 4.5.3 Variabilidade de Altura e DAP entre os sítios

A **Tabela 9** apresenta as estatísticas para cada sítio, ano e para todos os dados considerando-se todas as espécies.

Tabela 9 – Estatísticas para cada sítio, ano e para todos os dados considerando-se todas as espécies no Manguezal do Pina, Recife/PE. N (número de árvores).

		N	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Altura (m)	Todos dados	895	1.50	19.50	9.014	3.782
	2009	583	1.50	15.00	7.968	3.294
	2016	312	1.70	19.50	10.969	3.863
	A_2009	186	1.50	14.00	8.206	3.798
	B_2009	243	1.80	14.00	6.986	2.113
	C_2009	154	1.70	15.00	9.228	3.684
	A_2016	144	2.00	17.50	11.425	3.381
	B_2016	64	1.70	13.10	8.489	2.893
	C_2016	104	1.70	19.50	11.863	4.375
DAP (cm)	Todos dados	895	0.48	36.92	12.799	7.133
	2009	583	0.48	29.60	10.873	6.231
	2016	312	0.95	36.92	16.398	7.326
	A_2009	186	0.48	24.19	9.564	5.886
	B_2009	243	1.91	29.60	10.510	5.345
	C_2009	154	1.27	28.97	13.028	7.324
	A_2016	144	4.46	31.83	16.215	6.863
	B_2016	64	3.82	36.92	15.876	7.368
	C_2016	104	0.95	35.65	16.974	7.931

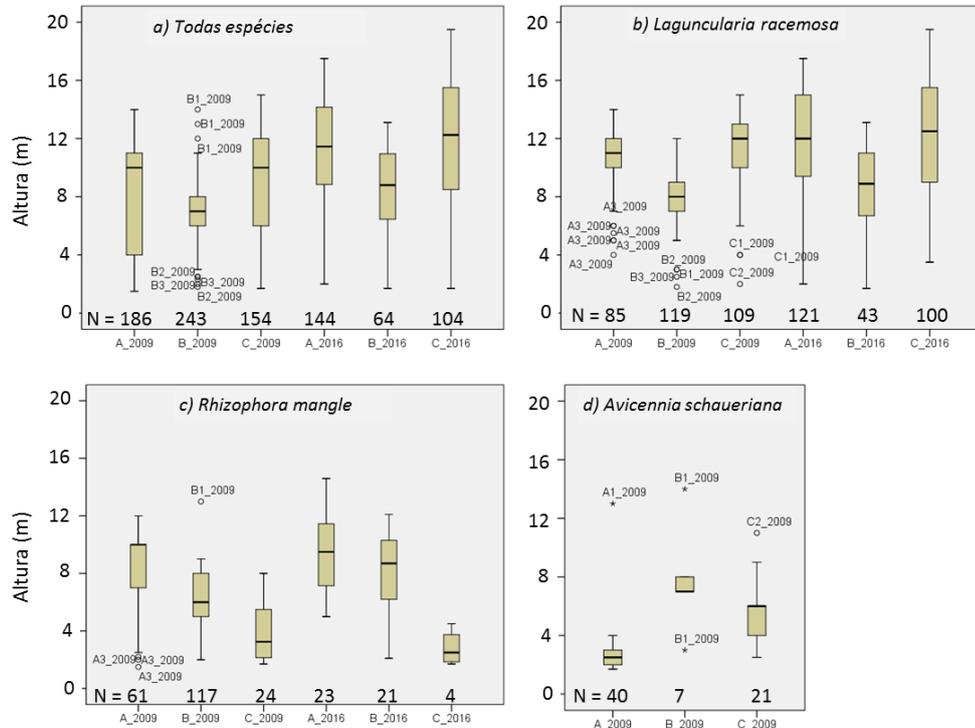
Fonte: Fernanda Gomes e Luciana Esteves, 2018.

Considerando-se todas as espécies, os resultados dos testes não-paramétricos indicam que há diferença significativa na altura e DAP medianos entre os sítios de 2009 (**Tabela 9**). Nos sítios de 2009, só não há diferença significativa no DAP entre os sítios A e B ( $Z=-1.774$ ,  $p=0.076$ ). Observa-se diferença significativa na altura e DAP entre os sítios de 2009 nas três espécies de mangue, evidente na **Figura 27**.

Já para os sítios de 2016, não há diferença significativa para o DAP, mas há para a altura (**Tabela 9**), tendo o sítio B altura mediana significativamente menor que os sítios A ( $Z=-5.308$ ,  $p=0.000$ ) e C ( $Z=-5.125$ ,  $p=0.000$ ). Analisando as espécies separadamente, observa-se diferença significativa no DAP ( $X^2(2)=23.386$ ,  $p=0.000$ ) e altura ( $X^2(2)=11.054$ ,  $p=0.004$ ) para *Rhizophora mangle*, devido ao sítio C apresentar árvores significativamente

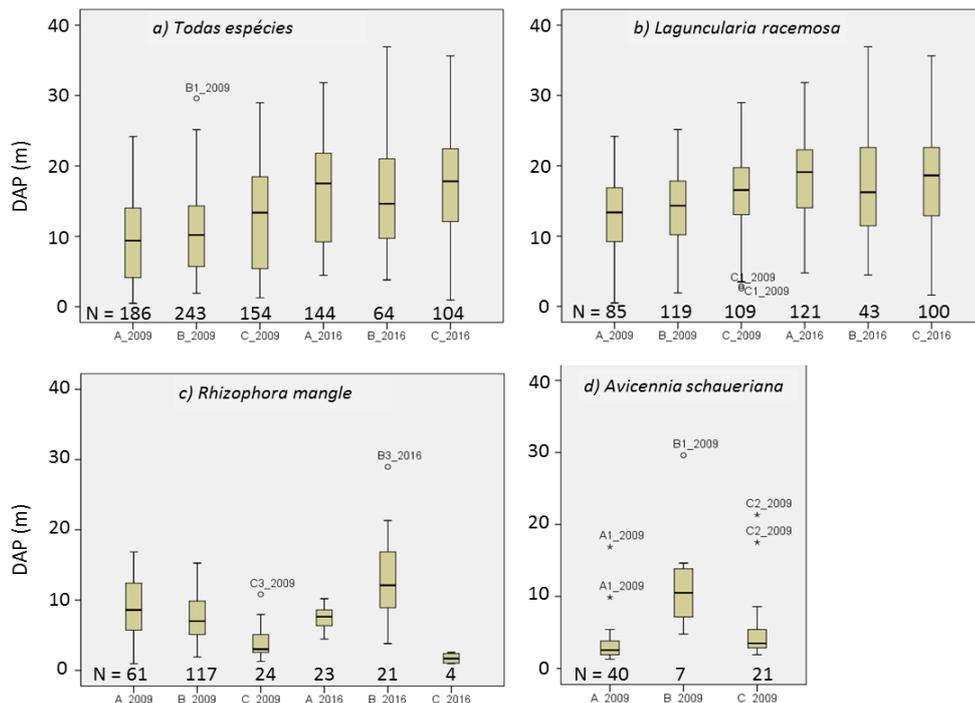
menores, como está evidente na **Figura 28** e **Figura 29**.

Figura 28 – Box plots dos dados de altura (m) para cada sítio do Manguezal do Pina, Recife/PE., considerando-se (a) todas as árvores, (b) apenas *Languncularia racemosa*, (c) apenas *Rhizophora mangle* e (d) apenas *Avicennia schaueriana*.



Fonte: Fernanda Gomes e Luciana Steves, 2018.

Figura 29 – Box plots dos dados de DAP (cm) para cada sítio, considerando-se (a) todas as árvores, (b) apenas *Languncularia racemosa*, (c) apenas *Rhizophora mangle* e (d) apenas *Avicennia schaueriana*.

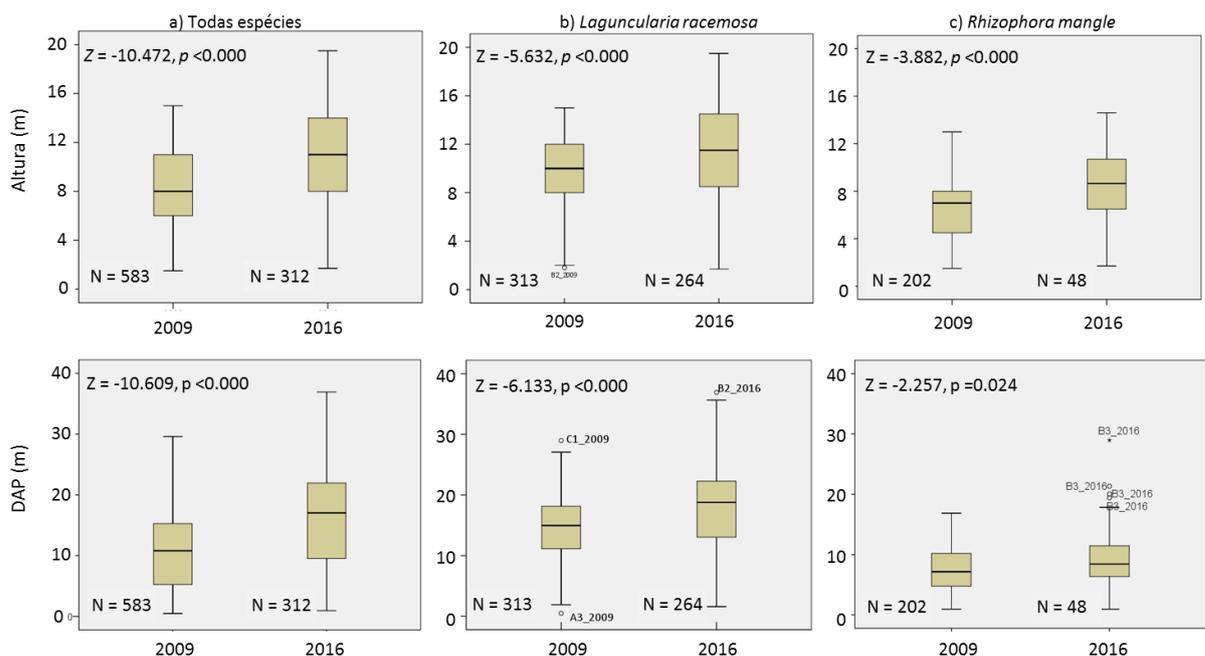


Fonte: Fernanda Gomes e Luciana Esteves, 2018.

