



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ  
CAMPUS TERESINA CENTRAL  
CURSO DE TECNOLOGIA EM GESTÃO AMBIENTAL

JENEFER DE OLIVEIRA NUNES

**CARBONO AZUL EM ÁREAS DE MANGUE E APICUM NO LITORAL  
PIAUIENSE**

TERESINA  
2020

JENEFER DE OLIVEIRA NUNES

**CARBONO AZUL EM ÁREAS DE MANGUE E APICUM NO LITORAL  
PIAUIENSE**

Monografia apresentada à Coordenação do Curso de Tecnologia em Gestão Ambiental, como parte do requisito para a obtenção do título de Tecnólogo em Gestão Ambiental.

**Orientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dr. Bruna de Freitas Iwata.

**Co-orientação:** Prof. Dr. Gustavo Souza Valladares

**Co-Orientador:** Pesquisador Dr. Henrique Antunes de Souza

**Área de concentração:** Manejo Ecológico do Solo

TERESINA

2020

---

Nunes, Jenefer de Oliveira

N972c      Carbono azul em áreas de mangue e apicum no litoral piauiense / Jenefer de Oliveira Nunes. - 2020.

42 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Gestão Ambiental) - Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central, 2020.

Orientadora : Profa Dra. Bruna de Freitas Iwata.

1. Blue Carbon. 2. Manguezal. 3. Sequestro de Carbono. I.Título.

---

CDD - 577

**Elaborado por Sindya Santos Melo**

**CRB 3/1085**

JENERFER DE OLIVEIRA NUNES

**CARBONO AZUL EM ÁREAS DE MANGUE E APICUM NO LITORAL  
PIAUIENSE**

Monografia apresentada à  
Coordenação do Curso de Tecnologia em  
Gestão Ambiental, como parte de  
requisito de obtenção do título de  
Tecnólogo em Gestão Ambiental. Área de  
concentração: Solos

Aprovado em: \_\_\_/\_\_\_/2020

**BANCA EXAMINADORA**

---

Dr<sup>a</sup>. Bruna de Freitas Iwata – Orientadora

---

Dr. Gabriel Nuto Nóbrega – Membro Avaliador

---

Dr<sup>a</sup>. Mírya Grazielle Torres Portela – Membro Avaliador

## **AGRADECIMENTOS**

À Deus, que nos deu o dom da vida, pela família, saúde, oportunidades e sabedoria;

Agradeço aos professores e servidores do IFPI campus Teresina Central;

À professora, orientadora e amiga Bruna Iwata pela excelente orientação e auxílio na aprendizagem no decorrer do curso como também durante a execução deste trabalho, além de estímulo para toda a vida. Muito obrigada!;

Agradeço ao Professor Gustavo Valladares pelas contribuições no trabalho, auxílio nas coletas de solos, assim como pela confiança em mim depositada;

Agradeço ao Pesquisador Henrique Antunes pela disponibilidade de estágio, dicas e oportunidade que me proporcionou;

À professora Ana Carolina Chaves pelas conversas, incentivos e conselhos que levarei pra vida;

Agradeço ao Srs. Moreira e Afonso por ter me recebido, dividido as atividades no laboratório, pela paciência em me ensinar;

À minha família, que sempre lutou pelo meu bem estar, pelo apoio e amor incondicional em todos os momentos sobre o presente e o futuro;

Ao meu namorado Miguel, pelo apoio incondicional, amor e tranquilidade que dedicou a mim nesses anos. Obrigada pelos conselhos, afagos, carinhos e amor.

Aos amigos de graduação, em especial a Fernanda e João Vitor pela amizade e companheirismo construído nesses anos;

As companheiras de vidrarias: Suzy, Alcilane, Ana, Karol, Amanda e Geania pelo incentivo e principalmente pelas conversas e risos que muitas vezes eram minha válvula escape;

Enfim, à todos que, direta e indiretamente, contribuíram para a conclusão desta importante caminhada.

## RESUMO GERAL

Os manguezais e apicuns estão presentes praticamente em todo o litoral brasileiro e são de suma importância ecológica além de fundamentais para a sobrevivência de espécies terrestres e marinhas. Diante dessa relevância, uma demanda de estudos é importante à dinâmica desses ecossistemas como também para a manutenção de sedimentos marinhos. O objetivo deste trabalho foi quantificar o estoque de carbono orgânico do solo em dois solos de apicum e dois solos de mangue na área do Delta do rio Parnaíba-PI, como também avaliar suas características químicas e física. Foram realizadas 20 (vinte) coletas de amostras de solos e determinou-se as concentrações de carbono orgânico total em cinco profundidades e calculados os estoques de carbono de 0-10, 10-20, 20-30, 30-60 e 60-100 cm. As amostras foram submetidas às análises física e químicas, incluindo o pH. Os solos da área de apicum apresentaram solos arenosos de textura leve com médio teor de matéria orgânica e baixos teores de macronutrientes; os solos de mangue se apresentaram quase em sua totalidade em franco-argiloarenoso apresentando uma textura mais siltosa e obtendo concentrações de carbono e estoques de carbono orgânico total em teores superiores, independente da profundidade ao comparado aos solos arenosos.

**Palavras-chave:** *Blue Carbon*. Manguezal. Sequestro de Carbono.

## GENERAL ABSTRACT

Mangroves and apicuns are presente practically all over the Brazilian coast and are of great ecological importance, besides being fundamental for the survival of terrestrial and marine species. Given this relevance, a demand for studies is important for the dynamics of these ecosystems as well as for the maintenance of marine sediments. The objective of this work was to determine the soil organic carbono stock in two apicum and two mangrove soils in the Parnaíba River Delta area. Twenty soil samples were collected in a total organic carbono concentrations were determined at five depths and carbono stocks of 0-10, 10-20, 20-30, 30-60 and 60-100 were calculated cm. The samples were submitted to physical and chemical analysis, including pH. The soils of the apicum area presented light textured sandy soils with medium organic matter contente and low macronutrient contentes; the mangrove soils were almost entirely sandy loam, presenting a siltier texture and obtaining higher concentrations of carbono and total organic carbon stocks, regardless of depth compared to sandy soils.

**Key words:** *Blue Carbon*. Mangrove. Carbon sequestration.

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classificação das principais formações vegetais do litoral piauiense.....	12
Tabela 2. Valores em frações granulométricas em diferentes solos do Delta do Parnaíba.....	27
Tabela 3. Análise quantitativa da interação do carbono orgânico do solo (COT), $pH_{H_2O}$ , $pH_{CaCl_2}$ , condutividade elétrica.....	29
Tabela 4. Análise quantitativa da interação do Cálcio, Magnésio, Alumínio.....	32
Tabela 5. Análise quantitativa da interação do Sódio, Potássio, Fósforo, Acidez Potencial (Al+H) .....	33

## LISTA DE SÍMBOLOS

Al	Alumínio
°C	Grau Celsius
C	Carbono
cm	Centímetros
Ca	Cálcio
CaCl <sub>2</sub>	Cloreto de Cálcio
CE	Condutividade Elétrica
COT	Carbono Orgânico Total
dag/kg	Decagrama por quilograma
dS/m	Decisiemens por metro
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
g	Gramma
H <sub>2</sub> O	Água
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	Ácido Sulfúrico
K <sup>+</sup>	Potássio
KCl	Cloreto de Potássio
K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	Dicromato de Potássio
Min	Minutos
Mg	Magnésio
mm	Milímetro
mL	Mililitro
Na <sup>+</sup>	Sódio
NaOH	Hidróxido de sódio
SBCS	Sociedade Brasileira de Ciência do Solo
TFSA	Terra fina seca ao ar
T/ano	Toneladas por ano

## SUMÁRIO

1.	Introdução Geral.....	11
2.	Revisão da Literatura.....	13
2.1	Fisionomias do Litoral Piauiense.....	13
2.2	Mangues e Apicuns do Piauí.....	15
2.3	Vulnerabilidades Ambientais.....	17
2.4	Carbono Azul.....	19
3.	Material e Métodos.....	22
3.1	Área de Estudo.....	22
3.2	Procedimentos Metodológicos.....	23
3.2.1	Delineamento Experimental.....	23
3.2.2	Análise Física do Solo.....	24
3.2.3	Análises Químicas do Solo.....	25
3.2.4	Análise de Dados .....	28
4.	Resultados e Discussão.....	29
5.	Conclusões.....	37
6.	Referências.....	38

# CARBONO AZUL EM ÁREAS DE MANGUE E APICUM NO LITORAL PIAUIENSE

## 1. INTRODUÇÃO GERAL

Os ecossistemas costeiros como os habitats de mangue, marismas e ervas marinhas, são considerados como importantes sumidouros naturais de carbono, através do sequestro e armazenamento de carbono na sua biomassa e sedimentos, coletivamente conhecidos como ecossistemas de "carbono azul" ou "blue carbon" (CUSACK et al., 2018).

Esses ecossistemas são compostos por uma diversidade de fisionomias como por os mangues e restingas, por exemplo. Os manguezais podem apresentar florestas relativamente densas, formadas por espécies arbóreas de fisionomia vegetal resistente a condições extremas; já os apicuns se mostram geralmente em forma de vegetação rasteira.

O manguezal é um ecossistema de magnífica riqueza ecológica sendo característica de zonas tropicais e subtropicais; e uma das particularidades desse recurso é o ato do sequestro global do carbono na atmosfera. Os habitats de mangue, marismas e ervas marinhas, são considerados como importantes sumidouros naturais de carbono, através do sequestro e armazenamento de carbono na sua biomassa e sedimentos, coletivamente conhecidos como ecossistemas de "carbono azul" ou "blue carbon" (CUSACK et al., 2018).

Segundo Ridd et al., (1997) os apicuns se caracterizam por ser uma fisionomia em zona de transição com solos geralmente arenosos e sem cobertura vegetal ou alojando uma vegetação esteira que atuam como relevantes estoques de nutrientes. Os apicuns se localizam em áreas propícias à expansão dos manguezais em cenários de elevação do nível médio do mar (SOARES, 2009). Essas condições e disponibilidade de recursos estimulam diretamente as taxas metabólicas envolvidas na ciclagem de carbono (C), tanto de acumulação (ALONGI et al., 2005; SANDERS et al., 2014, 2016). Giri et al. (2011) ressaltam que os solos de manguezais e solos associados, possuem a capacidade de sequestrar em torno de 22,8 milhões de T/ano.

