



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

ROBSON CARLOS PEREIRA DE MELO

AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DO CARBONO AZUL EM ÁREAS
DE MANGUEZAL.

Recife - PE

Janeiro/2024

ROBSON CARLOS PEREIRA DE MELO

AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DO CARBONO AZUL EM ÁREAS
DE MANGUEZAL.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, Área de Concentração: Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente.

Orientador: Prof. DR. Victor Casimiro Piscoya.

Coorientadores: Prof. Dr. Renisson Neponuceno de Araújo Filho e Prof. Dr. Francisco das Chagas da Costa.

Recife - PE

Janeiro/2024

FICHA CATALOGRÁFICA

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

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal Rural de Pernambuco
Sistema Integrado de Bibliotecas
Gerada automaticamente, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

M528a Melo, Robson Carlos Pereira de
Avaliação da Dinâmica do Carbono Azul em Áreas de Manguezal. / Robson Carlos Pereira de Melo. - 2024.
48 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Victor Casimiro Piscoya.
Coorientador: Prof. Dr. Renisson Neponuceno de Araujo Filho e Prof. Dr. Francisco das Chagas da Costa..
Inclui referências.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Recife, 2024.

1. Mudanças Climáticas. 2. Aquecimento Global. 3. Sumidouros de Carbono. 4. Carbono Orgânico. I. Piscoya, Prof. Dr. Victor Casimiro, orient. II. Costa., Prof. Dr. Renisson Neponuceno de Araujo Filho e Prof. Dr. Francisco das Chagas da., coorient. III. Título

CDD 620.8

ROBSON CARLOS PEREIRA DE MELO

AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DO CARBONO EM ÁREAS MANGUEZAL.

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental, Área de Concentração: Tecnologia e Gestão do Meio Ambiente.

Aprovado em 31 de janeiro de 2024.

Prof. Dr. Victor Casimiro Piscoya
Presidente da Banca e Orientador

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Moacyr Cunha Filho
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Prof. Dr. Alex Souza Moraes
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Dedico esse trabalho aos meus pais Antonio Carlos de Melo e Edna Maria Pereira da Silva (*in memoriam*), com todo meu amor e gratidão.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela sabedoria que orientou cada escolha perante os obstáculos encontrados.

Aos meus pais, Edna Maria Pererira da Silva e Antonio Carlos de Melo.

A minha família pelo apoio durante essa jornada.

A Universidade Federal do Rural de Pernambuco.

Ao Departamento de Engenharia Ambiental.

Ao meu orientador Prof. Dr. Victor Casimiro Piscoya, pela confiança, compreensão e ensinamentos durante essa jornada.

Aos membros da banca examinadora, Prof. Dr. Alex Souza Moraes e Prof. Dr. Moacyr Cunha Filho pelos pertinentes apontamentos que engrandeceram esse trabalho.

A todos os professores da UFRPE / PPEAMB, que contribuíram com a minha formação.

Aos técnicos e demais funcionários da UFRPE/PPEAMB.

Ao professor Dr. Gilvan Takesui Yogui do Departamento de Oceanografia da UFPE, por disponibilizar o laboratório para realização das análises.

Ao colega Dr. Bruno Varella Motta da Costa, pelo apoio na condução das atividades no laboratório.

A toda equipe do Laboratório de Compostos Orgânicos em Ecossistemas Costeiros e Marinhos – ORGANOMAR/ UFPE.

Aos colegas do Departamento de Engenharia Ambiental: Maria Eduarda Nascimento Castanha, Suellen Thereza Silva e Lima, Vitória de Carvalho Gomes, Maria Júlia Holanda de Oliveira, Gabriel Carlos Moura Pessoa e Gean Carlos Pereira de Lucena.

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente, para a concretização desse trabalho.

(...)

Mãe, eu sei que tive sorte,
Que a jornada é difícil
Mas com tanto sacrifício
Eu aprendi a ser forte
Sem Deus não há quem suporte
Passar pelo tempo ruim
Consegui, passei, enfim
Me sinto realizado
Minha mãe, muito obrigado
Por ter rezado por mim.
Painha, essa lucidez
E a nossa fraternidade
Garanto mais da metade
Eu aprendi com vocês
Tirar da feira de mês
Para que eu levasse um bocado
E ainda me dava um trocado
Embora ficasse liso
É por isso que eu preciso
Lhe dizer, muito obrigado!
A mão de Deus abençoa
Tudo quanto o homem faz
Sabendo que ele é capaz
De ter atitude boa
Até os erros perdoa,
Lhe conduzindo para a trilha
Por isso meu mundo brilha,
Eu sei do lugar que venho
Toda vitória que tenho
Dedico à minha família!
(Poeta: Marquinhos da Serrinha).

RESUMO

Estimativas de estoque de carbono orgânico nos solos do Brasil ainda não são satisfatórias e se deparam com a falta de informações disponíveis sobre a quantidade de carbono orgânico nos solos sob diferentes usos e em diferentes regiões. Esta pesquisa tem como objetivo avaliar a dinâmica do carbono azul em áreas de manguezais nos diversos compartimentos do perfil do solo na localidade de Vila Velha – Ilha de Itamaracá-PE. Este trabalho está amparado nas teorias apresentadas no Manual Carbono Azul Costeiro: Métodos para avaliar estoques de carbono e fatores de emissão em manguezais, pântanos salgados e ervas marinhas (Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., Pidgeon, E. (Eds.) (2014). A metodologia envolve a coleta de amostras de solo obtidas em três áreas de manguezais de acordo com o gradiente de inundação, denominadas de área alagada (AL), área periodicamente alagada (APL) e área seca (AS), localizadas ao longo do canal fluvial de Santa Cruz (Itamaracá/PE). As estimativas dos estoques de carbono orgânico (Carbono Azul) obtidas nas áreas de manguezais apresentaram os seguintes valores médios: AL (259,42 Mg/ha⁻¹), APL (209,91 Mg/ha⁻¹) e AS (63,53 Mg/ha⁻¹), demonstrando que a área constantemente alagada (AL) possui maior potencial para acumular carbono no solo em relação as outras áreas desse ecossistema.

Palavras-chave: mudanças climáticas, aquecimento global, sumidouros de carbono, carbono orgânico.

ABSTRACT

Estimates of organic carbon stock in Brazilian soils are still not satisfactory and are faced with a lack of available information on the amount of organic carbon in soils under different uses and in different regions. This research aims to evaluate the dynamics of blue carbon in mangrove areas in the different compartments of the soil profile in the locality of Vila Velha – Ilha de Itamaracá-PE. This work is supported by the theories presented in the Coastal Blue Carbon Handbook: Methods for assessing carbon stocks and emission factors in mangroves, salt marshes and seagrasses (Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., Pidgeon, E. (Eds.) (2014). The methodology involves collecting soil samples obtained from three mangrove areas according to the flood gradient, called flooded area (AL), periodically flooded area (APL) and dry area (AS), located along the Santa Cruz river channel (Itamaracá/PE). Estimates of organic carbon stocks (Blue Carbon) obtained in mangrove areas showed the following average values: AL (259.42 Mg/ha-1), APL (209.91 Mg/ha-1) and AS (63.53 Mg/ha-1), demonstrating that the constantly flooded area (AL) has greater potential to accumulate carbon in the soil compared to the other areas of this ecosystem.

Keywords: climate change, global warming, carbon sinks, organic carbon.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO	10
2. OBJETIVOS	12
2.1. Objetivo Geral	12
2.2. Objetivos Específicos.....	12
3. REVISÃO DE LITERATURA.....	12
3.1. Mudanças climáticas e aquecimento global.....	12
3.2. Compromissos das emissões de CO ₂ pelo Brasil e pelo mundo.....	14
3.3. Carbono orgânico.	14
3.4. Carbono azul.	15
3.5. Classificação do carbono azul nos ecossistemas de manguezais.....	16
3.6. Quantificação dos estoques de carbono em manguezais.....	17
3.7. Caracterização das áreas de manguezais.....	18
3.8. Classificação dos manguezais.....	20
3.9. Solos de manguezais.....	22
3.9. O Potencial do manguezal no sequestro de carbono	23
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	24
4.1. Área de estudo	24
4.2. Coleta das amostras.....	26
4.3. Preparo das amostras	30
4.4. Análise das amostras	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
6. CONCLUSÃO.....	40
7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS.....	40

1. INTRODUÇÃO

Na segunda metade do século XX, evidências científicas sinalizavam para a possibilidade de mudança nos padrões do clima global devido ao aumento da concentração atmosférica de gases de efeito estufa (GEE), os principais gases são o dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O) e os halogenados que associados ao vapor d'água formam uma camada que causa a retenção parcial na atmosfera da radiação infravermelha termal emitida pela terra, esse é um fenômeno natural e essencial para a vida no nosso planeta, mas sua intensificação ao longo do tempo vem causando graves problemas ambientais, devido ao aquecimento da superfície global, apresentando nas últimas décadas níveis preocupantes. O mais importante e abundante entre os gases de efeito estufa é o dióxido de carbono (CO₂) que representa cerca de 80% das emissões, conseguindo manter-se por centenas de anos na atmosfera e sua emissão tem origem essencialmente na queima de combustíveis fósseis, queima de biomassa, manejo do solo e processos industriais (IPCC 2021).

O aumento da temperatura global já causou diversas alterações em vários ecossistemas, incluindo degelo das calotas polares, elevação do nível do mar, aumento das secas, inundações, redução da oferta dos recursos naturais e mudanças extremas no clima de diversas regiões (UK *et al.*, 2018). Segundo (Smith *et al.*, 2014), as mudanças climáticas atingirão a saúde da população mundial diretamente por meio da mortalidade e morbidade, relacionados a eventos climáticos extremos, tais como, fadiga por calor, alterações nos padrões de transmissão de doenças e diversos impactos indiretos na sociedade. Portanto, é imprescindível manter as concentrações de CO₂ na atmosfera em níveis inferiores a 450 ppm (Pachauri; Meyer, 2014). De acordo com a administração atmosférica e Oceânica dos EUA (NOOA) foi confirmado valores de concentrações de CO₂ na atmosfera de 424 ppm em junho de 2023.

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), órgão ligado às Nações Unidas, em seu relatório de 2022 sobre mitigação das mudanças climáticas, alerta para os principais impactos que o aquecimento global pode provocar ao meio ambiente e à economia mundial. Globalmente, as emissões dos gases de efeito estufa vêm aumentando durante a última década, alcançando 59 Gt de CO₂ em 2019, cerca de 12% a mais do que no ano de 2010 e 54% a mais que em 1990. Para reverter o crescimento nas emissões de GEE, é necessário que os governantes, sociedade civil e o setor privado favoreçam ações, tais como:

expandir o uso de energia limpa, investimentos em inovação para descarbonizar a indústria, incentivar construções verdes, transição para o transporte de zero e baixo carbono e a conservação dos ecossistemas naturais (Peregrine, 2020).

A conservação das florestas vem sendo reconhecida como um fator primordial para a mitigação das mudanças climáticas (Herr *et al.*, 2012). Os principais ecossistemas tropicais e subtropicais que fornecem numerosas funções e serviços estão as florestas de mangue (Siteo *et al.*, 2014). De acordo com Spalding *et al.* (2010), as florestas de mangue ocupam aproximadamente 15 milhões de hectares das áreas de costa tropicais e subtropicais em todo o planeta.

As florestas de mangue estão entre as mais ricas em carbono nos trópicos, sendo consideradas como um dos ecossistemas mais produtivos e biologicamente relevantes (Chen *et al.*, 2017). Giri *et al.* (2011) destacam que os manguezais e seus solos associados, têm a capacidade de sequestrar cerca de 22,8 milhões de toneladas de carbono por ano. Nesse mesmo sentido, o ICMBio (2018) também afirma que os manguezais são importantes estocadores e sequestradores de carbono, já que o estoque de carbono por esses ecossistemas é substancialmente superior ao verificado nas demais florestas terrestres. Em concordância com o ICMBio (2018), McLeod *et al.* (2011) constataram em seu estudo que os ecossistemas de vegetação costeira (pântanos de sal, manguezais e pradarias marinhas) apresentam maiores taxas de sequestro de carbono e de acumulação de sedimentos, quando comparadas às taxas de acumulação de carbono em solos de três tipos de florestas (temperadas, tropicais e boreais).

O manguezal se caracteriza pela capacidade de captura e armazenamento de carbono, por alta eficiência das espécies na conversão da energia solar em matéria orgânica, como receptor de matéria orgânica de outros ecossistemas, pelas inundações que diminuem as taxas de decomposição da matéria orgânica e, portanto, considerado um sumidouro de carbono eficiente em comparação com outros ecossistemas terrestres (Perera; Amarasinghe, 2014). Devido à alta produtividade e das condições anóxicas do solo dos manguezais, ocorre a redução da taxa de decomposição de matéria orgânica, ocasionando uma alta capacidade de sequestro e armazenamento de carbono, chegando a ser de três a cinco vezes superior a outros ecossistemas vegetados (Friess *et al.*, 2020).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

- Avaliar a dinâmica dos estoques carbono orgânico em áreas de manguezal no canal de Santa Cruz na ilha de Itamaracá (PE).