#### 4.5.4 Variabilidade entre 2009 e 2016

Os dados apresentados (**Figura 30**) comprovam que houve um aumento significativo na altura e DAP médios entre 2009 e 2016 tanto quando se considera todas as árvores (**Figura 30a**), quanto para *Laguncularia racemosa* (**Figura 30b**) e *Rhizophora mangle* (**Figura 30c**). Não foram encontradas árvores de *Avicennia schaueriana* em 2016. Houve também uma maior variabilidade na altura e DAP em 2016 devido à presença de árvores de maior porte, principalmente de *Laguncularia racemosa* (**Figura 30**).

Figura 30 – Box plots dos dados de altura (m) e DAP (cm) para os anos de 2009 e 2016 no Manguezal do Pina, Recife/PE, considerando-se (a) todas as árvores, (b) apenas *Laguncularia racemosa* e (c) apenas *Rhizophora mangle*, indicando o tamanamostral e os resultados do teste Mann-Whitney.



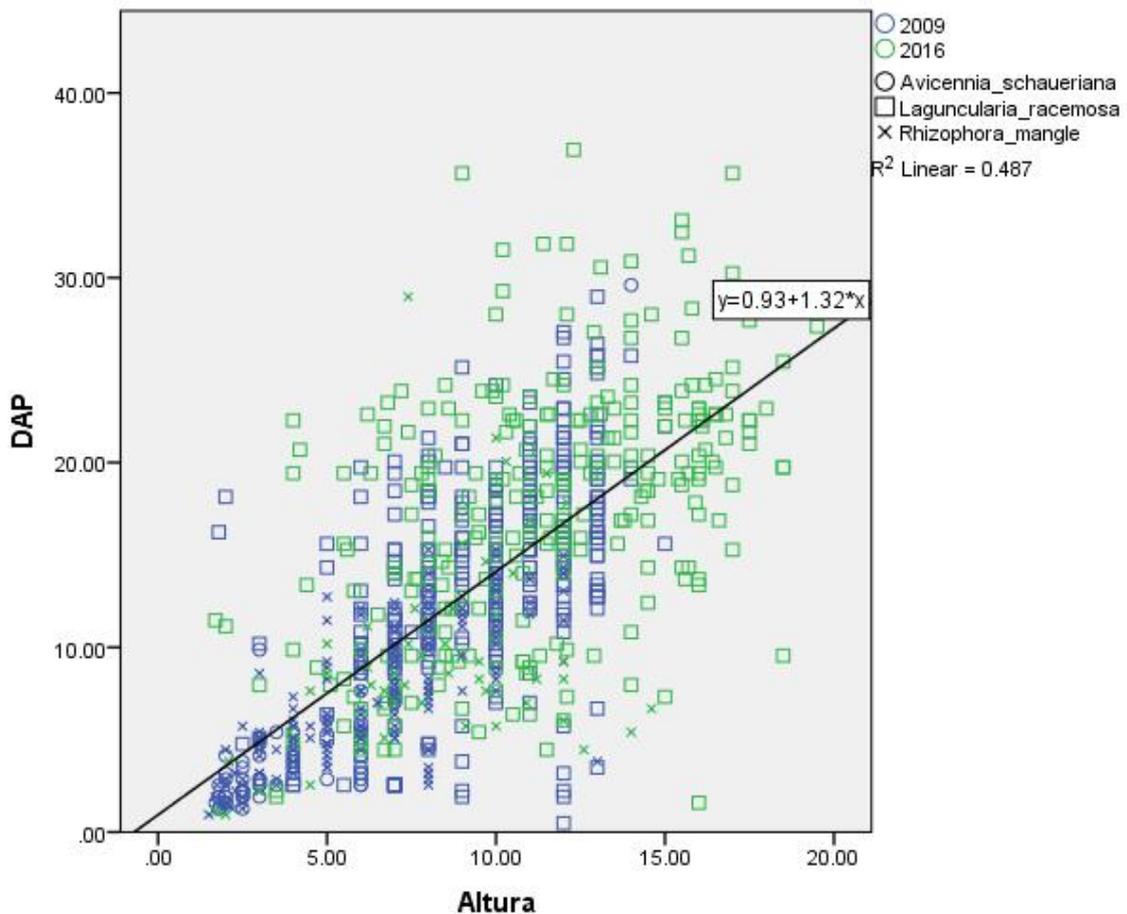
Fonte: Fernanda Gomes e Luciana Esteves, 2018.

#### 4.5.5 Correlação entre altura e DAP

Considerando-se todas as árvores vivas medidas (N=865) há correlação significativa entre altura e DAP ( $R = 0.698$ ,  $p < 0.01$ ) e também para os dados de 2009 ( $R = 0.745$ ,  $p < 0.01$ ) e 2016 ( $R = 0.518$ ,  $p < 0.01$ ) e cada espécie (Figura 31). Nesta correlação é possível identificar

no gráfico (**Figura 31**) que quanto maior a altura, ou seja, o crescimento do bosque em termos de maturação, maior o diâmetro das árvores e, conseqüentemente, maiores valores de área basal por ha.

Figura 31 – Correlação entre altura (m) e DAP (cm) para os anos de 2009 e 2016 no Manguezal do Pina, Recife/PE.



Fonte: Fernanda Gomes e Luciana Esteves, 2018.

O método estatístico (IBM SPSS 22) acima apresentado demonstra as principais características estruturais do bosque do Manguezal do Pina e corrobora com dados estruturais apresentados e evidenciados na análise estrutural e funcional proposta por Schaeffer-Novelli e Cintrón (1986 e 2015). Os dados apresentados estão dentro dos padrões evidenciados na análise de campo apresentada. Diversos trabalhos podem ser destacados quanto as características da vegetação de mangue, dentre eles: Souza; Sampaio, 2001; Melo, 2002; Deus et al. 2003; Matni; Menezes; Mehlig, 2003; DEUS et al., 2003; Rezende, 2004; Bernini, Menezes, Mehlig, 2006; Menezes; Mehlig, 2006; Nascimento-Filho, 2007; Petri *et al.* 2011 e Almeida *et al.* 2014.

#### 4.5.6 Produtividade Primária Líquida (NNP) e Produtividade Primária Bruta (GPP)

Para alcançar os valores referentes ao sequestro de carbono, foram utilizados dados das imagens (**Tabela 10** e **Tabela 11**), assim como obtenção de dados relacionados aos índices de vegetação, valores relacionados ao saldo de radiação, fluxo de calor no solo, radiação solar acumulada, radiação fotossinteticamente ativa diária e autotrófica, pressão atmosférica, umidades e temperaturas do ar, eficiência de uso da luz, fluxo de calor no solo, fração evaporativa e evapotranspiração 24h (**Tabela 12**, **Tabela 13**, **Tabela 14** e **Tabela 15**).

Tabela 10 – Dados das imagens de 2005, 2010 e 2016 Manguezal do Pina, Recife/PE. Data das imagens, hora, satélite, sensor, quadrado da razão entre a distância Terra-Sol ( $d_r$ ), elevação do sol (sun elevation), cosseno de Z (cos Z), temperatura do ar - Ta (°K) e velocidade do vento a 200 m.

Imagem Data	Hora	Satélite	Sensor	$d_r$	Sun Elevation	Cos Z	Ta (k)	Vel. Vento 200 m
8/9/2005	12:17	L5	TM	0,99	56,65	0,84	301,65	4,08
6/9/2010	12:19	L5	TM	0,99	56,64	0,84	294,31	11,03
18/6/2016	12:28	L8	OLI/TIRS	0,97	48,71	0,75	297,72	2,27

Fonte: Autora, 2018.

Tabela 11 – Dados das imagens de 2005, 2010 e 2016 Manguezal do Pina, Recife/PE. Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), saldo de radiação ( $R_n$ ), fluxo do calor no solo, radiação solar acumulada (RS), radiação fotossinteticamente ativa diária – RFA ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ), pressão atmosférica po (KPa), umidade relativa do ar UR (%) e valores de temperatura na eficiência de uso da luz pelas plantas T1 e T2.

Imagem Data	SAVI	Saldo de Radiação ( $R_n$ )	Fluxo Calor no solo	Rad. Solar Acumulada (RS)	RFA ( $\text{wm}^{-2}$ )	Pressão atmosférica - po (KPa)	Umidade relativa do ar - UR (%)	T1	T2
8/9/2005	0,014	476,291	71,283	237,296	113,889	1015,800	70,000	0,990	1,127
6/9/2010	0,106	575,031	82,953	290,509	139,444	1015,500	46,000	0,983	1,044
18/6/2016	0,141	469,777	82,968	291,898	140,111	1017,0	61,000	0,990	0,950

Fonte: Autora, 2018.

Tabela 12 – Dados de amplitude, média, desvio padrão e soma dos valores de Normalized Difference Vegetation

Index (NDVI) e Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) do Manguezal do Pina, Recife/PE, para os anos de 2005, 2010 e 2016.

NDVI					SAVI			
Imagem	Desvio				Desvio			
Data	Amplitude	Média	Padrão	Soma	Amplitude	Média	Padrão	Soma
8/9/2005	1,54	0,56	0,25	1964,62	1,00	0,46	0,20	1623,81
6/9/2010	1,16	0,64	0,17	1850,41	0,87	0,52	0,14	1508,42
18/6/2016	1,40	0,62	0,24	2240,53	0,95	0,51	0,20	1853,06

Fonte: Autora, 2018.

Tabela 13 – Dados de amplitude, média, desvio padrão e soma dos valores da respiração autrófica e saldo de radiação do Manguezal do Pina, Recife/PE, para os anos de 2005, 2010 e 2016.

