



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**FLORENCIA CRISTINA SILVA NASCIMENTO**

**ESTOQUE DE CARBONO AZUL DA BIOMASSA ACIMA DO SOLO EM UM  
MANGUEZAL EM RECUPERAÇÃO NA APA DO RIO PACOTI, CEARÁ, BRASIL**

**FORTALEZA**

**2023**

FLORENCIA CRISTINA SILVA NASCIMENTO

ESTOQUE DE CARBONO AZUL DA BIOMASSA ACIMA DO SOLO EM UM  
MANGUEZAL EM RECUPERAÇÃO NA APA DO RIO PACOTI, CEARÁ, BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Ciências Ambientais, do Instituto de Ciências do Mar, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharela em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Luís Ernesto Arruda Bezerra.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

---

N195e Nascimento, Florencia Cristina Silva.  
ESTOQUE DE CARBONO AZUL DA BIOMASSA ACIMA DO SOLO EM UM  
MANGUEZAL EM RECUPERAÇÃO NA APA DO RIO PACOTI, CEARÁ, BRASIL /  
Florencia Cristina Silva Nascimento. – 2023.  
74 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará,  
Instituto de Ciências do Mar, Curso de Ciências Ambientais, Fortaleza, 2023.  
Orientação: Prof. Dr. Luís Ernesto Arruda Bezerra.

1. carbono. 2. mangue. 3. semiárido. 4. mudanças climáticas. 5. objetivos de  
desenvolvimento sustentável. I. Título.

CDD 333.7

---

---

FLORENCIA CRISTINA SILVA NASCIMENTO

ESTOQUE DE CARBONO AZUL DA BIOMASSA ACIMA DO SOLO EM UM  
MANGUEZAL EM RECUPERAÇÃO NA APA DO RIO PACOTI, CEARÁ, BRASIL

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Graduação em  
Ciências Ambientais, do Instituto de  
Ciências do Mar, da Universidade Federal  
do Ceará, como requisito parcial à  
obtenção do grau de Bacharela em  
Ciências Ambientais.

Aprovada em: 06/12/2023.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Luís Ernesto Arruda Bezerra (Orientador)

Instituto de Ciências do Mar  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Gabriel Nuto Nóbrega  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Ma. Natalia Beloto  
Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Aos meus pais, Ernando e Izilania, luzes  
da minha vida.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por me fazer sentir o seu amor em meu coração e por trazer paz a minha alma quando necessito.

Ao CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - pelo apoio financeiro por meio do Programa de Bolsa de Iniciação Científica (PIBIC).

Ao Prof. Dr. Luís Ernesto Arruda Bezerra, pela orientação, por acreditar em mim como cientista e ter me confiado a execução dessa pesquisa.

Ao Prof. Alexander Ferreira, por conselhos, críticas e sugestões, e por ter ido ao meu primeiro campo me ensinar na prática a metodologia de medir os mangues.

À Natalia Beloto, pela amizade partilhada, pelos conselhos como cientista, e por toda paciência e disponibilidade em me ensinar e ajudar durante todo o processo desta pesquisa. Ao Tobias Rafael, pela amizade e ajuda em campo. À Mariana Freire, pelas ideias e alguns dados compartilhados em prol desse trabalho. À Anny Beatriz, por seu interesse em me ajudar nos campos e no laboratório. Também sou grata a todos os outros que em algum momento se disponibilizaram a ir à campo comigo.

Ao Instituto de Ciências do Mar, da Universidade Federal do Ceará, por ter sido minha segunda casa nesses últimos anos. À todas as pessoas que fazem parte desse lugar como professores, servidores e terceirizados, que foram fundamentais para a minha formação.

Ao Laboratório de Zoobentos, por ter aberto as portas para mim no momento em que eu me encontrava perdida quanto ao meu curso. Sou grata por todo apoio, pelas amizades construídas, estrutura e conhecimentos recebidos nesse lugar. Em especial, agradeço à Prof. Dra. Cristina Rocha-Barreira pela oportunidade e carinho recebidos durante todo esse tempo. Essa mulher é uma inspiração como cientista.

Às minhas queridas amigas Beatriz, Tayane, Sara, Clarisse e Andressia, por toda amizade e parceria nessa caminhada acadêmica e pessoal. Elas foram responsáveis por tornar essa trajetória mais leve e alegre, e digo, com toda certeza, que não teria sido a mesma coisa sem elas.

Aos meus outros amigos (que são tantos) que de alguma forma, seja direta ou indiretamente, me fizeram bem e contribuíram para eu chegar até aqui.

À minha mãe, Izilania, e ao meu pai, Ernando, por todo o amor recebido e por apoiarem os meus sonhos. Mesmo quando eu desanimava ou via o meu ingresso em uma universidade uma realidade tão distante, meus pais foram os meus primeiros e maiores motivadores para eu não desistir e confiar mais em mim. À Fernanda, minha irmã, pela sua torcida, amizade e carinho. À minha avó Dalila, por todo apoio, carinho e incentivo. À toda minha família, que sempre torceu por mim.

Obrigada a todos!

“Na paisagem do rio, difícil é saber onde começa o rio; onde a lama começa do rio; onde a terra começa da lama; onde o homem, onde a pele começa da lama; onde começa o homem naquele homem”.  
(Melo Neto, 1994, p. 109).

## RESUMO

Os manguezais são ecossistemas costeiros que capturam quantidades significativas de carbono atmosférico e armazenam na sua vegetação e solo, sendo capazes de estocar muito mais carbono do que outros ecossistemas de terras altas. No contexto da crise climática atual, esses ambientes podem atuar como soluções naturais mitigadoras do aquecimento global, caso sejam preservados e restaurados. Apesar do Brasil ser o segundo país com maior extensão de manguezal do mundo, o número de pesquisas e projetos sobre quantificação de teor de carbono nesses ambientes ainda é baixo. O presente estudo teve como objetivo estimar o estoque de carbono azul da floresta de manguezal da Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Pacoti, Ceará, Brasil, onde comparou-se o estoque atual de uma área de bosque de mangue juvenil, em processo de recuperação ecológica após uma degradação antrópica, com outras áreas preservadas do entorno. Da mesma forma, analisou-se a variação temporal de armazenamento de carbono entre 2019 e 2022 da mesma área que está em recuperação. Foram definidas três áreas amostrais para comparação: Área A, que é um bosque de mangue preservado mais distante do rio; Área B, que representa o bosque jovem em desenvolvimento; e Área C, que também é um bosque preservado, e que margeia a borda do rio. Em cada área, demarcou-se cinco quadrantes de 5 x 5 metros, e em cada um foram coletados dados de diâmetro à altura do peito (DAP), como também foi feita a identificação das plantas de mangue a nível de espécie. Em consequente, esses dados foram aplicados em equações alométricas específicas para obtenção da biomassa e, em seguida, convertidas em teor de carbono. Como resultado, a vegetação de manguezal da APA do Rio Pacoti apresentou média de estoque de carbono azul estimado em 80,25 Mg C/ha e 45,42 Mg C/ha, conforme diferentes versões de equações. A Área A, apresentou média de 121,88 e 62,75 Mg C/ha. Enquanto a Área B, representando o bosque em recuperação, obteve-se média de 16,39 Mg C/ha. Já a Área C, registrou valores médios semelhantes ao da primeira área, com 102,49 e 57,12 Mg C/ha. Com isso, nota-se que o local estudado possui em sua reserva vegetal de mangue quantidades significativas de carbono, mesmo sendo um manguezal situado em região semiárida. Dados como esses, fortalecem a justificativa da preservação de manguezais e incentivam o investimento de mais projetos de recuperação de áreas degradadas, de tal forma que eles podem ser uma das soluções mitigadoras para os efeitos das mudanças climáticas.

**Palavras-chave:** carbono; mangue; semiárido; mudanças climáticas; objetivos de desenvolvimento sustentável.

## ABSTRACT

Mangroves are coastal ecosystems that capture significant amounts of atmospheric carbon and store it in their vegetation and soil, being capable of storing up to five times more blue carbon than other highland ecosystems. In the context of the current climate crisis, these environments can act as natural solutions to mitigate global warming, if they are preserved and restored. Despite Brazil being the second country with the largest mangrove extension in the world, the number of research and projects on quantifying carbon content in these environments is still low. The present study aimed to estimate the blue carbon stock of the mangrove forest in the Pacoti River Environmental Protection Area (APA), Ceará, Brazil, for this the current stock of an area of juvenile mangrove forest, in the process of ecological recovery after human degradation, was compared with other preserved areas in the surrounding area. In addition, the temporal variation in carbon storage between 2019 and 2022 in the same area that is undergoing recovery was analyzed. Three sample areas were defined for comparison: Area A, which is a preserved mangrove forest further from the river; Area B, which represents the young forest under development; and Area C, which is also a preserved forest, and borders the edge of the river. In each area, five quadrants of 5 x 5 meters were demarcated, and data on diameter at breast height (DBH) were collected in each one, as well as the identification of mangrove plants at species level. Consequently, these data were applied to specific allometric equations to obtain biomass and then converted into carbon content. As a result, the mangrove vegetation of the Pacoti River APA has an average blue carbon stock estimated at 80.25 Mg C/ha and 45.42 Mg C/ha, according to different versions of the equations. Area A presented an average of 121.88 and 62.75 Mg C/ha. While Area B, representing the forest in recovery, had an average of 16.39 Mg C/ha. Area C, on the other hand, recorded average values similar to those of the first area, with 102.49 and 57.12 Mg C/ha. Therefore, it is noted that the site studied has significant amounts of carbon in its mangrove plant reserve, even though it is a mangrove located in a semiarid region. Data like these strengthen the justification for preserving mangroves and encourage investment in more projects to recover degraded areas, in such a way that they can be one of the solutions to mitigate the effects of climate change.

**Keywords:** carbon; mangrove; semiarid; climate change; sustainable development goals.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Reserva de carbono em ecossistemas de manguezal .....	19
Figura 2 - Número anual de publicações sobre a ciência do carbono azul entre 1981 e 2020 .....	22
Figura 3 - Distribuição geográfica dos primeiros autores de publicações sobre carbono azul com base na sua afiliação .....	22
Figura 4 - Quantidade de trabalhos sobre estoque de carbono nos manguezais brasileiros .....	23
Figura 5 - Mapa da localização da região de estudo dentro da APA do Rio Pacoti, Ceará, Brasil .....	26
Figura 6 - Vista aérea da região de estudo com as áreas amostrais com pontos de localização dos quadrantes .....	29
Figura 7 - Imagem das áreas de amostragem: a) Área A, preservada b) Área B, em sucessão ecológica c) Área C, preservada e próxima do estuário .....	29
Figura 8 - Atividades em campo: A) medição de diâmetro (DAP) B) demarcação de quadrantes C) coleta de dados complementares .....	30
Figura 9 - Manguezal em recuperação da APA do Rio Pacoti-CE: bosque jovem de mangue delimitado por quadrados amostrais (em amarelo) entre áreas (1) <i>Sesuvium portulacastrum</i> (1), Controle (2) e <i>Batis maritima</i> (3) .....	32
Figura 10 - Gráfico de barra da composição florística da área amostral total .....	36
Figura 11 - Esquema da unificação dos quadrantes em parcelas para cada área ...	37
Figura 12 - Estimativa de AGB para as áreas amostrais do manguezal da APA do Rio Pacoti/CE .....	38
Figura 13 - Esquema da junção das parcelas amostrais em apenas uma área amostral total .....	39
Figura 14 - Box plot da biomassa acima do solo na S1 .....	40
Figura 15 - Box plot da biomassa acima do solo na S2 .....	40
Figura 16 - Estimativa do estoque de carbono azul para as áreas amostrais da APA do Rio Pacoti/CE .....	42
Figura 17 - Box plot do estoque de carbono azul na biomassa acima do solo na S1 ...	44
.....	44
Figura 18 - Box plot do estoque de carbono azul na biomassa acima do solo na S2 ...	44
.....	44

Figura 19 - Gráfico com valores médios e desvio padrão de biomassa por ano na Área 1 .....	46
Figura 20 - Gráfico com valores médios e desvio padrão de biomassa por ano na Área 2 .....	47
Figura 21 - Gráfico com valores médios e desvio padrão de biomassa por ano na Área 3 .....	47
Figura 22 - Box plot da variação temporal de biomassa da Área 1 .....	48
Figura 23 - Box plot da variação temporal de biomassa da Área 2 .....	49
Figura 24 - Box plot da variação temporal de biomassa da Área 3 .....	50
Figura 25 - Gráfico com valores médios e desvio padrão de estoque de carbono por ano na Área 1 .....	51
Figura 26 - Gráfico com valores médios e desvio padrão de estoque de carbono por ano na Área 2 .....	52
Figura 27 - Gráfico com valores médios e desvio padrão de estoque de carbono por ano na Área 3 .....	53
Figura 28 - Box plot da variação temporal de estoque de carbono da Área 1 .....	54
Figura 29 - Box plot da variação temporal de estoque de carbono da Área 2 .....	55
Figura 30 - Box plot da variação temporal de estoque de carbono da Área 3 .....	56

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Coordenadas geográficas dos pontos amostrais.....	31
Tabela 2 - Equações alométricas para estimar a biomassa acima do solo (AGB) da APA do Rio Pacoti/CE .....	33
Tabela 3 - Estimação média da AGB com desvio padrão .....	39
Tabela 4 - Comparação da biomassa na S1 entre as áreas amostrais por meio do teste de Kruskal-Wallis .....	41
Tabela 5 - Comparação da biomassa na S2 entre as áreas amostrais por meio do teste de Kruskal-Wallis .....	41
Tabela 6 - Estimação média do estoque de carbono azul e desvio padrão .....	42
Tabela 7 - Estimativa do estoque de carbono para os 430ha de floresta de mangue (AGB) da APA do Rio Pacoti/CE .....	43
Tabela 8 - Comparação do estoque de carbono na S1 entre as áreas amostrais por meio do teste de Kruskal-Wallis .....	45
Tabela 9 - Comparação do estoque de carbono na S2 entre as áreas amostrais por meio do teste de Kruskal-Wallis .....	45
Tabela 10 - Comparação múltipla (Dunn's post hoc) de biomassa entre os anos amostrais da Área 1 .....	48
Tabela 11 - Comparação múltipla (Dunn's post hoc) de biomassa entre os anos amostrais da Área 2 .....	49
Tabela 12 - Comparação múltipla (Dunn's post hoc) de biomassa entre os anos amostrais da Área 3 .....	49
Tabela 13 - Comparação múltipla de estoque de carbono entre os anos amostrais da Área 1 .....	53
Tabela 14 - Comparação múltipla de estoque de carbono entre os anos amostrais da Área 2 .....	54
Tabela 15 - Comparação múltipla de estoque de carbono entre os anos amostrais da Área 3 .....	55
Tabela 16 - Estimativa de Potencial de CO2 equivalente da floresta de mangue da APA do Rio Pacoti .....	57

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Versões da aplicação das equações .....	35
--	----

## LISTA DE SIGLAS

GEE	Gases de Efeito Estufa
REED+	<i>Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation</i>
UNFCCC	<i>United Nations Framework Convention on Climate Change</i>
AGB	<i>Above Ground Biomass</i>
BGB	<i>Below Ground Biomass</i>
APA	Área de Proteção Ambiental
DAP	Diâmetro a Altura do Peito
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>17</b>
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>21</b>
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	<b>25</b>
<b>3.1 Objetivo geral</b> .....	<b>25</b>
<b>3.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>25</b>
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>25</b>
<b>4.1 Área de estudo</b> .....	<b>25</b>
<b>4.2 Procedimentos de campo</b> .....	<b>27</b>
<b>4.3 Aplicação das equações alométricas e análise de dados</b> .....	<b>33</b>
<b>4.4 Análises estatísticas</b> .....	<b>35</b>
<b>5 RESULTADOS</b> .....	<b>36</b>
<b>5.1 Composição florística e características</b> .....	<b>36</b>
<b>5.2 Biomassa acima do solo (AGB)</b> .....	<b>37</b>
5.2.1 Comparação de biomassa entre as áreas amostrais .....	39
<b>5.3 Estoque de carbono na vegetação</b> .....	<b>41</b>
5.3.1 Comparação de estoque de carbono entre as áreas amostrais .....	43
<b>5.4 Variação temporal de biomassa na área de mangue em recuperação</b> .....	<b>45</b>
5.4.1 Análises estatísticas da variação temporal de biomassa.....	48
<b>5.5 Variação temporal de estoque de carbono na área de mangue em recuperação</b> .....	<b>50</b>
5.5.1 Análises estatísticas da variação temporal de estoque de carbono .....	53
<b>5.6 Potencial de emissão de CO<sub>2</sub></b> .....	<b>56</b>
<b>6 DISCUSSÃO</b> .....	<b>57</b>
<b>7 CONCLUSÕES</b> .....	<b>62</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>64</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos séculos, as atividades antrópicas têm contribuído para o aumento das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE), sobretudo o dióxido de carbono que, conseqüentemente, vem resultando em mudanças nos padrões climáticos e desequilíbrio ecológico do planeta. A queima de combustíveis fósseis, a degradação, a mudança de uso e cobertura dos solos, têm alterado ecossistemas e afetado a capacidade destes em capturar carbono atmosférico. Contudo, surge a necessidade de limitar o aumento da temperatura média global a menos de 2 °C dos níveis pré-industriais, mas para isso as emissões de GEE devem ser reduzidas e o seu excesso removido da atmosfera (Macreadie *et al.*, 2021).

Com a crescente preocupação sobre as conseqüências do aquecimento global e o interesse em amenizar esses efeitos da alteração do clima, o “Carbono Azul” tem-se tornado tema protagonista em muitas pautas de discussões acadêmicas, políticas e sociais, que buscam encontrar soluções para a problemática. Apesar do termo ter sido introduzido recentemente na literatura (Nellemann *et al.*, 2009), já era reconhecido há poucas décadas que os ambientes costeiros vegetados como pântanos salgados, prados marinhos e os manguezais podem atuar como sumidouros de carbono. A prova disso é que antes de 1980 dois relatórios abordavam o papel das angiospermas como sumidouros de carbono na Dinamarca (Boysen-Jensen, 1915) e o do fitoplâncton marinho no ciclo de carbono (Riley, 1944).

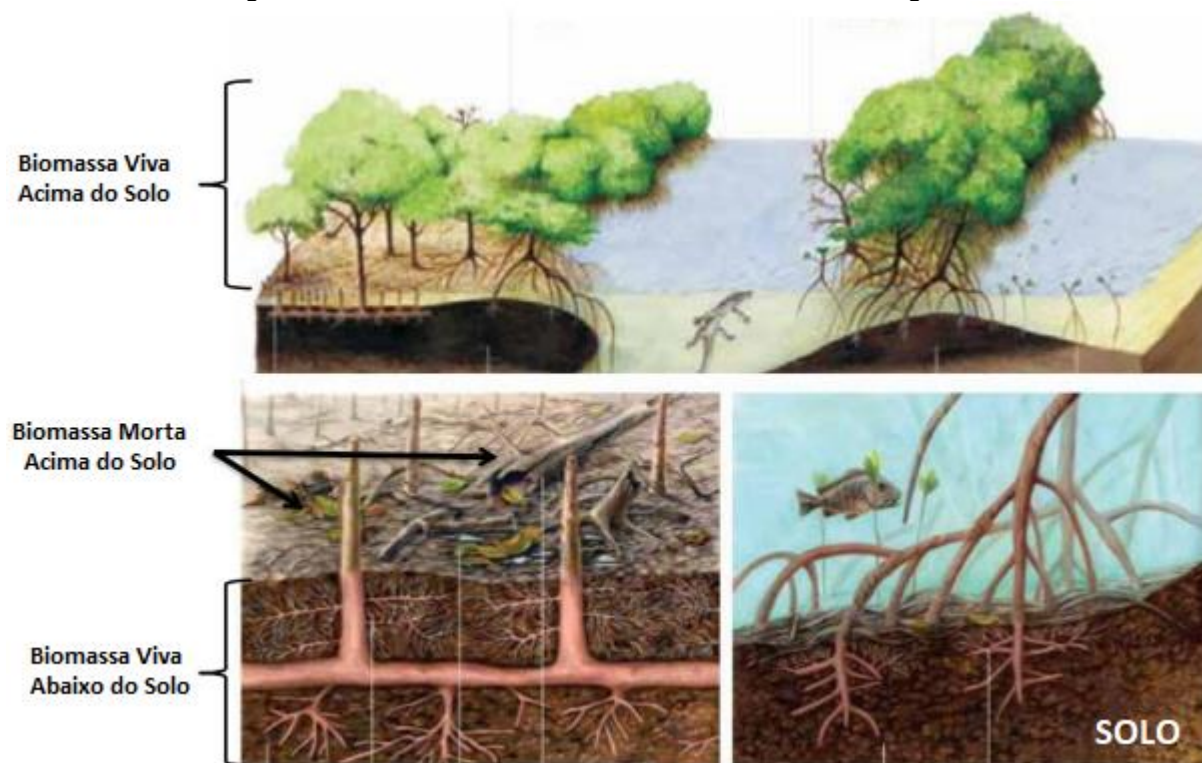
Os manguezais são ecossistemas costeiros bastante produtivos e dinâmicos, que se distribuem em regiões tropicais e subtropicais do mundo. Diversos estudos apontam que esses ambientes apresentam alta capacidade de capturar e armazenar carbono, sendo essa capacidade até maior que de outros ecossistemas (Alongi, 2014; Donato *et al.*, 2011; Lovelock & Duarte, 2019; Mcleod *et al.*, 2011). Esse elemento, chamado de “carbono azul” quando sequestrado por um ambiente costeiro vegetado (Cusack *et al.*, 2018), é estocado tanto no solo quanto na biomassa viva acima e abaixo do solo, sendo essa biomassa representada pela vegetação de mangue (Mcleod *et al.*, 2011). Os mangues, por meio da fotossíntese, absorvem CO<sub>2</sub> do ar e o fixam na sua biomassa, principalmente em forma de estrutura lenhosa (De Oliveira, 2016). Dado essa capacidade, estima-se que a taxa anual de sequestro de carbono pelas plantas de mangue varie entre 6 e 8 Mg CO<sub>2</sub>/ha (Murray *et al.*, 2011).