O carbono é um dos elementos integrantes da vida e é grandemente reconhecido como um importante indicador de serviço ambiental sendo conveniente

utilizado como referência sobre o impacto causado ao meio ambiente e seu desequilíbrio tem como efeito o aquecimento global. As variações climáticas como microclima, salinidade, alagamento, precipitação e temperatura são relevantes para a compreensão da dinâmica de fluxo de carbono, em particular a sua relação com o carbono armazenado no solo. Outro fator que influencia diretamente nas taxas de carbono no solo é a erosão, lixiviação e a perturbação de origem antrópica.

O aumento dos estoques de carbono no solo é comumente associado à redução dos efeitos negativos das mudanças climáticas, mas a presença de carbono no solo e na biomassa vegetal é também benéfica para outras funções ecossistêmicas e serviços ambientais. Quando comparada às práticas de agricultura intensiva convencional, técnicas conservacionistas podem levar à redução das emissões de gases de efeito estufa (GEEs) e, simultaneamente, diminuir o consumo de combustíveis durante o processo de produção, aumentar os estoques de carbono orgânico (CO) no solo e manter os serviços ambientais (STAVI; LAL, 2013).

Apesar da reconhecida importância dos manguezais, estes ainda apresentam vulnerabilidade e estão ameaçados devido à perda e fragmentação da cobertura vegetal e a redução da qualidade dos habitats aquáticos. Isso ocorre principalmente em consequência do aumento da urbanização e da poluição associada, e às alterações na atividade aquática, que têm influenciado na redução da oferta de provisões que, por sua vez, impactam a dinâmica econômica e social de comunidades locais e outros setores que utilizam esses recursos para sobreviver, como atividades de extrativismo, turismo e pesca artesanal (ICMBio, 2018).

Contudo, para compreendermos o carbono estocado em zona costeira necessitamos de uma crescente de informações como também investigar potencialidades e limitações no qual está inserido. Tendo em vista, o objetivo desse trabalho foi quantificar o estoque de carbono orgânico do solo em dois solos de apicum e dois solos de mangue na área do Delta do rio Parnaíba-PI, como também avaliar suas características químicas e física.

## 2. REVISÃO DE LITERTURA

### 2.1 Fitofisionomias do Litoral Piauiense

O Piauí situa-se na Região Nordeste do Brasil, no hemisfério Sul e Ocidental e possui zona climática Intertropical. Seu litoral abrange uma área correspondente a 66 km, no extremo norte do estado (ALVES et al.; 2012). Fundamentando-se em classificações de inúmeros autores, CAVALCANTI (2000) compreende o litoral piauiense dentro de visão conflitante da emersão e submersão (baseada tão somente na regressão do ambiente marinho) colocando a existência de uma formação primária, constituída por deposição aérea (deposição rio-costa deltaica e deposição eólica-dunas) e de uma formação secundária (presença de costa construída por organismos – no caso, em razão da presença de manguezal). O mesmo autor classifica a costa piauiense como estável, assim chamada, por ter sua formação estrutural influenciada pelo aumento do nível do mar em épocas remotas e em progradação por ser formada tanto por organismos (manguezal) quanto por agentes 9 inorgânicos (deposição marinha dunas e fluvial – deltas).

A região abriga a Área de Proteção Ambiental (APA) do Delta do Parnaíba, que compreende oito municípios: Araisos e Tutóia (MA), Ilha Grande, Parnaíba, Luiz Correia e Cajueiro da Praia (PI) e Chaval e Barroquinha (CE) (SANTOS-FILHO et al., 2013). No interior da APA possui a Reserva Extrativista Marinha do Delta do Parnaíba (RESEX), que foi criada pelo Decreto s/n de 16 de novembro de 2000 e situa-se na região nordeste do Estado do Maranhão, precisamente na divisa entre os Estados do Maranhão e Piauí. Encontra-se delimitada pelos paralelos de 2°43'02" e 2°52'04" de latitude sul e os meridianos de 41°49'12" e 42°04'54" de longitude oeste (ZEE, 2002; IBGE, 2010).

Particularmente no estado do Piauí, que possui o litoral sob duas formações geológicas recentes: áreas constituídas por areias quartzosas resultantes do recuo do mar durante o Quaternário e áreas assentadas sobre a formação Barreiras, de idade Terciária, não havia informações sobre a vegetação costeira. Neste litoral ocorre, além do manguezal, a vegetação de tabuleiro e restinga, que apresenta variações nas suas feições. Essas formações de vegetação litorânea do Piauí são, muito provavelmente, relacionadas a uma combinação dos fatores abióticos ocorrentes para região (FERNANDES et al., 1996).

Segundo o Centro de Pesquisas Econômicas e Sociais do Piauí (Cepro, 1996), a classificação das principais formações vegetais do litoral piauiense é caracterizada como: vegetação pioneira psamófila (de terrenos arenosos), vegetação subperenifólia de dunas, vegetação perenifólia de mangue, vegetação de várzea e vegetação dos tabuleiros (Quadro 01).

**Quadro 01:** Caracterização das principais fitofisionomias do litoral piauiense.

<b>Fitofisionomia</b>	<b>Características</b>	<b>Exemplos</b>
Vegetação pioneira psamófila	Vegetação que ocorre no pós-praia e está sujeita à influência marinha e ao excedente de sal; apresentando funções estabilizadoras iniciais nessas áreas como também em campo de dunas, fixando o substrato arenoso. Apresenta-se de forma arbustiva não ultrapassando 40 cm.	
Vegetação subperenifólia de dunas	Vegetação que se desenvolve nas dunas mais antigas e estabilizadas e recebeu este nome pelo caráter de conservar as folhas mesmo em período seco, ocorrendo com aspecto heterogêneo em decorrência do relevo.	
Vegetação perenifólia de mangue	Apresenta-se de forma bastante homogêneo possuindo um restrito número de espécies que formam associações muito densas. Pode se manifestar na forma arbustiva ou arbórea, com árvores que podem chegar até 40 m de altura.	

Vegetação de várzea	Ocorre ao longo dos rios e planícies inundáveis. Por estar em faixas periódicas inundáveis são constantemente remodelados pelos rios e depósito de sedimentos e de matéria orgânica resultando em um solo naturalmente fértil.	
Vegetação dos tabuleiros	Apresenta-se em planícies fluvial e o manguezal com espécies advindas dos Domínios do Cerrado e da Caatinga. Essa vegetação possui composição sedimentar e seu porte varia de pequeno a médio.	

Fonte: Fernandes et al. (1996)

Os apicuns, por sua vez, são fitofisionomias associadas aos manguezais, ocorrendo principalmente na região de supramaré, caracterizados pela elevada salinidade no solo e ausência de vegetação (HADLICH, 2009). Por terem sua ocorrência relacionada aos manguezais, pesquisadores como Schmidt et al. resguardam que o apicum deve ser considerado como um tipo de manguezal herbáceo que em associação do manguezal arbóreo compõe o ecossistema manguezal e sentido amplo.

O apicum é formado por áreas consideradas hipersalinas e desprovidas de vegetação arbórea ou arbustiva, que ocorrem na transição da região entre marés e terra firme. Os apicuns, em tese, podem ser considerados como zonas de retração de bosques de mangue, no caso de elevação do nível do mar, e são reservatórios de nutrientes que merecem atenção com respeito ao manejo da zona costeira (OLIVEIRA, 2019).

## 2.2 Mangues e Apicuns do Piauí

A zona costeira brasileira, com mais de 8.500 km de extensão compreende um conjunto diverso de ambientes e ecossistemas, dentre os quais se incluem os

manguezais e apicuns. Formações típicas de regiões tropicais e subtropicais, no Brasil, estes ecossistemas se distribuem desde o extremo norte no Oiapoque/AP até Laguna/SC, cobrindo uma faixa de aproximadamente 25 km<sup>2</sup>, o que coloca o país na terceira posição entre os países com maior área de manguezal e apicuns (FERNANDES, 2012).

Particularmente no estado do Piauí, que possui o litoral sob duas formações geológicas recentes: áreas constituídas por areias quartzosas resultantes do recuo do mar durante o Quaternário e áreas assentadas sobre a formação Barreiras, de idade Terciária, não havia informações sobre a vegetação costeira. Neste litoral ocorre, além do manguezal, a vegetação de tabuleiro e restinga, que apresenta variações nas suas feições (SANTOS-FILHO, et al., 2010).

A vegetação do litoral piauiense tem influência marinha (restingas e dunas), flúviomarinha (manguezais e campos salinos) e fluvial (comunidades aluviais), composta por sete formações vegetacionais: vegetação pioneira psamófila; vegetação subperenifólia de dunas; vegetação perenifólia de mangue; vegetação de várzea; vegetação do Delta dos rios Parnaíba/Longa; vegetação estacional de tabuleiros e vegetação estacional secundária de cerradão (SANTOS-FILHO, 2009). Tais formações predominam na paisagem e dividem espaço com outras formações arbóreas, como os tabuleiros litorâneos, a caatinga e o cerrado (Veloso et al. 1991, Fernandes 2000).

Os manguezais são um dos ecossistemas mais produtivos do planeta, e sua importância para a manutenção de bens e serviços é enorme. Os manguezais são importantes sequestradores e estocadores de carbono na biomassa e no solo. (ICMBIO, 2018). Eles se formam em condições estuarinas, ou seja, em planície flúviomarinha, no encontro das águas de rios com o oceano em zonas tropicais. (ICMBIO, 2018).

Os manguezais ainda contribuem com a redução da vulnerabilidade da zona costeira às mudanças climáticas. A região costeira apresenta elevada vulnerabilidade aos impactos relacionados às mudanças climáticas globais, que incluem alterações dos regimes de chuvas, alterações da temperatura, aumento de eventos extremos como tempestades e marés altas extremas, aumento da concentração de dióxido de carbono e elevação do nível médio do mar. Apesar de os manguezais serem um dos sistemas mais vulneráveis às alterações previstas,

esse ecossistema tem importante papel na redução da vulnerabilidade da zona costeira a essas alterações. (ICMBIO, 2018).