Respiração Autotrófica					Saldo de Radiação			
Imagem	Desvio				Desvio			
Data	Amplitude	Média	Padrão	Soma	Amplitude	Média	Padrão	Soma
8/9/2005	11,88128	3,353819	1,99972	11731,66	208,9316	686,5771	21,5587	2401647
6/9/2010	5,912058	3,729198	1,34319	10769,92	249,1447	684,0205	16,3763	1975451
18/6/2016	11,298	3,936194	2,0041	14213,6	170,7005	596,7451	20,3234	2154847

Fonte: Autora, 2018.

Tabela 14 – Dados de amplitude, média, desvio padrão e soma dos valores do índice de área foliar (IAF) e fluxo do calor no solo do Manguezal do Pina, Recife/PE, para os anos de 2005, 2010 e 2016.

IAF					Fluxo de Calor no Solo			
Imagem	Desvio				Desvio			
Data	Amplitude	Média	Padrão	Soma	Amplitude	Média	Padrão	Soma
8/9/2005	2,96	1,39	0,73	4866,36	185,78	62,65	40,47	219161,30
6/9/2010	6,00	1,64	0,67	4727,25	184,68	57,07	19,70	164824,90
18/6/2016	6,68	1,97	1,23	7109,55	157,83	61,64	29,27	222572,00

Fonte: Autora, 2018.

Tabela 15 – Dados de amplitude, média, desvio padrão e soma dos valores da evapotranspiração 24h e fração evaporativa do Manguezal do Pina, Recife/PE, para os anos de 2005, 2010 e 2016.

Evapotranspiração 24h					Fração Evaporativa			
Imagem	Desvio				Desvio			
Data	Amplitude	Média	Padrão	Soma	Amplitude	Média	Padrão	Soma
8/9/2005	5,996173	4,86681	0,761047	17024,1	1,09929	0,925257	0,138251	3236,55
6/9/2010	6	5,302571	0,85102	15313,83	1,431886	0,816863	0,143156	2359,101
18/6/2016	3,648287	5,224132	0,502447	18864,34	0,505489	0,86101	0,071932	3109,105

Fonte: Autora, 2018.

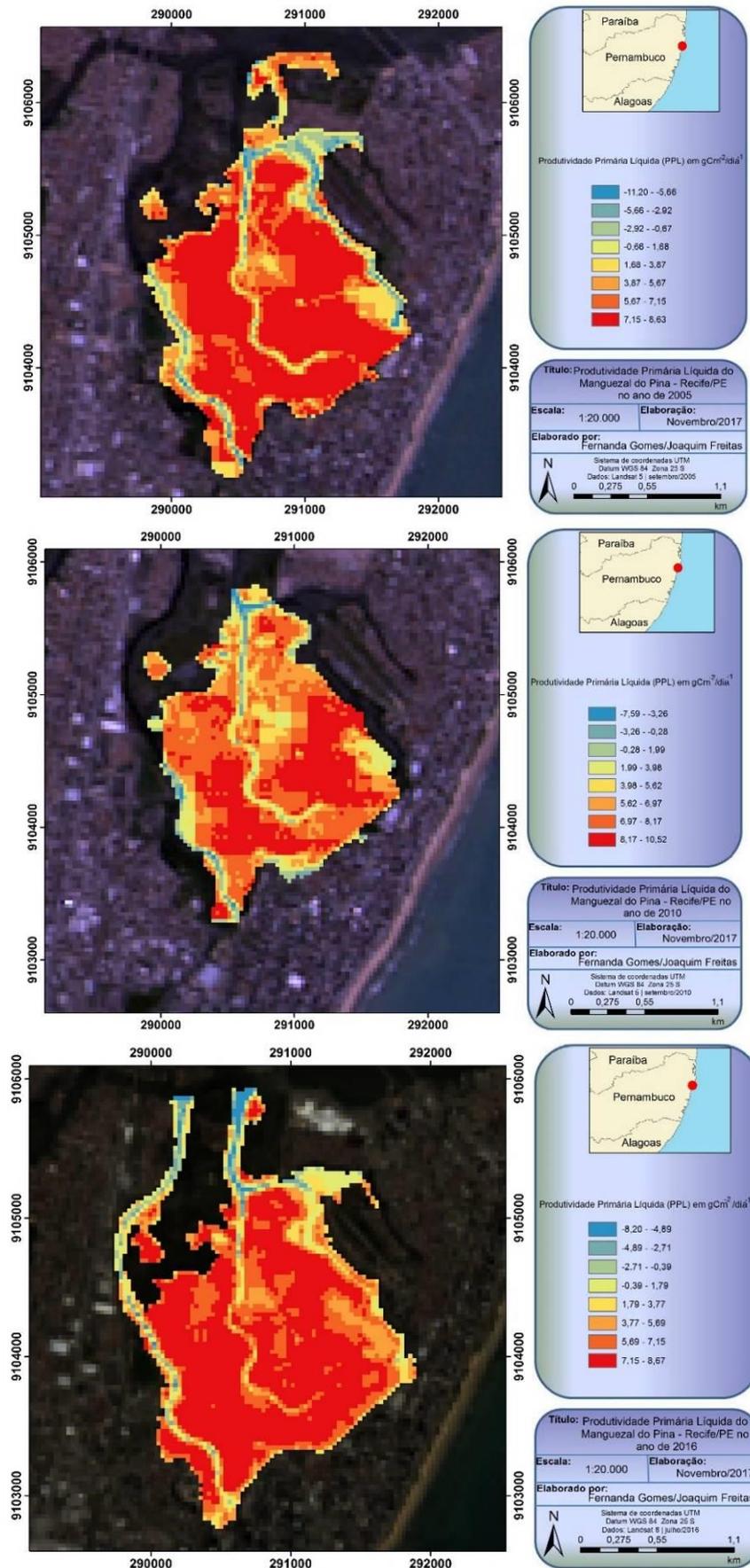
Os resultados encontrados a partir do balanço de energia provenientes do algoritmo SEBAL, mostram a amplitude, média, desvio padrão e soma da PPL em  $\text{g C m}^2 \text{ dia}^{-1}$ ,  $\text{ton C dia}^{-1}$  e  $\text{ton C ano}^{-1}$  (Tabela 16 e Figura 16). A Produtividade Primária Líquida (PPL) está relacionada à energia que se transformou em biomassa, desconsiderando as perdas no processo de respiração em um determinado período de tempo. O balanço do carbono está associado aos processos de troca de dióxido de carbono entre um ecossistema terrestre e atmosfera (FERREIRA; VARONE; ALVES, 2013). A PPL foi elaborada a partir do modelo proposto por Running et al., 2004; Ibrahim et al., 2006 no qual a PPL é a diferença entre a PPB e a Ra (respiração autotrófica).

Tabela 16 – Dados da produtividade primária líquida ( $\text{g C m}^2 \text{ dia}^{-1}$ ,  $\text{ton C ano}^{-1}$ ,  $\text{ton C dia}^{-1}$ ) para cada imagem analisada. Valores referentes a área (ha) do Manguezal do Pina, Recife/PE, amplitude, média, desvio padrão e soma da NPP.

PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA LÍQUIDA ( $\text{g C m}^2 \text{ dia}^{-1}$ )							
DATA	Área (ha)	AMPLITUDE	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	SOMA	ton C $\text{dia}^{-1}$	ton C $\text{ano}^{-1}$
8/9/2005	315,42	19,92	5,62	3,35	19664,95	17,73	6472,35
6/9/2010	259,09	10,09	6,36	2,29	18377,08	16,48	6017,56
18/6/2016	324,31	16,87	5,88	2,99	21219,41	19,05	6955,99

Fonte: Autora, 2018.

Figura 32 – Produtividade primária líquida do Manguezal do Pina em 2005, 2010 e 2016.



Fonte: Fernanda Gomes e Joaquim Freitas, 2017.

A Produtividade Primária Bruta (PPB) é a quantidade de energia que uma planta absorve através da fotossíntese, a qual converte em biomassa durante um determinado período de tempo. A PPB impulsiona várias funções do ecossistema, tais como respiração e crescimento, contribuindo para o bem-estar humano com a produção de alimentos, fibras e madeira e juntamente com a respiração, é capaz de compensar parcialmente as emissões de CO<sub>2</sub> (BEER et al., 2010).

É possível identificar, uma proporcionalidade no aumento e diminuição da NPP em relação à área ocupada pela vegetação de mangue. Para o ano de 2005 a área ocupada era de 315,42 ha, sendo a NPP de 17,73 ton C dia<sup>-1</sup>, porém houve uma diminuição da área ocupada por mangue de 56,33 ha no ano de 2010, isso resultou numa diminuição da NPP para este ano, ficando com 16,48 ton C dia<sup>-1</sup>.

No ano de 2016, com o crescimento da área de mangue a produtividade primária líquida apresentou um aumento chegando a 19,05 ton C dia<sup>-1</sup>. Esses dados revelam que a densidade do bosque ou a diminuição dessa densidade interferem na quantidade de carbono sequestrado, ou seja, quanto maior a área de mangue maior será a quantidade de carbono assimilado, em contrapartida, a diminuição do bosque ocasionará diminuição no carbono sequestrado pela floresta.

Vale ressaltar que os valores anuais são significativos em termos de PPL e atingiram de 6472,35 a 6955,99 ton C ano<sup>-1</sup>. Esses valores refletem a importância da vegetação de mangue para o sequestro de carbono, sendo assim, o serviço ecossistêmico prestado pelo mangue para a qualidade do ar na cidade do Recife é de extrema importância, diminuindo de maneira significativa, os valores de CO<sub>2</sub> no espaço em questão.