Segundo Donato *et al.* (2011), os manguezais asiáticos, por exemplo, armazenam de três a cinco vezes mais carbono por unidade de área em comparação com ecossistemas de terras altas dos trópicos. Essa imponente capacidade de captura e estoque faz com que o manguezal atue como um grande sumidouro costeiro, e a sua proteção e restauração faz dele um possível mitigador diante da atual crise climática (Fatoyinbo *et al.*, 2018). Apesar dessa importância, extensões desse tipo de ecossistema declinaram em torno de 30% a 50% ao longo do último meio século (Alongi, 2002; Duke *et al.*, 2007), com isso existe a estimativa de que os manguezais podem desaparecer nos próximos cem anos, caso nada mude (Duke *et al.*, 2007; Polidoro *et al.*, 2010). Estima-se no mundo todo que entre 2000 e 2015 foram desmatados 279.049 ha, que representa 1,67% de todos os manguezais (Sanderman *et al.*, 2018). Entre as causas dessas degradações estão as atividades de carcinicultura, salinas, agricultura, desenvolvimento de áreas industriais e urbanas, extração de madeira e poluição que são responsáveis por ameaçar a saúde dos manguezais (Duke *et al.*, 2007; Ferreira & Lacerda, 2016; Servino *et al.*, 2018; Sipo *et al.*, 2018). Ambientes como esse, quando desmatados ou convertidos para algum uso que afetem o uso do solo, tem potencial de liberar grandes quantidades de carbono, formando o CO<sub>2</sub>, que ultrapassam em muito os de ecossistemas de terras altas, tornando-se assim fontes de emissão (Hamilton & Fries, 2018; Kauffman *et al.*, 2017; Pendleton *et al.*, 2012; Sanders *et al.*, 2016).

A inclusão de ecossistemas florestais no mercado de créditos de carbono ou em REDD+ (*Reducing Emissions from Deforestation and Forest Degradation* ou Redução de Emissões por Desmatamento e Degradação Florestal) requerem projetos de inventários de carbono altamente precisos (Gibbs *et al.*, 2007). Programas como esse, ou similares, ressaltam a importância de estimativas robustas de armazenamento de carbono para vários tipos de florestas, principalmente aquelas com altas densidades desse componente. Apesar da importância de saber valores sobre o armazenamento, há ainda muita falta de informações sobre a quantificação de carbono em vegetação de mangue de diversos lugares do mundo, inclusive no que se refere a mangues brasileiros (Beloto *et al.*, 2023). Fazer mensurações de carbono em ambientes costeiros é necessário para contribuir com o alcance de metas como as do REDD+, que busca integrar o carbono azul a políticas internacionais da UNFCCC (*United Nations Framework Convention on Climate Change*).

Segundo Howard *et al.* (2014), existem quatro medidas e divisões básicas de reservatório de carbono em manguezais: biomassa viva acima de solo, muitas vezes referida como AGB (*Above Ground Biomass*) na literatura, que abrange árvores, arbustos e gramas; biomassa morta acima do solo, referida na literatura como DW (*Downed woods*), que representa a madeira derrubada, árvores mortas e também a serapilheira; biomassa abaixo do solo, referida na literatura como BGB (*Below Ground Biomass*), que consiste nas raízes e rizomas; e carbono do solo, que é o carbono da biomassa morta contido nos sedimentos (Figura 1).

Figura 1 - Reservas de carbono em ecossistemas de manguezal



Fonte: Howard *et al.* (2014, p. 30).

Com o tempo, cientistas desenvolveram vários métodos para determinar a biomassa das florestas. Uma delas é o método direto que consiste no corte e peso das árvores para determinar a biomassa, porém, essa metodologia requer esforço e tempo considerável, além ser ilegal e predatória (Medeiros; Sampaio, 2007). Enquanto isso, o método que utiliza equações alométricas possui baixo custo e viabilidade em ser realizado, pois consiste em um modelo matemático que calcula a biomassa parcial ou total de indivíduos florestais a partir de suas dimensões mensuráveis como o diâmetro, por exemplo, que é altamente correlacionado com o peso do tronco (Komiya, 2008; Silva, 2007). Em conseqüente, tendo já a determinação da

biomassa, estima-se o estoque de carbono por meio de um fator de conversão. As equações alométricas têm sido amplamente aplicadas para estimar a biomassa de mangue em várias pesquisas e, dependendo da escolha da equação e de como será aplicada, possui alto grau de confiabilidade na determinação da biomassa, especialmente para estimar a biomassa acima e abaixo do solo (Abino *et al.*, 2014; Eusop *et al.*, 2018; Harishma *et al.*, 2020; Kusumaningtyas *et al.*, 2019).

No nordeste brasileiro, entre as décadas de 1960 a 1980, funcionou uma atividade de salina em um ambiente de manguezal onde está a Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Pacoti, Ceará, que causou a degradação de uma boa área dessa unidade de conservação. Anos depois, após o início de um projeto de recuperação ecológica, um bosque de mangue vem se desenvolvendo no local, assim como o retorno de grupos funcionais faunísticos que indicam melhoria do ecossistema (Ferreira *et al.*, 2022). Além destas atividades impactantes de extração de sal em ambientes adjacentes a manguezais, ressalta-se também que a região nordestina comporta 80% dos viveiros de carcinicultura do país (Lacerda, 2006), sendo essa atividade a responsável por 20% a 50% total da conversão dos usos da terra no Brasil (FAO, 2007; Lacerda, 2006).

Considerando a necessidade de mensurar o estoque de carbono em ambientes costeiros, este projeto teve como objetivo estimar o estoque de carbono azul da biomassa acima do solo (vegetação) desse manguezal semiárido que foi degradado há décadas. O nordeste brasileiro, tendo uma boa parte inserida na semiaridez, é uma das regiões mais vulneráveis às mudanças climáticas atuais e futuras do país (Tavares *et al.*, 2019). Com isso, torna-se interessante obter informações voltadas a essa temática em uma região semiárida em que pouco são os estudos sobre quantificação de carbono. Assim foram feitas comparações entre um bosque de mangue jovem (~6 anos de idade) com os bosques de mangues preservados do mesmo local. Ademais, obteve-se dados de variação temporal de estoque de carbono desse bosque jovem em crescimento ao longo de um certo período, como também foi feita a estimativa de potencial de emissão de CO<sub>2</sub> da área de estudo, caso fosse desmatado.

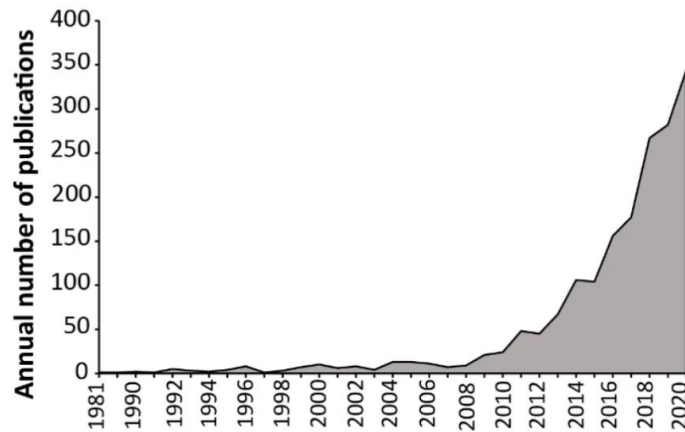
## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A partir da Primeira Revolução Industrial, a humanidade passou a interferir nos padrões climáticos com o lançamento de Gases do Efeito Estufa, principalmente o CO<sub>2</sub>, por meio da queima de combustíveis fósseis e outras atividades impactantes. Esse excesso de emissão de carbono tornou-se um grande desafio para a biodiversidade e até para a sobrevivência humana que precisa ser contornado urgentemente (Alongi, 2014).

Nas últimas décadas, vários países se propuseram a abrandar a tendência do aquecimento global com a criação de políticas de redução e absorção de carbono. O termo “carbono azul” se refere ao carbono atmosférico capturado e armazenado por ecossistemas costeiros vegetados como, prados marinhos, pântanos salgados e manguezais (Cusack *et al.*, 2018; Mcleod *et al.*, 2011; Nellemann *et al.*, 2009). Esse último mencionado é o que apresenta maior teor de carbono armazenado e, mesmo representando apenas 0,7% da área florestal tropical do mundo, os manguezais podem estocar até 20 Pg de carbono orgânico, equivalente a 2,5 vezes as atuais emissões globais por ano (Gao *et al.*, 2016).

Pesquisas voltadas para essa temática cresceram gradualmente nos últimos anos com uma taxa anual de 20,02% (Costa & Macreadie, 2022) (Figura 2). Esse fato se deve aos esforços investidos para sanar as incertezas e questões referentes ao papel da conservação e restauração de ecossistemas costeiros mediante a crise climática (Macreadie *et al.*, 2019). Contudo, ainda é necessário contornar o desafio das incertezas nos âmbitos sociais, governamentais, financeiros e tecnológicos com colaborações transdisciplinares (Costa & Macreadie, 2022; Macreadie *et al.*, 2022).

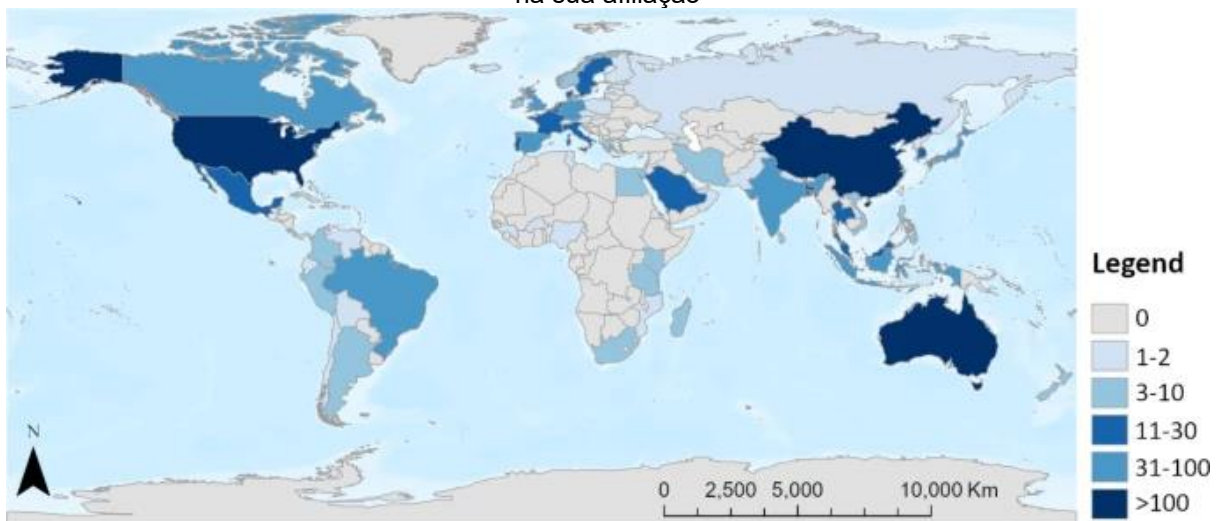
Figura 2 - Número anual de publicações sobre a ciência do carbono azul entre 1981 e 2020



Fonte: Costa & Macreadie (2022).

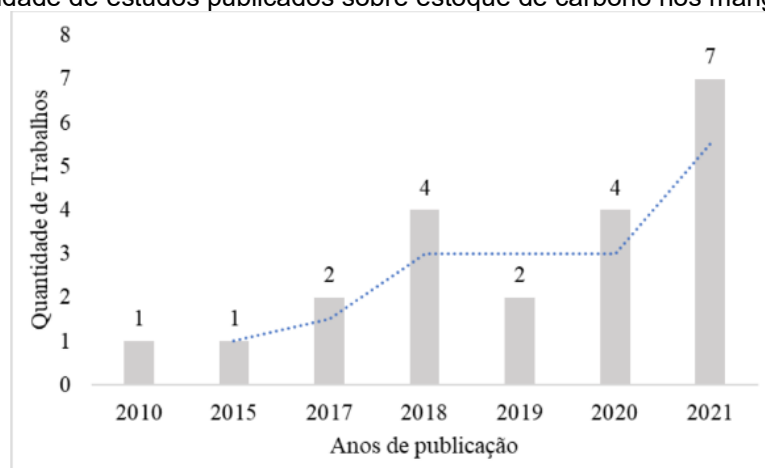
Segundo Costa e Macreadie (2022), a maioria dos estudos sobre carbono azul está concentrada na América do Norte, Ásia e Oceania (Figura 3). Apesar do Brasil possuir uma das maiores distribuições de ecossistemas de carbono azul, sendo o segundo país com uma enorme extensão de manguezais do mundo, sua contribuição em publicações se limita apenas a 2,85%. Vale ressaltar que esse valor pode estar subestimado já que os autores mencionados acima apenas consideraram publicações de língua inglesa e descartaram relatórios e literatura cinza. No entanto, conforme Neto e Silva (2023), nota-se uma tendência de aumento, ainda que tímido, no quantitativo de pesquisas e publicações anuais sobre estoque de carbono azul brasileiro (Figura 4).

Figura 3 - Distribuição geográfica dos primeiros autores de publicações sobre carbono azul com base na sua afiliação



Fonte: Costa & Macreadie (2022).

Figura 4 - Quantidade de estudos publicados sobre estoque de carbono nos manguezais brasileiros



Fonte: Neto e Silva (2023).

Em um estudo na Baía de Demta, na Província de Papua, Indonésia, foi estimado por meio de equações alométricas a biomassa acima (AGB) e abaixo do solo (BGB), como também o estoque de carbono local. Como resultado, a área de estudo apresentou uma média de  $87,10 \pm 34,07$  Mg C/ha ou equivalente a  $319,37 \pm 124,92$  Mg CO<sub>2</sub>e/ha (Indrayani *et al.*, 2021).

Já nos manguezais de Kerala, na costa sudoeste da Índia, Harishma *et al.* (2020) encontraram a biomassa média nos valores de  $117,11 \pm 1,02$  Mg/ha (ABG e BGB) para espécies como *Avicennia marina* e *Sonneratia alba*. Por meio de equações alométricas, o teor médio de carbono orgânico encontrado para os ecossistemas de mangue de Kerala foi de  $139,82$  Mg C/ha, sendo esse valor total correspondendo  $58,56$  Mg C/ha para a vegetação, e  $81,26$  Mg C/ha para o solo.

Bautista-Olivas *et al.* (2018) realizaram estudos sobre biomassa aérea e armazenamento de carbono em dois manguezais da zona árida do noroeste do México: Bahía del Tóbari e Estero del Sargento, Sonora. Com uso de equações alométricas, os resultados encontrados para a AGB na Bahía del Tóbari foram de  $72,12$  a  $130$  Mg/ha, sendo o estoque de carbono de  $36,1$  a  $65,5$  Mg C/ha. Enquanto em Estero del Sargento, a biomassa obtida foi de  $108,1$  a  $316,78$  Mg/ha, com teor de carbono variando de  $54,1$  a  $158,4$  Mg C/ha.

No noroeste da República Dominicana, foi quantificado o estoque de carbono azul de três tipos de manguezais comuns da região caribenha, como também de zonas convertidas em viveiros de camarão. A média total de estoque foi de  $853$  Mg C/há (para AGB, DW, BGB e solo), sendo significativamente menor o estoque médio total da área convertida para carcinicultura com apenas  $95$  Mg C/ha (apenas

sedimento). Especificamente, a vegetação de mangue apresentou valores médios de 161, 47 e 10 Mg C/ha para os manguezais altos, médios e baixos da região, respectivamente (Kauffman *et al.*, 2014).

Kauffman e Bohemia (2017) quantificaram os estoques totais de carbono de 33 manguezais diferentes ao longo da costa atlântica da África Centro-Occidental. Os estoques totais variaram de 154 a 1.484 Mg C/ha, com média de 799 Mg C/ha. Só os reservatórios de biomassa acima do solo variaram de 5,2 a 312 Mg C/ha.

Os manguezais brasileiros apresentam diferentes classificações mediante as condições ambientais (geomórficas, climáticas, estrutura florestal, salinidade etc.) que varia de região para região do país (Muehe, 2010; Soares *et al.*, 2022). Conforme Neto e Silva (2023), os estoques médios de carbono azul no Brasil estão entre 358,79 Mg C/ha e 1.851 Mg C/ha, com média de 709,36 Mg C/ha. Já Beloto *et al.* (2023), apontam valores médios de armazenamento de carbono azul correspondendo a 443 Mg C/ha, sendo ~0,44 PgC o estoque total considerando uma extensão de 1.011.160,26 ha de manguezal (MapBiomas, 2021). Enquanto Rovai *et al.* (2022), indicam um valor de armazenamento total de 0,26 PgC para 767.500 ha (IBGE, 2019), com médias de 66, 33 e 241 Mg C/ha para AGB, BGB e sedimentos, respectivamente.

Nos manguezais amazônicos, especificamente no Estado do Pará, Kauffman *et al.* (2018) encontraram valores totais que variaram de 361 a 746 Mg C/ha, com estoque médio de 511 Mg C/ha, sendo 145 Mg C/ha para AGB. Em transição do regime amazônico para o semiárido, tem-se o trabalho de Portela *et al.* (2020), com resultados de 258,34 Mg C/ha de armazenamento de carbono de um manguezal do Delta do Rio Parnaíba, no Piauí.

Na região nordeste, Kauffman *et al.* (2018a) obtiveram por meio de equações alométricas 70 Mg C/ha (AGB) de manguezais, situado no regime semiárido, nas regiões estuarinas do Rio Jaguaribe e do Rio Acaraú, no Estado do Ceará. Ferreira *et al.* (2019) quantificaram em 43,67 Mg C/ha o estoque de carbono em uma área de manguezal localizada no Rio Jaguaribe, na capital do Rio Grande do Norte.

Já na região sudeste, pode-se citar os dados de Gomes *et al.* (2021) para armazenamento de carbono aéreo máximo em 129 Mg C/ha, no Espírito Santo. Ainda no mesmo Estado, Leite *et al.* (2021) obtiveram valores de 41,4 Mg C/ha também para AGB. Por fim, na região estuarina da Lagoa da Cananéia, Estado de São Paulo, o

estoque médio é de 380 Mg C/ha, do qual 53 Mg C/ha é a média representativa da biomassa aérea acima do solo (AGB) (Rovai *et al.*, 2021).

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Estimar o estoque de carbono azul da biomassa acima do solo (vegetação) em um manguezal do regime climático semiárido, em processo de recuperação, da APA do Rio Pacoti, Ceará, Brasil.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Comparar o estoque atual de biomassa e carbono entre diferentes áreas do mesmo local, sendo uma em processo de recuperação florestal, que foi degradada há um tempo, e outras duas áreas de mangue preservado;
- Estimar a biomassa e estoque de carbono acima do solo para a área de manguezal total da APA do Rio Pacoti; e
- Estimar biomassa e estoque de carbono acima do solo entre o período de 2019 a 2022 do bosque de mangue jovem em recuperação ecológica.

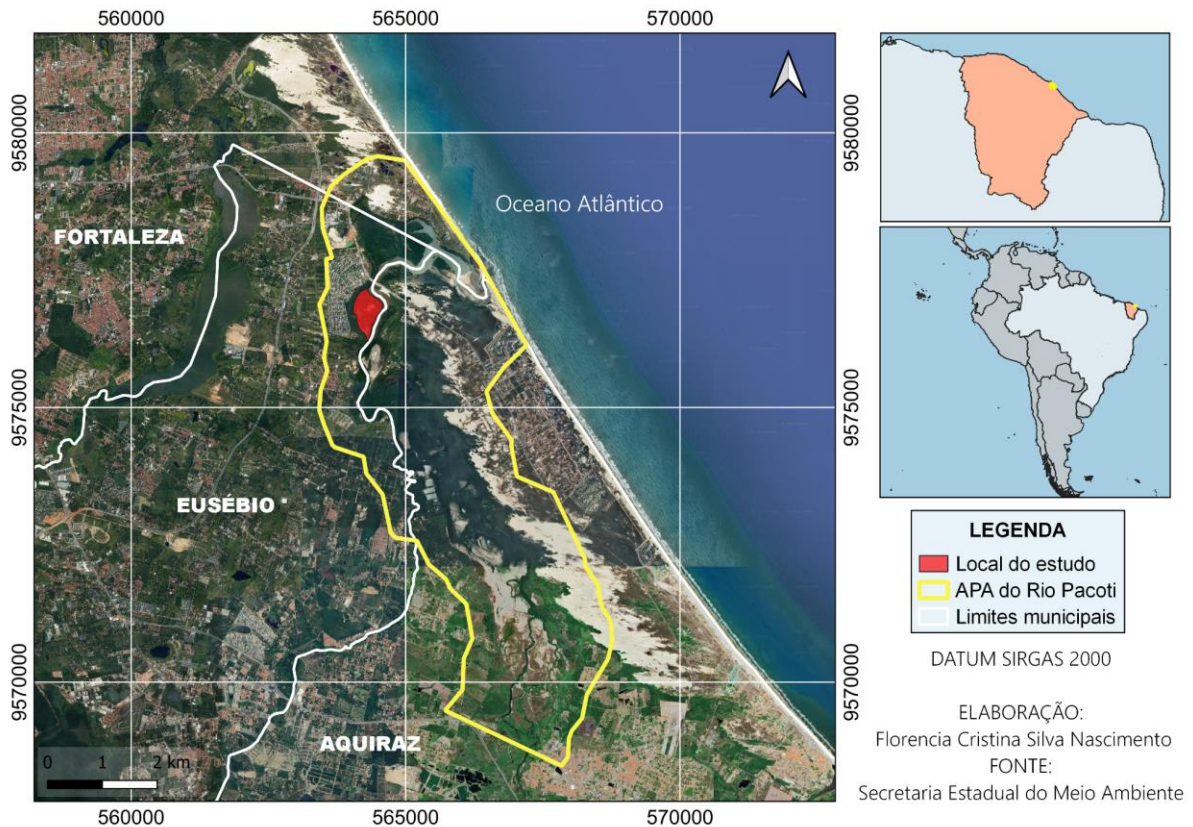
### **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **4.1 Área de estudo**

A área de estudo compreende um ambiente de manguezal situado na Área de Proteção Ambiental (APA) do estuário do Rio Pacoti (3° 43" 02" S / 38° 32" 35" W), que faz intersecção com os municípios cearenses de Eusébio, Aquiraz e Fortaleza (Figura 5). O estuário se prolonga por aproximadamente 15 km de comprimento até a foz (Gorayeb; Silva; Meireles, 2005), com cerca de 430 ha de vegetação de manguezal (Barbosa *et al.*, 2016). Essa unidade de conservação, que abrange uma área de 2.914,13 hectares, foi criada por meio do Decreto nº 25.778, de 15 de fevereiro de

2000, estando a 30 km do centro da capital do Estado. Sua criação se justifica em face da diversidade de ambientes presentes no entorno do Rio Pacoti, como manguezais, cordões de dunas, mata de tabuleiro e ciliar que se tornam vulneráveis e requerem uma certa proteção, assim como também a bacia do Rio Pacoti, que contribui para o abastecimento de água em Fortaleza (Ceará, 2000).