Inserida nos manguezais encontram-se áreas arenosas, com elevada salinidade e constantemente lavadas pela maré, chamadas de apicum, podendo ou não ter uma cobertura vegetal. São encontradas nas margens dos mangues, em raras exceções no interior da vegetação de mangue (LEBIGRE, 2007).

O termo Apicum vem do Tupi-Guarani, significando brejo de água salgada a borda do mar ou coroa de areia feita pelo mar, exposto. Em alguns casos dispõe de espécies vegetais como as herbáceas halófitas que se adaptam as áreas com menor salinidade (Silva, 2012; Oliveira, 2018). Na literatura científica internacional, essa zona de transição é normalmente chamada de salt flat (SOARES, 2009; CHAVES et al., 2010), em geral traduzido por cientistas brasileiros como planície hipersalina (COELHO-JR., 2010; CHAVES et al., 2010).

Esses ambientes são caracterizados pela elevada salinidade e estão relacionados à ocorrência de climas com regime de precipitação que comporta uma estação seca. Apesar de serem incluídos, pelo menos em parte, no contexto dos grandes conjuntos de ambientes hipersalinos (os sabkhas, depressões salinas em ambientes áridos), a obrigatoriedade de estarem associados a manguezais os difere de outros ambientes com elevada salinidade (LEBIGRE, 2007).

A destruição dos manguezais e dos apicuns ocorre como resultado da expansão urbana, do turismo, da agricultura, da instalação de viveiros de aquicultura, entre outros. Um dos maiores problemas enfrentados no Nordeste brasileiro é a atividade da carcinicultura, que através da sua instalação e manutenção acarreta impactos negativos para o estuário, tornando irreversível o equilíbrio do ambiente (OLIVEIRA, 2004).

### **2.3 Vulnerabilidades Ambientais**

Entende-se por vulnerabilidade como o grau em que uma área é susceptível de ser afetada, ou seja, a sua capacidade para suportar as consequências de impactos de origem natural ou antrópica (Woodroffe, 2007). A vulnerabilidade também está relacionada à maior ou menor fragilidade de um determinado ambiente (Nascimento, Dominguez, 2009). A elevada sensibilidade dos manguezais se dá por suas características de ambiente de transição terrestre e marinho (FUNDAÇÃO

FLORESTAL, 2014), deposição de aterros, expansão imobiliária, pressão por ocupações irregulares, lançamentos de efluentes domésticos e despejos químicos e detritos carreados até os manguezais.

A utilização sustentável dos manguezais nas regiões costeiras tropicais do mundo se faz necessária para garantir o acesso das gerações futuras aos recursos proteicos e aos benefícios indiretos que asseguram qualidade de vida. Além disso, o manguezal tem como característica ecológica de apresentar resposta sensível ao menor distúrbio externo (Schaeffer-Novelli et al., 2002).

Dentre os principais ecossistemas tropicais e subtropicais que fornecem inúmeras funções e serviços estão às florestas de mangue (Siteo et al., 2014). Estas florestas são responsáveis por reduzir a vulnerabilidade da região costeira diante de desastres naturais e eventos extremos, como tsunamis, furacões, ciclones, tempestades e inundações, além de promoverem a retenção de sedimentos, auxiliando no retardamento dos processos erosivos devido à elevação do nível do mar (ICMBio, 2018; Spalding et al., 2010; GIRI, et al., 2011).

Os manguezais oferecem uma série de benefícios econômicos, sociais e ambientais às populações, comumente chamados de bens e serviços ecossistêmicos. Estes podem ser divididos em serviços reguladores como sequestro e armazenamento de CO<sub>2</sub> e manutenção da qualidade da água, de suporte como manutenção da biodiversidade genética e ciclo da água e de nutrientes, de provisão como ecoturismo e alimentos e culturais como educação e pesquisa científica (MÜLLER et. al., 2015)

Ainda, as florestas de manguezais, estão entre as mais ricas em carbono nos trópicos, sendo consideradas como um dos ecossistemas mais produtivos e biologicamente relevantes (Giri et al., 2011; Chen et al., 2017). Essas florestas estão sob ameaça de acumulação de poluentes, os quais podem ser importados para esse ecossistema por meio dos rios e marés (Kruitwagem et al., 2008). Devido à capacidade dos sedimentos finos absorverem compostos químicos, o nível de contaminação neles irá refletir o uso de poluentes nas áreas costeiras adjacentes (Kruitwagem et al., 2008).

Este ano, uma vasta área do litoral brasileiro foi acometido por um acidente ambiental. Segundo o Estadão (2019), todos os estados nordestinos além dos estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo no sudeste, tiveram suas praias

invadidas por um poluente que segundo a Marinha e a Petrobrás a substância é petróleo cru, ou seja, que não se origina de nenhum derivado do petróleo.

O petróleo é um combustível fóssil formado a partir da matéria orgânica, de microrganismos e vegetais, que sedimentou no fundo dos oceanos, sendo essa matéria orgânica recoberta por camadas sedimentares. De forma geral, é uma substância oleosa, inflamável, menos densa que a água, possui cheiro característico e é considerada a principal fonte de energia do mundo (MARTINS et al., 2015).

Em caso de acidente, o meio ambiente sofrerá consequências que poderão durar muitos anos e, geralmente, os acidentes que ocorrem no ambiente marinho causam impactos maiores visto que o óleo pode percorrer longas distâncias. Se esse óleo chegar à zona costeira ou em ambientes sensíveis como recifes de corais e manguezais, ele irá contaminar mamíferos, moluscos, algas, peixes e aves marinhas, além de causar danos à saúde humana (PI et al., 2015).

A partir do momento em que o petróleo entra em contato com ecossistemas aquáticos, principalmente o mar, ele está sujeito a uma série de modificações em sua composição. Tais modificações ocorrem devido aos processos químicos, físicos e biológicos que são responsáveis por determinar a taxa de degradação e, conseqüentemente, quanto tempo esse petróleo vai permanecer no ambiente (SPEIGHT et al., 2018).

## **2.4 Carbono Azul**

O termo “carbono azul” pode ser definido como a capacidade dos ecossistemas oceânicos sequestrarem e armazenarem carbono costeiro. Este termo foi assim chamado em novembro do ano de 2009 no relatório intitulado “Carbono Azul: O Papel dos Oceanos Saudáveis na Fixação de Carbono” em colaboração especial com organizações como PNUMA, FAO e UNESCO. (ALONGI, 2018).

Os ecossistemas marinhos e costeiros são identificados como os principais reservatórios de carbono do mundo e desempenham um papel significativo no ciclo global do carbono, ao sequestra-lo e redistribuí-lo (NEHREN; WICAKOSONO, 2018; ALONGI, 2014). Os ambientes costeiros sustentam habitats biodiversos de interesse de conservação e proporcionam outros benefícios essenciais, como o sequestro de carbono, graças às suas altas taxas de acumulação no solo. Este carbono, denominado “carbono azul” desempenha um importante papel nas estratégias de

mitigação das mudanças climáticas (DRIUS, et al., 2016; NEHREN; WICAKSONO, 2018).

Manguezais, pântanos e áreas alagadas são chamados de ecossistemas de “carbono azul” (blue carbon ecosystems). Estes sequestram e armazenam grandes quantidades de carbono e, quando degradados, liberam dióxido ( $\text{CO}_2$ ) para a atmosfera contribuindo para a mudança climática. Vale ressaltar que grande parte das iniciativas de gestão de carbono, além de gerarem benefícios devido aos custos evitados por mudanças climáticas, tem diversos co-benefícios ligados à preservação da vegetação e biodiversidade como a regulação da qualidade da água e ar, proteção costeira, fornecimento de habitat, entre outros (JERICÓ, 2018).

Os manguezais, juntamente com as florestas tropicais, são um dos mais eficientes ecossistemas no combate ao aquecimento global, devido a sua enorme capacidade de sequestrar carbono, sendo um sumidouro natural. As medições revelam a propensão dos mangues em absorver carbono atmosférico durante o processo de fotossíntese, e armazená-lo como carboidratos, nas formas de açúcares e celulose (Fonseca & Drummond, 2003; Amaro & Rocha Junior, 2012).

Esses ambientes também contribuem para a manutenção do equilíbrio do dióxido de carbono atmosférico e servem como estocadores de carbono com uma taxa estimada de enterro de carbono de  $210 \text{ g C / m}^2 / \text{ano}^{-1}$ , sendo um importante ecossistema dotado de “carbono azul” (BAI et al., 2016). No entanto, a dinâmica dos reservatórios de carbono e nitrogênio em solos de áreas úmidas ainda é pouco conhecida, particularmente em áreas úmidas costeiras (WANG, 2016).

Os processos de transformação de carbono e a matéria orgânica em solos de regiões costeiras são influenciados por condições ambientais, como clima, pluviosidade e composição do material original da rocha. Além disso, fatores bióticos como o tipo de vegetação contribuem para a qualidade e quantidade de material orgânico incorporado no solo (BARRETO, et al., 2016).

Os principais aspectos que diferenciam o acúmulo e o estoque do C nos solos de manguezais são as elevadas taxas de acréscimo e o tempo de residência deste elemento na coluna sedimentar, que pode atingir milênios devido a combinação entre elevadas taxas de sedimentação e baixa oxidação da matéria orgânica (raízes mortas, serapilheira, C de origem alóctone) em virtude da condição saturada do solo

mantida por pulsos diários de inundação (DUARTE; MIDDELBURG; CARACO, 2005).

Segundo, Howard et al. (2014) os solos costeiros mostram-se capazes para sequestrar consideravelmente o carbono podendo permanecer armazenado por longos períodos muito longos; isso ocorre devido os sistemas costeiros estarem saturados em água, permitindo a oxidação anaeróbica de carbono microbiano que aumenta continuamente resultando em um sequestro incessante de carbono.

A conservação do carbono azul, possui importância estratégica para políticas voltadas para a captação dos gases de efeito estufa e mitigação do aquecimento global (COPERTINO, 2011). A destruição e degradação de manguezais convertem esses sumidouros naturais em emissores de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, agravando ainda mais o efeito estufa. Em ecossistemas impactados ou destruídos, o carbono sequestrado ao longo de centenas ou milhares de anos e depositado em espessas camadas do solo e na vegetação é liberado em curto prazo (ROVAI, 2016).