A PPB seguiu o mesmo padrão de absorção da PPL. O aumento e a diminuição da área de vegetação influenciaram de forma semelhante e proporcional os valores de PPB. Para o ano de 2005 a área ocupada pelo mangue de 315,42 há absorveu 28,31 ton C dia<sup>-1</sup> e com a diminuição do bosque me 2010 de 56 ha a PPB sofreu diminuição para 26,15 ton C dia<sup>-1</sup>. O aumento do bosque em 2016, com valor de 324,31 aumentou de forma relevante o valor da PPB para 31,82 ton C dia<sup>-1</sup>, comprovando o serviço ecossistêmico prestado pela vegetação. Vale ressaltar, que este estudo contabiliza apenas áreas de mangue, não contabilizando o sequestro de carbono, pelo sedimento de mangue que é ainda mais expressivo (

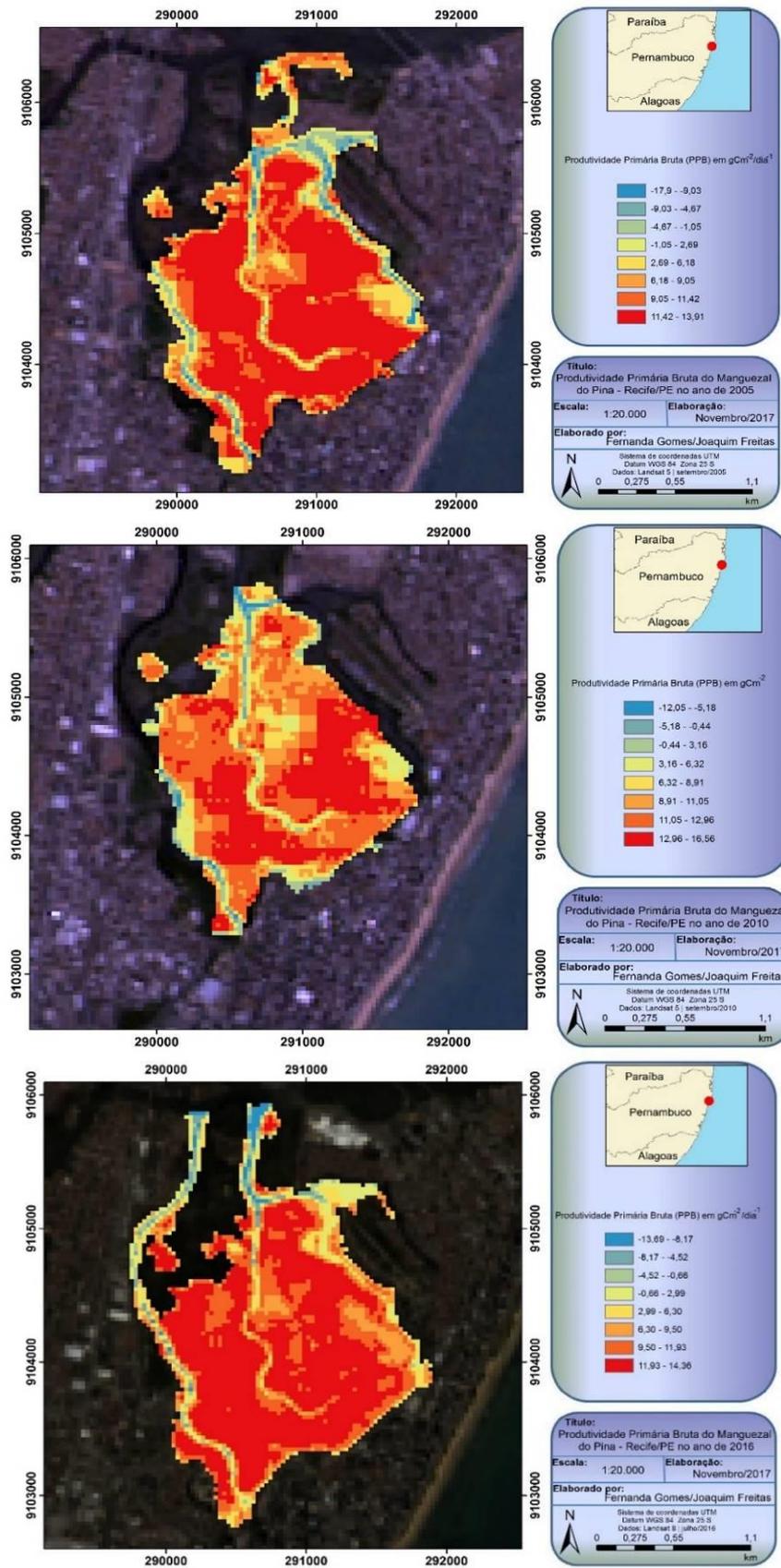
**Tabela 17 e Figura 33).**

Tabela 17 – Dados da produtividade primária bruta ( $\text{g C m}^2 \text{ dia}^{-1}$ ,  $\text{ton C ano}^{-1}$ ,  $\text{ton C dia}^{-1}$ ) para cada imagem analisada. Valores referentes a área (ha) do Manguezal do Pina, Recife/PE, amplitude, média, desvio padrão e soma da GPP.

<b>PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA BRUTA (<math>\text{g C m}^2 \text{ dia}^{-1}</math>)</b>							
<b>DATA</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>AMPLITUDE</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>DESVIO PADRÃO</b>	<b>SOMA</b>	<b>ton C dia<sup>-1</sup></b>	<b>ton C ano<sup>-1</sup></b>
8/9/2005	315,42	31,80	8,98	5,35	31396,61	28,31	10333,60
6/9/2010	259,09	16,00	10,09	3,64	29147,00	26,15	9544,16
18/6/2016	324,31	28,16	9,81	5,00	35433,01	31,82	11615,39

Fonte: Autora, 2018.

Figura 33 – Produtividade primária bruta do Manguezal do Pina em 2005, 2010 e 2016.



Fonte: Fernanda Gomes e Joaquim Freitas, 2017.

Segundo Kauffman et.al, (2011) os sedimentos apresentaram aproximadamente 70% do carbono estocado. Independentemente do tipo dominante de mangue a maioria do carbono é armazenado no solo (MEENAKSHI, 2016). As florestas tropicais abrangem 56% de C em biomassa e 32% de solo, já as florestas boreais armazenam 20% de biomassa e 60% de solo (PAN et al., 2011). Segundo Donato et al (2011) os sedimentos de manguezais representam 49 até 98% do armazenamento de carbono nas áreas de manguezais, significa que, os valores de carbono no solo são ainda mais expressivos que os valores armazenados pela vegetação.

Os manguezais, como outros ecossistemas, são subvalorizados, pois os serviços de provisão e apoio são mais facilmente compreendidos e valorizados, já os serviços de regulação e de suporte são mais difíceis de avaliar, sendo muitas vezes subestimados (ALONGI, 2011). Outros trabalhos enfatizam a dificuldade em estimar de forma precisa o C, principalmente nas zonas úmidas costeiras, nas quais as condições hidrológicas regulam as trocas entre carbono orgânico e inorgânico a terra e águas costeiras (BOUILLON et al., 2008; DONATO et al, 2011; HOPKINSON et al., 2012, RIVERA-MONROY et al., 2013; MEENAKSHI et al, 2016). O armazenamento de C em ecossistemas de zonas úmidas, incluindo as florestas de mangue, pode apresentar variações em escalas temporais curtas ou longas, principalmente, por estar diretamente relacionado à frequência de inundações.

É preciso considerar as mudanças ao longo do tempo dos ecossistemas de manguezais para a pagamento por serviços ambientais (ou ecossistêmicos) (PES) e Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation Plus (REDD+/ Redução de Emissões do Desmatamento e Degradação Florestal), pois os manguezais são ecossistemas não-lineares que apresentam diversas alterações para se adaptarem a dinâmica costeira. É importante considerar que nem todos os manguezais acumulam carbono de maneira significativa, pois estão condicionados as leis termodinâmicas, ou seja, as mudanças em escalas macroscópica nos efeitos de temperatura, volume e pressão que em a energia pode ser transferida de um sistema para outro (ALONGI, 2011). O serviço ecossistêmico sustentável depende da integridade e resiliência do ecossistema, sendo de fundamental importância a observação das mudanças estruturais e funcionais ao qual o mesmo poderá estar sendo submetido (ALONGI, 2011).

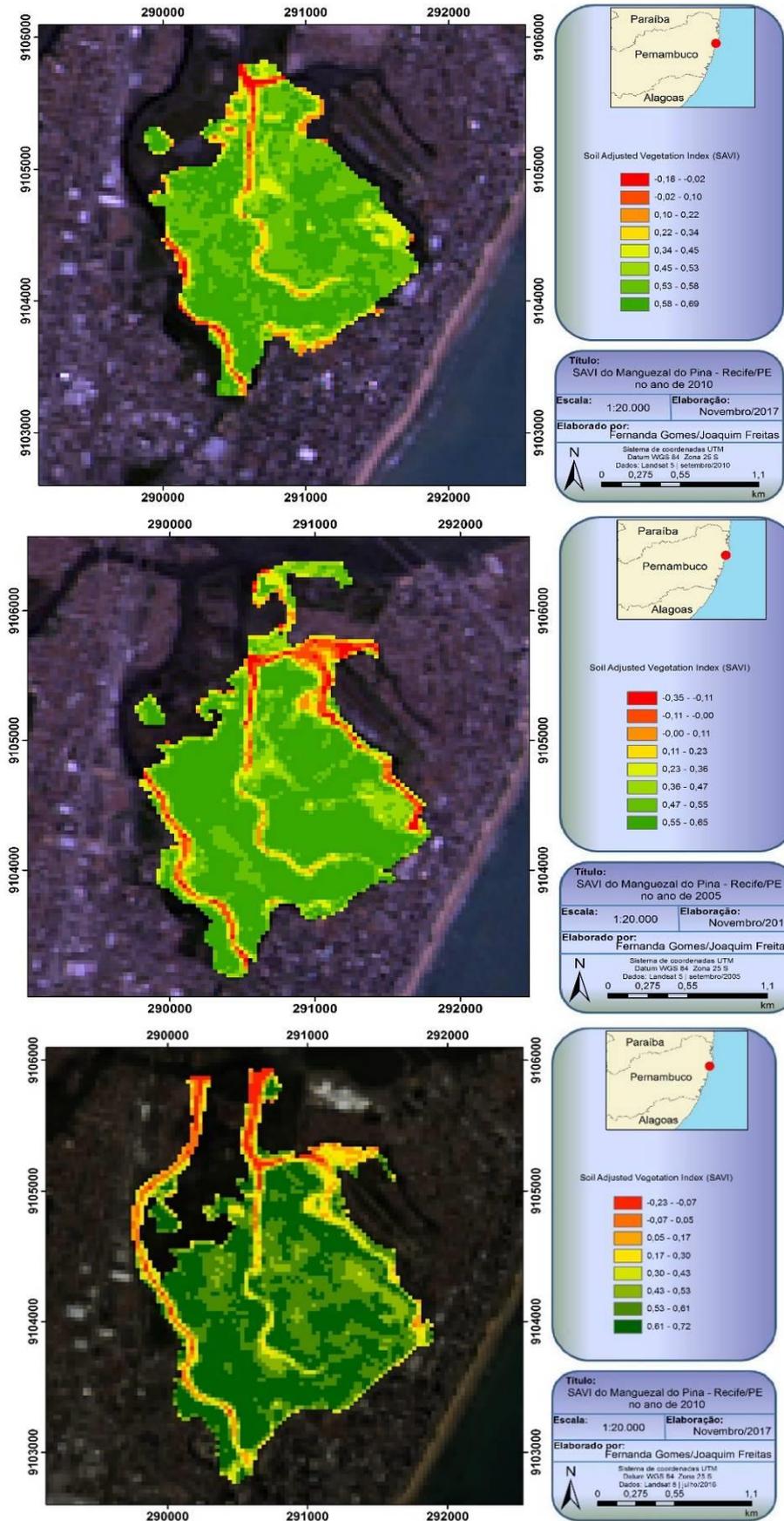
A Figura 34 traz informações sobre os índices de SAVI, que, assim como a PPL e PPB, acompanharam o aumento e diminuição a partir da vegetação. Por ser uma área alagada, optou-se por usar na figura representativa (Figura 34) dos valores de SAVI em detrimento aos valores de NDVI. No entanto, as médias alcançadas para os índices de NDVI e SAVI são