2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar e relacionar a dinâmica do carbono orgânico no solo em três áreas distintas em função do gradiente de alagamento e profundidade do solo em áreas de manguezais.
- Descrever e compreender a dinâmica do carbono orgânico nos diferentes compartimentos do perfil do solo em áreas de manguezais.
- Contribuir com o desenvolvimento de técnicas para coletar e analisar amostras de solo, visando o estudo da dinâmica do carbono e estimativas de estoques de carbono azul.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. Mudanças climáticas e aquecimento global.

A problemática das mudanças climáticas globais levou a Organização Meteorológica Mundial (OMM) e a UNEP (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente) a criarem o IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) em 1988, contribuindo na elaboração de relatórios de avaliação abrangentes sobre o estado do conhecimento científico, técnico e socioeconômico sobre alterações climáticas e seus impactos e riscos futuros, apresentando as opções para minimizar as causas das alterações climáticas e também produz relatórios metodológicos que fornecem diretrizes para elaboração de inventários dos gases que provocam o efeito estufa. O IPCC aponta que para conter as emissões que intensificam a crise climática, é fundamental que as florestas e oceanos sejam preservados e permaneçam em equilíbrio, ainda salienta, que a manutenção da resiliência da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos dependem da conservação de aproximadamente 30% a 50% das áreas terrestres, de água doce e oceânica do planeta. Segundo o IPCC, no século XX, houve um aumento de 0,65 °C na média da temperatura global, sendo este mais pronunciado na década de 90. No seu relatório de 2021 o órgão aponta que essas mudanças estão acontecendo com um aquecimento médio de 1,1°C em relação aos níveis pré-industriais.

Quanto à precipitação, o aumento variou de 0,2% a 0,3% na região tropical, compreendida entre 10° de latitude Norte e 10° de latitude Sul. As causas dessas variações podem ser de ordem natural ou antropogênica, ou uma soma das duas (IPCC, 2004). Com o aquecimento global, em um futuro próximo, espera-se cenário de clima mais extremo com secas, inundações e ondas de calor mais frequentes (Salati *et al.*, 2004). A elevação na temperatura aumenta a capacidade do ar em reter vapor d'água e consequentemente maior demanda hídrica. Em resposta a essas alterações, os ecossistemas de plantas poderão aumentar sua biodiversidade ou sofrer influências negativas. Segundo Thomas *et al.* (2004), com a elevação das temperaturas, 18 espécies estarão ameaçadas de extinção até o ano de 2050, considerando o cenário mais otimista. Impactos como a elevação do nível dos oceanos e furacões mais intensos e mais frequentes também poderão ser sentidos, assim como o derretimento das geleiras polares.

Dados fornecidos em janeiro de 2021 pelo Instituto Goddard de Estudos Espaciais (GISS - GISTEMP) da NASA a respeito do aquecimento médio global em 2020, a temperatura global encontra-se no limite superior da avaliação da Organização Meteorológica Mundial ($1,2\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,1^{\circ}\text{C}$) para 2020. Segundo o GISS – GISTEMP a temperatura global no ano de 2020 foi $1,3^{\circ}\text{C}$ mais quente do que no período base de 1880-1920, a temperatura global nesse período de referência é uma estimativa aceitável da temperatura pré-industrial. Os seis anos mais quentes no registro GISS ocorrem todos nos últimos seis anos, e os 10 anos mais quentes estão todos no século XXI (Hansen *et al.*, 2021).

A temperatura da superfície global em 2021 foi de $+1,12^{\circ}\text{C}$ em relação à média de 1880-1920. Os anos 2021 e 2018 ocupam 6° posição do ano mais quente nos registros instrumentais. A taxa de aquecimento sobre os continentes é cerca de 2,5 vezes mais rápida do que sobre os oceanos. Além disso, a aceleração das emissões de GEE aumentará o desequilíbrio energético planetário sem precedentes e poderão aumentar a temperatura global além do limite de $1,5^{\circ}\text{C}$, provavelmente durante a década de 20 do século XXI (Hansen *et al.*, 2022).

Hansen afirma, que o aquecimento médio global de $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ acima do período pré-industrial deve ser provavelmente alcançado durante a presente década, teoria fundamentada na percepção que, desde 2016, iniciou-se a segunda fase da aceleração do aquecimento global. Atualmente o aquecimento global antropogênico vem aumentando em $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ por década, em consequência do acúmulo das emissões passadas e atuais (IPCC 2018). A taxa de

aquecimento de 1970 a 2015 indica a primeira fase de aceleração em relação ao ritmo de aquecimento das décadas anteriores (1880-2018). Os dados fornecidos pela NOAA (Administração Nacional Oceânica e Atmosférica) confirmam, que a temperatura global anual se elevou a uma taxa média de 0,08 °C por década desde 1880 e mais do dobro dessa taxa (+ 0,18 °C) desde 1981.

O aquecimento do planeta entrou em uma segunda fase de aceleração. De acordo com o Programa de Ciência Climática, Conscientização e Soluções, do Instituto da Terra da Universidade de Columbia, intitulada “Aceleração do Aquecimento Global”, James Hansen e Makiko Sato afirmam que a temperatura global recorde em 2020, mesmo com a presença de um forte La Niña nos últimos meses, reforça o entendimento que essa aceleração do aquecimento global foi muito forte para ser um evento climático aleatório.

A taxa de aquecimento global acelerou-se nos últimos 6 – 7 anos. A diferença da média atual dos últimos 5 anos em relação à taxa de aquecimento linear é grande e persistente; isso implica em um desequilíbrio de energia da Terra, que impulsiona o aquecimento global (Hansen; Sato, 2020).

3.2. Compromissos das emissões de CO₂ pelo Brasil e pelo mundo.

Em 2015, diversas nações, entre as quais o Brasil, aprovou o mais importante tratado internacional acerca das mudanças climáticas (Acordo de Paris), desde a assinatura do Protocolo de Quioto, em 1997. Na 21ª Conferência das Partes Signatárias da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima (UNFCCC), 185 países fecharam um acordo para definir metas individuais de redução de CO₂, com a finalidade de manter o aumento da temperatura média global em bem menos de 2 °C acima dos níveis pré-industriais, até o ano de 2050. A comunidade científica prevê elevação da temperatura do planeta entre 2°C e 5°C, caso os países prossigam na atual trajetória de emissões gases de efeito estufa. No caso da concretização do aumento previsto pode gerar danos irreversíveis à biodiversidade e comprometer, ainda, a agricultura, a indústria e a infraestrutura, como consequência de desastres naturais.

3.3. Carbono Orgânico.

O carbono orgânico (CO) é um componente da matéria orgânica do solo (MOS), é o principal recurso para as atividades da comunidade microbiana do solo, que promove sua

decomposição e liberação de nutrientes para as plantas e para a produção de biomassa microbiana (Scholes *et al.*, 2009).

A redução do CO no solo ocorre tanto por sua mineralização química como pelo consumo de C do solo e liberação na forma de CO₂ (Luo; Zhou, 2006). O CO confere estabilidade à estrutura do solo e aumenta a sua capacidade de retenção de água (Rawls *et al.*, 2003). A transferência de carbono da vegetação para o solo pode desempenhar um papel importante na mitigação dos efeitos adversos causados pelo efeito estufa, tendo a capacidade de sequestrar dióxido de carbono (CO₂) em partes da planta e do solo (Scholes *et al.*, 2009).

Os ecossistemas florestais podem absorver quantidades significativas de CO₂ e armazenar no solo, podendo permanecer estáveis durante muitos anos, quando não perturbados na forma de matéria orgânica, contribuindo para mitigar as mudanças climáticas. Os manguezais constituem-se como um ecossistema chave pela sua capacidade de captura e armazenamento de CO₂, no entanto são constantemente ameaçados devido ao desmatamento e à degradação ambiental. Esta última está diretamente relacionada ao avanço do mercado imobiliário, o plantio de culturas, a expansão da carcinicultura e o extrativismo de fauna e flora, flúvio-marinhas e flúvio-lacustres. Suas taxas de declínio são comparáveis com as de outros importantes ecossistemas, podendo chegar a 2% de área total ao ano (Brandão, 2011).

As florestas de mangue são ecossistemas extremamente produtivos e que contribuem significativamente para a fertilidade das águas costeiras, considerando a grande produção de matéria orgânica e sua contribuição na exportação desse componente para o ambiente estuarino (Adame *et al.* 2012). A produção de matéria orgânica acontece principalmente pela transformação do material foliar em partículas de detritos que são usadas por uma grande parte de organismos consumidores, em sua maioria de hábitos alimentares detritívoros. São ecossistemas costeiros característicos de regiões com clima quente e estão situados junto à foz dos rios, estuários e outros locais protegidos da ação das ondas do mar onde as águas doces e salgadas se misturam em diferentes proporções.

3.4. Carbono azul.

O carbono azul é o carbono armazenado na biomassa de plantas vivas, por escalas de tempo relativamente curtas (anos a décadas), capturado da atmosfera e armazenado em ecossistemas marinhos costeiros, tais como, manguezais, pântanos salgados e prados de ervas marinhas dentro do solo. Ao contrário dos ecossistemas terrestres, o carbono capturado em

solos costeiros pode ser abundante e permanecer retido por longos períodos de tempo (séculos a milênios), resultando em grandes estoques de carbono (Duarte *et al.* 2005; Lo Iacono *et al.* 2008). A diferença no acúmulo de carbono no solo em sistemas terrestres em comparação aos sistemas costeiros é que o potencial de armazenamento de carbono em solos de terras altas, tornando-se limitado pela alta disponibilidade de oxigênio, permitindo a oxidação de carbono microbiano aeróbico e liberação de volta para a atmosfera (Schlesinger & Lichter 2001). Nos sistemas de carbono azul, o solo está saturado com água, mantendo-o em um estado anaeróbico (baixo ou nenhum oxigênio), e continuamente se acumula verticalmente em altas taxas, resultando em acúmulo contínuo de carbono ao longo do tempo (Chmura *et al.* 2003).

Um dos maiores exemplos de estoques de carbono em sedimentos costeiros são os prados de ervas marinhas em Posidonia oceânica na Baía de Portlligat na Espanha, e também nos manguezais em Belize, que acumularam em seus solos grandes quantidades de carbono com mais de 10 metros de espessura e mais de 6.000 anos de idade (McKee *et al.* 2007; Lo Iacono *et al.* 2008; Serrano *et al.* 2014). De forma semelhante, os sedimentos dos pântanos salgados das marés no norte da Nova Inglaterra têm 3 a 5 metros de espessura, 3.000 a 4.000 anos e são compostos de até 40% de carbono orgânico (Johnson *et al.* 2007).

3.5. Classificação do Carbono Azul nos Ecossistemas de Manguezal.

O carbono encontrado nos ecossistemas costeiros, denominado carbono azul pode ser classificado como autóctone ou alóctone e, conforme o estudo realizado pode demandar análises distintas (Middelburg *et al.* 1997; Kennedy *et al.* 2010).

Carbono Autóctone: Este tipo de carbono é produzido e depositado no mesmo local. As plantas retiram o dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera/oceano por meio da fotossíntese (Produção primária) e o convertem para uso pelo tecido vegetal (como folhas, caules, raízes/rizomas) para aumentar a biomassa vegetal. Uma grande parte da biomassa vegetal é alocada nas raízes onde se decompõe muito lentamente em condições anaeróbicas, armazenando assim o carbono dentro dos sedimentos (Middelburg *et al.* 1997; Kennedy *et al.* 2010). **Carbono Alóctone:** Este tipo de carbono é produzido em um local e depositado em outro. Os ecossistemas de carbono azul existem em ambientes hidrodinamicamente ativos, são constantemente atingidos por ondas, marés e correntes costeiras que transportam sedimentos e carbono orgânico relacionados a ecossistemas adjacentes (marítimas ou terrestres). As plantas encontradas nestes sistemas têm estruturas radiculares complexas e copas que são bastante

eficientes na captura de sedimentos à medida que se movem pelo sistema, aumentando o estoque de carbono local (Middelburg *et al.* 1997; Kennedy *et al.* 2010).

Existem variações entre os sistemas de carbono azul relacionados aos estoques carbono, quando originado dentro do ecossistema para aquele aprisionado de fontes externas. Nos prados de ervas marinhas, estima-se que 50% do carbono armazenado nos solos pode ser de origem externa (alóctone) (Kennedy *et al.* 2010), enquanto a maior parte do carbono acumulado nos manguezais é produzido diretamente pelas plantas dentro do sistema (autóctone) (Middleton & McKee 2001). Entretanto, existem casos onde existem contribuições alóctones significativas encontradas em manguezais e pântanos, derivados de ecossistemas terrestres ou marinhos circunvizinhos (Middelburg *et al.* 1997; Bouillon *et al.* 2003; Adame *et al.* 2012).

3.6. Quantificação dos Estoques de carbono em Manguezais.

O estoque de carbono é a quantidade de carbono orgânico (Corg) armazenado em um ecossistema de carbono azul, tal como acontece nos manguezais, atendendo o Sistema internacional de unidades - SI, normalmente é representado como mega gramas de carbono orgânico por hectare (Mg Corg/ha) em uma profundidade de solo especificada. Esses estoques são determinados pela soma de todos os reservatórios de carbono significativos dentro da área investigada (Donato *et al.* 2011; Kauffman *et al.* 2011).