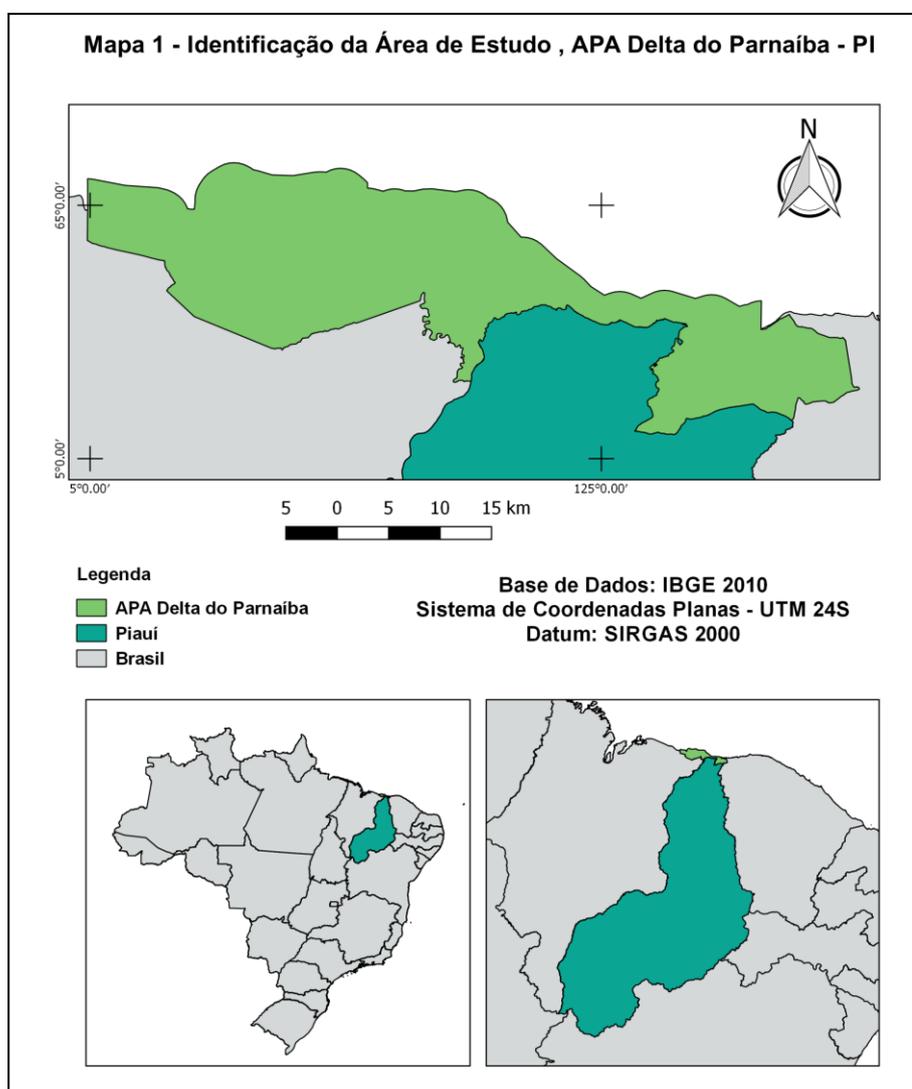
Portanto, um entendimento profundo é muito importante para explorar práticas de conservação que sejam úteis para melhorar o sequestro de SOC e mitigar os impactos das mudanças climáticas. É necessária uma estimativa do pool de SOC para as escalas regional, nacional e global para fornecer aos formuladores de políticas uma base com a qual gerenciar e/ou melhorar esse pool de C do solo, a fim de abordar questões de aquecimento global e compensar as emissões antropogênicas. (KUMAR, 2013).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Área de Estudo

O estudo foi realizado no município de Parnaíba (PI), que está situada no norte do Estado do Piauí. A área de estudo localiza-se na Área de Proteção Ambiental (APA) do Delta do Parnaíba (Figura 1) estabelecida nos limites do estado do Piauí e delimitada pelos rios Parnaíba ao oeste e o rio Igarçu para o sudeste. De acordo com a classificação Köppen o clima ajusta-se no tipo tropical Aw ocorrendo menor pluviosidade no inverno do que no verão. Possui temperatura média de 27,5 °C e precipitação média anual que pode chegar a 1500 mm, sendo o primeiro trimestre o mais chuvoso.

**Figura 1:** Mapa de Identificação da área de Estudo, APA Delta do Parnaíba - Pi



Fonte: A autora, 2019

A área da APA Delta do Parnaíba (Imagem 01) é datada de 28 de agosto de 1996, e compreende os municípios Ilha Grande, Parnaíba, Luís Correia e Cajueiro da Praia no Piauí (PI), Araisos, Tutóia e Paulino Neves, no Maranhão (MA); e parte dos municípios de Chaval e Barroquinha, no Ceará (CE). Alguns dos objetivos dessa APA são proteger os deltas dos rios Parnaíba, Timonha e Ubatuba, com sua fauna, flora e complexo dunar; proteger remanescentes de mata aluvial e fomentar o turismo ecológico e a educação ambiental e sua fiscalização é de responsabilidade do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio).

**Imagem 01:** Imagens da APA Delta do rio Parnaíba.



Fonte: ICMBio, 2018.

Geologicamente, Santos-Filho et al. (2010) descrevem a planície do Delta do Parnaíba como depósitos de areias do Quaternário que resultaram do recuo do mar em épocas anteriores. Dando continuidade as feições geológico-geomorfológicas têm-se terrenos cenozoicos que correspondem basicamente a sedimentos quaternários.

No levantamento dos solos foram classificados 15 perfis de solos na Área de Proteção Ambiental, localizada na Planície do Delta do Parnaíba, sendo estes perfis distribuídos em seis ordens dentro do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos: Gleissolos, Neossolos, Espodossolos, Planossolos, Vertissolos e Cambissolos. De forma geral, a planície do Delta do Parnaíba apresentou solos formados por sedimentos de granulometria variada, havendo predomínio de sedimentos arenosos mais próximos à costa, representados principalmente por solos da ordem dos Neossolos Quartzarênicos (CABRAL, 2018).

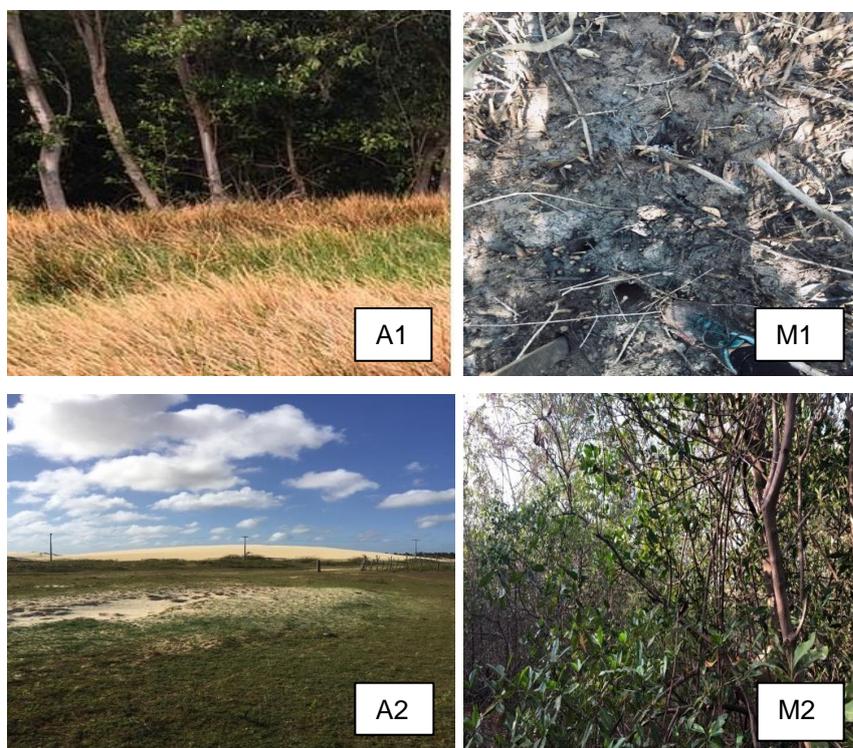
## 3.2 Procedimentos Metodológicos

### 3.2.1 Delineamento Experimental

O presente estudo foi realizado no período de outubro e novembro de 2019 onde os pontos para levantamento de dados foram previamente selecionados, com o auxílio de imagens obtidas de satélite em que as áreas foram identificadas levando em consideração a acessibilidade a APA, presença de áreas privadas e/ou com difícil trafegabilidade buscando sempre afastar-se no mínimo 100 m de bordas ou estradas.

Dessa forma foram selecionados para a coleta de solo quatro pontos distintos (Figura 02) de amostragem: A1, A2, M1 e M2 sendo A e M em referência para apicum e mangue, respectivamente e 1 e 2 em referência aos dias de coleta; e considerando as seguintes profundidades: 0-10, 10-20, 20-30, 30-60 e 60-100 cm. Após ter as 20 amostras coletadas foram seguidos procedimentos de rotina para as análises física e químicas que foram validadas através da participação do laboratório da Embrapa Meio-Norte.

**Figura 02:** Imagens dos pontos de coleta de solo.



**Fonte:** As autoras, 2019. A1: área de apicum do primeiro dia de coleta; M1: área de mangue do primeiro dia de coleta; A2: área de apicum do segundo dia de coleta; M2: área de mangue do segundo dia de coleta.

### **3.2.2 Análise Física do Solo**

#### **Determinação de Granulometria**

Para obtenção da granulometria do solo (Figura 03) utilizou-se 20 g de solo e posteriormente adicionou-se 10 mL hexametáfosfato de sódio e 90 mL de água destilada, agitou-se com bastão de vidro e deixar em repouso por 24 horas. No dia seguinte transferiu-se o conteúdo para copo metálico do agitador elétrico com o auxílio da água destilada e posteriormente procedeu-se com agitação durante 15 min. O conteúdo deve passar através de peneiras de malhas sobrepostas respectivamente de 0,2 e 0,053 mm, colocada sobre um funil e logo abaixo uma proveta de 1.000 mL. Lavar o material retido na peneira com água destilada visando uma lavagem rápida e eficiente e após completar o volume da proveta de 1.000 mL agitá-la por 2 minutos, medir sua temperatura e aferir na tabela o tempo de sedimentação da fração de argila. Após o cálculo do tempo deve-se inserir uma pipeta de 50 mL até a profundidade de 5 cm e a transferir para potes de alumínio e colocá-los na estufa por 24 horas. No dia seguinte retirar da estufa e colocar no dessecador e após o resfriamento pesar os potes de alumínio. A granulometria foi determinada com base nos teores de areia grossa, areia fina, argila e silte seguindo a metodologia utilizada na Embrapa Meio Norte.