apresentadas nas **Tabela 11** e **Tabela 12**. Vale destacar que, o NDVI retrata a cobertura vegetal, dentre os fatores, o índice da área foliar e biomassa aérea. O SAVI promove um ajuste conforme a cobertura do solo, buscando minimizar os efeitos da cor do solo nos resultados do índice (LIMA et al, 2017).

Sobre o NDVI as médias variaram de 0,56 a 0,64 apresentando amplitude de 1,54. Para os valores SAVI as médias foram de 0,46 a 0,51 com amplitude chegando a 1 (**Tabela 11** e **Tabela 12**). Esses valores são significativos no cômputo da PPL e PPB, já que estão diretamente relacionados a cobertura verde e tem interface direta com o balanço de energia (NETO, 2017) (Figura 34).

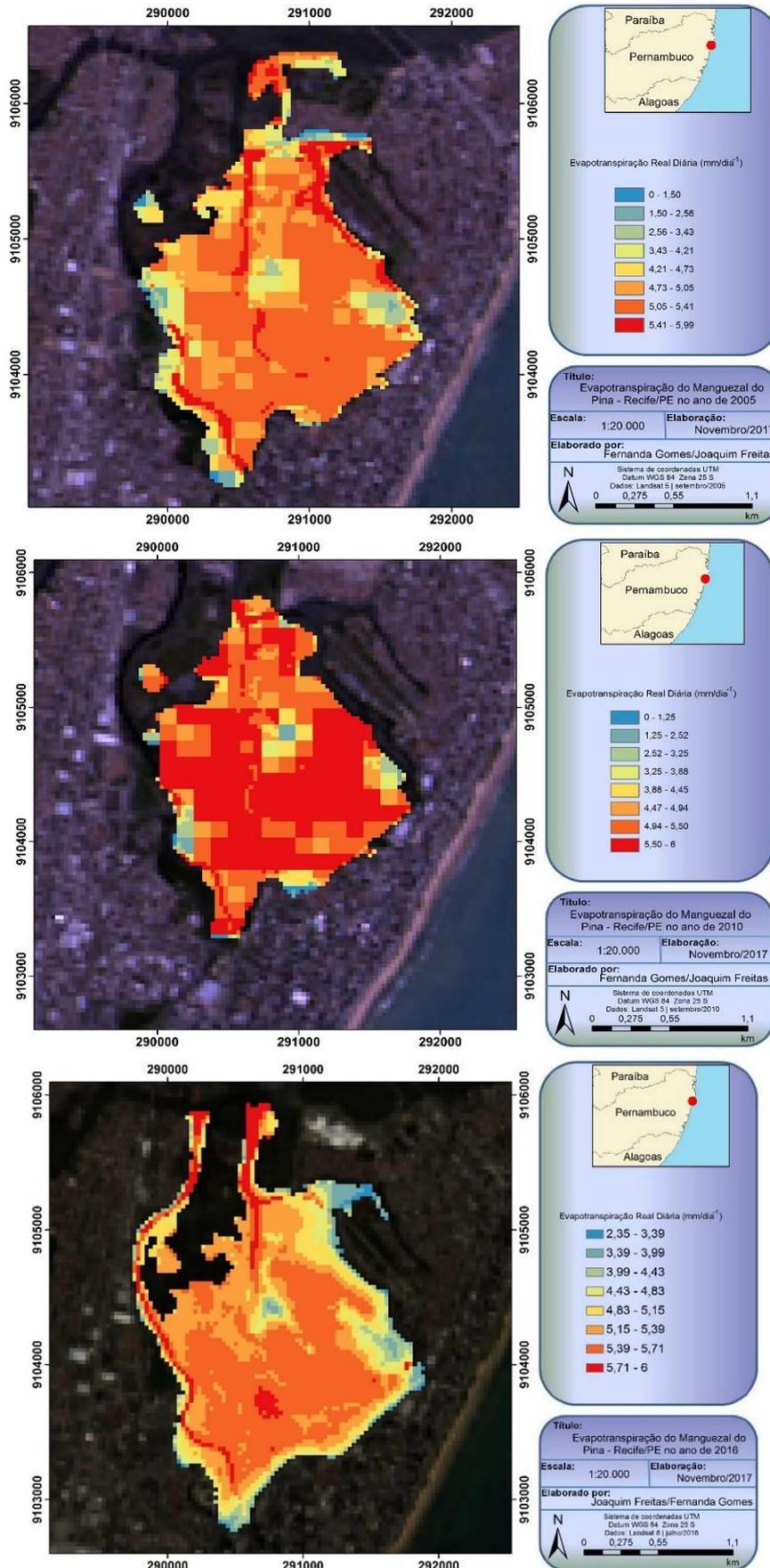
Os valores de evapotranspiração 24h (Figura 35), calculada com base na fração evaporativa instantânea, apresentaram valores que foram diretamente proporcionais ao aumento e diminuição do bosque, chegando a soma de 18864,34mm/dia<sup>-1</sup> para o ano de 2016.

Figura 34 – SAVI do Manguezal do Pina para os anos de 2005, 2010 e 2016.



Fonte: Fernanda Gomes e Joaquim Freitas, 2017.

Figura 35 – Evapotranspiração o Manguezal do Pina para os anos de 2005, 2010 e 2016.



Fonte: Fernanda Gomes e Joaquim Freitas, 2017.

Alongi (2011) ressalta que existem poucos estudos que documentam a sucessão de áreas de manguezais (modificações das florestas ao longo do tempo), abordando a composição e a estrutura das florestas ao longo dos anos e levando em consideração as interações de tolerâncias fisiológicas e interações competitivas em resposta a gradientes e mudanças na geomorfologia. Para Nickelson (1999) o valor das florestas de manguezal maduras é muito maior do que para florestas monoespecíficas ou florestas restauradas. Esse fator se deve porque as florestas maduras apresentam um conjunto de serviços mais completos que as florestas monoespecíficas e ou mais jovens.

Um estudo realizado na Indonésia aponta que as áreas de proteção ambientais reduzem as emissões de CO<sub>2</sub>. O estudo verificou que entre 2000 e 2010, as áreas de proteção ajudaram a conservar os manguezais, evitando a perda de aproximadamente 14.100 ha que se traduz em emissões evitadas de aproximadamente 13 milhões de toneladas métricas de CO<sub>2</sub> (MITEVA, 2015).

Foram quantificados os estoques de C nas margens do mar, no interior e nas terras altas dos manguezais na República de Palau e Yap (Micronésia). O estudo mostra que a relação entre a biomassa e os solos ricos em carbono, comprovando a presença de grandes quantidades de estoques de carbono em áreas de manguezais em detrimento as outras florestas tropicais (KAUFFMAN et.al, 2011). A faixa de elevação dos manguezais foi <146 cm, sugerindo que a elevação projetada do nível do mar influencia as parcelas analisadas. As menores reservas de carbono do ecossistema se localizam nas áreas adaptadas a uma maior inundação, tais como comunidades de algas marinhas, onde os grupos C foram  $\leq 7\%$  do Manguezais (48 Mg C / ha), já os solos apresentaram aproximadamente 70% do carbono estocado (KAUFFMAN et.al, 2011).

Vale ressaltar os diversos estudos que relacionam as mudanças climáticas em ecossistemas de manguezais, a importância da produtividade e funcionamento das florestas de mangue, além dos impactos na biodiversidade quando essas florestas são degradadas (MEDELLÍN, EZCURRA, 2012; POUGPAM, KOMIYAMA, 2013; WARD et al. 2016; KAMRUZZAMAN, AHMED e OSAWA, 2017; CARUGATI, 2018).