Figura 5 - Mapa da localização da região de estudo dentro da APA do Rio Pacoti, Ceará, Brasil



Fonte: elaborado pela autora (2023).

A região de estudo está inserida em um clima Tropical Quente Semiárido com temperatura média anual entre 26 e 28 °C (IPECE, 2009; Lacerda, 2007). Anualmente, a localidade apresenta uma precipitação média de 1.200 mm, sendo distribuída em um verão chuvoso (de fevereiro até junho) e em uma estação seca (de julho até janeiro) (Lacerda, 2007). Vale ressaltar, que o regime pluviométrico do estado é influenciado pela migração da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que pode ter início no mês de dezembro, com chuvas de pré-estação, e se prolongar até junho ou julho, mediante a atuação das condições oceânicas e atmosféricas (Villavicencio, 2020).

O Rio Pacoti nasce na Serra de Baturité e faz um percurso de 150 km até desaguar no Oceano Atlântico. Suas planícies flúvio-marinhas possuem um relevo plano sujeito a inundações, com dinâmicas determinadas pela variação das marés e regime pluviométrico (Gorayeb, 2005). Assim como os outros estuários do Ceará, o estuário do Rio Pacoti pode ser considerado hipersalino, onde as misturas e processos estuarinos ocorrem apenas no período chuvoso, quando há o fluxo de água fluvial em direção ao mar (Rodrigues, 2022). Apesar do rio apresentar características intermitentes, apenas sua região estuarina é perene devido à entrada diária das águas marinhas durante as marés cheias (Marins *et al.*, 2002). O regime de marés na região atinge cerca de 3,1 metros durante a sizígia e é caracterizado, portanto, como sendo de meso maré (DNH, 2023).

O presente estudo foi realizado precisamente dentro de uma área de manguezal a 2,4 km da foz do Rio Pacoti. A cobertura de mangue local apresenta heterogeneidade, com partes preservadas e outras em processo de recuperação por causa de uma degradação por atividades antrópicas. Essa degradação ocorreu pela ocupação de uma área de apicum por uma salina, que funcionou entre as décadas de 1960 a 1980, causando impactos negativos no solo (hipersalinidade) e na hidrologia, com a construção de diques que impediam a entrada de água do estuário, impossibilitando assim a colonização natural de mangue mesmo depois de desativada (Lacerda *et al.*, 2007). A partir do ano de 2016, deu-se início a um projeto de restauração ecológica na área, o qual resultou no crescimento de um bosque de mangue que atualmente está em processo de sucessão ecológica (Ferreira *et al.*, 2022).

Em relação a floresta de manguezal, segundo Barbosa *et al.* (2016), o bosque de mangue da APA do Rio Pacoti é composto pelas seguintes espécies: *Rhizophora mangle* L., *Avicennia germinans* (L) Stearn., *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechman, *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. e *Conocarpus erectus* L.

## 4.2 Procedimentos de campo

A metodologia do presente trabalho é baseada no livro *Coastal Blue Carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrass meadows* de Howard *et al.* (2014), que apresenta

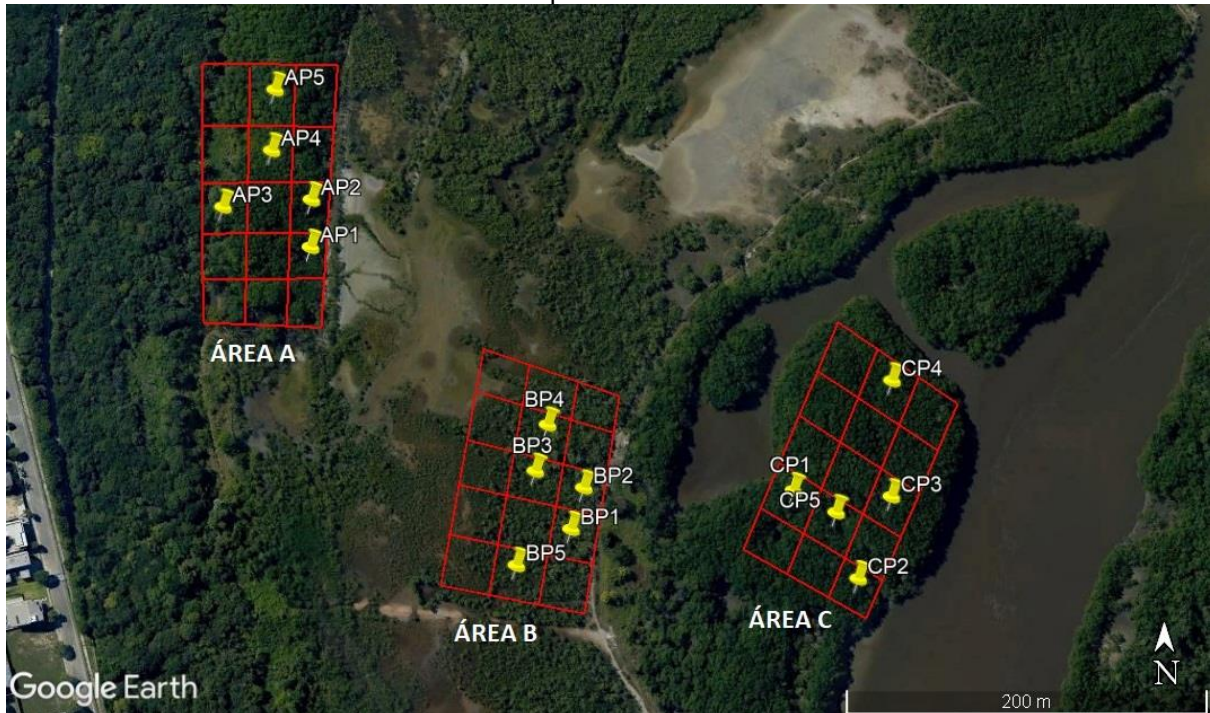
protocolos internacionais e normatizados para o estudo do carbono azul em ecossistemas de manguezais.

Foram realizadas medições das árvores entre novembro de 2022 a março de 2023. Dentro da região de estudo foram selecionadas três áreas (Área A, B e C) por motivos de heterogeneidade para a amostragem (Figura 6 e 7A-C). Em cada área foram feitos cinco quadrantes de 5 x 5 metros, distribuídos de forma aleatória, e em cada um deles, todas as árvores de mangue foram identificadas em nível de espécie e medido o diâmetro na altura do peito (DAP) com uma fita diamétrica utilizada em inventários florestais (Figura 8A-C). Apenas para as espécies de *Rhizophora mangle* o diâmetro do caule foi medido a partir da raiz de escora mais alta.

Para as árvores mortas em pé registradas dentro das parcelas amostrais, o DAP também foi medido e a elas foi atribuído uma classe de decomposição: classe 1 (árvores mortas sem folhas); classe 2 (árvores mortas sem galhos secundários); e classe 3 (árvores mortas sem galhos primários ou secundários) (Howard *et al.*, 2014; Kauffman & Donato, 2012). Conforme a metodologia, a biomassa de cada árvore morta em pé é determinada conforme o grau de decomposição de cada árvores:

- Classe I (árvores mortas sem folhas): para as árvores morta dessa classe, a biomassa foi estimada usando equações alométricas de árvores vivas. Porém, a diferença é que foi subtraído a constante de 2,5% da biomassa total, ou seja, foi considerado apenas 97,5% da biomassa obtida pelas equações;
- Classe II: a biomassa foi estimada usando equações alométricas feita para árvores vivas, porém foi subtraído 20% do valor da biomassa obtida nos cálculos, ou seja, foi considerado apenas 80% da biomassa;
- Classe III: estimou-se a biomassa usando equações alométricas feita para árvores vivas, mas para as árvores mortas dessa classe foi subtraído 50% do valor de biomassa obtido nos cálculos.

Figura 6 - Vista aérea da região de estudo com as áreas amostrais com pontos de localização dos quadrantes



Fonte: elaborado pela autora a partir do Google Earth (2023).

Figura 7 - Imagem das áreas de amostragem: a) Área A, preservada b) Área B, em sucessão ecológica c) Área C, preservada e próxima do estuário



Fonte: autora, 2023.

Figura 8 - Atividades em campo: A) medição de diâmetro (DAP) B) demarcação de quadrantes C) coleta de dados complementares



Fonte: autora (2023).

A “Área A” é uma zona distante da borda do rio que apresenta um bosque bastante denso e robusto de mangue preservado. Nela, espécies de *Rhizophora mangle* são dominantes, havendo também a presença de indivíduos de *Laguncularia racemosa* em menor número. Seu solo é bastante úmido e visualmente rico em matéria orgânica. Nessa área, cinco quadrantes foram feitos aleatoriamente e nomeados como AP1, AP2, AP3, AP4 e AP5 (letra “A” referente a área; letra “P” referente ao ponto).

A “Área B” é uma zona intermediária em processo de recuperação e sucessão ecológica após ter sido degradada por tanques de salina entre as décadas de 60 e 80. Nessa zona, se encontra uma floresta de mangue juvenil de *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa* (em pouca predominância) com altura em torno de ~3 metros e recebe influência das águas do estuário durante a variação da maré. Nesse trecho, foram também feitos cinco quadrantes aleatoriamente e nomeados como BP1, BP2, BP3, BP4 e BP5.

A “Área C” é um trecho que margeia a borda do rio com composição de mangue preservado e que está em contato maior com a inundação. Ela apresenta um bosque aparentemente menos desenvolvido com relação aos tamanhos dos dosséis e alturas das árvores, sendo composta por principalmente por *Rhizophora mangle*, e poucos indivíduos de *Laguncularia racemosa*, sendo apenas menos desenvolvida em comparação com a primeira área. Possui solo lamacento, rico em matéria orgânica e alta salinidade. Nesse trecho, foram feitos mais cinco quadrantes distribuídos aleatoriamente e nomeados como CP1, CP2, CP3, CP4 e CP5. As coordenadas de todos os pontos foram marcadas com o GPS Portátil Garmin Etrex (Tabela 1).

Tabela 1 - Coordenadas geográficas dos pontos amostrais

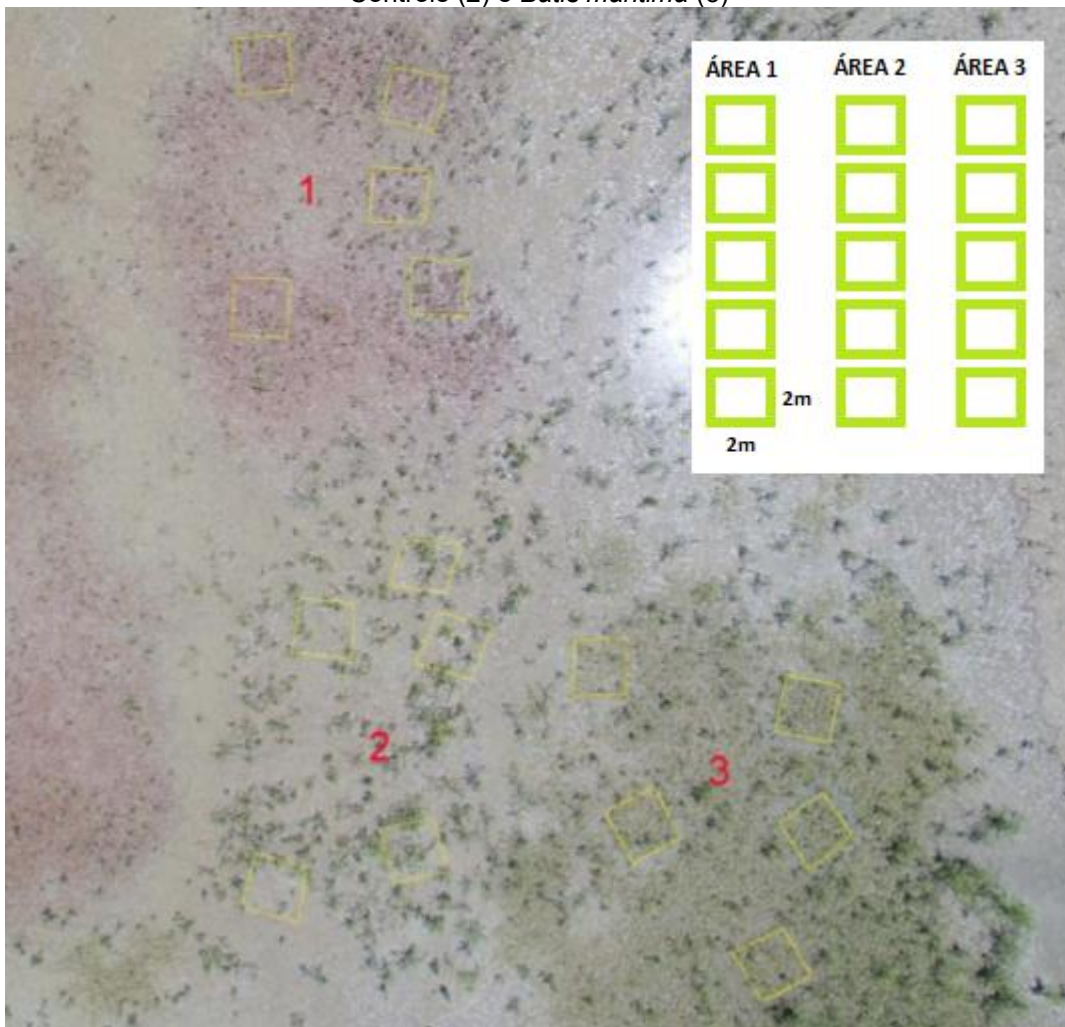
<b>Área A – mangue preservado</b>	
<b>Pontos</b>	<b>Coordenadas</b>
AP1	S 03°49'45.13" W 038°25'21.80"
AP2	S 03°49'44.28" W 038°25'21.79"
AP3	S 03°49'44.41" W 038°25'23.38"
AP4	S 03°49'43.40" W 038°25'22.50"
AP5	S 03°49'42.31" W 038°25'22.44"
<b>Área B – mangue em recuperação</b>	
<b>Pontos</b>	<b>Coordenadas</b>
BP1	S 03°49.819' W 038°25.320'
BP2	S 03°49.800' W 038°25.334'
BP3	S 03°49.811' W 038°25.341'
BP4	S 03°49.804' W 038°25.356'
BP5	S 03°49.832' W 038°25.319'
<b>Área C – mangue preservado</b>	
<b>Pontos</b>	<b>Coordenadas</b>
CP1	S 03°49'.49.2" W 038°25'13.0"
CP2	S 03°49'51.07" W 038°25'11.97"
CP3	S 03°49'49.7" W 038°25'11.2"
CP4	S 03°49'47.8" W 038°25'11.9"
CP5	S 03°49'49.88" W 038°25'12.37"

Fonte: elaborado pela autora (2023).

Ademais, foram também analisados dados secundários coletados entre 2019 e 2022 de parcelas amostrais do bosque de mangue jovem, correspondente a “Área B” desta presente pesquisa, na qual havia sido degradada décadas atrás por uma salina. Esses dados pertencem a um outro projeto de monitoramento do crescimento das espécies de mangue correlacionado com herbáceas facilitadoras (Oliveira, 2022), onde determinou-se três áreas amostrais, sendo: uma relacionado com a herbácea *Sesuvium portulacastrum*, nomeada como “Área 1”; uma sem

nenhuma presença de herbácea, nomeada como “Área 2”; e outra relacionada com a presença da herbácea *Batis maritima*, nomeada como “Área 3”. Em cada uma dessas áreas, a autora fez cinco quadrantes de 2 x 2 metros (4m<sup>2</sup>) (Figura 9) e coletou dados de altura, DAP e identificou os mangues a nível de espécie. Os dados secundários de DAP de Oliveira (2022) foram utilizados para aplicação em equações alométricas e foi realizada uma análise de variação temporal de ganho de biomassa e estoque de carbono acima do solo dessa área em recuperação no período mencionado acima.

Figura 9 – Manguezal em recuperação da APA do Rio Pacoti-CE: bosque jovem de mangue delimitado por quadrados amostrais (em amarelo) entre áreas (1) *Sesuvium portulacastrum* (1), Controle (2) e *Batis maritima* (3)



Fonte: Oliveira (2022, p. 23), adaptado pela autora.

### 4.3 Aplicação das equações alométricas e análise de dados

Os dados obtidos em campo foram organizados em tabelas do Programa Excel para serem transformados em valor de biomassa. Essa biomassa foi determinada utilizando o método não destrutivo de aplicação de equações alométricas baseados em medidas de DAP, conforme as espécies.

Algumas equações alométricas foram escolhidas para serem aplicadas nos dados por quesito de proximidade e semelhança com a área de estudo deste presente trabalho, conforme as equações disponíveis em publicações, e por apresentarem as mesmas espécies de mangue da área de estudo (Tabela 2). Conforme a literatura, por questões de maiores precisões, é aconselhável se utilizar equações específicas para uma espécie ao invés de uma equação generalista. Ademais, quanto mais semelhante for a região em que a equação foi desenvolvida com a região em que ela será aplicada, melhor será a precisão dos resultados (Smith & Whelan, 2006).

Tabela 2 - Equações alométricas para estimar a biomassa acima do solo (AGB) da APA do Rio Pacoti/CE

Localização	Espécies	Equação	Referência
Natal, Rio Grande do Norte, Brasil	Rm	$AGB = 427.26(DAP^2) - 544.45(DAP) + 994.63$	Ferreira <i>et al.</i> (2015)
Natal, Rio Grande do Norte, Brasil	Lr	$AGB = 299.43(D^2) - 486.06(DAP) + 393.04$	Ferreira <i>et al.</i> (2015)
Itamaracá, Pernambuco, Brasil	Rm	$AGB = 0.2938 * DAP^{2.384}$	Medeiros & Sampaio (2008)
Itamaracá, Pernambuco, Brasil	Lr	$AGB = 0.1442 * DAP^{2.325}$	Medeiros & Sampaio (2008)

Guiana Francesa	Ag	$ABG = 200.4 * DAP^{2.1}$ (para $1 \text{ cm} < DAP < 4 \text{ cm}$ )  $AGB = 0.14 * DAP^{2.4}$ (para $DAP > 4 \text{ cm}$ )	Fromard <i>et al.</i> (1998)
--------------------	----	--	---------------------------------

*Rhizophora mangle* (Rm), *Avicennia germinans* (Ag) e *Laguncularia racemosa* (Lr). AGB, biomassa acima do solo; DAP, diâmetro a altura do peito (cm). Fonte: elaborado pela autora (2023).

As equações alométricas desenvolvidas por Ferreira *et al.* (2015), foram aplicadas em uma área de manguezal na cidade de Natal (RN), litoral leste do estado, sendo a região mais próxima do local do presente estudo. O clima local é tropical úmido, se caracteriza na classificação de Köppen-Geiger como Aw (clima de savana), com temperaturas entre 20 e 31 °C. Essa região apresenta uma estação chuvosa distribuída entre abril e julho, podendo as médias de precipitação anual atingirem cerca de 1800 mm na região costeira (Caderno, 2021).

A região de Itamaracá (PE), onde foi elaborada uma das equações, está situada também em uma zona de clima tropical úmido tipo Ams', segundo a classificação de Köppen (1948), marcado por um padrão de temperaturas quentes e alta presença de umidade. As chuvas estão distribuídas entre as estações de outono e inverno, compreendendo o período entre os finais dos meses de março e setembro. A precipitação pluviométrica média é de 2000 mm anuais, e apresenta temperatura média anual de 24,0°C (Albuquerque, 2009).

Já a região da Guiana Francesa, onde foi feita outra equação para a qual foi aplicado para as espécies de *A. germinans* (Fromard *et al.*, 1998), apresenta também características ambientais semelhantes aos manguezais brasileiros (Prost; Rabelo, 1996), pois geograficamente está situado na mesma faixa costeira no norte da América do Sul. Embora os manguezais franco-guianenses façam parte do regime climático amazônico, diferente ao da região de estudo que é semiárida, ainda sim optou-se em utilizar uma equação alométrica desse local por questões de proximidade geográfica e disponibilidade de equação alométrica específica para *A. germinans*.