**Figura 03:** Análise de Granulometria.



Fonte: As autoras, 2019.

### **3.2.3 Análises Químicas do Solo**

#### **Determinação de COT, pH e Condutividade Elétrica**

A amostra de solo é submetida à fragmentação manual (Figura 04), seguida de secagem ao ar. A separação das frações é feita por peneiramento nas peneiras de malha de 0,2 mm e 0,250 mm, obtendo-se: calhaus, cascalhos e terra fina seca ao ar (TFSA), assim como outros materiais como partes vegetais, por exemplo.

**Figura 04:** Fragmentação manual da amostra de solo seguida de peneiramento.



Fonte: As autoras, 2019

Para obtenção do carbono orgânico total (COT) (Figura 05) utilizou-se um tubo de digestão em que foi pesado 0,3 g de cada amostra de solo. Posteriormente, foram adicionados 5 mL de  $K_2Cr_2O_7$  0,167 mol L<sup>-1</sup> e 10 mL de  $H_2SO_4$  concentrado. Em seguida, as amostras nos tubos foram arranjadas no bloco digestor e digeridas em temperatura de 170 °C, por 30 min; após essa etapa foram resfriadas, as amostras digeridas foram transferidas para erlenmeyers, onde foram adicionados 50 mL de água destilada. Em seguida, foram adicionadas quatro gotas do indicador difenilamina 1 %, sendo as amostras tituladas com sulfato ferroso amoniacal 0,4 mol L<sup>-1</sup> (Imagem 5). A análise foi realizada seguindo a metodologia utilizada na Embrapa Meio Norte.

**Figura 5:** Análise de COT onde se observa a mudança de coloração de verde musgo para a cor marrom.



Fonte: As autoras, 2019.

A determinação potenciométrica (Figura 6) foi realizada com pH em água e em  $\text{CaCl}_2$ . Utilizamos  $10 \text{ cm}^3$  da amostra de solo e posteriormente adicionamos individualmente 25 mL de cada solução, deixando em repouso por 30 min. Após o repouso, agita-se e mergulha os eletrodos na suspensão homogeneizada procedendo assim a leitura do pH. A análise foi realizada seguindo a metodologia utilizada na Embrapa Meio Norte.

**Figura 06:** Análise de determinação potenciométrica



Fonte: As autoras, 2019.

Para se estabelecer a condutividade elétrica por meio do extrato aquoso, adotou-se o método descrito por Camargo et al (2009). Utilizou-se  $30 \text{ cm}^3$  de TFSA, adicionou-se 75 mL de água destilada, agitando-se manualmente, por quinze segundos, a cada dez minutos, três vezes, após a última agitação o solo fica em repouso por uma hora. Em seguida, procedeu-se à leitura no condutivímetro.

### **Determinação de Cálcio, Magnésio e Alumínio**

Coloca-se  $5,0 \text{ cm}^3$  de solo em erlenmeyer e adiciona-se 50 mL de solução de acetato de cálcio pH 7,0, agitando por 5 min e posteriormente repousar por 24h. Para determinação do alumínio utiliza-se solução  $\text{KCl mol L}^{-1}$  e determina-se volumetricamente com solução diluída de  $\text{NaOH } 0,025 \text{ molL}^{-1}$  na presença de azul de bromotimol. A determinação de Cálcio e Magnésio (Figura 07) foi realizada através de espectrofotometria de emissão ótica por plasma indutivamente acoplado (ICP-OES). A análise foi realizada seguindo a metodologia utilizada na Embrapa Meio Norte.

**Figura 07:** Espectrômetro de Absorção Atômica utilizado nas análises de Cálcio e Magnésio



Fonte: As autoras, 2019.

### **Determinação de Sódio, Potássio e Fósforo**

Coloca-se 5,0 cm<sup>3</sup> de solo em erlenmeyer e adiciona-se 50 mL de solução extratora dupla-ácida (Mehlich), agitando por 5 min e posteriormente repousar por 24h. Para determinar Na e K utiliza-se o fotômetro de chama calibrado com solução padrão de K<sup>+</sup> e Na<sup>+</sup>. Para obter-se Fósforo utiliza-se 5 mL de solução ácida de molibdato de amônio e 30 mg de ácido ascórbico onde a leitura da densidade ótica das ondas será realizada pelo espectrofotômetro com comprimento de onda de 660nm. A análise foi realizada seguindo a metodologia utilizada na Embrapa Meio Norte.

### **Determinação de Acidez Trocável do Solo (Hidrogênio mais Alumínio)**

Coloca-se 5,0 cm<sup>3</sup> de solo em erlenmeyer e adiciona-se 50 mL de acetato de cálcio tamponado a pH 7,0 e para a determinação volumétrica utiliza-se solução de NaOH possuindo fenolftaleína como indicador. A análise foi realizada seguindo a metodologia utilizada na Embrapa Meio Norte.

#### **3.2.4 Análise dos Dados**

Após as análises os dados foram tabulados e analisados quantitativamente; em relação aos dados de granulometria a classificação de solos baseia-se no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS).

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através das análises granulométricas é possível afirmar que a classe textural no ponto A1 é predominantemente Franco-arenosa nas camadas mais superficiais (Tabela 02). No ponto A2 com exclusividade apresenta-se a classe textural areia-franca. Nos pontos M1 e M2 houve a prevalência do solo franco-siltoso, com exceção apenas na camada 10-20 cm do ponto M1 que com aproximadamente 80% de silte não se enquadra na classificação de do solo franco-siltoso.

**Tabela 02.** Valores em frações granulométricas em diferentes solos do Delta do Parnaíba.

Pontos	Prof. Cm	Areia (%)	Silte (%)	Argila (%)	Classificação SBCS
A1	0-10	57,45	27,86	14,69	Franco-arenoso
	10-20	60,79	19,76	19,45	Franco-arenoso
	20-30	61,40	20,67	17,94	Franco-arenoso
	30-60	54,36	22,59	23,05	Franco-arenoso
	60-100	55,65	19,09	25,26	Franco-arenoso
A2	0-10	79,68	14,78	5,54	Areia-franca
	10-20	82,07	9,60	8,33	Areia-franca
	20-30	83,77	11,82	4,41	Areia-franca
	30-60	86,03	8,86	5,12	Areia-franca
	60-100	82,97	6,67	5,87	Areia-franca
M1	0-10	19,95	57,01	23,03	Franco-siltoso
	10-20	8,03	80,43	11,53	Silte
	20-30	11,39	78,58	10,03	Franco-siltoso
	30-60	9,53	68,58	21,89	Franco-siltoso
	60-100	9,21	77,56	13,23	Franco-siltoso
M2	0-10	29,85	66,36	3,79	Franco-siltoso
	10-20	39,30	53,52	7,19	Franco-siltoso
	20-30	34,48	59,52	6,00	Franco-siltoso
	30-60	36,39	56,72	6,89	Franco-siltoso
	60-100	29,61	65,92	4,47	Franco-siltoso

A1: Solo de restinga da área 1; A2: solo de restinga da área 2; M1: solo de mangue coletado na área 1 e M2: solo de mangue coletado na área 2.

No presente estudo foram identificadas as seguintes classes consideradas como solos de textura leve: Franco arenoso, Areia-franca e Franco-argiloarenoso. Resultado semelhante foi encontrado por Albuquerque et al. (2014), em estudos sobre os solos das planícies de maré hipersalinas no Ceará, nomeadas apicum

observou que possuem em superioridade fração areia, com presença de argilas de alta atividade e fração argila associada à adição superficial de material mineral, bem como os solos da planície do Delta do Parnaíba. Valladares e Cabral (2017) descrevem a geologia da planície do Delta do Parnaíba em depósitos arenosos de quartzo e argilo-siltosos recentes, conseqüente do recuo do mar em épocas anteriores; ao estudar mineralogia e físico-química de solos de mangue em Santos-SP obteve resultado semelhante.

Cabral (2018), após estudos na APA Delta do Parnaíba encontrou Neossolos (Quartzarênicos e Flúvicos), Planossolos, Gleissolos, Espodossolos, Cambissolos e os Vertissolos como as principais ordem de solos classificadas pela SiBCS. A autora ainda explana que próximos a costa os sedimentos possuem textura arenosa devido aos solos de ordem Neossolos Quartzarênicos e Espodossolos Humilúvicos.

A autora supracitada, descreve que nas áreas de mangues a saturação do solo é auxiliada por hidromorfismo caracterizada pelos Gleissolos, os altos teores de argila são características dos Vertissolos e os Espodossolos encontrados foram caracterizados pela translocação de matéria orgânica.

Para os solos de mangue a distribuição das partículas de solo ocorreu de forma homogênea caracterizando um caráter mais siltoso com caracterização textural franco-siltoso. São compostos por matéria mineral e orgânica e pela predominância de sedimentos de textura fina – argila e silte - em função da baixa energia do ambiente em que estão situados e das características do material de origem (MELO, 2018).

A análise quantitativa das amostras de solo (Tabela 03) mostram diversas diferenças entre as áreas de restinga e mangue estudadas. O conteúdo de carbono orgânico total do solo apresentou diferenças significativas variando entre 0,19 e 11,34 dag/kg, obtendo-se uma tendência decrescente que foi observada até a profundidade de 20-30 cm e uma tendência crescente nas profundidades de 30-60 cm e 60-100 cm. Este padrão pode estar associado aos altos teores argila nas camadas mais profundas, considerando que estes materiais são partículas efetivas em sequestrar carbono (BARRETO et al., 2016).

Nesse sentido, destaca-se ainda o processo de bioturbação, que está associado aos caranguejos que vivem acima e abaixo da superfície do sedimento. (KRISTENSEN et al., 2008; COVERDALE et al., 2014; MACREADIE et al., 2017).