Os reservatórios de carbono nos ecossistemas de carbono azul são diferenciados em relação ao tempo que esse carbono permanece armazenado, pode ser: reservatórios de curto prazo, prevalecendo menos de 50 anos, (biomassa viva) e reservatórios de longo prazo, prevalecendo por séculos ou milênios, (carbono orgânico do solo). Em termos de carbono azul, os reservatórios de carbono de longo prazo são os mais importantes para determinar o potencial de mitigação de carbono (IPCC 2007).

Para calcular os estoques de carbono (E) por camada no solo, são necessárias as seguintes informações: Densidade do Solo (D_s g cm³). Intervalo de profundidade (cm) e (%) de Carbono Orgânico, onde os resultados são apresentados em Mg/ha (Veldkamp, 1994).

$$D_s \text{ (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{Massa da amostra seca em estufa (g)}}{\text{Volume da amostra (cm}^3\text{)}} \quad (1)$$

$$E \text{ (Mg/ha}^{-1}\text{)} = \text{Carbono (\%)} \cdot \text{Densidade do solo} \cdot \text{Intervalo de profundidade/10} \quad (2)$$

O carbono azul é armazenado especialmente abaixo dos solos ricos em matéria orgânica a muitos metros de profundidade, onde pode permanecer por centenas ou até milhares de anos. O tamanho dessas piscinas subterrâneas e sua vulnerabilidade pouco compreendida às mudanças no uso da terra tornam sua medição bastante importante. Os reservatórios de carbono do solo subterrâneo normalmente constituem 50% a 90% do estoque total de carbono do ecossistema de manguezais (Donato *et al.* 2011; Kauffman *et al.* 2011).

3.7. Caracterização das áreas de mangue.

Manguezal é um ecossistema costeiro que ocorre em regiões tropicais e subtropicais do mundo, ocupando as áreas entre marés. Está constituída pela biomassa viva acima do solo (folhas, galhos, caules), a biomassa viva abaixo do solo (raízes) e a biomassa não viva (por exemplo, lixo e madeira morta) (McLeod *et al.* 2011). Esses ecossistemas cobrem uma área de 49 milhões de hectares, segundo a Organização das Nações Unidas (ONU).

É caracterizado por vegetação lenhosa típica, adaptada às condições limitantes de salinidade, substrato inconsolidado e pouco oxigenado e frequente submersão pelas marés (Soares, 1997). O ecossistema manguezal pode ser subdividido em duas feições: florestas de mangue e planícies hipersalinas. A ocorrência dessas duas feições associadas irá depender de características climáticas regionais e da frequência de inundação pelas marés locais. Conforme estipulado por Hutchings & Saenger (1987) o limite entre a floresta de mangue e a planície hipersalina corresponde aproximadamente ao nível médio de inundação pelas marés de quadratura (na verdade as florestas se estendem até níveis um pouco acima desse limite, os quais são atingidos por marés de quadratura). Portanto, sob uma frequência de inundação inferior a essa, em regiões com clima seco ou sazonalmente seco ocorre a formação de planícies hipersalinas. Em locais com alta frequência de inundação pelas marés nas regiões de clima seco ou sazonalmente seco, ou em regiões sob clima úmido, observamos o desenvolvimento de florestas de mangue e a não ocorrência de planícies hipersalinas. É importante ressaltar que ambas as feições (floresta de mangue e planície hipersalina) compõem o ecossistema manguezal (Schaeffer-Novelli; Soares; Nascimento, 2002).

Apesar de fatores como temperatura média, amplitude térmica, substrato, proteção frente à energia marinha, presença de água salgada e amplitude de marés determinarem a ocorrência dos manguezais ao longo das regiões costeiras tropicais do mundo (Walsh, 1974), as características dos mesmos, em termos estruturais e funcionais podem ser extremamente variáveis. Dessa forma, podemos descrever o modelo de "assinatura energética" (Lugo;

Snedaker, 1974; Lugo; Brinson; Brown, 1990; Schaeffer-Novelli et al., 1990; Twilley, 1995), através do qual o manguezal possui seus processos, tais como produção primária, respiração, ciclagem de nutrientes e troca de matéria orgânica com ecossistemas adjacentes, além do desenvolvimento estrutural, controlados por forças subsidiárias como energia solar, aporte de água doce e de nutrientes e energia das marés, as quais, combinadas em diversas intensidades, vão controlar os atributos de cada manguezal. A assinatura energética explica a alta variabilidade encontrada para as florestas de mangue do litoral brasileiro, estando submetidas a diferentes condições climáticas, oceanográficas (sobretudo regime de marés) e geomorfológicas, conforme descrito por Schaeffer-Novelli *et al.* (1990).

Existem pelo menos 68 espécies obrigatórias de mangue em todo o mundo. A localidade de maior diversidade dos manguezais é a região do Indo-Pacífico, onde Giesen *et al.* (2007) listaram 52 espécies de plantas que ocorreram apenas em áreas de manguezais e 268 espécies que podem ser encontradas em manguezais e outros ambientes úmidos. Contrapondo essa diversidade, as Américas têm apenas cerca de 10 espécies de mangue (Mitch e Gosselink 2007).

A vegetação dos manguezais é constituída por espécies adaptadas morfológica e fisiologicamente quanto a resistência, alterações de salinidade, variação de maré, ventos fortes, temperaturas elevadas e solos com condições anaeróbias. As adaptações das árvores incluem raízes aéreas, dispersão de propágulos pelas correntes controladas pelas marés, rápido crescimento de copa, ausência de anéis de crescimento, eficiente mecanismo de retenção de nutrientes, resistência a ambientes salinos, retenção de água e contribuição no balanço de carbono (Alongi, 2002). Dependendo da salinidade e topografia local que varia entre as regiões estuarinas, no Brasil são encontradas seis espécies: *Avicennia*, *Laguncularia*, *Rhizophora*, *Acrostichum*, *Conocarpuse* e *Hibiscus* (Lacerda, 2002). As principais espécies de mangue encontradas no litoral do nordeste são: *Rhizophora mangle*, *Avicennia*, *Laguncularia racemosa* e *Conocarpus* (Labomar/UFC, 2005). A *Rhizophora mangle*, conhecida também como mangue verdadeiro, mangue vermelho, mangue de pendão, apareiba, entre outros, tem altura em média de 19 metros, 30 centímetros de diâmetro e folhas de formato arredondado (SEMACE, 2006). Possui propágulos que permitem resistência às perturbações da maré, sendo encontradas no litoral brasileiro do Amapá até Santa Catarina (Schaeffer-Novelli, 1995). Essa espécie é encontrada nas áreas de maior inundação pela maré, nas margens do manguezal e tem como característica marcante o sistema de sustentação com raízes-escoras

(rizóforos) que saem do troco e raízes adventícias que partem dos galhos (Schaeffer-Novelli, 2000).

As espécies do gênero *Rhizophora mangle* se posicionam em locais de maiores teores de matéria orgânica, em comparação com locais de vegetação com predomínio de *Avicennia germinans* e *Laguncularia racemosa*, e normalmente em locais de valores de pH maiores do que 7,0 (Cuzzuol; Rocha, 2012), com predomínio de textura arenosa e salinidade com valores variando entre 29,6‰ e 32‰ (Cuzzuol; Campos, 2001). As folhas do gênero *Rhizophora* se decompõem mais lentamente do que as dos outros gêneros como *Laguncularia* e *Avicennia* (Oliveira; Rizzo; Couto, 2013), devido ao fato de possuírem componentes difíceis de degradação, como o tanino, o qual diminui a decomposição e pode ser aversivo aos detritívoros, além de retardar a colonização microbiana (Middleton; Mckee, 2001). Com relação à concentração de nutrientes, as folhas da *Avicennia* em alguns estudos apresentaram maiores concentrações de nutrientes do que as da espécie *Rhizophora mangle* (Cuzzuol; Rocha, 2012). A *Avicennia* acumula concentrações mais elevadas de N, K, Mg e Zn, em suas folhas, enquanto a *Rhizophora* apresenta maiores concentrações de Ca e menores de N (Cuzzuol; Rocha, 2012).

3.8. Classificação dos Manguezais.

Os manguezais variam muito em estrutura e função, (Kauffman & Cole 2010), sendo resultado da topografia, substrato, latitude e hidrologia (Saenger & Snedaker 1993). Florestas de mangue bem desenvolvidas podem variar o diâmetro das árvores apresentando troncos > 1 m a povoamentos semelhantes a arbustos < 1 m de altura. Na biomassa acima do solo ocorre grande variação de valores > 500 Mg/ha em manguezais ribeirinhos e marginais da região do Indo-Pacífico até cerca de 8 Mg/ha para manguezais anões (Kauffman & Cole 2010; Kauffman et al. 2011). Os ecossistemas de manguezais são classificados em quatro associações principais de estrutura diferentes, correspondendo às características físicas, hidrológicas e climáticas do seu ambiente. Estes são: manguezais marginais ou costeiros, manguezais ribeirinhos ou estuarinos, manguezais da bacia e manguezais anões ou arbustivos (Cintron et al. 1978, Mitch & Gosselink 2007).

Estimativas mais recentes indicam que a extensão mundial dos manguezais varia de 14 a 24 milhões de hectares. O continente Asiático abriga as maiores áreas de mangue do mundo, estendendo-se por mais de 6,8 milhões de hectares e representando 34-42% do total mundial,

a Indonésia representa quase 23% da população mundial manguezais), seguida pela África com 20%, América do Norte e Central com 15%, Oceania com 12%, América do Sul com 11% e Austrália com 7% (Giri *et al.* 2011). Os manguezais do Sudeste Asiático são os mais desenvolvidos e provavelmente o mais diversificado em espécies no mundo (Giesen *et al.* 2007). Quatro países respondem por cerca de 42% de todos os manguezais: Indonésia, Brasil, Austrália e México e 64% da total área de manguezal é encontrada em apenas 10 países (Giri *et al.* 2011). Segundo o mapeamento realizado em 2009 pelo Ministério do Meio Ambiente, as florestas de mangue abrangem uma área de 1.225.444 hectares em quase todo o litoral brasileiro, desde o Iapoque, no Amapá, até a Laguna em Santa Catarina. As maiores extensões de manguezais da costa brasileira ocorrem entre a desembocadura do rio Iapoque, no extremo norte, e o Golfão Maranhense, formando uma barreira entre o mar, os campos alagados e a terra firme. Do sudeste maranhense até o Espírito Santo, os manguezais são reduzidos e estão associados a lagunas, baías e estuários.

Mumby *et al.* (2004), destacam a importância dos manguezais para a manutenção da produtividade pesqueira de sistemas recifais. Semelhante à maioria dos tipos de floresta, os manguezais podem ser divididos em cinco reservatórios de carbono: 1) biomassa acima do solo de vegetação viva; 2) biomassa subterrânea de vegetação viva; 3) madeira morta; 4) chão da floresta (serrapilheira) e 5) solo. Para caracterizar os gradientes da costa para as terras altas, também pode ser desejável amostrar diferentes distâncias da orla marítima de uma floresta de mangue, pois a profundidade do solo, a composição das árvores e, portanto, os reservatórios de carbono podem variar com pequenas mudanças na elevação relativa e influência das marés ao longo deste gradiente (Kauffman *et al.* 2011).

A maioria dos manguezais não contém uma quantidade significativa de vegetação não arbórea ou de sub-bosque (Snedaker & Lahmann 1988). A vegetação mais comum nos manguezais é vegetação herbácea, como samambaias, ervas marinhas, gramíneas, juncos, juncos, e ervas de folhas largas. No Brasil ocorrem três gêneros de árvores obrigatórias: *Rhizophora*, o **mangue-vermelho** (com três espécies: *Rhizophora mangle*, *Rhizophora racemosa* e *Rhizophora harrisonii*); *Avicennia*, o **mangue-preto** ou mangue-siriúba (com duas espécies: *Avicennia schaueriana* e *Avicennia germinans*); e *Laguncularia*, o **mangue-branco** (com uma única espécie: *Laguncularia racemosa*).

3.9. Solos de manguezais.

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (Embrapa) Os Solos dos manguezais são classificados como Solos Indiscriminados de Mangues (SM), são solos halomórficos pouco desenvolvidos, lamacentos, escuros e com alto teor de sais provenientes da água do mar, formados em ambientes de mangues a partir de sedimentos flúvio-marinhas recentes, misturados com detritos orgânicos, de natureza e granulometria variada. Tais sedimentos são decorrentes da deposição pelas águas dos rios quando se encontram com as águas do mar, estuários, em condição de baixa energia.

Ainda segundo a Embrapa, estes solos de maneira geral não apresentam diferenciação de horizontes ao longo do perfil, exceto em áreas marginais, onde pode ocorrer o desenvolvimento de um horizonte superficial com textura variável, desde argilosa até arenosa. Nestes ambientes ocorrem sedimentos lamacentos que ainda não atuaram os processos pedogenéticos, não constituindo solos por não apresentarem nenhum horizonte diagnóstico, tendo sido classificados como Tipo de Terreno. Estes solos precisam ser mais estudados, uma vez que, quase não se tem informações técnicas disponíveis no acervo bibliográfico nacional. Ocorrem nas várzeas da baixada litorânea, como parte dos estuários de rios, próximo às lagoas e pequenas depressões da faixa litorânea, sob vegetação de mangues com influência das marés. Em função da sua distribuição na paisagem, esses solos possuem limitações agrícolas relacionadas ao alto conteúdo de sais, às condições de excesso de umidade e ao caráter tiomórfico.