As equações foram aplicadas considerando duas situações, ou seja, duas perspectivas. A Situação 1 (S1) considera as equações de Medeiros & Sampaio (2008) para as *R. mangle* e *L. racemosa*, juntamente com as equações de Fromard *et al.* (1998) para a *A. germinans*. A Situação 2 (S2) considera as equações de Ferreira *et al.* (2015) para as *R. mangle* e *L. racemosa*, acompanhado também das equações

de Fromard *et al.* (1998) para a *A. germinans* (ver Quadro 1). O intuito desse procedimento tem o propósito de se obter duas estimativas de biomassa e estoque de carbono ao invés de somente um resultado.

Quadro 1 - Versões da aplicação das equações

Situação 1	Situação 2
Medeiros & Sampaio (2008) para Rm e Lr	Ferreira <i>et al.</i> (2015) para Rm e Lr
+	+
Fromard <i>et al.</i> (1998) para Ag	Fromard <i>et al.</i> (1998) para Ag

As siglas Rm, Lr e Ag simbolizam as espécies *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* e *Avicennia germinans*, respectivamente. Fonte: elaborado pela autora (2023).

Para os dados de DAP proveniente do estudo de Oliveira (2022), foram aplicadas as equações alométricas de Fromard *et al.* (1998) para *A. germinans*, a qual foi a única espécie encontrada nos registros das áreas amostrais do estudo mencionado.

Após a determinação da biomassa, essa foi convertida em valor de teor de carbono por meio da multiplicação do fator de conversão de 0,44 (Rodrigues *et al.* 2015), ideal para manguezais brasileiros.

#### 4.4 Análises estatísticas

A análise estatística dos dados para as características das áreas amostrais (A, B e C), tanto em biomassa quanto em estoque de carbono, foi feita por meio da estatística descritiva de mediana e intervalo interquartil. Após testar a normalidade dos dados com o teste de Shapiro-Wilk, optou-se por apresentar os resultados em mediana e amplitude interquartil, pois não foi encontrada normalidade. Foi usado o teste de Kruskal-Wallis, comparável ao ANOVA *one way*, para verificar a diferença entre as variáveis biomassa e estoque de carbono nos grupos amostrais. O programa SPSS (*Statistical Package for Social Science*) para Windows, versão 18.0, foi utilizado para realização da análise estatística e, somente os dados secundários para a análise da variação temporal de estoque de carbono, provenientes do trabalho de Oliveira (2022), foi utilizado o programa PAST (*Paleontological Statistics*). Nele também foram

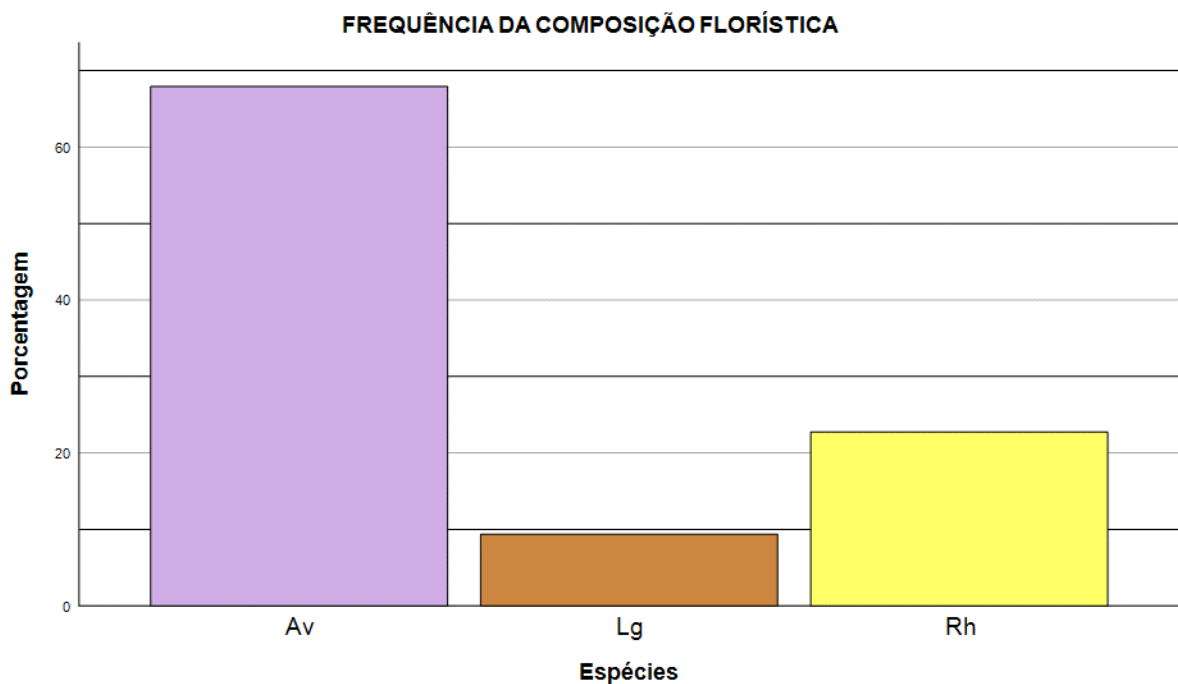
feitos testes de Kruskal-Wallis, já que os dados não apresentaram normalidade e nem homogeneidade de variância, e teve como post hoc o teste de Dunn com correção de Bonferroni. Ademais, obteve-se também a estatística descritiva de mediana e intervalo interquartil. Por fim, considerou-se o valor de  $p < 0,05$  como estatisticamente significativo.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Composição florística e características

Um total de 3 espécies foram registradas nas áreas amostrais, sendo elas *Rhizophora mangle*, *Laguncularia racemosa* e *Avicennia germinans*, pertencentes a 3 famílias e 3 gêneros. Ao todo, 427 indivíduos a partir de 1 cm de diâmetro foram listados nas 15 parcelas (de 5 x 5 m cada) das três áreas. Dentre os indivíduos, 67,9% eram da espécie *A. germinans*, que foi predominante quantitativamente, enquanto as outras espécies tiveram 22,7% e 9,4% para a *R. mangle* e a *L. racemosa*, respectivamente (Figura 10).

Figura 10 - Gráfico de barra da composição florística da área amostral total



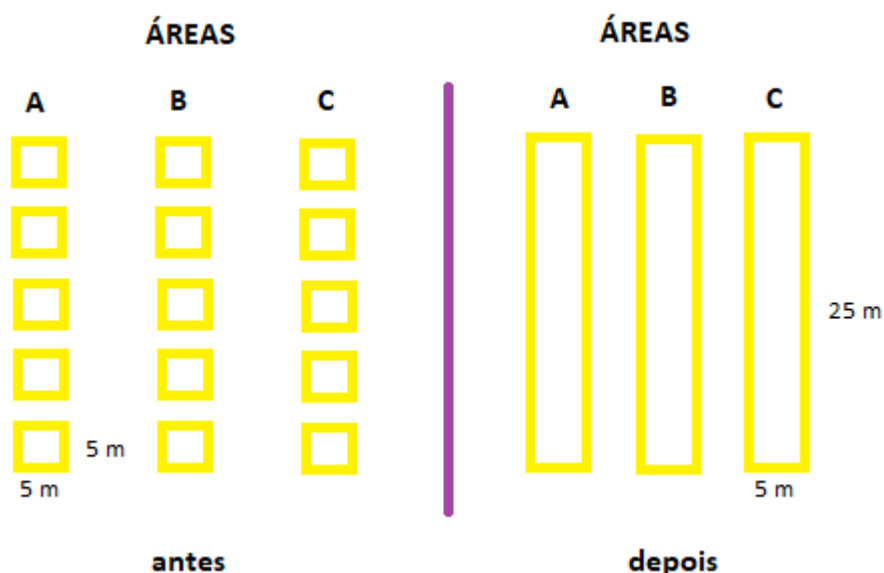
Fonte: elaborado pela autora (2023).

O diâmetro das árvores amostrais variou de 1 cm a 20 cm com diâmetro médio de  $3,76 \pm 3,53$  cm. Entre as três espécies, a *R. mangle* apresentou o maior valor de DAP com 20 cm e média de  $7,42 \pm 4,75$  cm. O menor valor de diâmetro foi registrado na espécie *A. germinans* com 1 cm, com média de  $2,19 \pm 1,27$  cm, referente as plantas de mangue da área em recuperação. A espécie *L. racemosa* apresentou mínimo de 1,05 cm e máximo de 14,90 cm, com média de  $6,28 \pm 3,21$  cm.

## 5.2 Biomassa acima do solo (AGB)

Seguindo as recomendações metodológicas de Howard *et al.* (2014), para cada área (A, B e C), somou-se todos os indivíduos (árvores) de cada quadrante, como também, somou-se todos os quadrantes de uma área considerando-se em apenas uma só parcela de 125 m<sup>2</sup>. Em cada área, foi obtido um valor total de biomassa para simplificação da estimativa da biomassa (Figuras 11).

Figura 11 - Esquema da unificação dos quadrantes em parcelas de 125 m<sup>2</sup> para cada área

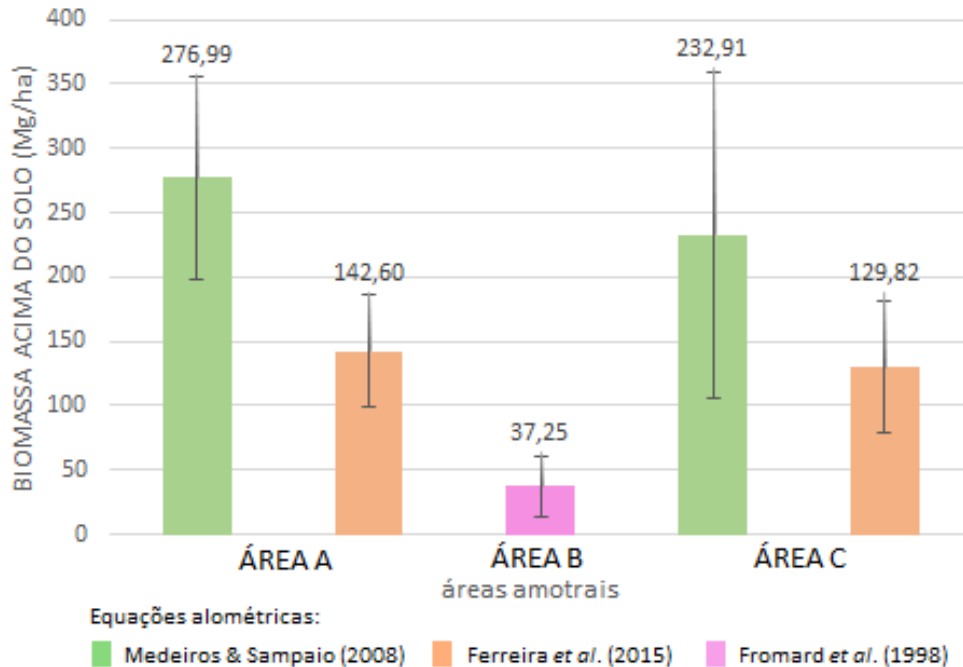


Fonte: elaborada pela autora (2023).

A parcela da Área A, possuindo apenas espécies de *R. mangle* e *L. racemosa*, apresentou média de  $276,99 \pm 79,63$  Mg/ha, para a equação de Medeiros & Sampaio (2008), e  $142,60 \pm 43,72$  Mg/ha, para a equação de Ferreira *et al.* (2015), de biomassa acima do solo. A AGB da Área B mostrou valores baixos com média de

37,25 ± 23,10 Mg/ha utilizando a equação de Fromard *et al.* (1998) para as *A. germinans* exclusivas da área. Enquanto a Área C, onde registrou-se apenas as espécies de *R. mangle* e *L. racemosa*, apresentou valores de biomassa média de 232,91 ± 126,46 Mg/ha, para a equação de Medeiros & Sampaio (2008), e 129,82 ± 51,14 Mg/ha, para a equação de Ferreira *et al.* (2015) (Figura 12).

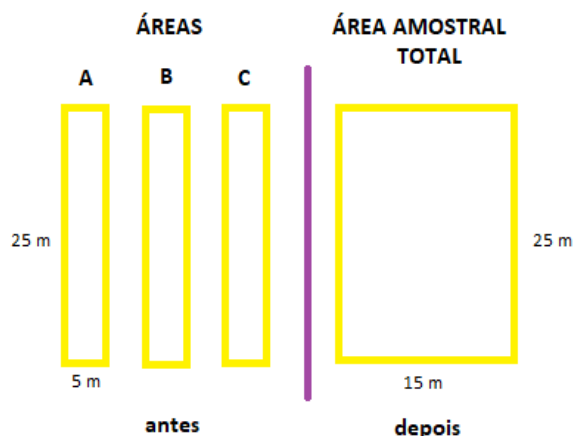
Figura 12 - Estimativa de AGB para as áreas amostrais do manguezal da APA do Rio Pacoti/CE



Fonte: elaborado pela autora (2023).

Posteriormente, houve a determinação da quantidade média de biomassa da área amostral total considerando a junção das três parcelas (de 125 m<sup>2</sup> ou 0,0125 ha cada) em apenas uma (375 m<sup>2</sup> ou 0,0375 ha) (Figura 13). O cálculo se deu somando a biomassa (Mg/ha) total de cada parcela e dividindo pela quantidade de parcelas (3), com isso obteve-se a média e o desvio padrão (ver Tabela 3). A determinação dessa média ocorreu para as duas situações pontuadas acima no Quadro 1.

Figura 13 - Esquema da unificação das parcelas amostrais de 125 m<sup>2</sup> para 375 m<sup>2</sup> de área amostral total



Fonte: elaborada pela autora (2023).

Tabela 3 - Estimativa média da AGB com desvio padrão

<b>Biomassa Acima do Solo (Mg/ha) da APA do Rio Pacoti/CE</b>	
<b>Situação 1</b>	<b>Situação 2</b>
182,39 ± 127,61	103,23 ± 57,49

Fonte: elaborado pela autora (2023).

### 5.2.1 Comparação de biomassa entre as áreas amostrais

A comparação das áreas amostrais entre si mostrou que houve uma diferença significativa de biomassa acima do solo (AGB). A Área A foi a que apresentou o maior valor de biomassa, tanto para a Situação 1 (equações de Medeiros & Sampaio, 2008 e Fromard *et al.*, 1998) como para a Situação 2 (equações de Ferreira *et al.*, 2015 e Fromard *et al.* 1998), com mediana de 1,36 Mg/ha (AI: 6,62) e 0,92 Mg/ha (AI: 3,32), respectivamente. A Área B apresentou valores bem baixos se comparado com as demais, sendo na S1 a mediana de 0,05 Mg/ha [Amplitude Interquartil (AI): 0,08] e na S2 de 0,94 Mg/ha (AI: 1,78) de AGB. Essa grande diferença se dá pelo fato dessa área conter um bosque de mangue jovem (exclusivamente de *A. germinans*) de mais ou menos 5 anos de idade em fase de crescimento. Já a Área C, apresentou valores próximos da primeira área, com mediana de 1,25 Mg/ha (AI: 2,71) para S1 e 0,94 Mg/ha (AI: 1,78) para a S2 (Figura 14 e 15).

Figura 14 - Box plot da biomassa acima do solo na S1

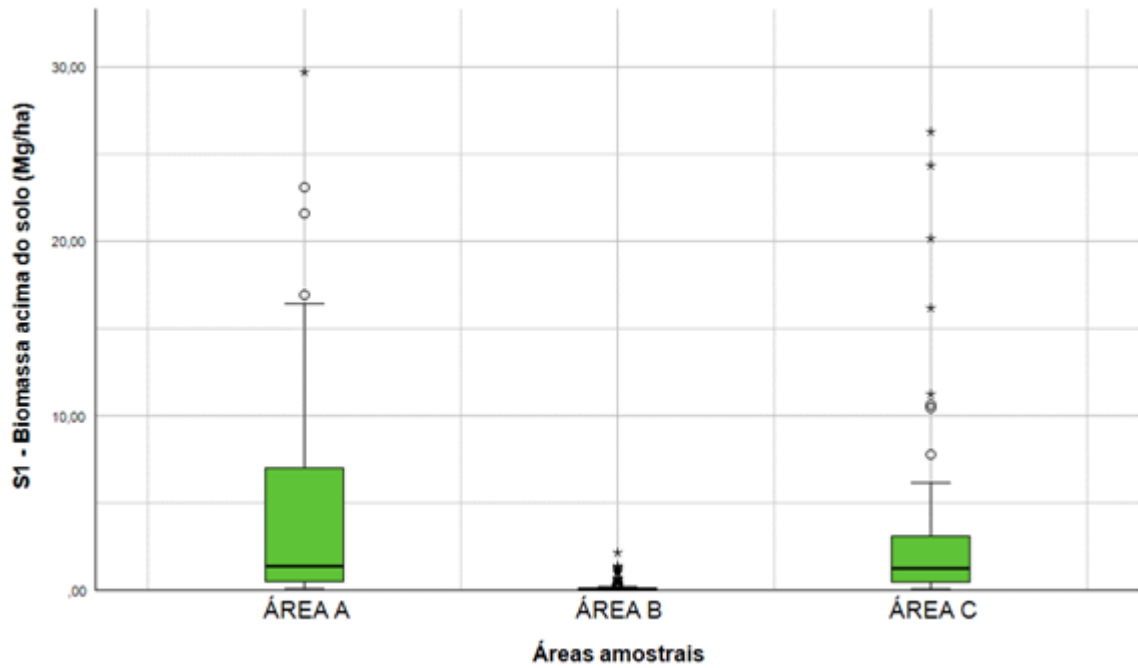
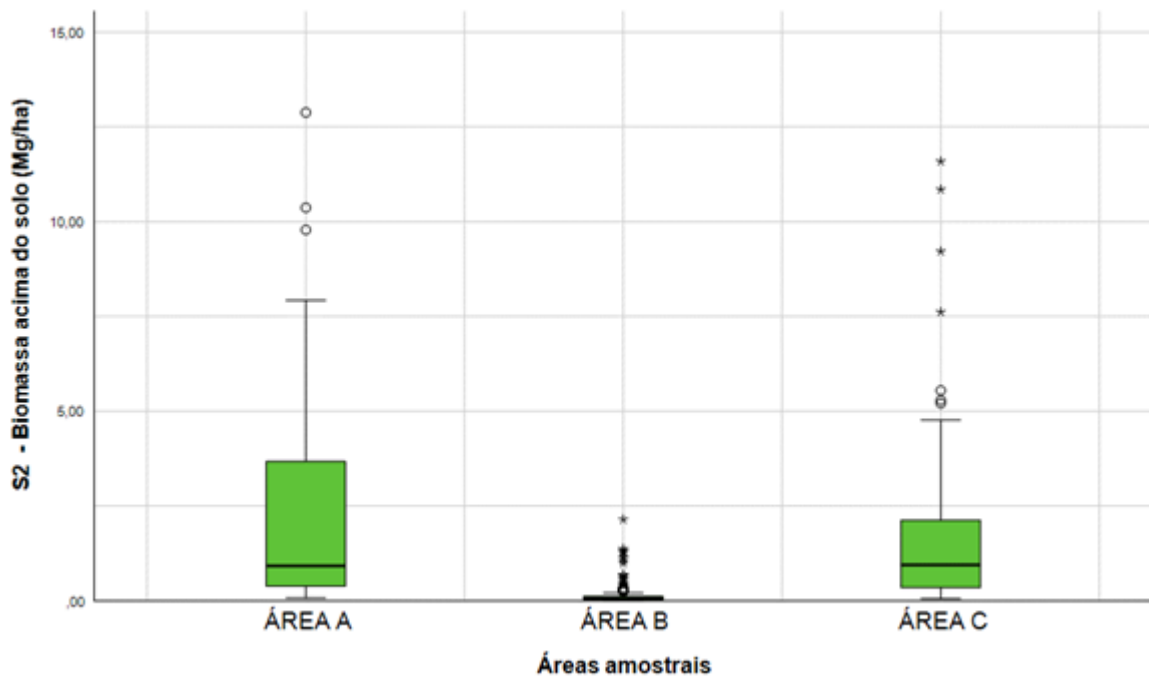


Figura 15 - Box plot da biomassa acima do solo na S2



Os testes de Kruskal-Wallis mostraram que há diferenças entre as medianas das áreas amostrais para as duas situações, sendo que a Área B foi o grupo que apresentou diferenças estatisticamente significativas  $\{[X^2 (2) = 224,615; p < 0,001]$

e [ $X^2(2) = 217,768$ ;  $p < 0,001$ ]. As Áreas A e C não apresentaram diferenças estatisticamente significativas (Tabelas 4 e 5). O intervalo de confiança foi definido em 0,95 (95%).