Atividades de caranguejos escavadores que vivem em manguezais alteram substancialmente as propriedades abióticas e bióticas dos sedimentos. Esses crustáceos são engenheiros ecossistêmicos (KRISTENSEN, 2008) e podem ser o segundo grupo mais importante na função, perdendo apenas para as próprias árvores (JONES et al., 1997).

**Tabela 03.** Análise quantitativa da interação do carbono orgânico do solo (COT),  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ ,  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ , condutividade elétrica (CE) e profundidades, em diferentes solos do Delta do Parnaíba.

Pontos	Prof. Cm	COT dag/kg	pH H <sub>2</sub> O	pH CaCl <sub>2</sub>	CE dS/m
A1	0-10	4,82	4,32	4,16	3,5
	10-20	1,74	4,80	4,33	2,46
	20-30	1,22	4,58	4,24	2,08
	30-60	1,42	4,34	3,93	1,79
	60-100	3,03	1,52	1,79	2,88
A2	0-10	1,62	9,02	7,46	1,81
	10-20	0,68	9,10	7,50	0,33
	20-30	0,35	8,74	7,37	0,32
	30-60	0,19	8,76	7,45	0,30
	60-100	0,26	8,97	7,41	0,62
M1	0-10	6,02	4,61	4,32	11,44
	10-20	4,96	4,96	5,72	14,74
	20-30	1,93	1,93	6,68	10,26
	30-60	2,24	7,09	6,93	12,51
	60-100	11,34	2,44	1,84	19,43
M2	0-10	5,39	3,62	3,45	9,13
	10-20	4,68	5,41	5,21	7,63
	20-30	3,69	6,11	5,88	7,23
	30-60	4,51	5,82	5,51	6,76
	60-100	5,70	3,88	3,44	8,20

A1: Solo de restinga da área 1; A2: solo de restinga da área 2; M1: solo de mangue coletado na área 1 e M2: solo de mangue coletado na área 2.

Apresentaram inicialmente maiores teores de COT nas camadas mais superficiais (0-30 cm) do ponto estudado diminuindo com a profundidade variando entre 0,35 e 6,02 dag/kg nas primeiras camadas; a partir da camada 30-60 cm o teor de COT aumentou chegando a 11,34 dag/kg na camada 60-100 cm do ponto A1. O COT na camada de 60-100 cm do ponto M1 é fortemente superior aos dados das demais áreas. As quantidades nas duas áreas de apicum não variaram consideravelmente e obtiveram comportamentos equivalentes; nas áreas de mangue os maiores valores foram apresentados nas camadas mais profundas. Segundo Wang et al. (2010), teores de carbono em maiores profundidades pode ser

esclarecido em dois motivos: a disposição das raízes com acentuada atividade biológica em camadas mais profundas e pela deslocação descendente do carbono orgânico que pode ocorrer com a colaboração da força motriz da água oriundo da precipitação ou outras fontes.

Segundo Komiyama et al. (2008), os ecossistemas de mangue dispõem de um grande estoque de raízes com alta biomassa, o que proporciona uma extensa quantidade de matéria orgânica proveniente da lenta decomposição nas condições anóxicas e inundações periódicas do solo; e executam uma importante função na ciclagem de nutrientes, visto que contribuem muito para a dinâmica da fitomassa subterrânea.

Os maiores teores de carbono orgânico do solo de restinga observado apresentaram maiores valores nas camadas superficiais e, de modo geral, revelou tendência decrescente em profundidade, conforme verificado também por Portela (2019) em perfis de solos do Delta do rio Parnaíba, no Piauí. Entretanto, os solos de textura leve apresentaram baixo teor de carbono orgânico ao se comparar com o solo de mangue, pois segundo Macedo et al. (1998) os solos de textura leve apresentam baixa fertilidade natural e baixos teores de matéria orgânica. Tais solos possuem frações de areia sobreposta em relação à argila e silte o que caracteriza-os por baixa capacidade retenção de água e elevada permeabilidade.

Para os solos de mangue encontraram-se maiores valores de carbono orgânico na camada de 60-100 cm onde esses resultados foram corroborados possivelmente pelo acúmulo e decomposição de material lábil no solo (Figura 01) e sugerem uma maior resiliência da carga orgânica em profundidade e acomodação mais estáveis. Esse acúmulo se deve pelo processo de translocação de resíduos da matéria orgânica nas camadas mais profundas como também pela deposição de resíduos vegetais em profundidade no solo que contribuem para a conservação da matéria orgânica em compartimentos de difícil acesso e que pode ser removida principalmente por erosão, lixiviação e pelas atividades antrópicas.

**Figura 6:** Indivíduos de mangue observados na área de estudo.



Fonte: As autoras, 2019.

Os valores de pH diferiram entre as áreas de estudo, variando de extremamente ácido (<4,82) a fortemente alcalino (>8,76). O  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  e  $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$  se mostraram com os valores mais alcalinos no ponto A2, se diferenciando significativamente entre as outras áreas; em contra partida na área do ponto A1, de mesma fitofisionomia foi encontrado o menor valor de pH (1,52 e 1,79).

Os valores mais baixos de pH de acordo com Nóbrega et al. (2014) podem ser resultados da oxidação de materiais sulfídicos como por exemplo a pirita que são comuns em solos de mangue. Segundo a primeira Reunião de Classificação e Correlação de Solos (EMBRAPA, 1979) solos encontrados em área de mangue podem ter o pH acentuadamente variável principalmente em solos com inundação periódica pois o solo alagado tem seu pH gradualmente elevado e após esse solo secar seu pH baixa gradativamente podendo atingir valor dois.

De acordo com o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Sanilidade (2016), solos que contem excesso de sais solúveis na solução do solo, principalmente o sódio (Na) pode sofrer hidrólise formando o hidróxido de sódio (NaOH) causando o aumento repentino da concentração da hidroxila ( $\text{OH}^-$ ) e consequentemente o aumento do pH do solo; o que explica o elevado pH na área A2.

A condutividade elétrica indica a quantidade de sais solúveis presente nos solos em quantidades que podem interferir no desenvolvimento das plantas. Valores de CE maiores que 4 e menores que 7  $\text{dS m}^{-1}$  atribuem a camadas ou horizontes do solo, o caráter salino, e para valores iguais ou maiores que 7  $\text{dS m}^{-1}$ , o caráter sálico (SANTOS et al. 2006). A correlação entre as variáveis de salinidade,  $\text{Na}^+$  e condutividade elétrica estão positivamente correlacionadas, pois segundo Sobral (2015) a condutividade elétrica é o método mais rápido e simples para se estimar o

total de sais solúveis do solo, onde quanto menor a quantidade de sal dissolvida menor será o valor da condutividade elétrica.

O solo no ponto A1 apresentou Mg (Tabela 04) em maiores valores em relação ao Ca, já no ponto A2 ocorre o inverso, tendo quase em sua totalidade valores menores que  $1 \text{ cmol/dm}^3$  para Mg. Os pontos M1 e M2 obtiveram valores maiores para o Mg ascendendo a aproximadamente  $85 \text{ cmol/dm}^3$  na camada mais profunda do ponto M1. De acordo com Carvalho et al. (1995) isto ocorre provavelmente pela de riqueza Mg na água do mar, com teores que podem ser até três vezes mais altos que os do cálcio.

**Tabela 03.** Análise quantitativa da interação do Cálcio, Magnésio, Alumínio e profundidades, em diferentes solos do Delta do Parnaíba.

Pontos	Prof. Cm	Ca $\text{cmolc/dm}^3$	Mg $\text{cmolc/dm}^3$	Al $\text{cmolc/dm}^3$
A1	0-10	1,78	2,53	0,00
	10-20	1,57	2,79	0,00
	20-30	1,84	3,13	0,00
	30-60	1,94	3,94	0,12
	60-100	2,73	5,35	4,69
A2	0-10	4,02	1,21	0,00
	10-20	3,20	0,56	0,00
	20-30	2,97	0,53	0,00
	30-60	2,80	0,51	0,00
	60-100	2,37	0,48	0,00
M1	0-10	5,35	14,68	0,00
	10-20	5,62	18,81	0,00
	20-30	4,65	14,87	0,00
	30-60	5,19	16,40	0,00
	60-100	13,30	24,96	1,94
M2	0-10	5,02	13,32	0,19
	10-20	4,60	10,85	0,00
	20-30	4,69	11,50	0,00
	30-60	4,57	10,49	0,00
	60-100	7,53	12,22	0,77

R1: Solo de restinga da área 1; R2: solo de restinga da área 2; M1: solo de mangue coletado na área 1 e M2: solo de mangue coletado na área 2.

Ao se tratar de Al trocável o mesmo esteve ausente em grande parte das camadas em todos os pontos trabalhados sendo expressivo apenas na última camada dos pontos A1, A2, M1 e M2.

A concentração de Na e P (Tabela 05) diferiu significativamente entre os pontos A1 e A2. No ponto A1 o Na se mostrou expressivo em relação ao ponto A2 que apresentou valores decrescentes nas cinco primeiras camadas tendo valor crescente em sua última camada. Para P o ponto A1 se mostrou sem diferenças significativas em suas camadas, já o ponto A2 possui valores elevados de P chegando a 11,44 cmolc/dm<sup>3</sup>. Os valores obtidos de K não apresentaram diferença significativa entre os dois pontos e para H+Al o ponto A1 se sobressaiu levemente em relação ao ponto A2. Para os pontos M1 e M2 Na se apresentou expressivo possuindo maiores valores no ponto M1 e para K, P e H+Al não houve diferenças significativas, exceto nas camadas mais profundas onde os valores tiveram uma crescente.

**Tabela 05.** Análise quantitativa da interação do Sódio, Potássio, Fósforo, Acidez Potencial (Al+H) e profundidades, em diferentes solos do Delta do Parnaíba.