O carbono abaixo do solo certamente é o maior reservatório em um ecossistema de mangue e quantificá-lo é importante para determinar a dinâmica de longo prazo associada às mudanças climáticas e/ou manejo da terra. Reservatórios de carbono abaixo do solo geralmente constituem mais de 50%, e às vezes mais de 90%, do estoque total de carbono do ecossistema de manguezais (Donato *et al.* 2011, Kauffman *et al.* 2011); apesar da grande importância dos reservatórios de carbono do solo, eles são os reservatórios que são menos estudados nas florestas de mangue. Isso provavelmente por motivos relacionados à dificuldade em obter estimativas precisas e ao recente reconhecimento da importância dos manguezais como estoques globais de carbono (Lafolley e Grimsditch 2009, Nellemann *et al.* 2009, Donato *et al.*, 2011).

Os solos dos sistemas de carbono azul situados sob mangues são considerados nos levantamentos como solos indiscriminados de mangue em função do difícil acesso a esses

ambientes, sendo poucas as descrições morfológicas e análises físicas, químicas e mineralógicas destes solos, levando à não discriminação das classes de solo às quais pertencem. São constatações incluídos em duas unidades de mapeamento: são os complexos de solos, com ocorrência comum nas bacias sedimentares, sendo constituído por solos taxonomicamente distintos e com limites poucos nítidos entre si e de difícil individualização; e os grupos indiferenciados de solos, que são constituídos por unidades taxonômicas, com morfologia e propriedades muito semelhantes (Embrapa, 1995).

Solos indiscriminados de mangue encontram-se no litoral, geralmente junto a desembocaduras de rios, são desenvolvidos a partir de sedimentos recentes e influenciados diretamente pela água do mar, através do efeito das marés. Constituem, possivelmente, uma associação de Gleissolos Sálícos e Tiomórficos, com grande deficiência de drenagem, horizontes gleizados, com altos teores de sais e muitas vezes, compostos de enxofre (Embrapa, 1975; Brasil, 1987).

3.10. O Potencial do manguezal no sequestro de carbono.

O carbono é o principal componente da matéria orgânica do solo e contribui para dar ao solo sua capacidade de retenção de água, sua estrutura e sua fertilidade e atua na mitigação do clima. Nos processos erosivos o carbono é perdido carregando consigo o carbono orgânico, para os cursos d'água e quando exposto em solos sem cobertura, oxida, queimando o carbono do solo. Por mais básico que seja o carbono do solo, os pesquisadores ainda estão aprendendo como aproveitar e conhecer ao máximo sua capacidade de sequestro de CO₂ (Alongi, 2012).

As florestas de mangue acumulam o carbono oriundo da biomassa aérea, no entanto, parte deste carbono é perdido em médio e curto prazo promovido pelo uso desordenado de ocupação da terra e por desmatamento, enquanto a longo prazo é armazenado no solo e eventualmente nas condições certas como turfa (Alongi, 2012).

Os solos dos manguezais armazenam entre 50% a 90% da reserva total de carbono, contudo o desmatamento atinge anualmente uma taxa de 1 a 3% pela razão que as áreas de manguezal geralmente têm no seu entorno áreas ocupadas com altas densidades populacionais e elevados índices de pobreza, no qual, normalmente essas populações dependem diretamente desses manguezais para sua sobrevivência. Essa ocupação proporciona a mudança no uso do solo resultando em perda de carbono liberado para a atmosfera (Lal, 2003; Kauffman; Donato, 2012; Alongi, 2012). Tendo em vista que a maior parte dos manguezais é encontrada em países em desenvolvimento, os quais apresentam populações tradicionais que dependem quase

que exclusivamente dos bens e serviços ecossistêmicos ali presentes, a degradação ambiental passa a ser uma questão não só de ordem ambiental, mas também socioeconômica e resulta em perdas econômicas anuais na ordem de US\$ 42 bilhões (WWF, 2015).

Vale ressaltar, que a perda global de manguezais está diretamente associada à expansão das atividades humanas na zona costeira. Com grande impacto causado pela urbanização, a agricultura, a carcinicultura, as modificações das condições hidrodinâmicas dos rios e a exploração da madeira (Eddy *et al.*, 2021; Sanderman *et al.*, 2018).

4. MATERIAL E MÉTODOS.

4.1. Área de estudo.

O estudo foi desenvolvido dentro dos limites na bacia hidrográfica denominada GL-1, que corresponde ao grupo de bacias de pequenos rios litorâneos 1, está localizada no litoral norte do Estado de Pernambuco entre 07° 35' 12" e 08° 03' 48" de latitude sul, e 34° 48' 46" e 35° 11' 33" de longitude oeste. O grupo GL1 limita-se ao norte com a bacia do rio Goiana (UP1), ao sul com a bacia do rio Capibaribe (UP2), ao leste com o oceano Atlântico e, a oeste, com as bacias do rio Goiana e do rio Capibaribe. O grupo de bacias GL1 possui uma área de 1.188,11 km² estando totalmente inserida nos limites Estado de Pernambuco, cujo percentual da bacia corresponde a 1,21% do total do Estado (SRH, 2010).

São 13 os municípios abrangidos pelo grupo, dos quais 3 estão inseridos totalmente (Itamaracá, Itapissuma e Paulista), 4 municípios com sede na GL1, Abreu e Lima, Araçoiaba, Igarassu e Olinda e 6 estão parcialmente inseridos, Camaragibe, Goiana, Itaquitinga, Paudalho, Recife e Tracunhaém (CPRH, 2018).

A pesquisa foi realizada no município de Itamaracá, situado a cerca de 40 km da capital pernambucana, o município faz parte da Região Metropolitana do Recife, no litoral norte com área territorial é de 66,14 km² (IBGE 2020). A ilha é separada do continente pelo canal de Santa Cruz e ligado pela ponte Presidente Getúlio Vargas, Itamaracá teve sua população estimada pelo IBGE em 27.076 pessoas em 2021. Incluída geologicamente na Província da Borborema, a ilha, que é cortada pelas rodovias PE-035 e PE-001, faz fronteira com os municípios de Goiana, ao norte, de Itapissuma, a oeste, e de Igarassu, ao sul. Ao leste, está o Oceano Atlântico.

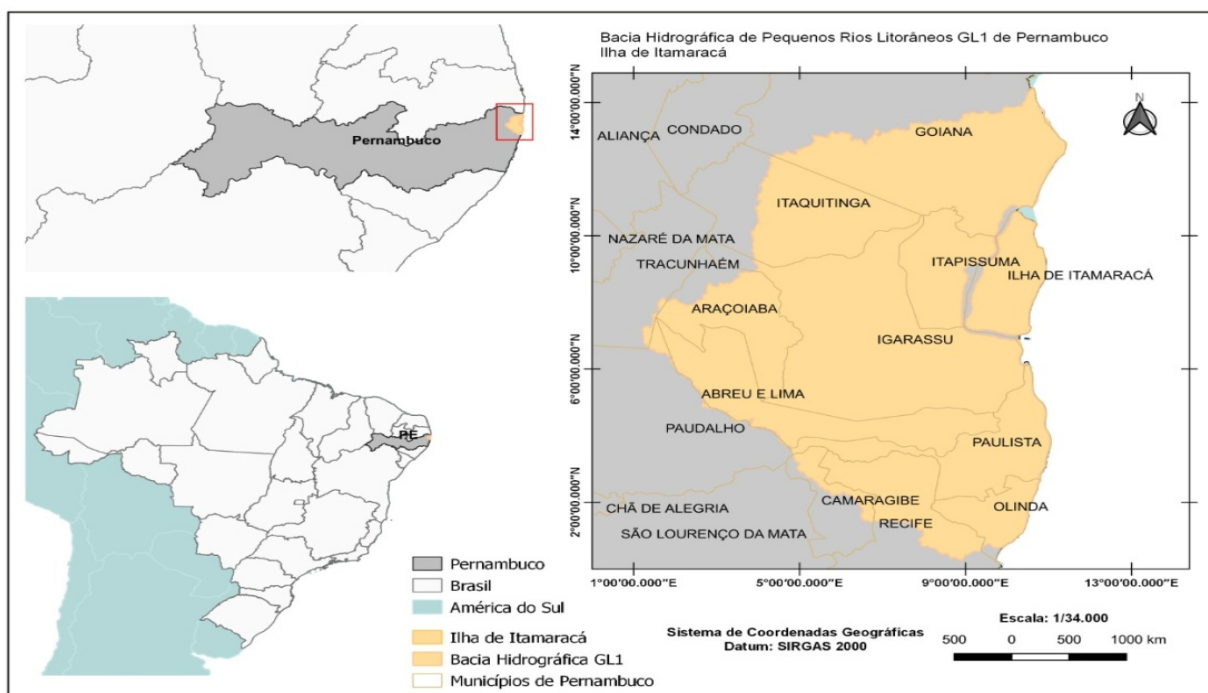


Figura 1. Localização da área de estudo. Bacia Hidrográfica GL-1, litoral norte – PE.
Fonte: Acervo do Autor.

O clima na Ilha de Itamaracá é tropical chuvoso, durante o inverno, verifica-se uma diminuição significativa dos níveis de precipitação em comparação com os meses de verão, dessa forma há muito mais pluviosidade no verão que no inverno. De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, as condições climáticas prevalentes nesta região são categorizadas em Aw. A temperatura média anual registrada em Ilha de Itamaracá é 25.9 °C, de acordo com os dados disponíveis e possui pluviosidade média anual de 1113 mm.

A área também faz parte de uma unidade de conservação (UC) denominada Área de Proteção Ambiental APA de Santa Cruz com uma área extensa que engloba três municípios – Itamaracá, Itapissuma e parte de Goiana. Totaliza 38.692 hectares, sendo 24.943 hectares de área continental e 13.749 hectares de área marítima. Criada por meio do Decreto Estadual nº 32.488 de 17 de outubro de 2008 (CPRH, 2018).

O complexo estuarino do canal de Santa Cruz possui 22 km de extensão com larguras variadas, recebendo sedimentos fluviais dos estuários dos rios Igarassu, Botafogo, Arataca, Capricho, Catuama e Maniquara. Essa região possui uma grande diversidade de espécies e vegetação típica de mangue, caracterizado como um braço de mar que separa o continente da ilha da Itamaracá.

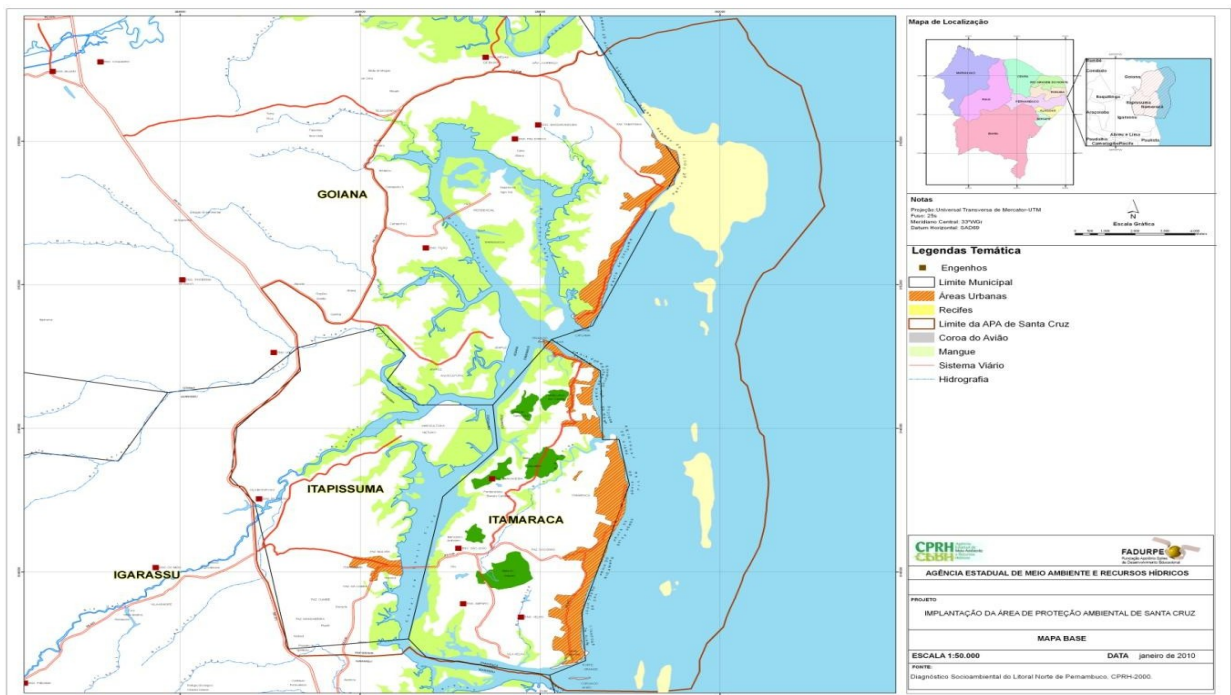


Figura 2. Delimitação da área de abrangência da APA de Santa Cruz – PE.
Fonte: CPRH, 2009.