Tabela 4 - Comparação da biomassa na S1 entre as áreas amostrais por meio do teste de Kruskal-Wallis

<b>Comparações por Método Pairwise da Biomassa na S1 por Áreas</b>					
<b>Amostra 1 - Amostra 2</b>	<b>Estatística de teste</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>Estatística de Teste Padrão</b>	<b>Sig.</b>	<b>Adj. Sig.<sup>a</sup></b>
<b>ÁREA B - ÁREA C</b>	-189,559	15,981	-11,862	<,001	0,000
<b>ÁREA B - ÁREA A</b>	195,187	17,378	11,232	<,001	0,000
<b>ÁREA C - ÁREA A</b>	5,628	21,277	0,265	0,791	1,000

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é 0,050. a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Tabela 5 - Comparação da biomassa na S2 entre as áreas amostrais por meio do teste de Kruskal-Wallis

<b>Comparações por Método Pairwise da Biomassa na S2 por Áreas</b>					
<b>Amostra 1- Amostra 2</b>	<b>Estatística de teste</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>Estatística de Teste Padrão</b>	<b>Sig.</b>	<b>Adj. Sig.<sup>a</sup></b>
<b>ÁREA B - ÁREA C</b>	-186,861	15,981	-11,693	<,001	0,000
<b>ÁREA B - ÁREA A</b>	191,937	17,378	11,045	<,001	0,000
<b>ÁREA C - ÁREA A</b>	5,077	21,277	0,239	0,811	1,000

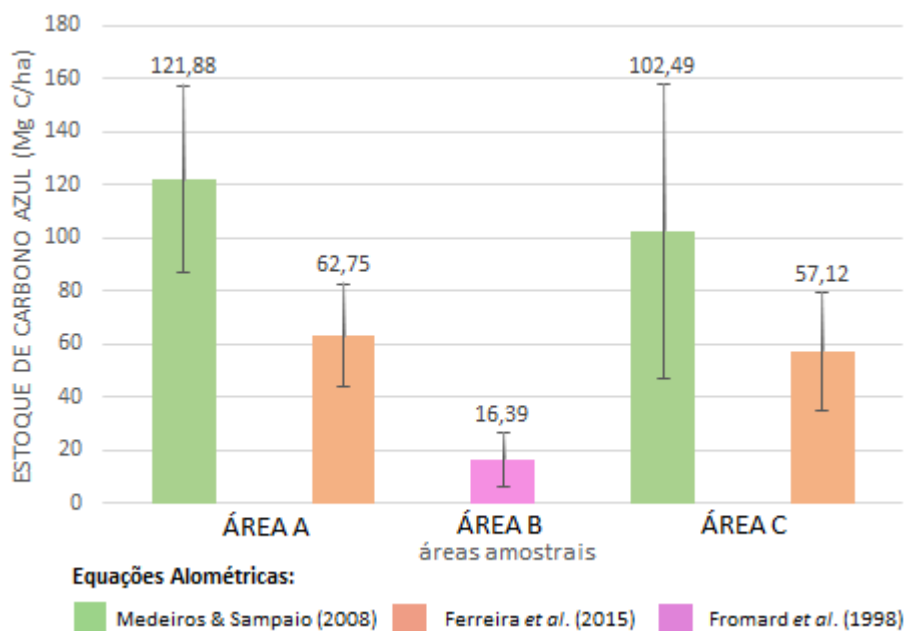
Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é 0,50. a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

### 5.3 Estoque de carbono na vegetação

A parcela da Área A, que contém *R. mangle* e *L. racemosa*, apresentou estoque médio de carbono de  $121,88 \pm 35,04$  Mg C/ha, para a equação de Medeiros & Sampaio (2008), e  $62,75 \pm 19,24$  Mg C/ha, para a equação de Ferreira *et al.* (2015). O armazenamento da Área B mostrou valores baixos com média de  $16,39 \pm 10,17$  Mg C/ha utilizando apenas a equação de Fromard *et al.* (1998) para as *A. germinans*

registradas nessa área. Já a Área C, que contém também apenas *R. mangle* e *L. racemosa*, apresentou valores médio de estoque de carbono de  $102,49 \pm 55,64$  Mg C/ha, para a equação de Medeiros & Sampaio (2008), e  $57,12 \pm 22,50$  Mg C/ha, para a equação de Ferreira *et al.* (2015) (ver Figura 16).

Figura 16 - Estimativa do estoque de carbono azul para as áreas amostrais da APA do Rio Pacoti/CE



Fonte: elaborado pela autora (2023).

Determinou-se a quantidade média do estoque de carbono da área amostral total considerando a junção das três parcelas (de 125 m<sup>2</sup> ou 0,0125 ha cada) em apenas uma (375 m<sup>2</sup> ou 0,0375 ha). O cálculo se deu somando o estoque de carbono (Mg C/ha) total de cada parcela e dividindo pela quantidade de parcelas (3), com isso obteve-se a média e o desvio padrão (ver Tabela 6). A determinação dessa média ocorreu para as duas situações pontuadas acima na Tabela 2.

Tabela 6 - Estimativa média do estoque de carbono e desvio padrão

<b>Estoque de Carbono Azul da Biomassa Acima do Solo (Mg C/ha) da APA do Rio Pacoti/CE</b>	
<b>Situação 1</b>	<b>Situação 2</b>
$80,25 \pm 56,15$	$45,42 \pm 25,30$

Fonte: elaborado pela autora (2023).

Considerando que a APA do Rio Pacoti possui 430 ha de vegetação de manguezal (Barbosa *et al.*, 2016), multiplicou-se as médias por esse valor da área total de floresta de mangue e obteve-se a estimativa do estoque total de carbono da biomassa acima do solo em  $34.506,68 \pm 10,05$  Mg C (na S1) e  $19.529,35 \pm 7,21$  Mg C (na S2) (Tabela 7).

Tabela 7 – Estimativa do estoque de carbono para os 430ha de floresta de mangue (AGB) da APA do Rio Pacoti/CE

	<b>Estoque médio de carbono (Mg C/ha)</b>	<b>Estoque total de carbono da floresta de mangue (Mg C)</b>
<b>Situação 1</b>	80,25 ± 56,15	34.506,68 ± 10,05
<b>Situação 2</b>	45,42 ± 25,30	19.529,35 ± 7,21

Fonte: elaborado pela autora (2023).

### 5.3.1 Comparação de estoque de carbono entre as áreas amostrais

Assim como a biomassa, houve diferença na quantificação de carbono orgânico entre as áreas amostrais quando comparadas (Figuras 17 e 18). A Área A apresentou o maior valor em estoque de carbono nas duas Situações (S1 e S2) com a mediana de 0,60 Mg C/ha (AI: 2,91) e 0,40 Mg C/ha (AI: 1,46), respectivamente. A Área B para a S1 apresentou valores bem baixos para carbono estocado em comparação com as demais áreas, com mediana de 0,02 Mg C/ha (AI: 0,04) para a S1 e S2. Enquanto a Área C, se manteve semelhante a Área A, com mediana de 0,55 Mg C/ha (AI: 1,19) para a S1 e 0,41 Mg C/ha (AI: 0,78) para a S2.

Figura 17 - Box plot do estoque de carbono na biomassa acima do solo na S1

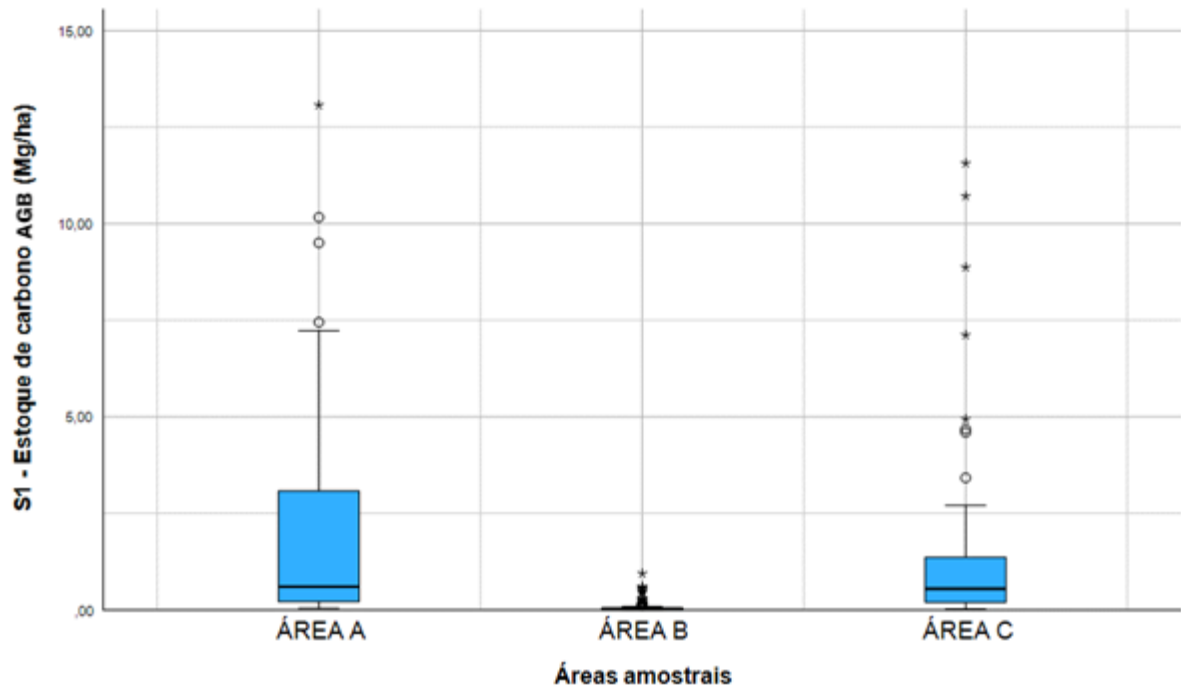
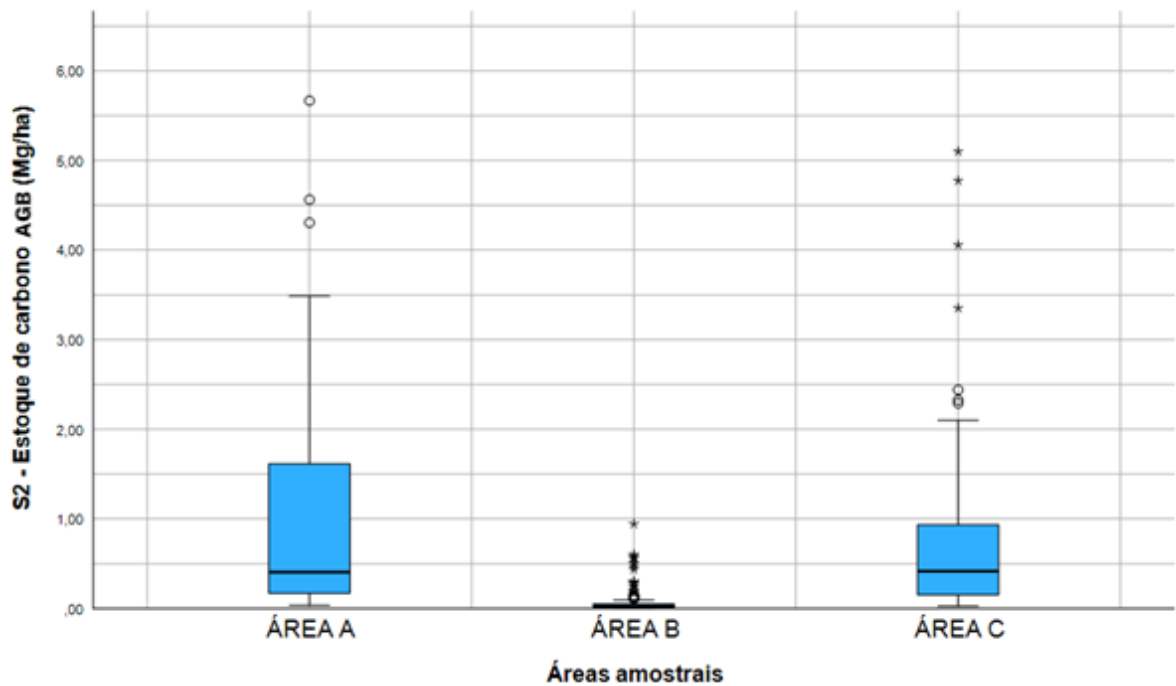


Figura 18 - Box plot do estoque de carbono na biomassa acima do solo na S2



Os testes de Kruskal-Wallis mostraram que há diferenças entre as medianas das áreas amostrais para a variável estoque de carbono para as duas situações, sendo que a Área B foi o grupo que apresentou diferenças estatisticamente significativas {[ $X^2(2) = 224,615$ ;  $p < 0,001$ ] e [ $X^2(2) = 217,768$ ;  $p < 0,001$ ]}. As Áreas

A e C não apresentaram diferenças estatisticamente significativas (Tabelas 8 e 9). O intervalo de confiança foi definido em 0,95 (95%).

Tabela 8 - Comparação do estoque de carbono na S1 entre as áreas amostrais por meio do teste de Kruskal-Wallis

<b>Comparações por Método Pairwise do Carbono na S1 por Áreas</b>					
<b>Amostra 1 - Amostra 2</b>	<b>Estatística de teste</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>Estatística de Teste Padrão</b>	<b>Sig.</b>	<b>Adj. Sig.<sup>a</sup></b>
<b>ÁREA B - ÁREA C</b>	-189,559	15,981	-11,862	<,001	0,000
<b>ÁREA B - ÁREA A</b>	195,187	17,378	11,232	<,001	0,000
<b>ÁREA C - ÁREA A</b>	5,628	21,277	0,265	0,791	1,000

Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é 0,50. a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

Tabela 9 - Comparação do estoque de carbono na S2 entre as áreas amostrais por meio do teste de Kruskal-Wallis

<b>Comparações por Método Pairwise do Carbono na S2 por Áreas</b>					
<b>Amostra 1- Amostra 2</b>	<b>Estatística de teste</b>	<b>Erro Padrão</b>	<b>Estatística de Teste Padrão</b>	<b>Sig.</b>	<b>Adj. Sig.<sup>a</sup></b>
<b>ÁREA B - ÁREA C</b>	-186,861	15,981	-11,693	<,001	0,000
<b>ÁREA B - ÁREA A</b>	191,937	17,378	11,045	<,001	0,000
<b>ÁREA C - ÁREA A</b>	5,077	21,277	0,239	0,811	1,000

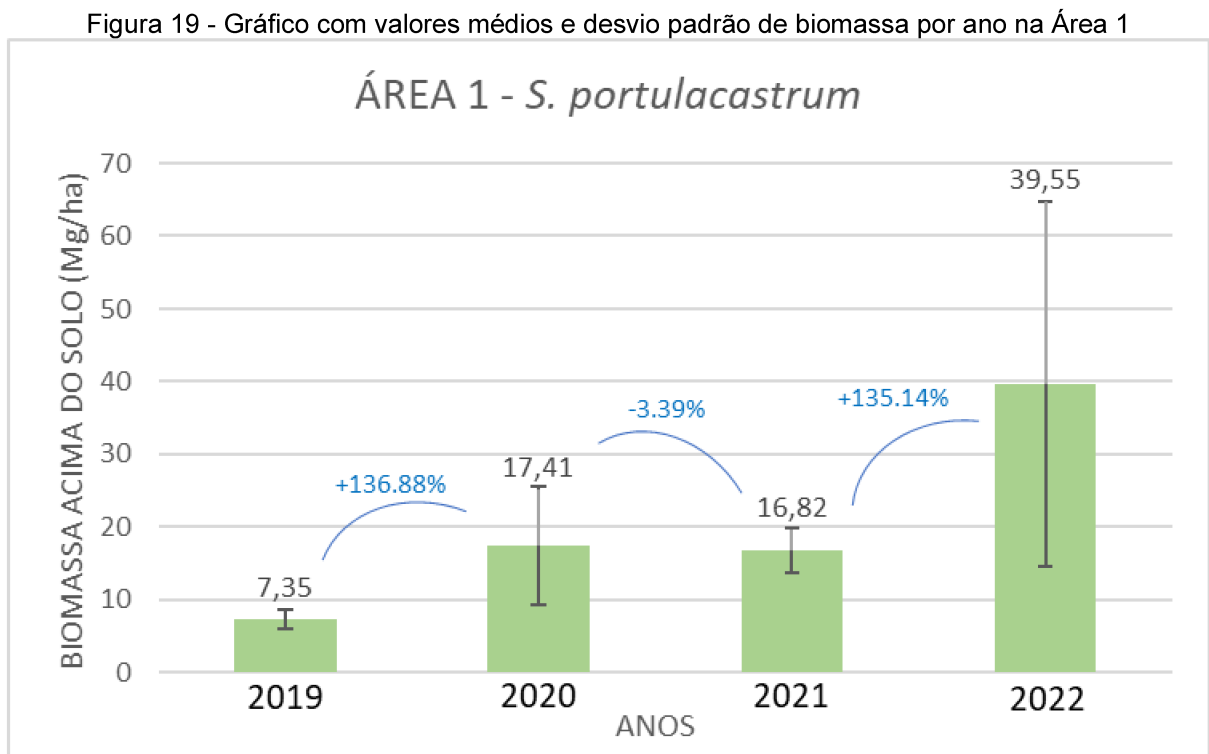
Cada linha testa a hipótese nula em que as distribuições Amostra 1 e Amostra 2 são iguais. São exibidas significâncias assintóticas (teste de 2 lados). O nível de significância é 0,50. a. Os valores de significância foram ajustados pela correção Bonferroni para vários testes.

#### **5.4 Variação temporal de biomassa na área de mangue em recuperação**

Dos dados secundários de diâmetro provenientes de Oliveira (2022), que monitorou o desenvolvimento dessa área em recuperação, somou-se todos os indivíduos (plantas de mangue) de cada quadrante e foi aplicado equações alométricas (Fromard *et al.*, 1998) para as espécies de *A. germinans* registradas para obtenção de biomassa. Vale lembrar que nessa avaliação temporal a área amostral

é dividida em três áreas (Área 1, 2 e 3), e cada uma possui cinco quadrantes de 4m<sup>2</sup> (0,0004 ha).

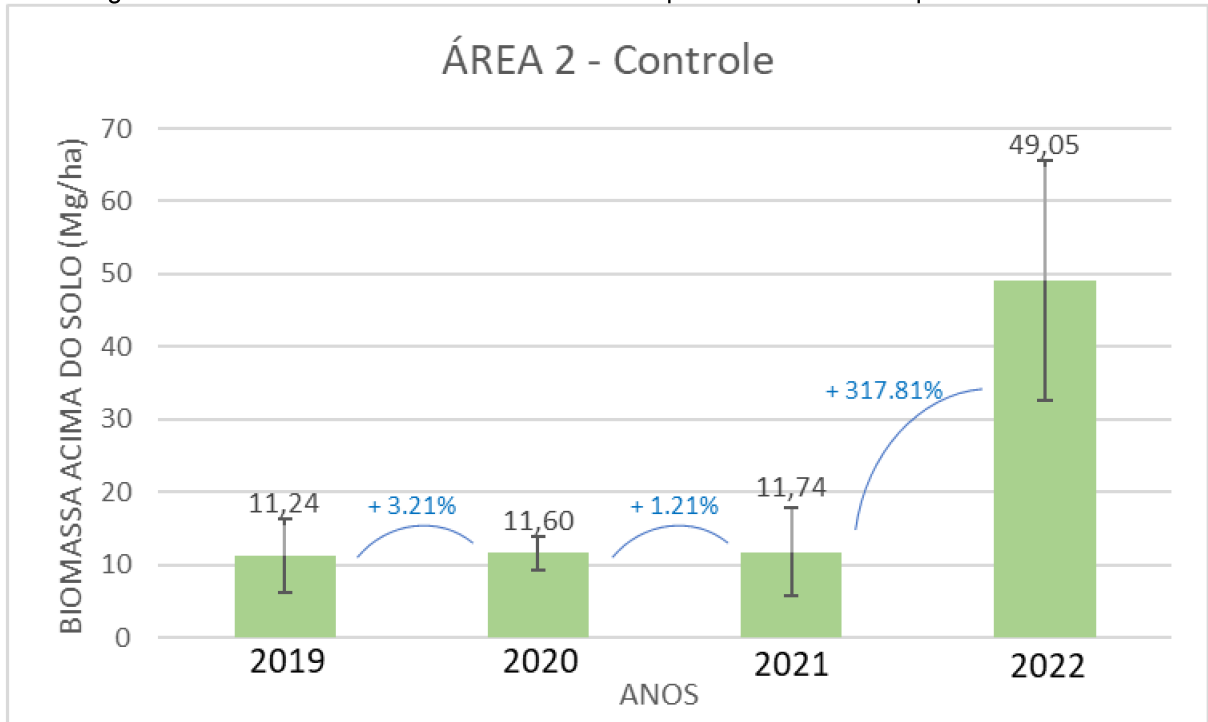
Em 2019, a parcela da Área 1 apresentou valores médios de  $7,35 \pm 1,28$  Mg/ha de biomassa. No ano de 2020, o valor praticamente dobrou para  $17,41 \pm 8,12$  Mg/ha. Já em 2021, a biomassa média obtida foi de  $16,82 \pm 3,04$  Mg/ha. Por fim, em 2022, a biomassa média foi de  $39,55 \pm 25,08$  Mg/ha para essa área (Figura 19).



Fonte: elaborado pela autora (2023).

Já na parcela da Área 2, a biomassa média foi de  $11,24 \pm 4,99$  Mg/ha no ano de 2019. Em 2020, o valor manteve-se praticamente o mesmo nível, em  $11,60 \pm 2,25$  Mg/ha. No ano seguinte (2021), a biomassa manteve-se praticamente no valor, com  $11,74 \pm 6,01$  Mg/ha. Já em 2022, a biomassa média mais que dobrou, alcançando o valor de  $49,05 \pm 16,51$  Mg/ha (Figura 20).