Por fim, é preciso compreender que o estudo de campo (funcional e estrutural do bosque) está diretamente relacionado aos índices de PPL e PPB, visto que os valores referentes ao aumento e diminuição da vegetação, assim como, o tipo de bosque encontrado, dá subsídios para se compreender quais espécies e em quais condições as mesmas se encontram e o quanto esses bosques poderão assimilar de carbono em suas estruturas. O

Manguezal do Pina em 2016 com uma área verde de floresta de mangue de 324,31 ha assimilou 19,05 ton C dia<sup>-1</sup>, enquanto em 2010 a área era de aproximadamente 259,09 ha e apresentou 16,48 ton C dia<sup>-1</sup>. Em 2005 a área era de 315,42 ha e houve uma assimilação de carbono de 17,73 ton C dia<sup>-1</sup>. Sendo assim, a pesquisa poderia apenas expressar os valores de sequestro, porém sem as características estruturais e funcionais, não seria possível compreender sob quais condições o bosque estava sendo submetido e, dessa forma, evita-se fazer afirmações sem o conhecimento mínimo sobre quais parâmetros considerar. Afirmar que um bosque sequestra um valor de carbono, não necessariamente, significa que o mesmo está em condições adequadas de manejo.

A pesquisa demonstrou o quão relevante é compreender os aspectos funcionais e estruturais em que uma floresta se encontra para assim fazer afirmações condizentes do quanto o bosque contribuiu em termos de serviços ecossistêmicos. Tais medidas poderão servir de fundamentação para políticas de manejo, proteção e conservação das diversas florestas de mangue espalhadas nos mais variados lugares.

## 5 CONCLUSÕES

- ✓ Os fatores abióticos para o Manguezal do Pina, como: salinidade, temperatura do ar/solo e sedimentos, estão dentro dos padrões estabelecidos para áreas de manguezais e contribuem para o desenvolvimento do bosque;
- ✓ O Manguezal do Pina e seu entorno apresentou, em sua avaliação espaço temporal, mudanças significativas de suas áreas de mangue, solo exposto e área urbana, indicando que este foi submetido a processos desestabilizadores;
- ✓ O Manguezal do Pina de acordo com sua estrutura e função é classificado como tipo ribeirinho, monoespecífico e com predominância da *L. racemosa*, seguida pela *R. mangle*, sendo esta última aparecendo com maior frequência nas margens dos rios e sendo substituída por *L. racemosa*;
- ✓ Segundo a classe de diâmetro e área basal, o bosque é maduro e apresenta um bom desenvolvimento estrutural (classe diamétrica  $\geq 10$  cm), porém com predominância na densidade relativa de 85% *L. racemosa* é um forte indicador de bosque secundário em processo de regeneração;
- ✓ Os valores de densidade e DAP foram inversamente proporcionais, confirmando o padrão de comportamento estrutural para áreas de manguezais;
- ✓ Confirmada uma relação direta entre altura das árvores e DAP para o bosque do Manguezal do Pina;
- ✓ O Manguezal do Pina não apresenta um padrão de zonação bem definido, corroborando com outros trabalhos realizados em diversos manguezais do Brasil;
- ✓ A análise dos componentes principais demonstrou que existe um mosaico de fatores geoambientais que estão influenciando diferentemente as parcelas analisadas;
- ✓ A área de estudo apresentou um elevado grau de degaste causado por diversos fatores de origem antrópica, que ocasionam e ocasionaram perdas significativas da sua estrutura e função e que vêm interferindo no sistema, evidenciados pela grande quantidade de resíduos sólidos trazidos pelos rios, o elevado número de cortes de árvores, a expansão desordenada de ocupações no entorno do manguezal e a pesca irregular;
- ✓ A área de ocupação do Manguezal do Pina foi de 315,42 ha em 2005, 259,09 ha em 2010 e 324,31 ha em 2016;

- ✓ Os valores da NPP para a área de estudo foram de 17,73 ton C dia<sup>-1</sup> para o ano de 2005, 16,48 ton C dia<sup>-1</sup> para o ano de 2010 e 19,05 ton C dia<sup>-1</sup> para o ano de 2016;
- ✓ O Manguezal do Pina apresentou valores de GPP (sequestro de carbono) que atingiram 28,31 para o ano de 2005, 26,15 para o ano de 2010 e 31,82 ton C dia<sup>-1</sup> para o ano de 2016;
- ✓ O aumento e diminuição da estrutura do mangue ocasionou mudanças nos valores de sequestro de carbono;
- ✓ Os resultados obtidos no presente estudo tornam-se imprescindíveis para políticas de manejo, conservação e monitoramento no Manguezal do Pina.

## REFERÊNCIAS

- ALCANTARA, C. E. Q. **Carbon Sequestration in Tidal Salt Marshes and Mangrove Ecosystems**. University of San Francisco. Master's Projects, Paper 10, 2014. 60 p.
- ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; TREZZA, R. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). **Advance Training and Users Manual – Idaho Implementation**. VERSION 1.0, 2002. 97 p.
- ALMEIDA, I. M. S. **Análise crítica do Estudo de Impacto Ambiental da Via Mangue e verificação com ênfase na aplicação e eficiência das medidas mitigadoras**. 2016. Curso de Engenharia Agrícola e Ambiental, Departamento de Tecnologia Rural, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2016. 59 p.
- ALMEIDA, V. C, et al. **Caracterização Estrutural do Manguezal do Rio Tabatinga, Suape, Pernambuco, Brasil**. Tropical Oceanography, Recife, 2014. 15 p.
- ALONGI, D. M. **Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change**. Estuarine, Coastal and Shelf Science 76: Australia, 2008. 1–13 p.
- ALONGI, D. M. **Carbon payments for mangrove conservation: ecosystem constraints and uncertainties of sequestration potential**. Environmental Science & Policy: Australia, 2011. 462-470 p.
- ALONGI, D. M. **Present state and future of the world's mangrove forests**. Environmental Conservation. 29 (2002), 331–349 p.
- ALONGI, D.M. **The Impact of Climate Change on Mangrove Forests**. Curr Clim Change. Rep, 2015. 30–39 p.
- ANDRADE, G.O. **Alguns Aspectos do Quadro Natural do Nordeste**. Recife, SUDENE, 1997. 75p.
- ANDRADE, L. R; PEREIRA, M. C. B. **Análise das Transformações Socioambientais Geradas no Espaço pela Via Mangue Recife, PE**. VII Congresso Brasileiro de Geógrafos, Vitória –ES, 2014. 3 p.
- ARAÚJO, A; MINEIRO, A. L. B.; CANTALICE, J. R. B. **Estimativa do potencial de sedimentação e erosão: caso Manguezal do Pina, Recife (PE)**. Rio de Janeiro, 2011. Eng. Sanit. Ambient. vol.16 no.2. 8p.
- BARBOSA, F. G. **Estrutura e Análise Espaço Temporal da Vegetação do Manguezal do Pina, Recife-PE: Subsídios para Manejo, Monitoramento e Conservação**. Dissertação de Mestrado (UFPE): Recife, 2010. 89 p.
- BASTIAANSEN, W.G.M. **SEBAL – based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey**. Journal of Hydrology, Vol. 229,. 2000. 87 – 100p.
- BEER, C, et al. **Terrestrial gross carbon dioxide uptake: global distribution and covariation with climate** Science, 329 (5993) (2010), 834–838 p.

BELTRAN, E. V. et al. **Estimativa do Sequestro de Carbono por Árvores de Manguezal no Rio Boturoca – São Vicente/SP**. Bioscience. Vol 1. São Paulo: 2012. 5 p.

BERNINI, E.; REZENDE, E. R. **Estrutura da Vegetação e Floresta de Mangue do Estuário do rio Paraíba do sul, Estado do Rio de Janeiro. Brasil. Rio de Janeiro**. Acta bot. bras. 18(3), 2004. 491-502 p.

BERNINI, E.; FERREIRA, R.; SILVA, F. L. C., MAZUREC, A. P.; NASCIMENTO, M. T.; REZENDE, C. E. **Alterações na cobertura vegetal do manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul no período de 19 76 a 2001**. Revista da Gestão Costeira Integrada. Número Especial 2, Manguezais do Brasil, 2010. 1 – 9 p.

CALDEIRA, K., 2012. **Avoiding mangrove destruction by avoiding carbon dioxide emissions**. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 109, 2012, 14287–14288 p.

CANNICCI, S.; BURROWS, D.; FRATINI, S.; SMITH III, T. J.; OFFENBERG, J., DAHDOUN-GUEBAS, F. **Faunal impact on vegetation structure and ecosystem function in mangrove forests: A review**. Aquatic Botany, v. 89, 2008. 186–200 p.

CARUGATI et al. **Impact of Mangroves forests degradation on biodiversity and ecosystem functioning**. Scientific Reports, 2018. 11p.

CAVALCANTI, E. R. A et al. **MANGUE URBANO NO ESTUÁRIO DA BACIA DO PINA**. 9º Encontro Internacional das Águas (2017). Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/320407492>> . Acesso: 29 de outubro de 2018.

CAVALCANTI, E. R. A et al. **Características y desarrollo estructural de los manglares de Norte e Sur America**. Ciencia Interamericana, v. 25, 1985. 4-15 p.

CINTRÓN, G.; LUGO, A.E.; MARTINEZ, R. Structural and functional properties of mangrove forests. In: **Symposium signaling the complexion of the flora of Panama**. University of Panama: Panama, 1980. 53-67 p.

COELHO, P. A; BATISTA-LEITE. L. M. A; SANTOS, M. A. C; TORRES, M. F. A. In: ESKINAZI-LEÇA, E.; NEUMANN-LEITÃO, S.; COSTA, M. F.(Orgs). **Oceanografia um Cenário Tropical**. Bagaço: Recife, 2004. 761 p.

COSTA, F. S. C; ROCHA, R. M; CESTARO, L. A. **Análise Fitoecológica e Zonação de Manguezal em Estuário Hipersalino**. Mercator, Fortaleza, v.13, n.1, 2014. 119-126 p.

COGLIATTI-CARVALHO, L.; MATTOS-FONSECA, S. **Quantificação da Biomassa e do Carbono em Rhizophoramangle, Avicenniahaueriana e Laguncularia racemosa no Manguezal da Laguna de Itaipu, Niterói – RJ**. In: Iv Simpósio de Ecossistemas Brasileiros. Programa e Resumos, Academia de Ciências do Estado de São Paulo, INPA, São José dos Campos, 2003. 11p.

CUNHA-LIGNON, M. **Variação Espaço-Temporal de Bosques de Mangue. III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto**. Aracajú/SE: 2006.