4.2. Coletas das amostras.

A coleta das amostras foi realizada em maré baixa no mês de outubro de 2023, em três áreas de manguezal, denominadas de AL, figura 3 (área alagada), APL, figura 4 (área periodicamente alagada) e AS figura 5 (área seca), localizadas as margens do canal de Santa Cruz (Itapissuma/PE). As áreas foram divididas em zonas fisiográficas, de acordo com o gradiente de inundação (Lugo & Snedaker, 1974), onde o bosque de franja, definido como florestas que se desenvolvem na margem dos canais corresponde a porção AL e bosque de transição onde corresponde a porção APL, zona que limita a floresta de mangue com outros ecossistemas, nessas áreas foram encontradas árvores de mangue representando cerca de 90% da cobertura vegetal das margens do estuário com a presença mais expressiva da espécie *Rhizophora mangle* (mangue vermelho) e com menor frequência e distribuição as espécies *Laguncularia racemosa* (mangue branco), *Avicennia schaueriana* (mangue preto) concordando com Santos & Barcellos, 2017. Os altos níveis de matéria orgânica expressaram uma coloração escura em função da presença de sedimentos lamosos. A porção AS área semelhante ao Apicum (área seca), plana e com elevada salinidade ou acidez, desprovidas de vegetação ou com vegetação associados a manguezais, caracterizada por relevo mais elevado, em áreas banhadas somente pelas marés de sizígia, sendo em grande parte desprovidas de

vegetação vascularizada, denominadas de planícies hipersalinas. Todos os pontos de coleta foram marcados com suas respectivas coordenadas geográficas, utilizando um receptor GPS/GLONASS Garmin Map64s (tabelas 1, 2 e 3).



Figura 3 - Área Alagada (AL), com distribuição dos pontos de coleta.
Fonte: Google Earth.

Tabela 1. Pontos de amostragem na área alagada (AL).

Pontos	Coordenadas Geográficas
AL1	7°48'39.22"S / 34°51'23.74"O
AL2	7°48'39.81"S / 34°51'24.42"O
AL3	7°48'40.32"S / 34°51'25.50"O
AL4	7°48'40.32"S / 34°51'26.52"O
AL5	7°48'39.99"S / 34°51'27.56"O
AL6	7°48'38.15"S / 34°51'22.43"O
AL7	7°48'36.95"S / 34°51'22.09"O



Figura 4 – Área Periodicamente Alagada (APL), com distribuição dos pontos de coleta.
Fonte: Google Earth.

A coleta das amostras dos núcleos de solo em cada área estudada obedeciam um espaçamento entre eles de aproximadamente 30 metros, formando uma faixa (tipo transector linear) ao longo de cada área selecionada do canal de Santa Cruz. O modelo de distribuição das três áreas estudadas foi definido considerando o gradiente de inundação característico de cada tipo de manguezal.

Tabela 2. Pontos de amostragem na área periodicamente alagada (APL).

Pontos	Coordenadas Geográficas
APL1	7°48'19.78"S / 34°52'2.88"O
APL2	7°48'19.55"S / 34°52'3.96"O
APL3	7°48'19.38"S / 34°52'5.00"O
APL4	7°48'19.05"S / 34°52'6.07"O
APL5	7°48'18.27"S / 34°52'7.05"O
APL6	7°48'19.85"S / 34°52'1.77"O
APL7	7°48'19.95"S / 34°52'0.56"O



Figura 5 – Área Seca (AS), com distribuição dos pontos de coleta.
Fonte: Google Earth.

Tabela 3. Pontos de amostragem na área seca (AS).

Pontos	Coordenadas Geográficas
AS1	7°48'50.83"S / 34°52'2.95"O
AS2	7°48'51.36"S / 34°52'1.94"O
AS3	7°48'52.44"S / 34°52'0.80"O
AS4	7°48'53.32"S / 34°51'6.73"O
AS5	7°48'50.73"S / 34°52'4.94"O
AS6	7°48'50.30"S / 34°52'6.31"O
AS7	7°48'49.22"S / 34°52'7.87"O

Foram coletadas 7 núcleos de solo em cada uma das três áreas selecionadas, Cada núcleo do solo foi sistematicamente dividido nas profundidades 0 - 10; 10 - 20; 20 - 30; 30 - 40; 40 - 50; 50 - 60; 60 - 70; 70 - 80; 80 - 90; 90 - 100 cm, obtendo-se 20g de solo de cada intervalo para a determinação do carbono orgânico, totalizando 210 amostras. Para o cálculo da Densidade do solo foi utilizando uma seringa de 20 ml, as amostras foram etiquetadas e envolvidas com plástico filme, armazenadas em caixas térmicas com baterias de gelo e encaminhadas ao laboratório no mesmo dia da coleta.

Para esta finalidade foi utilizando um trado tipo Napoleão (figura 6) com 1 metro de comprimento e 6 cm de diâmetro, construído em aço galvanizado e ponta biselada para facilitar a penetração no solo, foram selecionados 07 (sete) pontos amostrais em uma faixa, onde os pontos de coleta foram separados por um intervalo aproximado de 30 metros.



Figura 6 - Trado utilizado para coletar os núcleos de solo.
Fonte: Acervo do Autor.



Figura 7 - Coleta de amostra com seringa de 20 ml.
Fonte: Acervo do Autor.



Figura 8 - Armazenamento das seringas em caixa térmica.
Fonte: Acervo do Autor.

4.3. Preparo das amostras

Chegando ao laboratório as amostras foram colocadas em recipientes de vidro refratários devidamente pesados e identificados, para determinar o peso úmido de cada

amostra. Em seguida todas as amostras foram colocadas em uma estufa com ventilação forçada, ajustada para 60 °C, durante o período de 48h ou até atingir o peso constante.

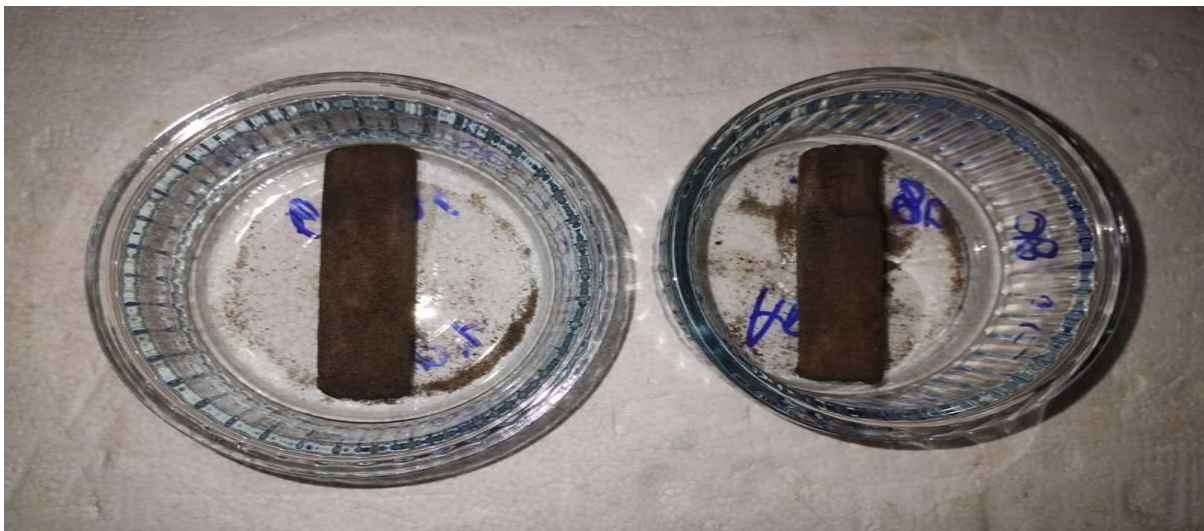


Figura 9 - Amostra pesadas e prontas para secagem na estufa com ventilação forçada ajustada a 60 °C.
Fonte: Acervo do Autor.

Logo após a secagem das amostras, alcançando o peso constante, os recipientes de vidro foram colocados no dessecador para o resfriamento e evitar qualquer ganho de umidade nesse período. Com as amostras em temperatura ambiente, foram maceradas em almofariz de ágata com a finalidade de homogeneizar o solo, após esse processo foram acondicionadas em sacos plásticos com gramatura 18, devidamente identificados e lacrados (figura 10).



Figura 10 - Amostras maceradas, embaladas em sacos plásticos e devidamente identificadas.
Fonte: Acervo do Autor.

As 210 amostras foram encaminhadas a Universidade Federal de Pernambuco UFPE, ao Laboratório de Compostos Orgânicos em Ecossistemas Costeiros e Marinhos (Organomar). No laboratório as amostras foram separadas e em seguida foram pesadas em balança analítica, 1g de cada amostra e acondicionadas em tubos Falcon de 50 ml, para tal procedimento, foram registrados o peso do tubo vazio e o peso do tudo com a amostra. Em

cada amostra foi adicionado 10 ml de ácido clorídrico (HCl) 1M para a identificação e retirada do carbonato de cálcio (CaCO_3) do sedimento, Nesse processo de acidificação, caso aconteça reação química (borbulhamento) essa amostra recebe mais 10 ml de HCl para que aconteça a total remoção dos carbonatos. Na sequência os tubos foram levados a centrifuga de bancada durante 5 minutos com uma rotação 4000 RPM.



Figura 13 - Pesagem de 1g de cada amostra.

Fonte: Acervo do Autor.

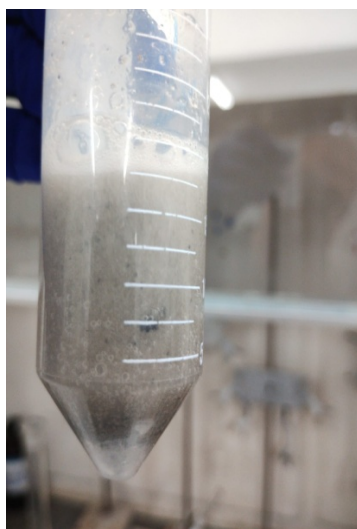


Figura 15 - Lote de amostras pesadas, prontas para acidificação.

Fonte: Acervo do Autor.



Figura 14 - Processo de acidificação das amostras.

Fonte: Acervo do Autor.

Após a acidificação e constatada a ausência de carbonatos, foi realizado o processo de lavagem das amostras para retirada do HCl, onde foi adicionado aproximadamente 50 ml água destilada aos tubos das amostras e submetidos novamente a centrifuga de bancada para mais 5 minutos de centrifugação com rotação de 4000 RPM. Finalizado esse processo é necessário retirar todo material sobrenadante dos tubos e leva-los para estufa por mais 24 h ou até atingir o peso constante. Com as amostras secas, foi registrado novamente o peso e foi realizado novo processo de maceração e acondicionamento do material em microtubos de Eppendorf de 2 ml (figura 16) devidamente identificados.

Com todas as amostras acondicionadas em microtubos de Eppendorf, devidamente identificadas e organizadas em caixas de tubos criogênicos (alfa numérico), foram encaminhados ao laboratório de análise química elementar para ser iniciado um novo processo de preparação para finalmente ser realizada a análise elementar, visando obter os teores de carbono orgânico.



Figura 16 - Amostras (1g) acondicionadas em microtubos de Eppendorf de 2 ml.

4.4. Análise das amostras.

Nessa fase, as amostras passaram por uma preparação final, o procedimento tem início com a pesagem de 20 mg de cada amostra em balança analítica, utilizando uma pequena espátula para encher cada cápsula de estanho pesadas previamente, em seguida as cápsulas foram comprimidas com pinças de aço inox para realizar o fechamento das amostras, é necessário, subtrair o peso da cápsula de estanho vazia para determinar o peso da amostra (20 mg). Para isso, foi registrada uma tabela de pesos para cada amostra com o objetivo de calcular os percentuais de carbono orgânico.

A análise elementar foi conduzida utilizando um analisador elementar EuroVector (EA3000) O equipamento foi configurado com um reator CHN (Carbono, Hidrogênio e Nitrogênio) preenchido com óxido de cromo, fios de cobre reduzido e óxido de cobalto prateado; uma armadilha para adsorção da água (perclorato de magnésio) e uma coluna de separação cromatográfica. A quantificação da massa de NT e CO nas amostras foi conduzida a partir da construção de uma curva analítica ($R^2 \geq 0,995$) utilizando como material de referência (MR) o sedimento B2151 (*Elemental Microanalysis*, C = 7,45%, $\delta^{13}\text{C} = -28,85\%$).



Figura 17 - Cápsulas de Estanho.
Fonte: Acervo do Autor.



Figura 18 – Pesagem.
Fonte: Acervo do Autor.



Figura 19 - Cápsula de Estanho.
Fonte: Acervo do Autor.



Figura 20 - Análisar Elementar –Modelo: EuroVector EA3000.
Fonte: Acervo do Autor.



Figura 21- Autosampler (alimentador automático para amostras sólidas).
Fonte: Acervo do Autor.

A técnica de combustão a seco, consiste na conversão dos elementos das amostras em gases simples (CO_2 e N_2 , por exemplo). Os gases resultantes são homogeneizados e mantidos nas condições normais de pressão, temperatura e volume, em seguida são despressurizados em uma coluna onde são detectados, separados e identificados a partir de sua condutividade termal (Pérez *et al.*, 2001). Após a análise elementar das 210 amostras, os resultados obtidos foram compilados e organizados em tabelas apresentando as concentrações de carbono orgânico bruto.