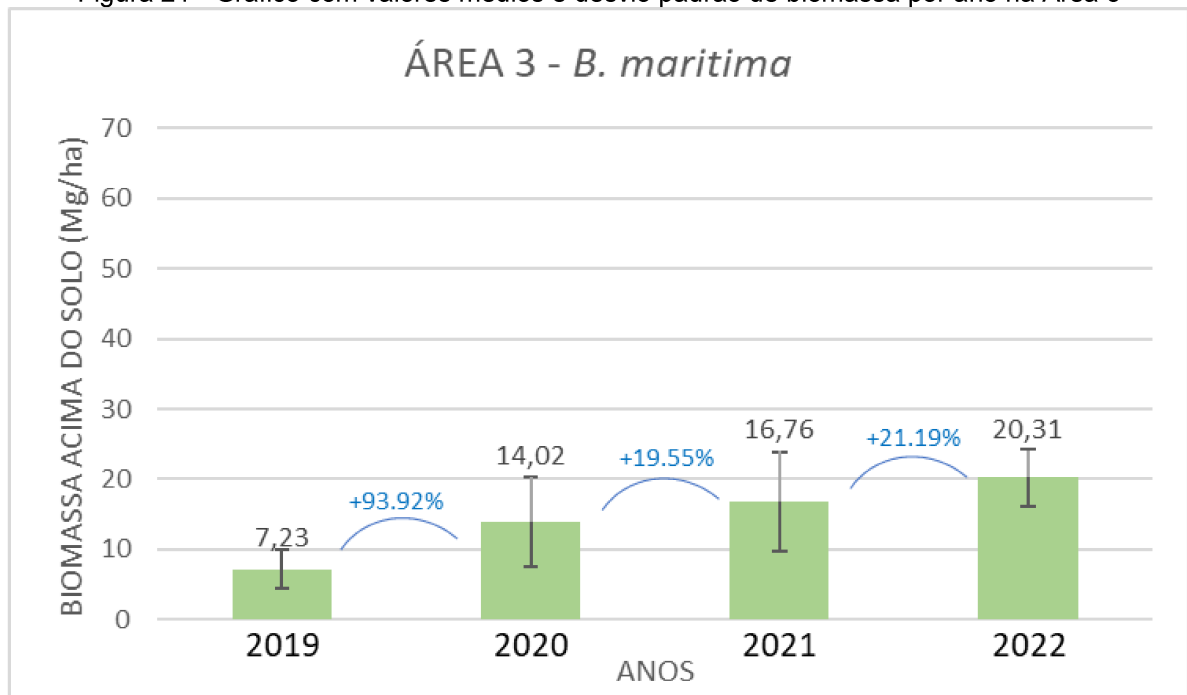
Figura 20 - Gráfico com valores médios e desvio padrão de biomassa por ano na Área 2



Fonte: elaborado pela autora (2023).

A Área 3, no ano de 2019, apresentava biomassa média de  $7,23 \pm 2,74$  Mg/ha. Em 2020, obteve-se o valor de  $14,02 \pm 6,39$  Mg/ha de biomassa. Para 2021, o valor médio foi de  $16,76 \pm 7,07$  Mg/ha. Enquanto em 2022, a biomassa apresentou resultados de  $20,31 \pm 4,07$  Mg/ha (Figura 21).

Figura 21 - Gráfico com valores médios e desvio padrão de biomassa por ano na Área 3



Fonte: elaborado pela autora (2023).

#### 5.4.1 Análises estatísticas da variação temporal de biomassa

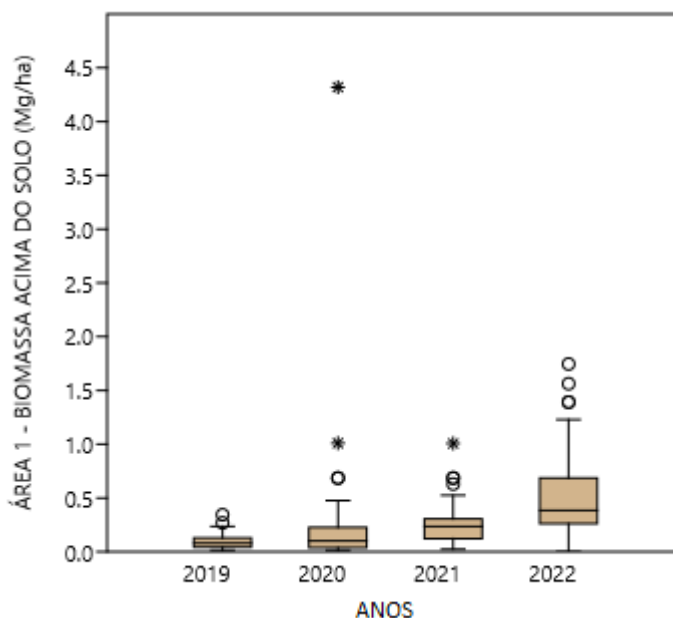
Para a Área 1, o teste de Kruskal-Wallis mostrou que há diferenças significativas entre as medianas amostrais da biomassa entre os anos de 2019 e 2022 {[ $X^2$  (3) = 92,64;  $p < 0,001$ ]. A análise de comparação múltipla mostra os períodos que diferiram significativamente entre si, com a correção de Bonferroni (Tabela 10) (Figura 22). O intervalo de confiança foi definido em 0,95 (95%).

Tabela 10 - Comparação múltipla (Dunn's post hoc) de biomassa entre os anos amostrais da Área 1

	2019	2020	2021	2022
2019		0,1269	1,258E-07	6,109E-18
2020	0,1269		0,006231	5,607E-10
2021	1,258E-07	0,006231		0,008892
2022	6,109E-18	5,607E-10	0,008892	

Fonte: elaborado pela autora (2023).

Figura 22 - Box plot da variação temporal de biomassa da Área 1



Fonte: autora (2023).

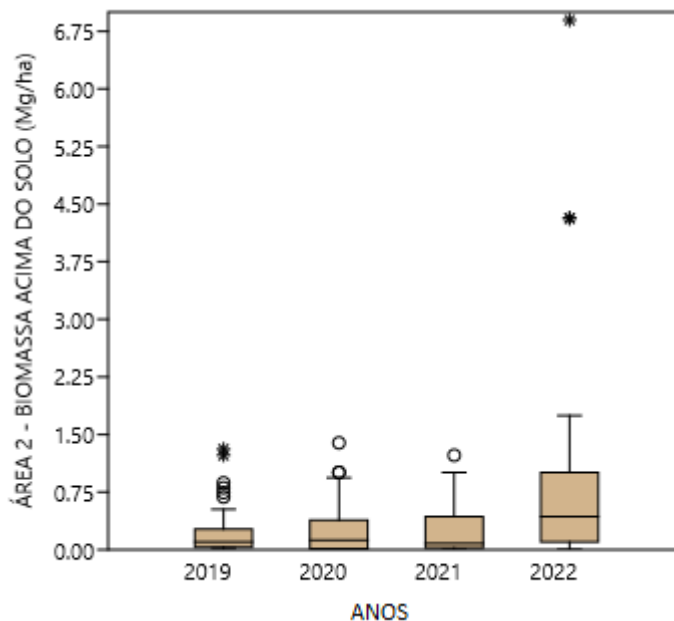
Da mesma forma, para a Área 2, o teste de Kruskal-Wallis mostrou que há diferenças significativas entre as medianas amostrais de biomassa com relação ao ano de 2022 {[ $X^2$  (3) = 23,08;  $p < 0,001$ ]. Com a correção de Bonferroni, a análise de comparação múltipla aponta as diferenças significativas (Tabela 11) (Figura 23). O intervalo de confiança foi definido em 0,95 (95%).

Tabela 11 - Comparação múltipla (Dunn's post hoc) de biomassa entre os anos amostrais da Área 2

	2019	2020	2021	2022
2019		1	1	0,007431
2020	1		1	0,001205
2021	1	1		0,0001243
2022	0,007431	0,001205	0,0001243	

Fonte: autora (2023).

Figura 23 - Box plot da variação temporal de biomassa da Área 2



Fonte: autora (2023).

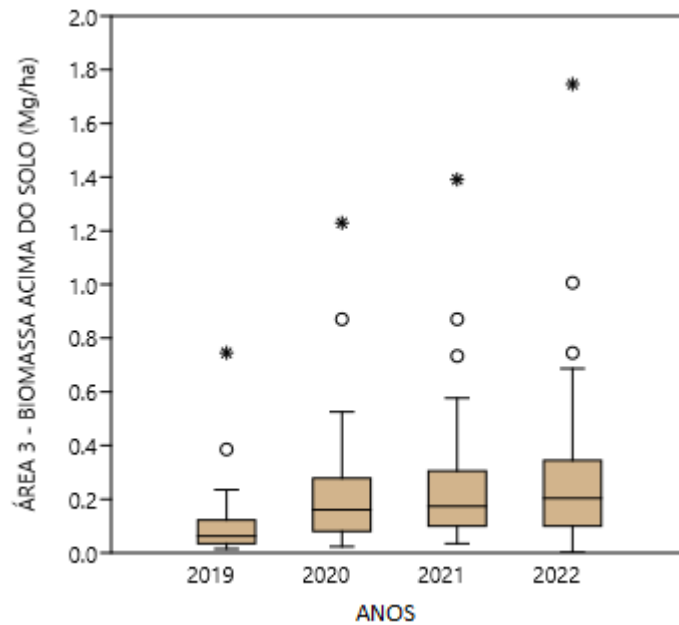
Também para a Área 3, o teste de Kruskal-Wallis indicou a existência de diferenças significativas entre a mediana dos anos analisados  $\{[X^2(3) = 53,68; p < 0,001]$ . Com a correção de Bonferroni, a análise de comparação múltipla aponta as diferenças significativas entre o ano de 2019 para com todos os outros anos posteriores (Tabela 12) (Figura 24). O intervalo de confiança foi definido em 0,95 (95%).

Tabela 12 - Comparação múltipla (Dunn's post hoc) de biomassa entre os anos amostrais da Área 3

	2019	2020	2021	2022
2019		1,465E-05	1,766E-08	2,505E-10
2020	1,465E-05		1	0,5763
2021	1,766E-08	1		1
2022	2,505E-10	0,5763	1	

Fonte: autora (2023).

Figura 24 - Box plot da variação temporal de biomassa da Área 3

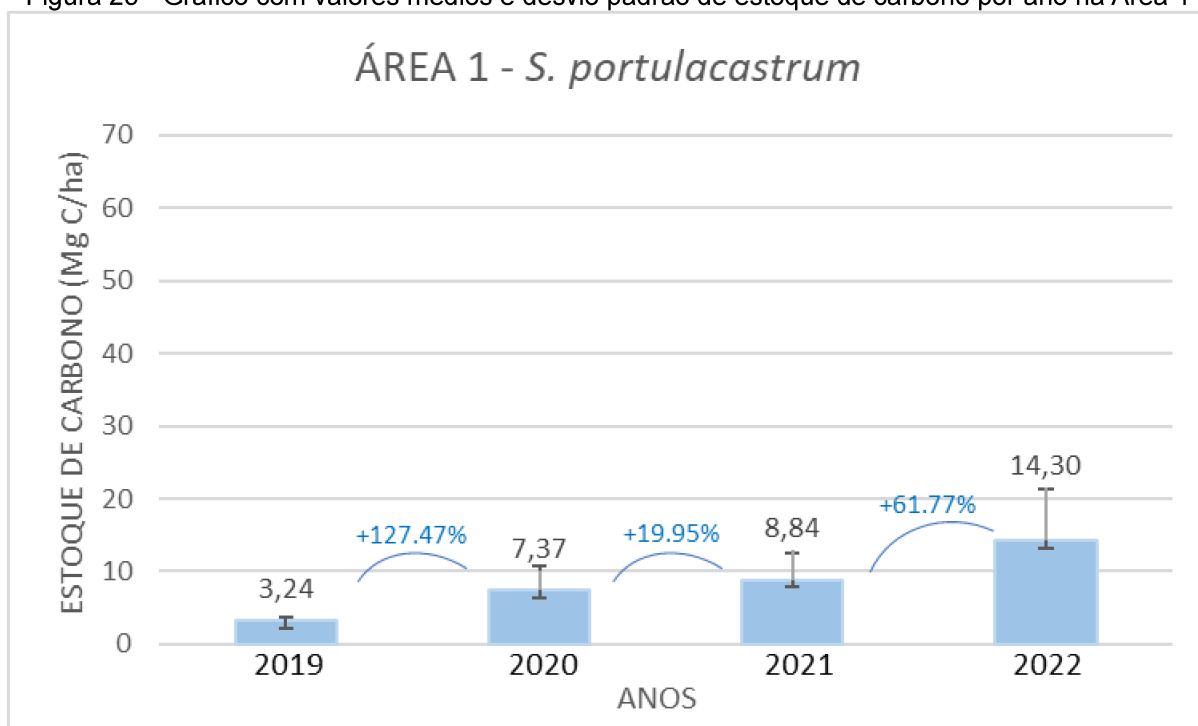


Fonte: autora (2023).

### 5.5 Variação temporal de estoque de carbono na área de mangue em recuperação

Em 2019, a Área 1 apresentou média de estoque de carbono de  $3,24 \pm 0,57$  Mg C/ha. No ano seguinte, o valor mais que dobrou para  $7,37 \pm 3,42$  Mg C/ha. Já em 2021, o armazenamento médio alterou muito pouco para  $8,84 \pm 3,78$  Mg C/ha. Enquanto em 2022, obteve-se o estoque médio de  $14,30 \pm 7,13$  Mg C/ha (Figura 25).

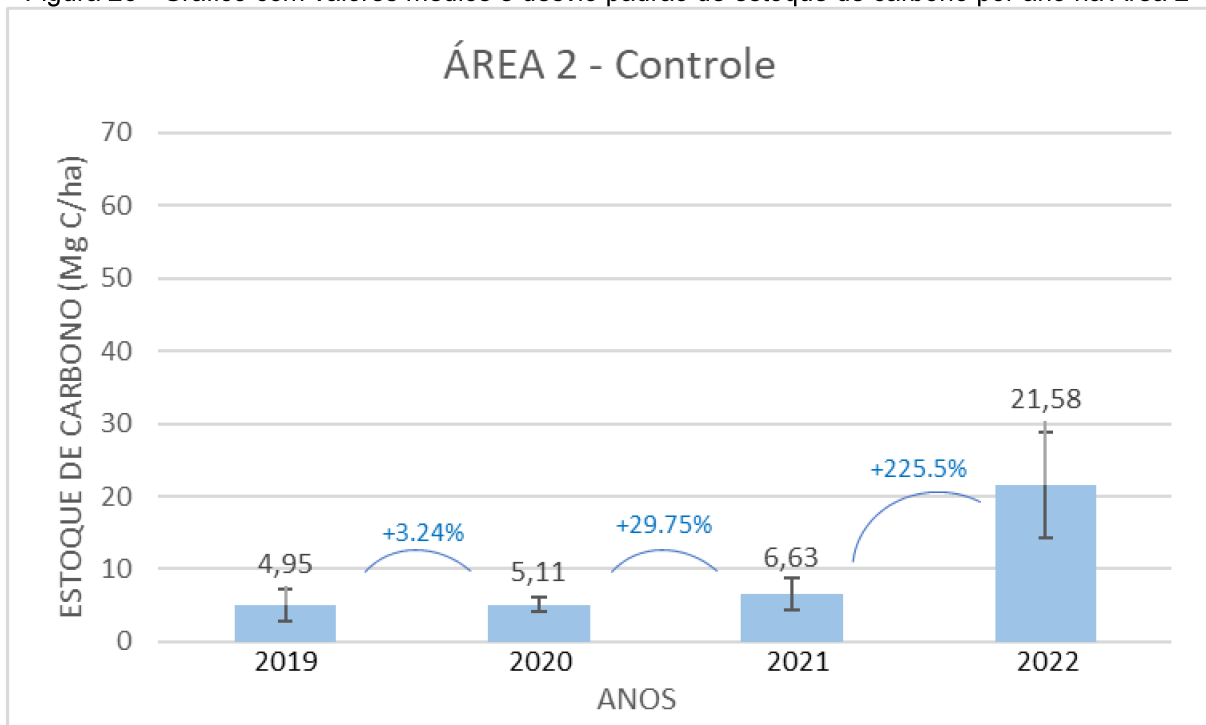
Figura 25 - Gráfico com valores médios e desvio padrão de estoque de carbono por ano na Área 1



Fonte: elaborado pela autora (2023).

Para a Área 2, o estoque médio foi de  $4,95 \pm 2,20$  Mg C/ha para o ano de 2019. Em 2020, esse valor alterou para  $5,11 \pm 0,98$  Mg C/ha. No ano seguinte, houve uma pequena alteração para  $6,63 \pm 2,26$  Mg C/ha. Enquanto em 2022, o estoque médio teve um grande aumento para  $21,58 \pm 7,27$  Mg C/ha (Figura 26).

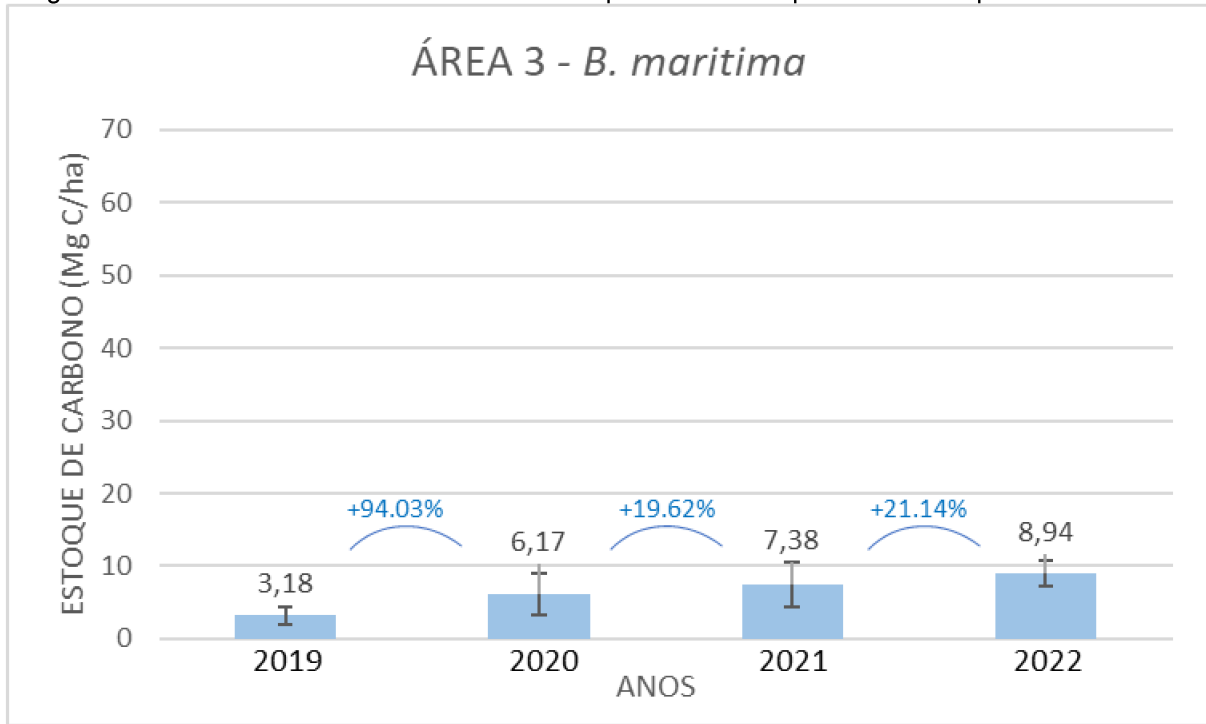
Figura 26 - Gráfico com valores médios e desvio padrão de estoque de carbono por ano na Área 2



Fonte: elaborado pela autora (2023).

A Área 3, encerrou o ano de 2019 com estoque médio de  $3,18 \pm 1,21$  Mg C/ha. Em 2020, esse valor dobrou para  $6,17 \pm 2,81$  Mg C/ha. Já em 2021, o armazenamento médio subiu para  $7,38 \pm 3,11$  Mg C/ha. Em 2022, obteve-se resultados de  $8,94 \pm 1,79$  Mg C/ha (Figura 27).

Figura 27 - Gráfico com valores médios e desvio padrão de estoque de carbono por ano na Área 3



Fonte: elaborado pela autora (2023).

### 5.5.1 Análises estatísticas da variação temporal de estoque de carbono

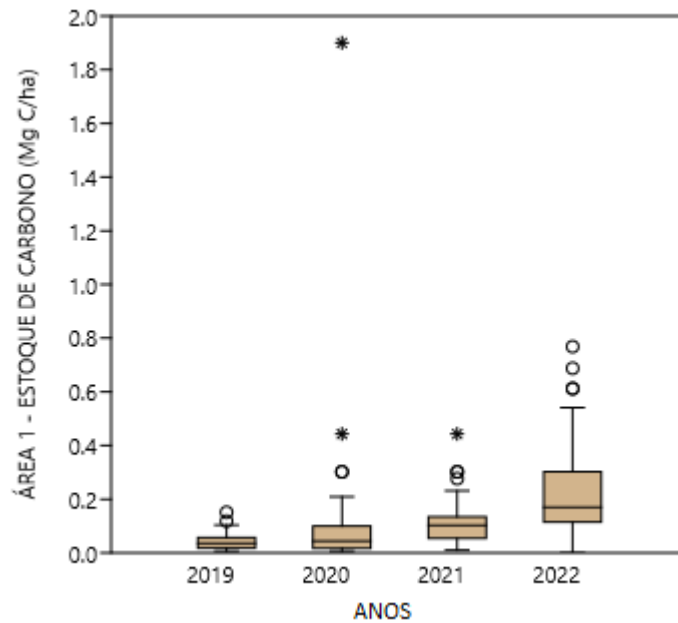
Para a Área 1, o teste de Kruskal-Wallis mostrou que há diferenças significativas entre as medianas amostrais do estoque de carbono entre alguns grupos amostrais (anos) [ $\chi^2 (3) = 92,28$ ;  $p < 0,001$ ]. A análise de comparação múltipla (post hoc de Dunn) mostra os períodos que diferiram significativamente entre si, com a correção de Bonferroni (Tabela 13) (Figura 28). O intervalo de confiança foi definido em 0,95 (95%).

Tabela 13 - Comparação múltipla de estoque de carbono entre os anos amostrais da Área 1

	2019	2020	2021	2022
2019		0,08053	4,471E-08	1,043E-18
2020	0,08053		0,005977	4,543E-10
2021	4,471E-08	0,005977		0,008305
2022	1,043E-18	4,543E-10	0,008305	

Fonte: autora (2023).

Figura 28 - Box plot da variação temporal de estoque de carbono da Área 1



Fonte: autora (2023).