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

DIEGUES, A. C.S. **Ecosistemas Marinhos e sua Degradação na América do Sul, Central e Caribe. Secretaria do Meio Ambiente.** São Paulo, 1987. 88 p.

DEUS, M. S. M.; SAMPAIO, E. V. S. B.; RODRIGUES, S. M. C. B.; ANDRADE, V. C. **Estrutura da vegetação lenhosa de três áreas de manguezal do Piauí com diferentes históricos de antropização.** Brasil Florestal, n. 78, 2003, 53-60 p.

DONATO, D. C.; KAUFFMAN, J. B.; MURDIYARSO, D.; KURNIANTO, S.; STIDHAM, M.; KANNINEN, M. 2011. **“Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics”.** Nature Geoscience, 4(5). 293-297 p.

EMBRAPA. **Manual de Métodos de Análise do Solo.** Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 2ª Ed. Ver. Atual. Rio de Janeiro, 1997. 212 p.

FEITOSA, F. A. N. **Produção primária do fitoplâncton relacionada com parâmetros bióticos e abióticos da Bacia do Pina (Recife – Pernambuco, Brasil).** 1988. Dissertação (Mestrado em Oceanografia), CTG, UFPE, Recife. 220 p.

FERNANDES, A.J; PERIA, L.C.S. In: **Manguezal: Ecossistema entre a terra e o mar.** Caribbean Ecological Research: São Paulo, 1995. 64 p.

FERREIRA,S.; VARONE, F.;ALVES, Rita. **Alterações na Produtividade Primária Líquida na Área Alagada pelo Reservatório Hidrelétrico Serra do Facão.** Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE. 7725 -7730 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **The World’s mangroves 1980- 2005.** FAO: Italy, 2007. 89 p.

FONSECA, S. M; ROCHA, M. T. **O MDL e as Florestas de Manguezal.** VII SEMEAD, 2004. 13 p.

GERENCIAMENTO COSTEIRO DE PERNAMBUCO (GERCO 10). **Ecossistema de Manguezal.** Disponível em: <[www.cprh.pe.gov.br](http://www.cprh.pe.gov.br)> Acesso em: julho de 2009.

GIESKE, A. **The iterative flux-profile method for remote sensing applications.** International Journal of Remote Sensing, 24 (2003). 3291–3310 p.

GIRI,C; OCHIENG,L.L.;TIESZEN, L.L. ZHU,Z; SINGH, A, LOVELAND, T; MASEK, J; DUKE,N. **Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite.** Global Ecology and Biogeography, (Global Ecol. Biogeogr.) (2011) 20, 154–159 p.

GISMONTI. **Cálcio, Magnésio e Enxofre.** (2009). Disponível em: <http://agronomiacomgismonti.blogspot.com.br/>. Acesso em: 06 de janeiro de 2017.

HOPKINSON, C. S., CAI, W. J., Hu, X. P. **Carbon sequestration in wetland dominated coastal systems – a global sink of rapidly diminishing magnitude.** Curr. Opin. Environ.

Sustain. 4, 2012, 186–194 p.

HOUGHTON, J. T.; DING, Y.; GRIGGS, D. J.; NOGUER; LINDEN, P. J.; DAI, X.; MASKELL, K.; JOHNSON, C. A (eds.). **Climate Change 2001: The Scientific Basis. Published for the Intergovernmental Panel on Climate Change.** Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA, 2001. 881 p.

IBRAHIM, A. et al. **An analysis of spatial and temporal variation of net primary productivity over peninsular malaysia using satellite data.** The Eco-Frontier Fellowship Fiscal Year 2006, National Institute for Environmental Studies, Japan, 2006. 133–146 p.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC). **Climate Change 2018.** Disponível em <[https://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15\\_spm\\_final.pdf](https://report.ipcc.ch/sr15/pdf/sr15_spm_final.pdf)>. Acesso em: 22 de março de 2018.

JORNAL DO COMÉRCIO. **Cidades: Tentativa de frear o fim do manguezal.** Recife, 14 novembro de 2018.

KANGAS, P. C; LUGO, A.E. **The Distribution of Mangroves and Saltmarsh in Florida.** International Society for Tropical Ecology, 31 (1), 1990. 32-39 p.

KAMRUZZAMAN, Md; AHMED, S; OSAWA, A. **Biomass and net primary productivity of mangrove communities along the Oligohaline zone of Sundarbans, Bangladesh.** Florest Ecosystems, 2017. 9 p.

KAUFFMAN, J. B., HEIDER, c., COLE, T. G.; DWIRE, K. A., DONATO, D. C. **Ecosystem Carbon Stocks of Micronesian Mangrove Forests.** Wetlands 31, 2011, 343-352 p.

KIENER, A. **Les mangroves du globe: Aspects écologiques, biocénétiques et physiologiques particuliers, mise en valeur.** Bulletin de Muséum National D'Histoire Naturelle. 3<sup>a</sup> série, n<sup>o</sup> 164, mai-jun 1973. 320-331 p.

KILCA, R. et al. **Estrutura de Manguezais em Diferentes Estágios Sucessionais no Estuário do Rio Piauí, Sergipe-Brasil.** PESQUISAS, BOTÂNICA. São Leopoldo, n. 61, 2010. 171-189 p.

LABORSOLO. **Macronutrientes: Conhecendo o Magnésio.** Disponível <<https://www.laborsolo.com.br/analise-quimica-de-solo/macronutrientes-conhecendo-o-magnésio/>> Acesso em 15/03/2019.

LEGENDRE P, LEGENDRE L, (1998) **Numerical Ecology.** 2nd edition. Elsevier, Amsterdam. 853 p.

LIAO, J.F. **The chemical properties of the mangrove Solonchak in the northeast part of Hainan Island.** The Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni (Suppl.) 9(4), 1990. 67-72 p.

LIMA, D.R.M de; DLUGOSZ, Fernando Luís; IURK, M.C; PESK, Vagner Alex. **Uso de NDVI e SAVI para a Caracterização da Cobertura da Terra e Análise Temporal em Imagens RapidEye.** Revista Espacios: Vol. 38 (N<sup>o</sup> 36) Ano 2017. 1-15 p.

LIMA, T. M. J; TOGNELLA, M. M. P **Estrutura e Função dos Manguezais: Revisão**

Conceitual. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15, 2012. 1801-1827 p.

LIRA, A. et al. **Manguezais, Importância da Preservação: Aspectos da Degradação dos Manguezais de Pernambuco**. Recife: V Mostra Nacional de Ciranda e Ciência, 1992. 87 p.

LIU, W.T.H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. Campo Grande, 2006. 881p.

MARCELLI, M. P. **Ecologia líquênica nos manguezais do Sul-Sudeste brasileiros**. Bibliotheca Lichenologica, Band 47. Berlin: J. Cramer, 1992. 288p.

MARKHAM, B. L.; BAKER, J. L. **Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances**. In: Journal of Remote Sensing, v. 8, n. 3, 1987. 517-523 p.

MATNI, A. S.; MENEZES, M. P. M.; MEHLIG, U. **Estrutura dos bosques de mangue da península de Bragança, Pará, Brasil**. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais, Belém, v. 1, n. 3, 2006. 43-52 p.

MCGRANAHAN, G., BALK, D., ANDERSON, B., 2007. **The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones**. Environ. Urban, 2007, 19, 17–37 p.

MEENAKSHI, J; MAHADEV, B.; VICTOR, H; EDWARD CASTAÑEDA-MOYAB; MARC, S.; ROBERT R. T. **The role of economic, policy, and ecological factors in estimating the value of carbon stocks in Everglades mangrove forests, South Florida, USA**. Environmental Science & Policy, Volume 66, December 2016, 160–169 p.

MEDELLÍN, X.L; EZCURRA, E. **The Productivity of Mangroves in Northwestern Mexico: a meta-analysis of current data**. Journal of Coastal Conservation, 2012. 5p.

MELO, J. G. S; SILVA, E. R.A. C; FERNANDES, A; TORRES, M. F. A. **Mangrove vegetation structure of the Capibaribe River, Recife - PE: monitoring and conservation**. Journal of Hyperspectral Remote Sensing, v.3, n.4, 2013. ISSN:2237-2202. p. 81-91.

MELO, K.C. **Estrutura e Zonação dos Manguezais da Estação Ecológica de Guaraqueçaba (PR)**. Universidade de São Paulo, 2002. 109-122 p.

MENEZES, S. J. M. da C. de *et al.* **Evapotranspiração Regional Utilizando o SEBAL em Condições de Relevo Plano e Montanhoso**. Engenharia na Agricultura, Viçosa - MG, V.17 N.6, NOV / DEZ. 2009. 491-503 p.

MIRANDA, B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. **Princípios de Oceanografia Física de Estuários**. Editora da Universidade de São Paulo: São Paulo, 2002. 411 p.

MITEVA, A. D; MURRAY, B. C. PATTANAYAK, S. K. **Do protected areas reduce blue carbon emissions? A quasi-experimental evaluation of mangroves in Indonesia**. Ecological Economics: Volume 119, 2015. 127-135 p.

MMA. **Atlas dos Manguezais do Brasil**. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Brasília, 2018. 179p.

MMA. Gerência de Biodiversidade Aquática e Recursos Pesqueiros (2010) **Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos no Brasil** (APL. Prates, MA Gonçalves, and MR Rosa, Ed.). MMA/SBF/GBA, Brasília.

MONIN, A.S.; OBUKHOV, A.M. **Dimensionless Characteristics of turbulence in the surface layer of the atmosphere.** Trudy Akad Nauk SSSR Geophysica. Vol. 24, 1954. 163 – 187 p.

MOREIRA, E.B.M. **Balço de Energia e Evapotranspiração na Cidade do Recife-PE por Sensoriamento Remoto.** Tese de Doutorado em Geografia. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2014. 152 p.

MURDIYARSO, D. et al. **Carbon Storage in Mangrove and Peatland Ecosystems: A Preliminary Account from Plots in Indonesia.** Working Paper: Indonesia, 2009. 37 p.