5. RESULTADOS E DISCUSÃO

Conforme descritos na metodologia foram alcançados os seguintes resultados das de concentrações de carbono orgânico bruto por cada profundidade, expressos em percentual, obtidos diretamente da leitura do Análisar Elementar (Tabelas 4, 5 e 6).

Tabela 4. Concentrações de Carbono Orgânico Bruto em (%) nas repetições da amostragem na área alagada (AL).

Concentrações de Carbono Orgânico Bruto (%)									
Prof.(cm)	1	2	3	4	5	6	7	Σ	$\bar{x}$
00- 10	0,26	1,02	2,37	2,47	5,52	3,16	5,88	20,67	2,95
10- 20	0,59	1,15	1,00	1,71	8,12	2,60	3,71	18,87	2,70
20- 30	0,90	3,87	1,08	3,25	8,50	2,65	3,54	23,79	3,40

30- 40	0,90	1,91	2,08	1,33	5,47	3,29	2,80	17,78	2,54
40- 50	2,06	1,86	1,85	2,99	11,0	3,12	1,08	23,97	3,42
50- 60	8,52	1,62	3,19	4,00	5,53	2,31	2,99	28,16	4,02
60- 70	7,87	3,80	1,76	2,59	3,54	9,24	3,91	32,71	4,67
70- 80	8,57	3,31	0,86	2,66	3,80	7,81	2,66	29,67	4,24
80- 90	8,79	3,84	1,29	1,99	4,93	3,83	1,48	26,16	3,74
90- 100	4,76	3,25	2,49	2,29	1,75	2,96	1,78	19,28	2,75

Tabela 5. Concentrações de Carbono Orgânico Bruto em (%) nas repetições da amostragem na área parcialmente alagada (APL).

Concentrações de Carbono Orgânico Bruto (%)									
Prof.(cm)	1	2	3	4	5	6	7	Σ	$\bar{x}$
00- 10	0,43	0,96	4,54	2,25	1,75	3,04	2,37	15,35	2,19
10- 20	1,23	0,95	2,81	1,61	1,90	3,02	2,93	14,46	2,07
20- 30	0,79	1,27	2,39	1,88	1,79	1,89	3,06	13,07	1,87
30- 40	1,27	1,29	2,75	2,41	2,02	0,98	2,78	13,50	1,93
40- 50	0,72	1,53	1,59	1,21	2,48	2,31	1,12	10,96	1,57
50- 60	1,34	1,86	2,48	1,39	1,92	4,94	4,35	18,27	2,61
60- 70	1,47	8,17	1,08	2,07	1,86	1,62	5,34	21,61	3,09
70- 80	1,01	2,70	3,37	1,68	2,50	1,71	1,63	14,59	2,08
80- 90	2,73	0,68	2,46	4,22	4,28	1,30	5,43	21,10	3,01
90- 100	2,45	1,96	2,13	3,69	5,80	2,46	2,64	21,13	3,02

Tabela 6. Concentrações de Carbono Orgânico Bruto em (%) nas repetições da amostragem na área raramente alagada (AS).

Concentrações de Carbono Orgânico Bruto (%)									
Prof.(cm)	1	2	3	4	5	6	7	Σ	$\bar{x}$
00- 10	0,71	0,42	0,35	0,60	0,37	0,19	0,40	3,04	0,43
10- 20	1,28	0,76	0,27	0,49	0,36	0,33	0,45	3,94	0,56
20- 30	0,69	0,35	0,26	0,47	0,21	0,10	0,40	2,48	0,35
30- 40	1,18	0,47	0,26	0,37	0,21	0,10	0,46	3,05	0,43
40- 50	0,78	0,37	0,29	0,40	0,31	0,08	0,31	2,54	0,36
50- 60	1,22	0,43	0,38	0,59	0,36	0,22	0,32	3,52	0,5
60- 70	0,92	0,40	0,34	0,81	0,64	0,22	0,50	3,83	0,55
70- 80	1,22	0,88	0,25	0,19	0,61	0,26	1,28	4,69	0,67
80- 90	0,79	0,86	0,20	0,27	1,22	0,50	0,79	4,63	0,66
90- 100	0,76	0,42	0,16	0,22	0,89	0,40	0,71	3,56	0,51

Conforme descritos na metodologia foram alcançados os seguintes valores dos estoques de carbono orgânico em cada profundidade expressos em Mg/ha^{-1} (Tabelas 7, 8 e 9).

Tabela 7. Estoques de Carbono em Mg/ha⁻¹ nas repetições da amostragem na área alagada (AL).

Estoques de Carbono Mg/ha ⁻¹								
Prof.(cm)	1	2	3	4	5	6	7	$\bar{x}$
00- 10	3,11	9,31	16,59	20,63	30,15	30,85	52,96	23,37
10- 20	7,51	16,19	11,97	19,38	28,82	18,19	37,31	19,91
20- 30	10,25	25,45	11,20	24,08	44,03	20,35	38,87	24,89
30- 40	11,26	21,62	21,25	17,80	34,20	38,74	25,70	24,37
40- 50	19,75	18,66	15,98	23,89	29,15	20,58	11,92	19,99
50- 60	62,05	17,90	22,29	27,05	31,31	13,90	25,08	28,51
60- 70	46,70	41,41	24,48	23,29	19,17	48,20	26,34	32,80
70- 80	44,77	29,93	14,05	24,27	28,86	49,47	24,87	30,89
80- 90	61,20	30,81	16,67	19,69	23,59	26,41	15,26	27,66
90- 100	36,38	33,66	24,73	26,01	20,41	26,86	21,19	27,03

Tabela 8. Estoques de Carbono em Mg/ha⁻¹ nas repetições da amostragem na área parcialmente alagada (APL).

Estoques de Carbono Mg/ha ⁻¹								
Prof.(cm)	1	2	3	4	5	6	7	$\bar{x}$
00- 10	3,03	10,97	37,66	21,03	11,98	26,17	20,48	18,76
10- 20	8,67	8,62	21,65	14,49	10,15	19,84	16,19	14,23
20- 30	5,66	17,15	22,09	18,05	16,26	16,92	25,69	17,40
30- 40	16,17	16,25	29,47	26,88	21,33	10,85	20,50	20,21
40- 50	10,31	19,83	16,78	15,08	16,24	25,24	6,72	15,74
50- 60	18,42	21,95	27,72	14,07	19,70	25,67	26,00	21,93
60- 70	21,71	43,21	12,01	27,14	13,84	14,47	91,31	31,95
70- 80	14,59	26,34	34,26	20,11	28,77	16,74	15,93	22,39
80- 90	30,61	6,23	26,78	32,74	37,01	14,35	28,64	25,19
90- 100	22,62	19,04	12,43	20,61	37,42	22,35	20,14	22,09

Tabela 9. Estoques de Carbono em Mg/ha⁻¹ nas repetições da amostragem na área seca(AS).

Estoques de Carbono Mg/ha ⁻¹								
Prof.(cm)	1	2	3	4	5	6	7	$\bar{x}$
00- 10	7,24	4,51	2,94	6,74	4,90	2,54	4,77	4,80
10- 20	8,77	7,01	1,94	3,93	4,64	4,49	5,74	5,22
20- 30	7,57	4,75	3,92	1,46	2,33	1,41	5,87	3,90
30- 40	12,32	6,83	3,16	4,70	3,00	1,32	6,80	5,45
40- 50	10,74	4,99	3,46	4,76	4,55	1,14	4,61	4,89
50- 60	16,36	6,40	4,55	6,67	4,84	2,75	4,69	6,61
60- 70	12,46	5,65	3,98	9,43	8,09	2,94	7,90	7,21
70- 80	16,53	12,19	3,64	2,60	8,54	3,86	19,23	9,51
80- 90	10,14	12,56	2,11	4,02	14,30	7,99	11,80	8,99
90- 100	10,13	5,19	1,81	3,18	12,02	5,68	10,70	6,96

Podemos observar nas tabelas 7, 8 e 9 que os estoques de carbono nestas áreas variam de acordo com a profundidade. Alguns autores comentam que os estoques de carbono no solo dos ecossistemas de mangue também são cinco vezes maiores do que os das florestas tropicais terrestres por unidade de área (Bouillon, 2011; Malhi *et al.*, 2011). Isto se deve a participação dos fatores abióticos como concentrações e disponibilidade de nutrientes, pH e salinidade do solo, marés e os fatores bióticos: espécies de árvores e idades resultantes da topografia e hidrologia do local. A produção de raízes finas de mangue, afetada pela biomassa da vegetação e pela salinidade do solo, são os principais impulsionadores do acúmulo de COS.

Com relação às áreas: alagada permanentemente (AL), periodicamente alagada (APL) e área seca (AS) houve diferença significativa nas três áreas, pelo teste de Tukey (Tabela 10). Isto se deve as características diferenciadas das condições das áreas dentro do manguezal, determinado pelo gradiente de alagamento, presença de vegetação, semelhança na biodiversidade e na área seca (AS) caracterizada pela alta salinidade do solo, relevo, presença de vegetação rasteira e ausência de vegetação arbustiva. Para as áreas estudadas, a ANOVA mostrou que existe diferença significativa também entre as repetições coletadas nas diferentes áreas quanto a profundidade.

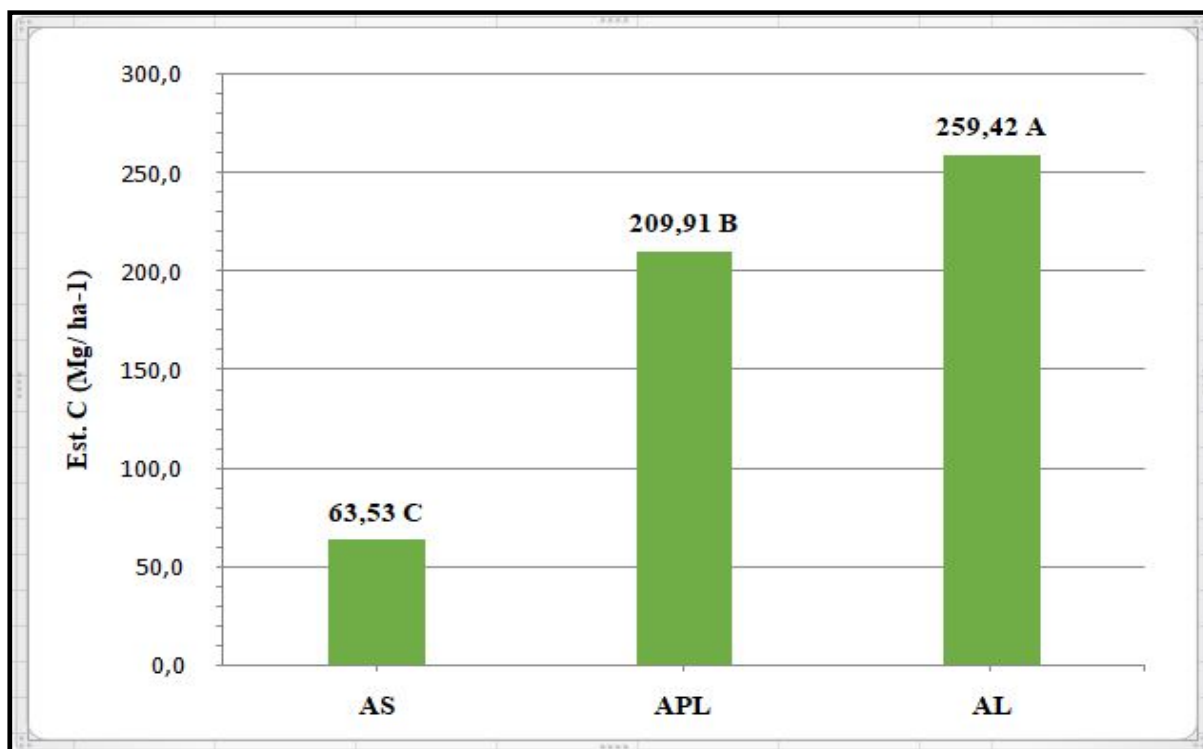


Figura 22 - Média dos estoques de carbono nas áreas estudadas.

Tabela 10. Análise de variância com relação a áreas, profundidade e área*profundidade.

Fonte da variação	gl	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Áreas	2	165991.587600	82995.793800	67.243	0.0000
Erro	21	25919.775650	1234.275031		
Total corrigido	23	191911.363250			
CV (%) =	19.78				
Média geral:	177.6225000		N. observações	24	

Tabela 11 – Teste de Tukey aplicado aos estoques de carbono orgânico total por áreas.

Áreas de estudo	Carbono
	Mg/ha⁻¹
Profund. 0-100cm	$\bar{x}$
AS	63.54 A
APL	209.91 B
AL	259.42 B

Medidas seguidas de letras maiúsculas na mesma linha não diferem entre si, ao nível de 5% de significância, pelo teste de Tukey.

O teste F para análise de variância foi significativo ao nível de 5%. Os efeitos dos tratamentos diferem entre si ao nível de significância de 5%, devido ao acaso. Por tanto as amostras obtidas das três áreas amostradas diferem entre si em função da característica de cada uma com um grau de confiança de 95%.