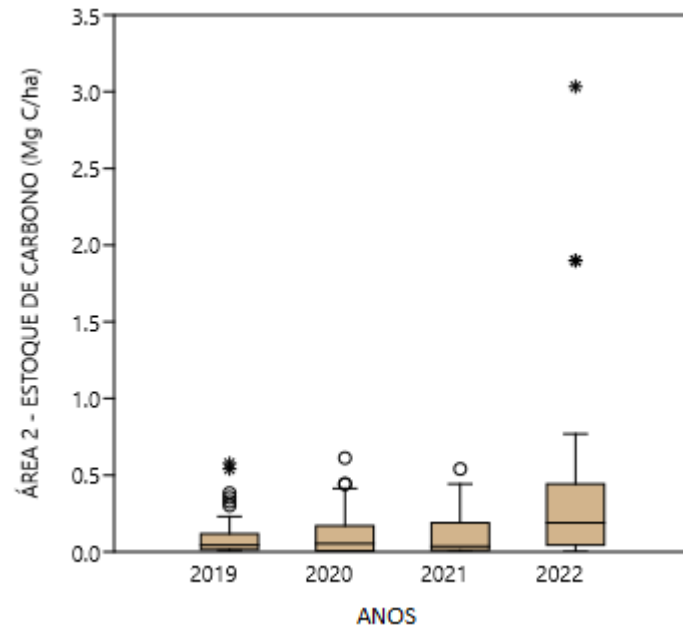
Na Área 2, o teste de Kruskal-Wallis mostrou que há diferenças significativas entre as medianas amostrais do estoque de carbono(anos) {[ $X^2$  (3) = 23,08;  $p < 0,001$ ]. A análise de comparação múltipla (post hoc de Dunn) mostra que apenas o período de 2022 se diferenciou significativamente em relação aos outros grupos, com a correção de Bonferroni (Tabela 14) (Figura 29). O intervalo de confiança foi definido em 0,95 (95%).

Tabela 14 - Comparação múltipla de estoque de carbono entre os anos amostrais da Área 2

	2019	2020	2021	2022
2019		1	1	0,007431
2020	1		1	0,001205
2021	1	1		0,0001243
2022	0,007431	0,001205	0,0001243	

Fonte: autora (2023).

Figura 29 - Box plot da variação temporal de estoque de carbono da Área 2



Fonte: autora (2023).

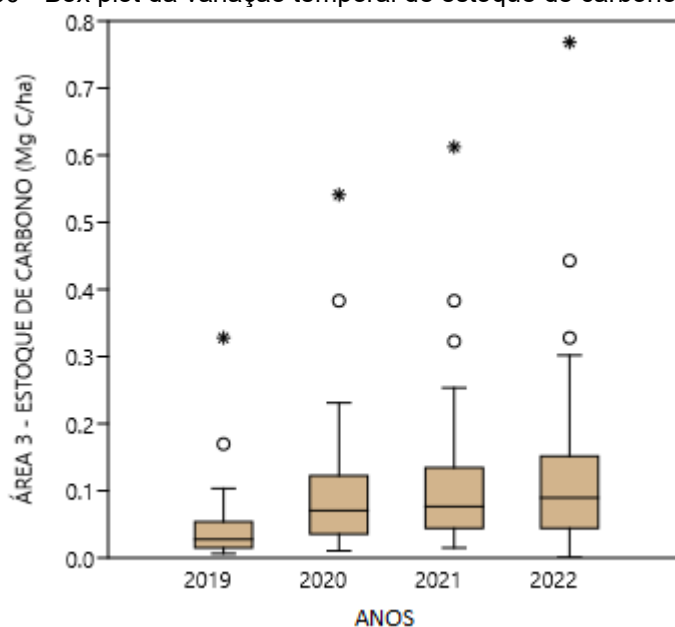
Para a Área 3, o teste de Kruskal-Wallis também mostrou que a existência de diferenças significativas entre as medianas amostrais do estoque de carbono  $\{[X^2(3) = 53,68; p < 0,001]$ . O post hoc de Dunn, com a correção de Bonferroni, mostrou que todos os anos (2019 a 2022) se diferiram entre si significativamente (Tabela 15) (Figura 30). O intervalo de confiança foi definido em 0,95 (95%).

Tabela 15 - Comparação múltipla de estoque de carbono entre os anos amostrais da Área 3

	2019	2020	2021	2022
2019		1,465E-05	1,766E-08	2,505E-10
2020	1,465E-05		1	0,5763
2021	1,766E-08	1		1
2022	2,505E-10	0,5763	1	

Fonte: autora (2023).

Figura 30 - Box plot da variação temporal de estoque de carbono da Área 3



Fonte: autora (2023).

## 5.6 Potencial de emissão de CO<sub>2</sub>

Considerando os valores de estoque total de carbono orgânico para a APA do Rio Pacoti, pode-se estimar também um valor de CO<sub>2</sub> equivalente multiplicando o valor de carbono total da área pelo fator de conversão de 3,67 (Howard *et al.*, 2014). Para a Situação 1, em que o estoque total é estimado em 34.506,68 Mg C, o dióxido de carbono equivalente foi de 126.639,50 Mg CO<sub>2</sub>. Enquanto na Situação 2, em que o estoque total foi estimado em 19.529,35 Mg C, o resultado foi de 71.672,72 Mg CO<sub>2</sub> (ver Tabela 16). Levanto em conta a crescente perda de áreas de manguezal, destaca-se que a floresta de mangue da APA do Rio Pacoti pode ser uma fonte significativa de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, caso esse ambiente passe por perdas de área/biomassa.

Tabela 16 - Estimativa de Potencial de CO<sub>2</sub> equivalente da floresta de mangue da APA do Rio Pacoti

	<b>Carbono Azul Total (Mg C)</b>	<b>CO<sub>2</sub> equivalente (Mg CO<sub>2</sub>)</b>
<b>Situação 1</b>	34.506,68	126.639,50
<b>Situação 2</b>	19.529,35	71.672,72

Fonte: elaborado pela autora (2023).

## 6 DISCUSSÃO

Os resultados da composição florística mostram que houve predominância quantitativa da espécie *A. germinans* (67,9%) sobre outras espécies. A alta densidade desse mangue, como também os menores valores de DAP apresentados, podem ser explicados por essa espécie ter sido amplamente registrada na área amostral onde há um bosque juvenil de árvores de baixo porte em processo de sucessão ecológica. À medida que a sucessão ocorre, o número de indivíduos diminui com o aumento do porte das árvores que competem e causam o sombreamento dos indivíduos menores. Assim, para que alguns indivíduos alcancem o diâmetro máximo, é provável que outras árvores juvenis morram liberando o espaço para que as remanescentes ocupem. Este processo de redução da densidade já é amplamente conhecido, e deve-se à competição das copas por espaço e ao desenvolvimento do sistema radicular (Schaeffer-Novelli & Cintrón, 1986).

Quanto as áreas preservadas (A e C), foram observados valores altos de biomassa, sendo esse resultado já esperado devido a presença de bosques com mangues mais maduros e antigos, conseqüentemente com maior biomassa. Apenas a área B, que representa o bosque em recuperação, obteve-se os menores valores de biomassa devido nessa área predominar apenas mangues jovens com DAP entre 1 e 10 cm e, quanto menor for o diâmetro das árvores, menor será o valor da biomassa, e vice-versa.

As médias com os desvios padrões para as duas situações (S1 e S2), mostram que as equações entregam resultados um pouco diferentes em termos quantitativos. Neste caso, deve-se ressaltar as características ambientais de cada

lugar em que foram feitas essas equações alométricas, pois podem influenciar nos resultados. As equações de Medeiros e Sampaio (2008) foram feitas em um manguezal localizado no litoral de Pernambuco, que apresenta um clima tropical úmido com precipitação média anual de 2000 mm. Enquanto a equação de Ferreira *et al.* (2015), foi realizada em um manguezal na capital do Rio Grande do Norte, litoral leste do estado, que apresenta características climáticas semelhantes, porém com médias de precipitações menores em torno de 1800 mm.

De acordo com Krauss *et al.* (2006), fatores como a taxa pluviométrica e evapotranspiração são uns dos que influenciam no crescimento das árvores. Segundo ele, há uma relação positiva entre pluviosidade e taxa de crescimento de mangue, e que extremos de temperatura reduzem o desenvolvimento dela. Com isso, deduz que os mangues pernambucanos são mais robustos que os do Rio Grande do Norte por motivos de altas taxas pluviais distribuídas em um maior período de tempo. Enquanto os mangues de Natal, são um pouco menos desenvolvidos diante das taxas menores de pluviosidade e maiores de evapotranspiração. Logo, conforme essa explicação, a equação feita por Medeiros e Sampaio (2008) pode entregar valores maiores de biomassa em comparação com a equação de Ferreira *et al.* (2015). No entanto, como ainda não existe nenhuma equação própria para os manguezais semiáridos cearenses, a utilização de equações alométricas de locais semelhantes e próximos são ideais e podem sanar a falta de informação de biomassa e carbono, mostrando valores aproximados do valor real.

A comparação entre as áreas amostrais (A, B e C) indica o impacto negativo causado pelo funcionamento de uma salina há décadas no local. Tanto a área A e C, que são áreas preservadas com árvores maduras, apresentaram valores próximos de biomassa e estoque de carbono. No entanto, a área B, que representa o bosque de mangue que começou a se desenvolver em 2017, possui valores mais baixos. Essa comparação nos dá noção, em termos quantitativos, do impacto da salina que impediu a colonização natural de mangue na área mesmo após desativada, já que não houve nenhuma ação de recuperação ambiental por parte dos responsáveis. Ademais, esse bosque juvenil levará um certo tempo até atingir o seu máximo desenvolvimento e alcançar o mesmo nível de estoque que as demais áreas preservadas. Com isso, esse exemplo contribui para o argumento de que a perda de ecossistemas de manguezais pode representar um impacto negativo no balanço de carbono do mundo.

Os valores médios totais de estoque de carbono da biomassa vegetal desse presente estudo ( $80,25 \pm 56,15$  e  $45,42 \pm 25,30$  Mg C/ha) se assemelham a outros trabalhos realizados em vários locais do mundo. Por exemplo, temos os valores de Radabaugh *et al.* (2018) para uma floresta de manguezal em Tampa Bay, Flórida, EUA, com resultados em torno de 40,74 Mg C/ha para AGB. Guerra Santos *et al.* (2014) obteve valores médios de armazenamento de carbono de  $92,38 \pm 7,92$  Mg C/ha para um bosque de mangue, na Península de Atasta, em Campeche, México. Essa região possui semelhanças com a do presente estudo, sendo composta das mesmas espécies de mangue e apresenta médias de precipitação anual parecidas, com 1680 mm, o que pode influenciar na semelhança dos resultados.

Em um manguezal semiárido no noroeste da Austrália, foi estimado valores de biomassa e carbono, para espécies típicas dessa região, usando sensoriamento remoto e equações alométricas para comparação. Os resultados para as duas metodologias foram aproximadamente iguais, sem diferença significativa, com média de 35 Mg C/ha de estoque de carbono. Comparando com os resultados deste presente trabalho na Situação 2 (45,42 Mg C/ha), percebe que os valores se assemelham mesmo sendo bosques de espécies de mangues diferentes, porém compartilham semelhanças climáticas de semiaridez e médias pluviométricas baixas (Hickey *et al.*, 2018).

Chatting *et al.* (2020), em um manguezal árido do Qatar, relataram valores de estoque de carbono de 10,18 Mg C/ha. Nesse caso, percebe-se uma grande diferença ao comparar com os valores da APA do Rio Pacoti, porém isso se deve ao fato da Península Arábica ser uma região de clima bastante extremo que apresenta condições estressantes com hipersalinidade (34-67) e baixos índices pluviométricos que afetam o desenvolvimento vegetal e de produtividade e, conseqüentemente, de estoque de carbono.

Na região norte do Brasil, relata-se valores de estoque de teor de carbono da biomassa acima do solo em 145 Mg C/ha (Kauffman *et al.*, 2018a). Manguezais amazônicos possuem maior biomassa mediante a localização favorável próximo à linha do Equador onde o desenvolvimento estrutural dos manguezais é máximo, combinado com as temperaturas elevadas e constantes, altas amplitudes de maré e elevada pluviosidade (Lima & Tognella, 2012).

Medeiros e Sampaio (2008), encontraram valores de biomassa acima do solo em 105 Mg/ha para os mangues de Itamaracá, Pernambuco. Utilizando o mesmo

fator de conversão aplicado neste presente estudo (0,44), estima-se que desse valor de biomassa relatado 46,20 Mg C/ha seja de carbono orgânico, semelhante com um dos resultados encontrados para a APA do Rio Pacoti (Situação 2).

Outro relato bem próximo, é o de Kauffman *et al.* (2018b) que quantificou o armazenamento de carbono nos manguezais semiáridos da bacia hidrográfica do Acaraú e do Jaguaribe, todos no Ceará. Os valores médios apontam estoque de carbono das árvores acima do solo em 70 Mg C/ha. Ao comparar com o valor obtido para a Situação 1, vemos que os resultados se assemelham.

Em relação aos resultados da variação temporal de AGB e carbono relacionadas às herbáceas na área em recuperação (itens 5.4 e 5.5), percebe-se uma variação no aumento gradual de cada local (Área 1, 2 e 3). Segundo Oliveira (2022), que analisa as influências das herbáceas com as espécies de *A. germinans*, aponta que houve sim uma facilitação pelas mesmas no quesito densidade ao recrutar indivíduos novos do que a área Controle, sendo a área com *S. portulacastrum* (Área 1) a que apresentou valores maiores do ranking. Vale ressaltar que as herbáceas atuaram nas áreas amostrais até 2020, logo depois elas deixaram de existir (sucessão ecológica).

Na área de *S. portulacastrum* (Área 1), houve um aumento robusto de biomassa e carbono entre todos os anos, exceto entre 2020 e 2021 em que se nota uma pequena queda de valores apenas para biomassa (-3,39%). Nesse período, as herbáceas pioneira tinham começado a se retirar das parcelas, e nessa área houve um decréscimo de densidade de *A. germinans*, enquanto nas outras (Áreas 2 e 3) a densidade havia aumentado (Oliveira, 2022). Outro fato que deve ser considerado é a morte de algumas plantas dessa área durante esse período. Durante a organização dos dados, percebeu-se a falta de alguns elementos de diâmetro no ano de 2021, dando a entender que algumas plantas haviam morrido nessa época. Contudo, mesmo com uma pequena perda de biomassa essa área apresentou uma boa variação tanto de biomassa como de carbono ao longo do tempo.

Porém, apenas para a área Controle (Área 2), nota-se poucos acréscimos durante a variação temporal entre 2019/2020 (acrécimo de 3,21% para biomassa e 3,24% para carbono), e 2020/2021 (acrécimo de 1,21% para biomassa e 29,75% para carbono), e em seguida, obtém-se um salto de 2021 para 2022 (acrécimo de 317,81% para biomassa e 225,50% para carbono). Nas análises estatísticas, pode-se ver que só houve diferenças entre o ano de 2022 para com os anos anteriores. Oliveira

(2022) explica que no período de 2021 e 2022, as plantas de *A. germinans* da Área 2 (Controle) passaram a ter maiores médias de taxa de crescimento, mesmo que discreta, do que as outras áreas, podendo esse comportamento estar relacionado com um efeito tardio das chuvas intensas que houve na época. Em uma análise de observação das taxas de crescimento em relação à densidade, a autora aponta as diferenças de acordo com as áreas. Enquanto nas áreas em que as herbáceas atuaram, que são as que apresentam maiores médias de densidade, a taxa de crescimento não foi facilitada com muita densidade de plantas de mangue, ou seja, que quanto maior a densidade mais lento é a taxa de crescimento numa área. Com isso, pode-se indicar que deve existir um limite “ótimo” entre densidade e taxa de crescimento.

Já com a área de *B. maritima* (Área 3), nota-se aumento leve e gradual entre todos os anos para biomassa e teor de carbono. Houve diferenças estatísticas somente entre o ano de 2019 para com os anos seguintes, que não diferiram entre si. Segundo Oliveira (2022), a herbácea *B. maritima* só parece facilitar no início da colonização quando as plantas estão menores e a densidade é intermediária. Nas áreas relacionadas a essa herbácea, o crescimento foi mais lento devido a existência de competição das plantas maiores com as vizinhas por nutrientes, já que é uma área que apresentou maiores quantidades de matéria orgânica no solo. Além disso, como já mencionado anteriormente, ao atingir um determinado nível de densidade de plantas em uma área, as taxas de crescimento tendem a “frear” um pouco, mantendo uma certa estabilidade.

Suprayogi *et al.* (2022), estimaram por meio de duas equações alométricas o estoque de carbono na vegetação de manguezais restaurados na costa norte de Sumatra, na Indonésia, no intervalo de 2 a 30 anos. Em 2 anos, o carbono estimado era de 2,9 e 3,7 Mg C/ha, que é semelhante aos resultados desta presente pesquisa para o ano de 2019, quando o bosque de *A. germinans* já tinha aproximadamente dois anos de idade. Em 4 anos, os autores registraram 21,4 e 20,6 Mg C/ha; em 6 anos esse estoque já se apresentava em 22,2 e 19,6 Mg C/ha. Resultados como esse não são tão distantes dos que foram apresentados neste trabalho. Vale destacar que os manguezais da região do Indo-pacífico são mais robustos e desenvolvidos mediante aos diversos fatores ambientais locais que proporcionam um excelente desenvolvimento, com isso é de se esperar que os valores sejam um pouco maiores em comparação com a área em recuperação da APA do Rio Pacoti.

Assim, pode-se dizer que a porção de bosque de mangue juvenil, em processo de recuperação ecológica, apresenta baixos valores de biomassa e estoque de carbono quando comparadas com as suas áreas preservadas adjacentes. Dessa forma, supõe-se que caso essa área não tivesse sido degradada há décadas pela salina, provavelmente ela teria os mesmos níveis de estoque de carbono das áreas naturais. Felizmente, a área degradada vem se recuperando, tendo como comprovação a variação temporal de estoque de carbono na biomassa vegetal que gradualmente tem aumentado, como também pode-se ver (em observações de campo) o retorno de diversos grupos faunísticos. Em geral, o manguezal da APA do Rio Pacoti, apesar de estar inserido em um regime climático de semiárido, possui uma quantidade significativa de estoque de carbono azul. Por isso, os resultados apresentados contribuem para preencher lacunas existentes na falta de informação sobre estoque de carbono de manguezais brasileiros. Ademais, informações como essas podem fortalecer a preservação dos manguezais, já que atuam como sumidouros de carbono, e incentivar a recuperação de outros manguezais degradados, como também, pode ajudar a nortear gestores políticos em tomadas de decisões referentes à mitigação das mudanças climáticas.

## 7 CONCLUSÕES

Com base nos resultados, mesmo sendo um manguezal inserido em condições de semiaridez, o mangue da APA do Rio Pacoti tem potencial de sequestrar e armazenar uma elevada quantidade de carbono. As áreas com bosques de mangue preservados estocam uma quantidade significativa de carbono, sem mencionar a quantidade armazenada em outros compartimentos desse ecossistema. Verificou-se que as parcelas de árvores mais antigas e preservadas apresentaram maiores valores de AGB, enquanto a parcela em recuperação, com associação predominante de *A. germinans*, apresentou valores menores devido ser um bosque jovem ainda em desenvolvimento. Em um possível cenário de desmatamento de toda floresta de manguezal dessa unidade de conservação, quantidades elevadas de dióxido de carbono equivalentes seriam emitidas, contribuindo ainda mais com o agravamento do aquecimento global.

A variação temporal de biomassa e carbono azul do bosque de mangue juvenil, apontam que a recuperação dessa área vem sendo bem sucedida. Agora resta somente esperar que o bosque em desenvolvimento atinja o seu porte arbóreo máximo para que, à medida que for crescendo, capture e armazene mais carbono e que também cumpra outras funções ecológicas.

Por fim, as informações da presente pesquisa trazem informações relevantes sobre carbono azul em manguezais brasileiros, e servem de apoio a decisões políticas de conservação e mitigação da crise climática vivida atualmente. Os manguezais, além de serem importantes para vários organismos faunísticos e comunidades tradicionais, que sobrevivem dos recursos encontrados nesse ambiente, são também uma solução natural para atenuar as mudanças climáticas como um excelente sumidouro de carbono. Logo, esse fato contribui para o fortalecimento da conservação desse tipo de ecossistema e incentiva a criação de mais projetos de recuperação de manguezais degradados. Certamente, é urgente a necessidade de adoção de medidas que visem o equilíbrio ecológico do planeta, para que dessa forma possa-se garantir boas condições de sobrevivência para todas as formas de vida na Terra.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABINO, A. C.; CASTILLO, J. A. A.; LEE, Y. J. Assessment of species diversity, biomass and carbon sequestration potential of a natural mangrove stand in Samar, the Philippines. **Forest science and technology**, v. 10, n. 1, p. 2-8, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/21580103.2013.814593>. Acesso em: 7 set. 2023.

ALBUQUERQUE, J. L. **Caracterização morfodinâmica e vulnerabilidade à erosão do litoral leste da ilha de Itamaracá – PE**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/6429>. Acesso em: 2 out. 2023.

ALONGI, D. M. Carbon cycling and storage in mangrove forests. **Annual review of marine science**, v. 6, p. 195-219, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135020>. Acesso em 14 jun. 2023.

ALONGI, D. M. Present state and future of the world's mangrove forests. **Environmental conservation**, v. 29, n. 3, p. 331-349, 2002. Disponível em: [https://www.cambridge.org/core/journals/environmental-conservation/article/abs/present-state-and-future-of-the-worlds-mangrove-forests/0E3D6B0DF6EE2E9DBD48582964AD492A?utm\\_campaign=shareaholic&utm\\_medium=copy\\_link&utm\\_source=bookmark](https://www.cambridge.org/core/journals/environmental-conservation/article/abs/present-state-and-future-of-the-worlds-mangrove-forests/0E3D6B0DF6EE2E9DBD48582964AD492A?utm_campaign=shareaholic&utm_medium=copy_link&utm_source=bookmark). Acesso em: 3 jul. 2023.