Pontos	Prof. Cm	Na dag/kg	K H <sub>2</sub> O	P CaCl <sub>2</sub>	H+Al dS/m
A1	0-10	4,56	0,58	0,91	1,77
	10-20	7,80	1,46	0,74	1,24
	20-30	3,84	0,63	0,51	1,26
	30-60	3,60	0,83	0,51	1,41
	60-100	2,88	0,63	0,96	6,20
A2	0-10	3,60	0,29	2,49	0,00
	10-20	0,72	0,10	8,21	0,33
	20-30	0,54	0,05	7,36	0,07
	30-60	0,36	0,05	6,96	0,11
	60-100	1,96	0,10	11,44	0,17
M1	0-10	10,68	1,36	3,45	5,44
	10-20	18,72	2,82	4,19	1,22
	20-30	11,70	2,19	5,15	0,07
	30-60	18,36	3,01	6,06	0,06
	60-100	21,36	1,85	9,51	16,80
M2	0-10	10,74	1,41	2,04	2,83
	10-20	9,30	1,02	3,51	1,85
	20-30	8,64	1,07	2,21	1,50
	30-60	8,82	1,12	2,60	2,19
	60-100	8,04	0,87	2,60	5,99

R1: Solo de restinga da área 1; R2: solo de restinga da área 2; M1: solo de mangue coletado na área 1 e M2: solo de mangue coletado na área 2.

Segundo Andrade (2013), a semelhança na aptidão de variações encontradas entre o teor de matéria orgânica e as bases Na, Mg, Ca e K nos solos de mangue, está associado ao conteúdo orgânico do solo que após decomposto e mineralizado

torna-se fonte de nutrientes para os solos. A fertilidade de solos pode afetar a disposição da vegetação e tem papel de suma importância na manutenção dos ecossistemas costeiros, pois retém a reserva de nutrientes que melhora a capacidade de retenção de água, induz o pH, aumenta a capacidade de troca catiônica (CTC) podendo, assim, evitar a lixiviação de cátions. Assim, os maiores teores de macronutrientes foram verificados na camada mais superficial e na camada mais profunda.

Os solos arenosos obtiveram baixos valores de nutrientes relacionados a fertilidade como Ca e Mg, para Novais et al. (2007), os solos considerados leves apresentam baixos teores de carbono orgânico, P, K, Ca e Mg trocáveis o que retrata as limitações química desse solo demonstrando assim a importância do aspecto textural do solo na distribuição da matéria orgânica do solo.

Os teores de Al apresentaram uma influencia insignificativa na acidez, mostrando-se relevantes apenas na última camada. O efeito do alumínio sobre o desenvolvimento dos manguezais, por sua vez, encontra-se fracamente investigado, porém alguns estudos realizados apontam os manguezais como relativamente tolerantes ao alumínio. (ROUT et al., 2001; OXMAN et al., 2009).

## **6. CONCLUSÕES**

Os teores de matéria orgânica foram superiores aos encontrados nos solos de mangues do que nos solos arenosos.

Em ambos os solos analisado, os teores de carbono orgânico diminuíram em profundidade; entretanto pela translocação sofrida pelos nutrientes a camada mais profunda desses solos também obtiveram valores maiores.

Solos arenosos e manguezais diferem consideravelmente em diversos parâmetros físico-químicos, como granulometria, pH, COT, K, Ca, Mg, Na, salinidade e condutividade elétrica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBUQUERQUE, A. G. B. M., Ferreira, T. O., Nóbrega, G. N., Romero, R. E., Júnior, V. S., Meireles, A. J. A., Otero, X. L., 2014. Soil genesis on hypersaline tidal flats (apicum ecosystem) in a tropical semi-arid estuary (Ceará, Brazil). *Soil Research* [online] 52. Disponível: <http://www.publish.csiro.au/sr/sr13179>. Acesso: outubro/2019.
- ALONGI, D. Blue Carbon Coastal Sequestration for Climate Change Mitigation. In *Springer Briefs in Climate Studies*. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-91698-9\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-91698-9_5), 2018.
- ALONGI, D. M.; PFITZNER, J.; TROTT, L. A.; TIRENDI, F.; DIXON, P.; KLUMPP, D. W. Rapid sediment accumulation and microbial mineralization in forests of the mangrove *Kandelia candel* in the Jiulongjiang Estuary, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 63, n. 4, p. 605–618, 2005.
- ALVES, M. H. & CARVALHO, L. M. O. (2012). Macroalgas verdes da APA Delta do Parnaíba, Litoral Piauiense. pp. 20- 33, *In*: Guzzi, A. (Org). Biodiversidade do Delta do Parnaíba: litoral piauiense. Parnaíba. Disponível em: [http://bionoset.myspecies.info/sites/bionoset.myspecies.info/files/Biodiversidade%20do%20Delta%20do%20Parna%C3%ADba\\_0.pdf](http://bionoset.myspecies.info/sites/bionoset.myspecies.info/files/Biodiversidade%20do%20Delta%20do%20Parna%C3%ADba_0.pdf). Acesso em: outubro/2019
- BURFORD, M. A.; VALDEZ, D.; CURWEN, G.; FAGGOTTER, S. J.; WARD, D. P.; O'BRIEN, K. R. Inundation of saline supratidal mudflats provides an important source of carbon and nutrients in an aquatic system. *Marine Ecology Progress Series*, v. 545, n. March, p. 21–33, 2016.
- CABRAL, L. J. R. S. Levantamento pedológico da planície do Delta do Parnaíba, Pi. (Dissertação de Mestrado). Teresina: UFPI, 2018.
- CARVALHO, I.G. Fundamentos da Geoquímica dos Processos Exógenos. Salvador, BA. Bureau. 293p. 1995.
- CEPRO. Macrozoneamento costeiro do Estado do Piauí: Relatório Geoambientale Sócio-Econômico. Teresina: Secretaria de Planejamento do Piauí. 1996.
- CHAVES, F. O.; GOMES, J. R.; SOARES, M. L. G., DUQUE-ESTRADA, G. C.; ALMEIDA, P. M. M.; OLIVEIRA, V. F. Contribuição ao conhecimento e à conservação da planície costeira de Guaratiba-Baía de Sepetiba, Rio de Janeiro. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, Itajaí, v. 8, 2010. Disponível em: <[www.aprh.pt/rgci/pdf/rgcimang91\\_Chaves.pdf](http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgcimang91_Chaves.pdf)>. Acesso em: outubro/ 2019.

COELHO-JR., C. Gradiente de inundação pelas marés e a drenagem terrestre sobre o comportamento da salinidade intersticial de bosque de mangue de Cananeia, São Paulo, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, Itajaí, v. 8, 2010. Disponível em: [www.aprh.pt/rgci/pdf/rgcimang80\\_Junior.pdf](http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgcimang80_Junior.pdf). Acesso em: outubro/2019.

COPERTINO, MARGARETH. Add coastal vegetation to the climate critical list. *Nature* v. 473, p. 255 , 2011.

CORDEIRO, FELIPE. Entenda o vazamento de petróleo em praias do nordeste. Folha de S.Paulo, São Paulo, 13 de dez. de 2019. Disponível em: [sustentabilidade.estadao.com.br/noticias/geral,entenda-o-vazamento-de-petroleo-em-praias-do-nordeste,70003026922](http://sustentabilidade.estadao.com.br/noticias/geral,entenda-o-vazamento-de-petroleo-em-praias-do-nordeste,70003026922). Acesso em: outubro/2019.

CUSACK, M.; SADERNE, V.; ARIAS-ORTIZ, A.; MASQUÉ, P.; KRISHNAKUMAR, P. K.; RABAOUI, L.; QURBAN, M. A.; QASEM, A. M .; PRIHARTATO, P .; LOUGHLAND, R. A.; ELYAS, A. A.; DUARTE, C. M. Organic carbon sequestration and storage in vegetated coastal habitats along the western coast of the Arabian Gulf. *Environmental Research Letters*, v.13, n.7, 2018. Disponível em: [doi.org/10.1088/1748-9326/aac899](https://doi.org/10.1088/1748-9326/aac899). Acesso em: outubro/2019.

DE FARIAS NETO, A. L. et al. Embrapa Agrossilvipastoril: primeiras contribuições para o desenvolvimento de uma agropecuária sustentável. Embrapa Agrossilvipastoril-Livro científico (ALICE), 2019.

DONAGEMMA, G. K., DE FREITAS, P. L., BALIEIRO, F. DE C., FONTANA, A., SPERA, S. T., LUMBRERAS, J. F., BORTOLON, L. Caracterização, potencial agrícola e perspectivas de manejo de solos leves no Brasil Guilherme. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 51, 1003–1020. 2016. Disponível em: [doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900001](https://doi.org/10.1590/S0100-204X2016000900001). Acesso em: outubro/2019.

DUARTE, C. M.; MIDDELBURG, J. J.; CARACO, N. Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. *Biogeosciences* v. 2, p. 1–8 , 2005.17264170.

FERNANDES, A.G.; LOPES, A.S.; SILVA, E.V.; CONCEIÇÃO, G.M.; ARAÚJO, M.F.V. IV – Componentes biológicos: Vegetação. *In*: CEPRO, Macrozoneamento Costeiro do Estado do Piauí: relatório geoambiental e sócio-econômico. Teresina: Fundação CEPRO. 1996. p. 43-72.

FERNANDES, R. T. V. Recuperação de manguezais. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 78p.

FONSECA, S.M. & DRUMMOND, J.A. Reflorestamento de manguezais e o valor de resgate para o sequestro de carbono atmosférico. *História, Ciências, Saúde – Manguinhos*, 10(3): 1071-1081. 2003.

GHEYI, HR; DIAS, NS; LACERDA, CF (Org.) Manejo da salinidade na agricultura: estudos básicos e aplicados. Fortaleza: INCTSal, 2016, p.17-34.

GIRI, C.; OCHIENG, E.; TIESZEN, L. L.; ZHU, Z.; SINGH, A.; LOVELAND, T.; MASEK, J.; DUKE, N. Status and distribution of mangrove forests of the world using earth observation satellite data. *Global Ecology and Biogeography*, v. 20, n. 1, p. 154–159, 2011.

GOMES, F. H. Caracterização de Solos de Manguezais e de Restinga no Município de Ilhéus – Bahia. Dissertação (Mestrado). UFV, 2002. 96 p.

HOWARD, J., HOYT, S., ISENSEE, K., PIDGEON, E., & TELSZEWSKI, M. Coastal Blue Carbon. *National Wetlands Newsletter*, 36(1), 5–7, 2014.

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. Atlas dos Manguezais do Brasil. Brasília: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2018.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas. Cidades - Censo 2010. Disponível em:  
<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=21&search=maranhaoepia>  
u>. Acesso em: outubro/2019.