Os estoques de Carbono em AL foram de 1815,94 Mg/ha⁻¹, em APL foram de 1469,35 Mg/ha⁻¹ e em AS 444,76 Mg/ha⁻¹. Alongi (2014) concluiu que as florestas de mangue armazenam mais C do que muitos outros ecossistemas florestais, especialmente nos seus solos. Nosso estudo concorda com esta observação. Os manguezais estudados localizados próximos ao canal fluvial de Santa Cruz (Itapissuma/PE) têm um Estoque de Carbono Total no Solo (TECS) que alcançam uma média global de 1.371,65 Mg C/ha (neste estudo), em comparação com ~197–518 Mg C/ha para florestas tropicais de terras altas, 593 Mg C/ha para sapais e 142 Mg C/ha para ervas marinhas (Jobse 2008, Donato et al. 2012, Fourqureane outros. 2012), manguezais da região Indo-Pacífico (1.023 Mg C/ha) entre outros. Valores padrão fornecidos no IPCC 2014 indicam que os estoques de C do ecossistema de mangue na escala local variaram de 79 para 2.208 Mg C/ha. Os nossos valores estão enquadrados entre os mais produtivos em termos de estoques de carbono no solo, considerando o fato de o local de estudo fazer parte de uma reserva e o seu estoque de carbono orgânico localizado na média da escala sugerida pelo IPCC 2014. Existem muitas razões convincentes para melhorar as quantificações de estoques de C nos manguezais, bem como outros ecossistemas de carbono

azul, eles estão entre os ecossistemas tropicais mais densos em carbono e, quando desmatados e convertidos para a agricultura ou a aquicultura, as suas emissões cumulativas de GEE excedem em muito as das terras altas (Pendleton *et al.* 2012, Sanders *et al.* 2016, Kauffman *et al.* 2017). Algumas das diferenças na massa C do solo de mangue relatados na literatura refletem as variações profundidades arbitrárias nas quais os reservatórios de C do solo foram medidos ou modelados. Alguns estudos sobre estoques e perdas de C nos manguezais pelo uso da terra limitaram as medições do estoque de C. Quando manguezais são convertidos para outros usos da terra, as perdas de C são altas porque grandes quantidades de C anteriormente armazenadas em seus solos subóxicos/anóxicos são submetidas a processos acelerados taxas de decomposição aeróbica resultando em potencialmente grandes emissões de GEE (Pendleton *et al.* 2012, Kauffmane *et al.* 2017). Os manguezais estudados correspondem a manguezais estuarinos com maiores influências dos rios e inundações do que os manguezais marginais, que não estão associados aos rios, mas ainda sujeito às marés e maior energia das ondas apresentaram os maiores estoques de C do ecossistema, por exemplo, manguezais em deltas do Pantanos de Centla, México e Indonésia.

Tabela 12 – Valores médios da densidade do solo das áreas estudadas em função de profundidade.

Prof.(cm)	Áreas Estudadas		
	D= (g/cm ³) ($\bar{x}$)		
	AL	APL	AS
00-10	0,86	0,85	1,12
10-20	1,01	0,72	1,01
20-30	0,85	0,94	1,17
30-40	1,06	1,09	1,32
40-50	0,81	1,05	1,36
50-60	0,74	0,97	1,32
60-70	0,81	1,11	1,33
70-80	0,90	1,10	1,42
80-90	0,85	0,91	1,35
90-100	1,02	0,76	1,35
$\bar{x}$	8,9	9,5	1,3

Nas áreas secas a densidade aparente é maior indicando solos de baixa porosidade e compactação. O alto teor de argila fina nesses solos e as densidades aparentes correspondentemente mais altas resultam em diminuição do solo. Solos densos aumentam a biomassa radicular total, enquanto que o comprimento da raiz primária decresce, embora raízes cultivadas em alta densidade aparente tenham maiores níveis de nitrogênio. Assim, a variação da densidade aparente do solo tem implicações importantes para o sequestro de C em

manguezais. Os valores médios da densidade aparente para as áreas alagadas (AL) foi de 0,89 g/cm³ e para as áreas periodicamente alagadas (APL) foi de 0,95 g/cm³ quase semelhante ao encontrado no Rio Zambeze Delta em Moçambique com densidade aparente de (0,94 g cm³) (Stringer *et al.* 2016). Os valores da densidade aparente quase semelhantes entre as áreas estudadas (AL) e (APL) pode ser devida a uniformidade dos sedimentos, textura do solo e mesma profundidade de amostragem.

As densidades aparentes em solos de mangue não perturbados variam de cerca de 1,0 a 1,4 g/cm³, sendo mais altas para areias e com maior profundidade no perfil do solo. Solos compactados apresentam maior densidade aparente. De acordo com nossos valores de densidade aparente encontrado podemos dizer que se trata de uma área quase não perturbada mais considerando que o local serve de sustento de habitantes do local no que se refere a coleta de caranguejos e conchas vivas.

6. CONCLUSÃO

Durante a preparação das amostras, no processo de acidificação foi verificado baixos teores de carbonato de cálcio (CaCO₃), quase inexistentes, tornando-se um forte indicativo que esse carbono orgânico, em grande parte, tem origem do aporte de biomassa no solo produzida pela vegetação local, sendo classificado como carbono autóctone.

Foi verificado durante a coleta das amostras e de resultados laboratoriais que altos teores de salinidade e altas densidades aparentes no solo implicam em menores estoques de carbono orgânico nos solos de manguezal.

O carbono azul em áreas de manguezal é considerado como um dos sumidouros mais eficientes da terra diante das mudanças climáticas globais, as pesquisas relacionadas a acumulação e estoques de carbono em manguezais ainda são escassas e possuem diversas lacunas, necessitando de mais estudos, visando contribuir no conhecimento deste ecossistema tão essencial ao gerenciamento de políticas ambientais.

7. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

Adame, MF, Wright, SF, Grinham, A., Lobb, K., Reymond, CE & Lovelock, CE (2012). Conectividade terrestre-marinha: Padrões de deposição de carbono no solo terrestre em sedimentos costeiros determinados pela análise da proteína do solo relacionada à glomalina. *Limnologia e Oceanografia*, 57, 1492.

Alongi, Daniel M. "Sequestro de carbono em florestas de mangue." *Gestão de carbono* 3.3 (2012): 313-322.

Alongi, DM (2002). Estado atual e futuro das florestas de mangue do mundo. *Conservação ambiental*, 29, 331-349.

Bouillon, S., Dahdouh-Guebas, F., Rao, A., Koedam, N. & Dehairs, F. (2003). Fontes de carbono orgânico em sedimentos de mangue: variabilidade e possíveis implicações ecológicas. *Hydrobiologia*, 495, 33-39.

BRANDÃO, E. J. (2011). O ecossistema manguezal: aspectos ecológicos e jurídicos. *Revista de Curso de Direito*, 1 (2), p.1-16.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria – Geral. Projeto RADAM BRASIL. Folha SE.4 Rio Doce; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra/Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística -Rio de Janeiro:IBGE,1987.548p.

CHEN, B.; XIAO, X.; LI, X.; PAN, L.; DOUGHTY, R.; MA, J.; DONG, J.; QIN, Y.; ZHAO, B.; WU, Z.; SUN, R.; LAN, G.; XIE, G.; CLINTON, N.; GIRI, C. A mangrove forest map of China in 2015: Analysis of time series Landsat 7/8 and Sentinel-1A imagery in Google Earth Engine. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, v. 131, p.104-120, 2017.

Chen, K., RM Horton , DA Bader , C. Lesk , L. Jiang, B. Jones, L. Zhou, X. Chen, J. Bi e PL Kinney, 2017: Impacto das mudanças climáticas na mortalidade relacionada ao calor na província de Jiangsu, China. *Meio Ambiente. Poluição.* , 224 , não. 317, doi:10.1016/j.envpol.2017.02.011.

Chmura, GL, Anisfeld, SC, Cahoon, DR & Lynch, JC (2003). Sequestro global de carbono em solos úmidos salinos e de maré. *Ciclos biogeoquímicos globais*, 17, Artigo 11.

CINTRON, G.; LUGO, A. E.; POOL, D. J.; MORRIS, G. Mangroves of arid environments in Puerto Rico and adjacent islands. *Biotropica*, Washington, v.10, p.110- 121, 1978.

CPRH, (2018). Unidade de Conservação APA de Santa Cruz. CPRH Agência Estadual do Meio Ambiente. Em: https://www2.cprh.pe.gov.br/uc/apa-de-santa-cruz/DIAGNÓSTICO_Socioambiental_da_Area_de_Proteção_Ambiental_de_Santa_Cruz. Recife: CPRH, 2009. Disponível em: <https://www2.cprh.pe.gov.br/wpcontent/uploads/2021/01/diagnosticosantacruz.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2023.

Cuzzuol, Geraldo Rogério Faustini, and Andréa Campos Rocha. "Interaction of the water regime with nutrients relations in a mangrove ecosystem." *Acta Botanica Brasilica* 26 (2012): 11-19.

Cuzzuol, Geraldo Rogerio Faustini, and Andrea Campos. "Aspectos nutricionais na vegetação de manguezal do estuário do Rio Mucuri, Bahia, Brasil." *Brazilian Journal of Botany* 24 (2001): 227-234.

de Oliveira, Alexandra Bomfim, Alexandra Elaine Rizzo, and Erminda da Conceição Guerreiro Couto. "Assessing decomposition rates of *Rhizophora* mangle and *Laguncularia racemosa* leaves in a tropical mangrove." *Estuaries and Coasts* 36 (2013): 1354-1362.

Donato, D., Kauffman, J., Mackenzie, R., Ainsworth, A. & Pflieger, A. (2012). Estoques de carbono de toda a ilha no Pacífico tropical: Implicações para conservação de manguezais e restauração de terras altas. *Jornal de gestão ambiental*, 97, 89-96.

Donato, DC, Kauffman, JB, Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M. & Kanninen, M. (2011). Manguezais entre as florestas mais ricas em carbono nos trópicos. *Nature Geoscience*, 4, 293-297.

Duarte, CM, Middelburg, JJ & Caraco, N. (2005). Importante papel da vegetação marinha no ciclo do carbono oceânico. *Biogeociências*, 2, 1-8.

Eddy, Tyler D., e outros. "Declínio global na capacidade dos recifes de coral de fornecer serviços ecossistêmicos." *Uma Terra* 4.9 (2021): 1278-1285.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solos. 2. Ed. Ver. Atual. – Rio de Janeiro: Embrapa produção de informação, 1997. 212p. (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisas Pedológicas. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do Estado do Sergipe. Recife, 1975. 506p. (EMBRAPA/CPP. Boletim Técnico, 36-SUDENE/DRN. Série Recursos Solos, 6).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ). Procedimentos normativos de levantamentos pedológicos. Brasília: EMBRAPA. 1995. 101p.

Friess, D. A., Yando, E. S., Abuchahla, G. M. O., Adams, J. B., Cannicci, S., Canty, S. W. J., et al. (2020b). Mangroves give cause for conservation optimism, for now. *Curr. Biol.* 30, R135–R158. doi: 10.1016/j.cub.2019.12.054.

Friess, D. A., Yando, E. S., Alemu, J. B., Wong, L.-W., Soto, S. D., and Bhatia, N. (2020a). Ecosystem services and disservices of mangrove forests and saltmarshes. *Oceanogr. Mar. Biol.* 58, 107–142. doi: 10.1201/9780429351495-3.

Giesen, W., Wulffraat, S., Zieren, M., & Scholten, L. (2007). *Mangrove guidebook for Southeast Asia*. Bangkok: FAO Regional Office for Asia and the Pacific.

Giri, C.O.E.; Tieszen, L.L.; Zhu, Z.; Singh, A. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 2011, 20, 154–159.

GlobalClimateReport2019,NOAA.Disponívelem:<https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201913>. Acesso: 02/02/2023.

HANSEN, James et al. Climate Science, Awareness and Solutions Program. Earth Institute. Columbia University, 2021.

HANSEN, James; SATO, Makiko et al. July Temperature Update: Faustian Payment Comes Due. Disponível em: <http://www.columbia.edu/~mhs119/Temperature E-mails/July2021>. Pdf Acesso 04/11/2023.

HANSEN, James; SATO, Makiko. Global Warming Acceleration. Earth Institute, Columbia University, 14/XII/2020.

Harris, N.B.S.; Hagen, S.C.; Baccini, A.; Houghton, R. *Progress toward a Consensus on Carbon Emissions from Tropical Deforestation: Policy Brief*; Meridian Institute: Washington, DC, USA, 2012.

Harris, N.B.S.; Hagen, S.C.; Saatchi, S.S.; Petrova, S.; Salas, W.; Hansen, M.C.; Potapov, P.V.; Lotsch, A. Baseline map of carbon emissions from deforestation in tropical regions. *Science* **2012**, 336, 1573.

HERR, D., PIDGEON, E., LAFFOLEY, D. Blue Carbon. Policy Framework: Based on the Discussion of the International Blue. Carbon Policy Working Group, IUCN and Arlington, Gland, Switzerland, USA: CI. vii+39pp. 2012.

Howard, J., Hoyt, S., Isensee, K., Telszewski, M., Pidgeon, E. (eds.) (2014). Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and sea grasses. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. Arlington, Virginia, USA.

HUTCHINGS, P. A.; SAENGER, P. Ecology of mangroves. Brisbane: University of Queensland Press. 1987, 388 p.