BARBOSA, L. N.; LIMA, V. G. F.; FARIAS, J. F.; SILVA, E. V. da. Evolução espaço-temporal da vegetação de mangue no estuário do Rio Pacoti/Ceará. **Revista Geonorte**, v. 7, n. 26, p. 144–159. 2016. Disponível em: [//periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2764](http://periodicos.ufam.edu.br/index.php/revista-geonorte/article/view/2764). Acesso: 29 set. 2023.

BAUTISTA-OLIVAS, A. L. *et al.* Above-ground biomass and carbon sequestration in mangroves in the arid area of the northwest of Mexico: Bahía del Tóbari and Estero El Sargento, Sonora. **Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente**, v. 24, n. 3, p. 387-403, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2018.02.020>. Acesso em: 4 nov. 2023.

BELOTO, Natalia *et al.* Blue carbon stock heterogeneity in Brazilian mangrove forests: A systematic review. **Marine Pollution Bulletin**, v. 197, p. 115694, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115694>. Acesso em: 5 nov. 2023.

BOYSEN-JENSEN, P.; STATION, C. D. B. **Studies concerning the organic matter of the sea bottom**. 1915.

CARDENO de caracterização: Estado do Rio Grande do Norte / organizadores, Renan Loureiro Xavier Nascimento, Camilo Cavalcante de Souza, Marcos Antonio das Neves de Oliveira – Brasília, DF: Codevasf, 2021. 118 p. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/acesso-a-informacao/institucional/biblioteca-geral-do-rocha/publicacoes/outras-publicacoes/caderno-de-caracterizacao-estado-do-rio-grande-do-norte.pdf>. Acesso em 13. ago. 2023.

CEARÁ. Decreto nº 25.778, de 15 de fevereiro de 2000. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental (APA) do Rio Pacoti nos municípios de Fortaleza, Eusébio e Aquiraz, e dá outras providências. **Diário Oficial do Estado**, série 2, ano III, n.º 34, caderno ½. Fortaleza: editoração SEAD, 17/02/2000.

CHATTING, M. *et al.* Mangrove carbon stocks and biomass partitioning in an extreme environment. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 244, p. 106940, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2020.106940>. Acesso em: 14 nov. 2023.

COSTA, M. D. P.; MACREADIE, P. I. The evolution of blue carbon science. **Wetlands**, v. 42, n. 8, p. 109, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13157-022-01628-5>. Acesso em: 18 out. 2023.

CUSACK, M. *et al.* Organic carbon sequestration and storage in vegetated coastal habitats along the western coast of the Arabian Gulf. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 7, p. 074007, 2018. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aac899/meta>. Acesso em: 27 mai. 2023.

DE OLIVEIRA, M. *et al.* Biomassa e estoques de carbono em diferentes sistemas florestais no sul do Brasil. **Perspectiva**, Erechim. v. 40, n.149, p. 09-20, 2016. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Tanise-Sausen/publication/303932606\\_Biomass\\_and\\_carbon\\_stocks\\_in\\_different\\_forest\\_systems\\_in\\_southern\\_Brazil/links/575ec92008aec91374b404b7/Biomass-and-carbon-stocks-in-different-forest-systems-in-southern-Brazil.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Tanise-Sausen/publication/303932606_Biomass_and_carbon_stocks_in_different_forest_systems_in_southern_Brazil/links/575ec92008aec91374b404b7/Biomass-and-carbon-stocks-in-different-forest-systems-in-southern-Brazil.pdf). Acesso em: 30 out. 2023.

DNH. Tábuas de marés, Centro de Hidrografia da Marinha, Marinha do Brasil. 2023. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare>. Acesso em: 3 mai. 2023.

DONATO, D. C. *et al.* Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. **Nature geoscience**, v. 4, n. 5, p. 293-297, 2011.

DUKE, N. C. *et al.* A world without mangroves?. **Science**, v. 317, n. 5834, p. 41-42, 2007. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/science.317.5834.41b>. Acesso em: 25 out. 2023.

EUSOP, M. E. M.; ISMAIL, M. H.; KASIM, M. R. M. Estimating aboveground biomass and carbon stocks of mangrove forests in Kuala Sepetang, Perak. **The Malaysian Forester**, v. 81, n. 2, p. 145-153, 2018.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2007. *The world's mangroves 1980–2005*. FAO Forestry Paper 153. Rome, Italy: FAO. Disponível em: <http://www.fao.org/forestry/mangrove/3643/en/>. Acesso em: 2 set. 2023.

FATOYINBO, T. *et al.* Estimating mangrove aboveground biomass from airborne LiDAR data: a case study from the Zambezi River delta. **Environmental Research**

**Letters**, v. 13, n. 2, p. 025012, 2018. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aa9f03/meta>. Acesso em 10 ago. 2023.

FERREIRA, A. C.; BEZERRA, L. E. A.; MATTHEWS-CASCON, H. Aboveground carbon stock in a restored neotropical mangrove: influence of management and brachyuran crab assemblage. **Wetlands Ecology and Management**, v. 27, p. 223-242, 2019. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11273-019-09654-7>. Acesso em: 13 mai. 2023.

FERREIRA, A. C. *et al.* Mangrove Recovery in Semiarid Coast Shows Increase of Ecological Processes from Biotic and Abiotic Drivers in Response to Hydrological Restoration. **Wetlands**, v. 42, n. 7, p. 80, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13157-022-01603-0>. Acesso em: 10 ago. 2023.

FERREIRA, A. C.; GANADE, G.; DE ATTAYDE, J. L. Restoration versus natural regeneration in a neotropical mangrove: effects on plant biomass and crab communities. **Ocean & Coastal Management**, v. 110, p. 38-45, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.03.006>. Acesso em: 10 ago. 2023.

FERREIRA, A. C.; LACERDA, L. D. Degradation and conservation of Brazilian mangroves, status and perspectives. **Ocean & Coastal Management**, v. 125, p. 38-46, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2016.03.011>. Acesso em: 12 ago. 2023.

FROMARD, F. *et al.* Structure, above-ground biomass and dynamics of mangrove ecosystems: new data from French Guiana. **Oecologia**, v. 115, n. 1-2, p. 39-53, 1998. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s004420050489>. Acesso em: 3 mai. 2023.

GAO, Y. *et al.* New insight into global blue carbon estimation under human activity in land-sea interaction area: A case study of China. **Earth-Science Reviews**, v. 159, p. 36-46, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.05.003>. Acesso em: 12 jun. 2023.

GIBBS, H. K. *et al.* Monitoring and estimating tropical forest carbon stocks: making REDD a reality. **Environmental research letters**, v. 2, n. 4, p. 045023, 2007. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/2/4/045023/meta>. Acesso em: 22 jul. 2023.

GOMES, L. E. O. *et al.* Ecosystem carbon losses following a climate-induced mangrove mortality in Brazil. **Journal of Environmental Management**, v. 297, p. 113381, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113381>. Acesso em: 25 jul. 2023.

GORAYEB, A.; SILVA, E. V.; MEIRELES, A. J. A. Impactos Ambientais e Propostas de Manejo Sustentável para a Planície Flúvio-Marinha do Rio Pacoti - Fortaleza/Ceará. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 33, n. 17, p. 143-152, 2005. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/3213/321327187011.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2023.

GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ - SECRETARIA DO PLANEJAMENTO E GESTÃO (SEPLAG) - Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE). Perfil básico municipal de Aquiraz. 2009. Disponível em: [https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Aquiraz\\_2009.pdf](https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Aquiraz_2009.pdf). Acesso em: 10 jun. 2023.

GUERRA-SANTOS, J. J. *et al.* Estimation of the carbon pool in soil and above-ground biomass within mangrove forests in Southeast Mexico using allometric equations. **Journal of Forestry Research**, v. 25, n. 1, p. 129-134, 2014. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11676-014-0437-2>. Acesso em: 22 ago. 2023.

HAMILTON, S. E.; FRIESS, D. A. Global carbon stocks and potential emissions due to mangrove deforestation from 2000 to 2012. **Nature Climate Change**, v. 8, n. 3, p. 240-244, 2018. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41558-018-0090-4>. Acesso em: 25 set. 2023.

HARISHMA, K. M.; SANDEEP, S.; SREEKUMAR, V. B. Biomass and carbon stocks in mangrove ecosystems of Kerala, southwest coast of India. **Ecological Processes**, v. 9, n. 1, p. 1-9, 2020. Disponível em: <https://ecologicalprocesses.springeropen.com/articles/10.1186/s13717-020-00227-8>. Acesso em: 4 set. 2023.

HICKEY, S. M. *et al.* Spatial complexities in aboveground carbon stocks of a semi-arid mangrove community: A remote sensing height-biomass-carbon approach. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 200, p. 194-201, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.11.004>. Acesso em: 3 nov. 2023.

HOWARD, J. *et al.* Coastal blue carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses. 2014.

IBGE, Coordenação de Recursos Naturais; IBGE. Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1: 250 000. **Série Relatórios Metodológicos**. v. 45, 2019.

INDRAYANI, E. *et al.* Using allometric equations to estimate mangrove biomass and carbon stock in Demta Bay, Papua Province, Indonesia. **Journal of Ecological Engineering**, v. 22, n. 5, p. 263-271, 2021.

KAUFFMAN, J. B.; BHOMIA, R. K. Ecosystem carbon stocks of mangroves across broad environmental gradients in West-Central Africa: Global and regional comparisons. **PloS one**, v. 12, n. 11, p. e0187749, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0187749>. Acesso em: 29 out. 2023.

KAUFFMAN, J. B. *et al.* Carbon stocks of intact mangroves and carbon emissions arising from their conversion in the Dominican Republic. **Ecological Applications**, v. 24, n. 3, p. 518-527, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1890/13-0640.1>. Acesso em: 17 out. 2023.

KAUFFMAN, J. B. *et al.* Carbon stocks of mangroves and salt marshes of the Amazon region, Brazil. **Biology Letters**, v. 14, n. 9, p. 20180208, 2018a. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0208>. Acesso em: 30 out. 2023.

KAUFFMAN, J. B. *et al.* Shrimp ponds lead to massive loss of soil carbon and greenhouse gas emissions in northeastern Brazilian mangroves. **Ecology and Evolution**, v. 8, n. 11, p. 5530-5540, 2018b. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ece3.4079>. Acesso em: 29 out. 2023.

KAUFFMAN, J. B. *et al.* The jumbo carbon footprint of a shrimp: carbon losses from mangrove deforestation. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 15, n. 4, p. 183-188, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/fee.1482>. Acesso em: 26 out. 2023.

KAUFFMAN, J. B. *et al.* Total ecosystem carbon stocks of mangroves across broad global environmental and physical gradients. **Ecological Monographs**, v. 90, n. 2, p. e01405, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/ecm.1405>. Acesso em: 24 out. 2023.

KAUFFMAN, J. B. *et al.* **Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests**. Bogor, Indonesia: Cifor, 2012. Disponível em: <https://www.climatelinks.org/sites/default/files/asset/document/WP86CIFOR.pdf>. Acesso em: 4 mai. 2023.

KOMIYAMA, A.; ONG, J. E.; POUNGPARN, S. Allometry, biomass, and productivity of mangrove forests: A review. **Aquatic botany**, v. 89, n. 2, p. 128-137, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2007.12.006>. Acesso em: 14 abr. 2023.

KRAUSS, K. W. *et al.* Effects of season, rainfall, and hydrogeomorphic setting on mangrove tree growth in Micronesia. **Biotropica**, v. 39, n. 2, p. 161-170, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2006.00259.x>. Acesso em: 2 out. 2023.

KUSUMANINGTYAS, M. A. *et al.* Variability in the organic carbon stocks, sources, and accumulation rates of Indonesian mangrove ecosystems. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 218, p. 310-323, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.12.007>. Acesso em: 10 set. 2023.

LACERDA, L. D. Inputs of nitrogen and phosphorus to estuaries of northeastern Brazil from intensive shrimp farming. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 10, n. 2, p. 13-27, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.14210/bjast.v10n2.p13-27>. Acesso em: 4 jul. 2023.

LACERDA, L. D.; MENEZES, M. O. T.; MOLISANI, M. M. Changes in mangrove extension at the Pacoti River estuary, CE, NE Brazil due to regional environmental changes between 1958 and 2004. **Biota Neotropica**, São Paulo, v. 7, n.3, 2007. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/60563>. Acesso em: 7 jun. 2023.

LEITE, R. A. *et al.* The colonization of a coastal lagoon by a mangrove ecosystem: Benefit or threat to the lagoon?. **Aquatic Botany**, v. 171, p. 103362, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2021.103362>. Acesso em: 4 set. 2023.

LIMA, T.; TOGNELLA, M. Estrutura e Função dos Manguezais: revisão conceitual. **Enciclopédia Biosfera**, [S. l.], v. 8, n. 15, 2012. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/3748>. Acesso em: 14 nov. 2023.

LOVELOCK, C. E.; DUARTE, C. M. Dimensions of blue carbon and emerging perspectives. **Biology letters**, v. 15, n. 3, p. 20180781, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1098/rsbl.2018.0781>. Acesso em: 28 out. 2023.

MACIEL, N. C. **Alguns aspectos da ecologia do manguezal**. ESTADO DE PERNAMBUCO, CPRH–COMPANHIA PERNAMBUCANA DE CONTROLE DA POLUIÇÃO AMBIENTAL E DE ADMINISTRAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS. Alternativas de uso e proteção dos manguezais do Nordeste. Recife: CPRH, p. 9-37, 1991.

MACREADIE, P. I. *et al.* Blue carbon as a natural climate solution. **Nature Reviews Earth & Environment**, v. 2, n. 12, p. 826-839, 2021. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s43017-021-00224-1>. Acesso em: 1 nov. 2023.

MACREADIE, P. I. *et al.* The future of Blue Carbon science. **Nature communications**, v. 10, n. 1, p. 3998, 2019. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-019-11693-w>. Acesso em: 1 nov. 2023.

MACREADIE, P. I. *et al.* Operationalizing marketable blue carbon. **One Earth**, v. 5, n. 5, p. 485-492, 2022. Disponível em: [https://www.cell.com/one-earth/pdf/S2590-3322\(22\)00206-8.pdf](https://www.cell.com/one-earth/pdf/S2590-3322(22)00206-8.pdf). Acesso em: 2 nov. 2023.

MAPBIOMAS, 2021. Cobertura e transições bioma & estados (Coleção 7) - dados de área (ha) de cobertura e uso da terra por bioma e estado de 1985 a 2021. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/estatisticas/>. Acesso em 04 de nov. 2023.

MARINS, R. V. *et al.* Caracterização hidroquímica, distribuição e especiação de mercúrio nos estuários dos rios Ceará e Pacoti, Região Metropolitana de Fortaleza, Ceará, Brasil. **Geochimica Brasiliensis** 16, p. 37-48, 2002. Disponível em: <https://www.geobrasiliensis.org.br/geobrasiliensis/article/view/497>. Acesso em: 2 jul. 2023.

MCLEOD, E. *et al.* A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO<sub>2</sub>. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 9, n. 10, p. 552-560, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1890/110004>. Acesso em: 22 jun. 2023.

MEDEIROS, T. C. C.; SAMPAIO, E. V. S. B. Allometry of aboveground biomasses in mangrove species in Itamaracá, Pernambuco, Brazil. **Wetlands Ecology and**

**Management**, v. 16, p. 323-330, 2008. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11273-007-9069-z>. Acesso em: 1 mai. 2023.

MELO NETO, João Cabral. **Obra Completa**. Rio de Janeiro: Nova Aguilar, 1994.

MUEHE, D. Brazilian coastal vulnerability to climate change. **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 5, n. 2, p. 173-183, 2010.

MURRAY, B. C. *et al.* **Green payments for blue carbon: economic incentives for protecting threatened coastal habitats**. Nicholas Institute for Environmental Policy Solutions, Duke University, Durham, NC, 2011.

NELLEMANN, C. *et al.* **Blue Carbon: A Rapid Response Assessment**. GRID-Arendal: UNEP. 2009.

NETO, M. M.; SILVA, J. B. Estimativas dos estoques de carbono em ecossistema de manguezal no Brasil: uma revisão. **Geoambiente On-line**, n. 45, 2023. Disponível em: <https://revistas.ufj.edu.br/geoambiente/article/view/75044>. Acesso em: 2 nov. 2023.

OLIVEIRA, M. M. F. **Análise temporal do papel das herbáceas facilitadoras *Sesuvium portulacastrum* (Aizoacea) e *Batis maritima* (Batacea) no recrutamento e desenvolvimento de *Avicennia germinans* (Acanthaceae) em uma área de manguezal em recuperação no Estuário do Rio Pacoti, Ceará**. 2022. 59f. Monografia (Graduação em Oceanografia) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/73126>. Acesso em: 9 mai. 2023.

PENDLETON, L. *et al.* Estimating global “blue carbon” emissions from conversion and degradation of vegetated coastal ecosystems. **PloS one**, v. 7, n. 9, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0043542>. Acesso em: 28 out. 2023.

POLIDORO, B. A. *et al.* The loss of species: mangrove extinction risk and geographic areas of global concern. **PloS one**, v. 5, n. 4, p. e10095, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0010095>. Acesso em: 5 nov. 2023.

PORTELA, M. G. T. *et al.* Vegetation biomass and carbon stocks in the Parnaíba River Delta, NE Brazil. **Wetlands Ecology and Management**, v. 28, p. 607-622, 2020. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11273-020-09735-y>. Acesso em: 19 out. 2023.

PROST, M. T. R. C.; RABELO, B. V. Variabilidade fito-espacial de manguezais litorâneos e dinâmica costeira: exemplos da Guiana Francesa, Amapá e Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio**. Série Ciências da Terra, v. 8, p. 101-121, 1996. Disponível: <https://repositorio.museu-goeldi.br/handle/mgoeldi/648>. Acesso em: 9 jul. 2023.

RADABAUGH, K. R. *et al.* Coastal blue carbon assessment of mangroves, salt marshes, and salt barrens in Tampa Bay, Florida, USA. **Estuaries and Coasts**, v. 41, p. 1496-1510, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12237-017-0362-7>. Acesso em: 17 nov. 2023.

RILEY, G. A. The carbon metabolism and photosynthetic efficiency of the earth as a whole. **American Scientist**, v. 32, n. 2, p. 129-134, 1944. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/27826018>. Acesso em: 7 jun. 2023.

RODRIGUES, D. P. *et al.* Variability of carbon content in mangrove species: Effect of species, compartments and tidal frequency. **Aquatic Botany**, v. 120, p. 346-351, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2014.10.004>. Acesso em: 8 abr. 2023.

RODRIGUES, J. V. M. **Carbono Azul no Semiárido Nordeste: estoque de carbono do solo de um manguezal em recuperação no estuário do Rio Pacoti, CE**. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, p. 31. 2022. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/66013>. Acesso em: 18 abr. 2023.

ROVAI, A. S. *et al.* Ecosystem-level carbon stocks and sequestration rates in mangroves in the Cananéia-Iguape lagoon estuarine system, southeastern Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 479, p. 118553, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118553>. Acesso em: 26 out. 2023.

ROVAI, A. S. *et al.* Manguezais brasileiros: hotspots de carbono azul de relevância nacional e global para soluções climáticas naturais. **Fronteiras nas Florestas e Mudanças Globais**, v. 4, p. 217, 2022.

SANDERMAN, J. *et al.* A global map of mangrove forest soil carbon at 30 m spatial resolution. **Environmental Research Letters**, v. 13, n. 5, p. 055002, 2018. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/aabe1c/meta>. Acesso em: 21 mai. 2023.

SANDERS, C. J. *et al.* Are global mangrove carbon stocks driven by rainfall?. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 121, n. 10, p. 2600-2609, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/2016JG003510>. Acesso em: 25 mai. 2023.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRON, G. Guia para estudo de áreas de manguezal, estrutura, função e flora. **Caribbean Ecological Research**, São Paulo, 1986. 150 p.

SERVINO, R. N.; DE OLIVEIRA GOMES, L. E.; BERNARDINO, A. F. Extreme weather impacts on tropical mangrove forests in the Eastern Brazil Marine Ecoregion. **Science of the Total Environment**, v. 628, p. 233-240, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.068>. Acesso em: 30 mai. 2023.

SILVA, A. G.; PAIVA, H.N.; GONÇALVES W. **Avaliando a arborização urbana**. Viçosa: Aprenda Fácil. 2007.

SIPPO, J. Z. *et al.* Mangrove mortality in a changing climate: An overview. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 215, p. 241-249, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.10.011>. Acesso em: 3 jun. 2023.

SOARES, M. O. *et al.* Blue carbon ecosystems in Brazil: overview and an urgent call for conservation and restoration. **Frontiers in Marine Science**, v. 9, p. 797411, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.797411>. Acesso em 9 jul. 2023.

SUPRAYOGI, B. *et al.* Ecosystem Carbon Stocks of Restored Mangroves and Its Sequestration in Northern Sumatra Coast, Indonesia. **Universal Journal of Agricultural Research**, v. 10, n. 1, p. 1-19, 2022.

TAVARES, V. C.; DE ARRUDA, I. R. P.; DA SILVA, D. G. Desertificação, mudanças climáticas e secas no semiárido brasileiro: uma revisão bibliográfica. **Geosul**, v. 34, n. 70, p. 385-405, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2019v34n70p385>. Acesso em 11 ago. 2023.

VILLAVICENCIO, C. B. **As herbáceas *Sesuvium portulacastrum* (Aizoacea) e *Batis maritima* (Batacea) facilitam o estabelecimento e crescimento de *Avicennia germinans* (Acanthaceae) em um manguezal em recuperação na Apa do estuário do rio Pacoti, Ceará, Brasil**. 2020. 61 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Instituto de Ciências do Mar - LABOMAR, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/51638>. Acesso em: 19 abr. 2023.