JERICÓ-DAMINELLO, C.; GASPARINETTI, P; SEEHUSEN, S. E. Manguezais: importância e situação no contexto brasileiro. In: GASPARINETTI, P; JERICÓDAMINELLO, C; SEEHUSEN, S. E; VILELA, T. Os valores dos serviços ecossistêmicos dos manguezais brasileiros, instrumentos econômicos para a sua conservação e o estudo de caso do Salgado Paraense. Documento de trabalho. Brasília, DF: Funbio. 2018. p. 10-20. Disponível em:  
[https://www.funbio.org.br/wpcontent/uploads/2018/04/Os\\_valores\\_dos\\_servicos\\_ecossistemicos\\_dos\\_manguezais\\_brasileiros.pdf](https://www.funbio.org.br/wpcontent/uploads/2018/04/Os_valores_dos_servicos_ecossistemicos_dos_manguezais_brasileiros.pdf). Acesso em: outubro/2019.

JONES, CLIVE G.; JOHN H. LAWTON & MOSHE SHACHAK. Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. *Ecology*. 1997; 78(7):1946-1957.

KOMIYAMA, A., ONG, JE & POUNGPAM, S. 2008. Alometria, biomassa e produtividade de florestas de mangue: uma revisão. *Aquatic Botany* 89: 128-137.

KRISTENSEN, ERIK. Mangrove crabs as ecosystem engineers, with emphasis on sediment processes. *Journal of Sea Research*. 2008; 59:30-43.

KRUITWAGEN, G.; PRATAP, H. B.; COVACI, A.; WENDELAAR BONGA, S. E. Status of pollution in mangrove ecosystems along the coast of Tanzania. *Mar. Pollut. Bull.*, v. 56, p. 1022-1031, 2008.

KUMAR, .S (2013) Mapeamento de carbono orgânico do solo em escalas regionais e de campo usando aplicações de GIS e sensoriamento remoto. *Adv Crop Sci Tech* 1: e105, 2013. Acessado em: <https://www.omicsonline.org/open-access/soil-organic-carbon-mapping-at-field-and-regional-scales-using-gis-and-remote-sensing-applications-2329-8863.1000e105.php?aid=14471>

LARCHER, W. *Ecofisiologia vegetal*. Trad. de Carlos Henrique B. de A. Prado. São Carlos: RiMa. 531p. 2000.

LEBIGRE, J.M. Les marais à mangrove et les tannes. Disponível em: [http://www.futurasciences.com/fr/print/comprendre/dossiers/doc/t/geographie/d/lesmarais-amangrove-et-les-tannes\\_683/c3/221/p1/](http://www.futurasciences.com/fr/print/comprendre/dossiers/doc/t/geographie/d/lesmarais-amangrove-et-les-tannes_683/c3/221/p1/). Acesso em: outubro/2019.

MARTIN, L.; SUGUIO, ; FLEXOR, J.M. As flutuações de nível do mar durante o quaternário superior e a evolução geológica dos “deltas” brasileiros. *Bol. IG-USP, Publ. Esp.*, n. 15, p.1-186, 1993.

MELO, ISABELA SANTOS DE. Dinâmica e fragilidade ambiental na paisagem da microbacia hidrográfica do rio Paripueira, Sergipe. 2018. 141 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, SE, 2018.

MULLER, S. C. Biodiversidade dos campos. In: PILLAR, V. P.; LANGE, O. *Os Campos do Sul*. Porto Alegre: Rede Campos Sulinos – UFRGS, 2015. 192 p.

NEIMAN, Z. *Era verde? Ecossistemas brasileiros ameaçados*. 24ª ed., Editora Atual, São Paulo, 2012.

NÓBREGA, GN, OTERO, XL, MACÍAS, F. *et al.* Geoquímica de fósforo em um solo de mangue semiárido brasileiro afetado por efluentes de fazendas de camarão. *EnvironMonitAssessment* 186, 5749-5762 (2014) doi: 10.1007 / s10661-014-3817-3.

NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F. de; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). *Fertilidade do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p.471-550.

OLIVEIRA, C. F.; LOUREIRO, CAROLINE VITOR. O Manguezal do rio Coreaú e sua relação com a dinâmica socioambiental do município de Camocim. *Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)*, v. 21, p. 550-563, 2019.

OLIVEIRA, THAÍS DE SANTANA; BARCELLOS, ROBERTO LIMA. Caracterização sedimentológica e geoquímica do apicum do sistema estuarino do rio Itapessoca, Goiana, Pernambuco, Brasil. *Tropical Oceanography*. 41. p. 82. 2013.

PI, Y. et al. Bioremediation of the oil spill polluted marine intertidal zone and its toxicity effect on microalgae. *Environmental Science: Processes & Impacts*, v. 17, n. 4, p. 877-885, 2015.

PORTELA, MYRIA GRAZIELLE TÔRRES. Estoques de carbono do solo e da biomassa vegetal no Delta do Parnaíba-PI. Tese (Doutorado) UFPI, 2019.

PRADA-GAMERO, R.M.; VIDAL-TORRADO, P. & FERREIRA, T.O Mineralogia e físico-química dos solos de mangue do Rio Iriri no canal de Bertioga (Santos, SP).. Mineralogia e físico-química dos solos de mangue do Rio Iriri no canal de Bertioga (Santos, SP). *R. Bras. Ci. Solo*, 28:233-243, 2004.

RIDD, P.; SAM, R.; HOLLINS, S.; BRUNSKILL, G. Water, salt and nutrient fluxes of tropical tidal salt flats. *Mangroves and Salt Marshes*, v. 1, n. 4, p. 229–238, 1997. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1023/A:1009944507334>. Acesso em: outubro/2019.

ROSSETTI, D. de F. Ambientes Costeiros, Capítulo de livro, cap. 9. In: FLORENZANO, T. G. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. Oficina de Textos, São Paulo/SP, 2008.

ROUT, G.R.; SAMANTARAY, S.; DAS, P. Aluminium toxicity in plants: a review. *Agronomie*, vol. 21, 3-21, 2001.

ROVAI, A. S. Assinatura energética e estoque de carbono na biomassa aérea e em solos de manguezais na região neotropical. Tese (Doutorado) UFSC, 2016.

SANTOS- FILHO, F.S. Composição florística e estrutural da vegetação de restinga do Estado do Piauí. Tese (Doutorado). UFRPE, 2009.

SANTOS-FILHO, F. S.; ALMEIDA JUNIOR, E.B. de; SOARES, C.J. dos R. S.; ZICKEL, C.S. Fisionomias das restingas do Delta do Parnaíba, Nordeste, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 3, n. 3, p. 218-227, 2010.

SANTOS-FILHO, F.S.; ZICKEL, C.S. Origem e estrutura da costa e vegetação de restinga: o caso do litoral do Piauí. In: SANTOS-FILHO, F.S.; SOARES, A.F.C.L.;

ALMEIDA JR., E.B. (Org.). Biodiversidade do Piauí: pesquisa & perspectivas. V. 2. Curitiba: CRV, 2013. p. 11-36.

SANTOS-FILHO, F.S.; ALMEIDA JR., E.B.; ZICKEL, C.S. A flora das restingas de Parnaíba e Luiz Correia - litoral do Piauí, Brasil. *In*: SANTOS-FILHO, F.S.; SOARES, A.F.C.L.; ALMEIDA JR., E.B. (Org.). Biodiversidade do Piauí: pesquisas & perspectivas. V.2. Curitiba: Editora CRV. 2013. p. 37-60.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y., CINTRÓN-MOLERO, G., SOARES, M.L.G. Mangroves as indicators of sea level change in the muddy coast of the world. *In*: Healy, T.R., Wang, Y., Healy, J.A. Muddy coast of the world: processes, deposits and function. The Netherlands, Amsterdam. 245-262. 2002.

SCHMIDT, ANDERS JENSEN; BEMVENUTI, CARLOS EMÍLIO; DIELE, KAREN. Sobre a definição da zona de apicum e sua importância ecológica para populações de caranguejouçá. [S. l.], 2012. Disponível em: <Users/paiva/OneDrive/Área%20de%20Trabalho/CNMA/art01-v19.pdf>. Acesso em: outubro/2019.

SILVA, JANAÍNA BARBOSA DA. Sensoriamento Remoto Aplicado ao Estudo do Ecossistema Manguezal em Pernambuco. Tese (Doutorado) UFPE, 2012.

SOARES, M. L. G. A conceptual model for the responses of mangrove forests to sea level rise. *Journal of Coastal Research*, v. SI 56, n. 56, p. 267–271, 2009.

SOARES, M. L. G.; CHAVES, F. O.; DUQUE-ESTRADA, G. C.; CAVALCANTE, V. F. C.; PORTUGAL, A. M. M.; BARBOSA, B. Caracterização das florestas de mangue do complexo estuarino de Caravelas (BahiaBrasil). *Bol. Téc. Cient. CEPENE, Tamandaré*, v. 16, n. 1, p.23-41, 2009.

SOBRAL, L. F.; BARRETO, M. C. de V.; SILVA, A. J. da; ANJOS, J. L. dos. Guia prático para interpretação de resultados de análises de solo. Embrapa Tabuleiros Costeiros: Aracaju, 2015, 13 p. (Documentos, 206).

STAVI, I.; LAL, R. Agriculture and greenhouse gases, a common tragedy. A review. *Agronomy for Sustainable Development, Les Ulis*, v. 33, n. 2, p. 275-289, 2013.

WANG, G.; GUAN, D.; PEART, M.R.; CHEN, Y.; PENG, Y. Ecosystem carbon stocks of mangrove forest in Yingluo Bay, Guangdong Province of South China. *Forest Ecology and Management*. v.310, p. 539-546, 2013. Disponível em: <doi.org/10.1016/j.foreco.2013.08.045> XU, H. Acesso: outubro/2019.

WANG, JUNJING et al. Alterações de cinco anos no carbono orgânico do solo e nitrogênio total em áreas úmidas costeiras afetadas pela regulação do fluxo de sedimentos em um delta chinês. Relatórios Científicos , v. 6, p. 21137, 2016.

ZEE- Zoneamento Ecológico-Econômico do Baixo Rio Parnaíba: subsídios técnicos, relatório final. Brasília, 2002.