ICMBio, 2018. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Atlas dos Manguezais do Brasil. Brasília: ICMBio Disponível: https://icmbio.gov.br/portal/images/stories/manguezais/atlas_dos_manguezais_do_brasil.pdf.

IPCC (2007). Contribuição do Grupo de Trabalho II. In: *Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas* (eds. ML Parry, OF Canziani, JP Palutikof, Linden, PJvd & Hanson, CE). Cambridge University Press Cambridge, Reino Unido e Nova York, NY, EUA.

IPCC. Global Warming of 1,5o C. Switzerland: IPCC, 2018.

IPCC, 2021: Sumário para Formuladores de Políticas. Em: Mudança do Clima 2021: A Base da Ciência Física. Contribuição do Grupo de Trabalho I ao Sexto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas [Masson - Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. No Prelo. Disponível em: [ipcc/arquivos](https://www.ipcc.org/arquivos). Acesso em: 19 fev. 2024.

Johnson, BJ, Moore, KA, Lehmann, C., Bohlen, C. & Brown, TA (2007). Flutuações do Holoceno médio a tardio da vegetação C3 e C4 em um pântano de sal do norte da Nova Inglaterra, Sprague Marsh, Phippsburg Maine. *Geoquímica Orgânica*, 38, 394-403.

Kauffman, J. B., Bernardino, A. F., Ferreira, T. O., Giovannoni, L. R. O., Gomes, L. E., Romero, D. J., Jimenez, L. C. Z. e Ruiz, F., 2018. Carbon stocks of mangroves and salt marshes of the Amazon region, Brazil. *Biology Letters*, Vol. 14: 1–4.

Kauffman, J.B.; Donato, D.C. Protocols for the Measurement, Monitoring and Reporting of Structure, Biomass and Carbon Stocks in Mangrove Forests; Working Paper 86; Center for International Forest Research (CIFOR): Bogor, Indonesia, 2012.

Kauffman, JB & Cole, TG (2010). Estrutura da floresta de mangue da Micronésia e respostas das árvores a um tufão severo. *Pantanais*, 30, 1077-1084.

Kauffman, JB & Donato, D. (2011). Protocolos para medição, monitoramento e reporte de estrutura, biomassa e estoques de carbono em florestas de mangue. *Bogor, Indonésia: Centro de Pesquisa Florestal Internacional (CIFOR)*.

Kauffman, JB e Donato, DC 2012 Protocolos para medição, monitoramento e relatórios de estrutura, biomassa e estoques de carbono em florestas de mangue. Documento de trabalho 86. CIFOR, Bogor, Indonésia.

Kennedy, H., Beggins, J., Duarte, CM, Fourqurean, JW, Holmer, M., Marbà, N. et al. (2010). Sedimentos de ervas marinhas como um sumidouro global de carbono: restrições isotópicas. *Ciclos Biogeoquímicos Globais*, 24.

LABOMAR. Universidade Federal do Ceará (UFC). Instituto de Ciências do Mar - Sociedade Internacional para Ecossistemas de Manguezal – ISME-BR. Estudo das Áreas de Manguezais do Nordeste do Brasil: Avaliação das áreas de manguezais dos Estados do Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Ceará. 62 p. novembro de 2005.

LACERDA, L. D. Mangrove Ecosystems: function and management. Ceará: Heidelberg Springer Verlag, v. 1, 2002. 292 p.

Laffoley, D. & Grimsditch, GD (2009). *A gestão de sumidouros de carbono costeiros naturais*. IUCN, Gland, Suíça.

Lal, Rattan, RF Follett e JM Kimble. “Alcançar o sequestro de carbono no solo nos Estados Unidos: um desafio para as decisões políticos.” *Ciência do Solo* 168.12 (2003): 827-845.

Lo Iacono, C., Mateo, MA, Gràcia, E., Guasch, L., Carbonell, R., Serrano, L. et ai. (2008). Imagens sismo-acústicas de alta resolução de prados de ervas marinhas (Mar Mediterrâneo): Implicações para estimativas de sumidouros de carbono. *Cartas de Pesquisa Geofísica*, 35.

LUGO, A. E.; BRINSON, M. M.; BROWN, S. Synthesis and search for paradigms in wetland ecology. In: LUGO, A. E.; BRINSON, M.; BROWN, S. (eds.). *Forested Wetlands. Ecosystems of the world*, Amsterdam, p. 447-460, 1990.

LUGO, A. E.; SNEDAKER, S. C. The ecology of mangroves. *Annual Review of Ecology and Systematics*, Palo Alto, v.5, p.39-64, 1974.

Luo, Y. e Zhou, X. (2006) *Solo e Ambiente Respiratório*. Imprensa Acadêmica, San Diego.

McKee, KL, Cahoon, DR & Feller, IC (2007). Os manguezais caribenhos se ajustam ao aumento do nível do mar por meio de controles bióticos sobre a mudança na elevação do solo. *Ecologia Global e Biogeografia*, 16, 545-556.

MCLEOD, E., CHMURA, G., BOUILLON, S., SALM, R., BJÖRK, M., DUARTE, C., LOVELOCK, C., SCHLESINGER, W., SILLIMAN, B. A blueprint for blue carbon: toward na improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment* 9, 552–560, 2011.

Mcleod, E., Chmura, GL, Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, CM *et ai.* (2011). Um plano para o carbono azul: em direção a uma melhor compreensão do papel dos habitats costeiros vegetados no sequestro de CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9, 552-560.

Middleton, B. & McKee, K. (2001). Degradação de tecidos de mangue e implicações para a formação de turfa em florestas insulares de Belize. *Jornal de Ecologia*, 89, 818-828.

Middleton, B. A., and K. L. McKee. "Degradation of mangrove tissues and implications for peat formation in Belizean island forests." *Journal of Ecology* (2001): 818-828.

Ministério do Meio Ambiente. CND (Contribuição Nacionalmente Determinada). 2016b. Disponível em: Acesso em: 5 mar. 2023.

Mitsch, WJ & Gosselink, JG (2007). *zonas úmidas*. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken. NJ, EUA.

MUMBY, P. J.; EDWARESEX, A. J.; ARIAS-GONZÁLEZ, J. E.; LINDEMAN, K. C.; BLACKWELL, P. G.; GALL, A.; GORCZYNSKA, M. I.; HARBORNE, A. R.; PESCOD, C. L.; RENKEN, H.; WABNITZ, C.C.C.; LLEWELLYN, G. Mangroves enhance the biomass of coral reef fish communities in the Caribbean. *Nature*, London, v.427, p.533-536, 2004.

Nellemann, Christian, and Emily Corcoran, eds. *Blue carbon: the role of healthy oceans in binding carbon: a rapid response assessment*. UNEP/Earthprint, 2009.

NOAA. North Oceanic and Atmospheric Administration -Global Climate Report 2023, <<https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/2023>>.

NOAA. Plataforma online da Administração Oceânica e Atmosférica Nacional. https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php.

Pachauri, R. K., & Meyer, L. A. (2014). *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Genebra: IPCC.

PACHAURI, R.; MEYER, L. Climate change 2014: Synthesis misc. contribution of working groups i, ii and iii to the fth assessment misc of the intergovernmental panel on climate change. p. 151, 2014.

PEREGRINE, P. N. Climate and social change at the start of the Late Antique Little Ice Age. Holocene, p.0959683620941079, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/0959683620941079>.

Perera, KARS e Amarasinghe, MD (2014), Efeito de Estrutura da Vegetação na Capacidade de Assimilação de Carbono dos ecossistemas de manguezais na costa leste do Sri Lanka, *Jornal de Desenvolvimento Costeiro* 17:1410-5217.

PERNAMBUCO. Secretaria de Recursos Hídricos. Bacias hidrográficas: grupo de bacias de pequenos rios litorâneos 1 GL1. Recife: CPRH. Disponível: [HTTP://www.sirh.pe.gov.br/site/GL1.php](http://www.sirh.pe.gov.br/site/GL1.php). Acesso em: 15 mar 2023.

Saenger, P. & Snedaker, SC (1993). Tendências pantropicais na biomassa acima do solo dos manguezais e na quantidade de serapilheira anual. *Oecologia*, 96, 293-299.

SALATI, E.; SANTOS, A.A. dos; NOBRE, C. As mudanças climáticas globais e seus efeitos nos ecossistemas brasileiros. Disponível em: <www.comciencia.br/reportagens/clima/clima14.htm> Acesso em: 25 de março. 2023.

Sanderman, Jonathan e outros. "Um mapa global do carbono do solo da floresta de mangue com resolução espacial de 30 m." *Cartas de Pesquisa Ambiental* 13.5 (2018): 055002.

Santos, LD e Barcellos, RL (2017) Sedimentação Atual do Estuário do Rio Formoso-PE (Brasil). NEA-Edições, Saarbrücken, 113 p.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; CINTRON-MOLERO, G.; ADAIME, R. R.; CAMARGO, T. M. de. Variability of mangrove ecosystems along the Brazilian coast. *Estuaries, Columbia*, v.13, n.2, p.204-218, 1990.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y.; SOARES, M. L. G.; NASCIMENTO, S. A. Estudo técnico de caracterização do ecossistema manguezal. Brasília, DF: Ministério Público Federal - Procuradoria Geral da República, 4 a Câmara de Coordenação e Revisão - Meio Ambiente e Patrimônio Cultural. 2002, 26p.

SCHAEFFER-NOVELLI, Yara. Manguezal, os dispositivos legais como instrumento da conservação. 2000, Anais.. Vitória: Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 2000. . Acesso em: 18 out. 2023.

SCHAEFFER-NOVELLI, Yara. Manguezal ecossistema entre a terra e o mar. . São Paulo: Caribbean Ecological Research. . Acesso em: 26 jan. 2024. , 1995.

Schlesinger, WH & Lichter, J. (2001). Armazenamento limitado de carbono no solo e serapilheira de parcelas florestais experimentais sob aumento do CO₂ atmosférico . *Natureza*, 411, 466-469.

SCHOLES, R. J.; MONTEIRO, P. M. S.; SABINE, C. L.; CANADELL, J. G. Systematic long-term observations of the global carbon cycle Trends in Ecology & Evolution, Amsterdam, v. 24 , n. 8, p. 427-430, 2009.

Serrano, O., Lavery, PS, Rozaimi, M. & Mateo, M.Á. (2014). Influência da lâmina d'água na capacidade de sequestro de carbono de ervas marinhas. *Ciclos Biogeoquímicos Globais*. DOI: 10.1002/2014GB004872.

Sitoe, A. A., Mandlate, L. J. C. e Guedes, B. S., 2014. Biomass and carbon stocks of Sofala Bay mangrove forests. *Forests* Vol. 5: 1967–1981.

Sitoe, A.S.A.; Wertz-Kanounnikoff, S. The Context of REDD+ in Mozambique: Drivers, Agents and Institutions; Occasional Paper; Center for International Forestry Research (CIFOR): Bogor, Indonesia, 2012; Volume 79.

SMITH, W. J. et al. Climate change perception, observation and policy support in rural Nevada: A comparative analysis of Native Americans, non-native ranchers and farmers and mainstream America. *Environmental Science and Policy*, v. 42, p. 101–122, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2014.03.007>.

Snedaker, SC & Lahmann, EJ (1988). Ausência do sub-bosque de mangue: uma consequência da evolução. *J. Trop. Eco*, 4, 311-314.

SPALDING, M.; KAINUMA, M; COLLINS, L.(2010). World Atlas of Mangroves. Earthscan, London.

VELDKAMP, E. Organic Carbon Turnover in Three Tropical Soils under Pasture after Deforestation. *Soil Science Society of America Journal*, v.58, p.175-180, 1994.

Thomas CD, Cameron A., Green RE, Bakkenes M., Beaumont LJ, Collingham YC, Erasmus BFN, Ferreira de Siqueira M., Grainger A., Hannah L., et al. Risco de extinção devido às alterações climáticas. *Natureza*. 2004; 427:145–148. doi: 10.1038/nature02121. - DOI—PubMed.

TWILLEY, R. R. 1995. Properties of mangrove ecosystems related to the energy signature of coastal environments. In: HALL, C. (ed.). Maximum Power. University of Colorado Press. Boulder, p.43-61, 1995.

UK, S. B. et al. Impacts of 1.5°C of Global Warming on Natural and Human Systems. 2018.

VITAL, Marcos Henrique Figueiredo. Aquecimento global: acordos internacionais, emissões de CO₂ e o surgimento dos mercados de carbono no mundo. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, v. 24, n. 48 , p. [167]-244, set. 2018.

W.J. Rawls, Y.A. Pachepsky, J.C. Ritchie, T.M. Sobecki, H. Bloodworth, Effect of soil organic carbon on soil water retention, Geoderma, Volume 116, Issues 1–2, 2003, Pages 61-76, ISSN 0016-7061, [https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00094-6](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00094-6).

WALSH, G. E. Mangroves: a review. In: REIMOLD, R. J.; QUEEN, W. H. (ed.). Ecology of halophytes. New York: Academic Press. p. 51-174, 1974.

WWF. (2015). Reviving the ocean economy - the case for action 2015. Gland: WWF. Zoneamento ecológico-econômico do Ceará – zona costeira. Fortaleza: SEMACE, v. 1, p. 93-101, 200.