NASCIMENTO FILHO, G. A. **Desenvolvimento Estrutural e Padrão de Zonação dos Bosques de Mangue no Rio Ariquindá, Baía de Tamandaré, Pernambuco, Brasil.** Recife, 2007. 82 p.

NETO, J. J. F. **Quantificação da Produtividade Primária Bruta em Unidades de Conservação de Pernambuco.** Dissertação de Mestrado pela Universidade Federal de Pernambuco, 2017. 95 p.

NETO, L. P de. **Impacto à efetivação de direitos econômicos e sociais da população tradicional da bacia do pina.** Neri Em Revista, v.1, N.2, 2015. 28 p.

PAN, R. A. BIRDSEY, J. FANG, R. HOUGHTON, P. E. KAUPPI, W. A. KURZ, O. L. PHILLIPS, A. SHVIDENKO, S. L. LEWIS, J. G. CANADELL, P. CIAIS, R. B. JACKSON, S. W. PACALA, A. D. MCGUIRE, S. PIAO, A. RAUTIAINEN, S. SITCH, D. HAYES. **A large and persistent carbon sink in the world's forests.** Science, 333 (2011), 988–993 p.

PATIL et al. **Carbon Sequestration in Mangroves Ecosystems.** National Institute of Industrial Engineering (NITIE). India, 2012. 8 p.

PETRI, D.J.C, et al. **Distribuição das Espécies e Estrutura do Manguezal do Rio Benevente, Anchieta, ES.** Biota Neotrop., Vol 11, no. 3, 2011. 107 – 116 p.

PAULSON, C. A. **The Mathematical Representation of Wind Speed and Temperature Profiles in the Unstable Atmospheric Surface Layer.** Journal of Applied Meteorology. Vol.9, 1970. 856 – 861 p.

POUNGPARN, S; KOMIYAMA, A. **Net Ecosystem Productivity Studies in Mangrove Forests.** Reviews in Agricultural Science, 2013. 61-64 p.

PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE (PCR). Secretaria de Planejamento, Urbanismo e Meio Ambiente. **Atlas Ambiental da Cidade do Recife.** Recife, novembro de 2000.

PROEST I. **Projeto de Agenciamento das Margens do Rio Pina: Diagnóstico.** Programa Estruturador da Cidade do Recife, Fase I. Prefeitura da Cidade do Recife: Recife, 1996.

RECIFE. **Via Mangue.** Secretaria de Planejamento, Urbanismo e Meio Ambiente. Recife:

Prefeitura da Cidade do Recife, 2007.

SAENGER, P; HEGERLE, J; DAVIE, J. D. S. **Global Status of Mangrove Ecosystems**. IUCN: Australian, 1983. 81 p.

SALM, E. M. R. **Managing Mangroves for Resilience to Climate Change**. The Nature Conservancy, IUCN Resilience Science Group Working Paper Series, n 2, Gland, Switzerland, 2006. 96 p.

SANTANA et al. **Distribuição Espaço Temporal do Ecossistema Manguezal no Estuário do Rio Itapessoca-Goiana/PE**. Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba/PR, Brasil, 2011, INPE 6826 p.

SANTOS, T. O. **Caracterização Estrutural de Bosques de Mangue: Estuário do São Francisco**. SCIENTIA PLENA. Sergipe, v. 8, n.4, 2012. 1-7 p.

SANTOS, M. R. A.; SANTOS, M. S. T. **Importância das Árvores de Manguezais do Município de Madre de Deus/BA para o Sequestro de Carbono**. XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Brasília, 2015. 8p.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Inventario de los biorecursos del manglar em La costa equatorial**. UNESCO Regional Office for Science and Technology for Latin America and Caribbean. Nontivideo, 1985. 1-39 p.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; PERIA, L. C. S.; MENEZES, G. V.; GRASSO, M.; SOARES, M. G. L.; TOGNELLA, M. M. P. **Manguezais Brasileiros, Caravelas Estado da Bahia**. Anais do III Simpósio de Ecossistemas da Costa Brasileira. Pub. ACIESP, 87 (1), 1994. 324-332 p.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Ecologia dos Manguezais**. In: **Seminário Brasileiro sobre a Conservação e Utilização dos Estuários**, 1, Recife. Abril de 1984. Recife, 1984. p. 55 – 57.  
SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Grupo de Ecossistemas: Manguezal, Marisma e Apicum**. São Paulo: Brasil, 2002. 119 p.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y; CINTRÓN, G. **Guia para estudos de áreas de manguezais (estrutura, função e flora)**. [S.l.]: Caribbean Ecological Research. 1986. 156 p.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Inventario de los biorecursos del manglar em La costa equatorial**. UNESCO Regional Office for Science and Technology for Latin America and Caribbean. Nontivideo, 1985. 1-39 p.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; VALE, C.C.; CINTRÓN, G. **Monitoramento do Ecossistema de Manguezal: Estrutura e Características Funcionais**. In: ALEXANDER, T.; DENADAI, R (Orgs). **Protocolos para Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros**. ReBentos: São Paulo. 2015. 259 p.

SHUTTEWORTH, W.J.; GURNEY, R.J.; HSU, A.Y. ORMSBY, J.P. **FIFE: the variation in energy partition at surface flux sites**. IAHS Publi. Número 186, 1989.

SIKAMÄKI, J., SANCHIRICO, J. N., JARDINE, S. L. **Global economic potential for reducing carbon dioxide emissions from mangrove loss**. PNAS doi: <<http://dx.doi.org/10.1073/pnas.1200519109>>. 2012. 14369-14374 p.

SILVA, B.B.; GALVINCIO, J. D.; MONTENEGRO, S.M. G.L.; MACHADO, C.C.; OLIVEIRA, L. M.M.; MOURA, M.S.B. **Determinação por meio do Sensoriamento Remoto da Produtividade Primária Bruta do Perímetro Irrigado São Gonçalo – PB.** Revista Brasileira de Meteorologia, V. 28, n.1, 57, 2013. 57 – 64 p.

SILVA, B. B. Mini-Curso: **Determinação da Evapotranspiração com Imagens Landsat 5 – TM e Sebal.** Recife, 26 e 27 de março de 2009. p. 20.

SILVA, E.R. A. C; ASSIS, D. R. S; SILVA, J. F; MELO, J. G. S; GALVÍNCIO, J. D. **Análise espaço-temporal das características do mangue urbano no estuário do Pina (Pernambuco).** Revista Brasileira de Meio Ambiente, n.1, v.1, 2018. 30-38 p.

SILVA, M.A.B; BERNINI, E; CARMO, T.M.S. **Características estruturais de bosques de mangue do estuário do rio São Mateus, ES, Brasil.** Acta bot. bras. 19(3): 2005. 465-471 p.

SOARES, M. L. G. **Estrutura vegetal e grau de perturbação dos manguezais da Lagoa da Tijuca, Rio de Janeiro, Brasil.** Revista Brasileira de Biologia, v. 59, n. 3, 1999. 503-515 p.

SOBRINHO, M. A. M; ANDRADE, A. C. **O desafio da conservação de manguezais em áreas urbanas: identificação e análise de conflitos socioambientais no Manguezal do Pina - Recife - PE – Brasil.** UNIMONTES CIENTÍFICA Montes Claros, v.11, n.1/2 – jan./dez. 2009. 8-16 p.

SOUZA, C. P.; **Políticas Públicas Ambientais e Gestão do ecossistema Manguezal da Bacia do Pina – Recife/PE: Análise do licenciamento ambiental do Sistema Viário Via Mangue.** 2012. 194 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012. Disponível em: <[www.http://repositorio.ufpe.br:8080/xmlui/handle/123456789/10513](http://www.http://repositorio.ufpe.br:8080/xmlui/handle/123456789/10513)>. Acesso em: 03 outubro. 2018.

SOUZA, M. M. A.; SAMPAIO, E. V. **Tipos fisiográficos dos manguezais de Suape-PE-Brasil: estrutura da vegetação e sedimento.** In: Mangrove 2000 – Sustentabilidade de estuários e manguezais: desafios e perspectivas. Trabalhos completos. Recife, CD-ROM, 2000. 1-11 p.

SOUZA, M. M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B. **Variação Temporal da Estrutura dos Bosques de Mangue de Suape - PE após a Construção do Porto.** Acta Botânica Brasilica. 15(1), 2001. 1-12 p.

SUGIYAMA, M. 1995. **“A flora do manguezal”.** In: Schaeffer-Novelli, Y. (Coord.) Manguezal ecossistema. 17-2 p.

TREZZA, R. **Evapotranspiration using a satellite-based surface energy balance with standardized ground control.** Tese de doutorado. Utah State University, Logan, Utah, 2002. 247 p.

TURRA, A; DENADEI, M. R (Org). **Protocolos para o Monitoramento de Habitats Bentônicos Costeiros.** Universidade de São Paulo. 2015. 259 p. Disponível em:<<http://www.producao.usp.br/handle/BDPI/48874>>. Acesso em:16/10/2018.

VANNUCCI, M. **Os Manguezais e nós: uma síntese de percepções.** 2. ed. rev. e amp. São Paulo: EDUSP, 2002. 244 p.

YÁÑEZ-ARANCIBIA, A. **Lagunas costeras y estuarios: cronología criterios y conceptos para una clasificación ecológica de sistemas costeros.** Academia de Ciências de São Paulo 54 (3): 1-36 in Simpósio de Ecossistemas Costeiros da Costa Sul e Sudeste Brasileira, 1987. 35-53 p.

ZAPE: da Silva, F. H. B. B., Medeiros-EMBRAPA, E. L. A. R., de Lima-EMBRAPA, P. C., & Burgos-EMBRAPA, N. **Zoneamento agroecológico do estado de Pernambuco**, 2001.

WARD et al. **Impacts of climate change on mangrove ecosystems: a region by region overview.** Ecosystem Health and Sustainability, 2016. 25 p.

WEBB, E.K. **Profile Relationships: the Log-Linear Range and Extension to Strong Stability.** *Quartely Journal of the Royal Meteorological Society.* Vol. 96, 1970. 67 – 90 p.