



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS**  
**DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA**  
**CURSO DE OCEANOGRAFIA**



MARIA AMANDA CABRAL DA SILVA

**DINÂMICA SEDIMENTAR E EVOLUÇÃO DEPOSICIONAL DO MANGUEZAL DA  
PRAIA DA PEDRA, ESTUÁRIO DO RIO FORMOSO (PE): IMPLICAÇÕES E  
IMPORTÂNCIA NA PEGADA DE CARBONO**

**RECIFE**

**2022**

MARIA AMANDA CABRAL DA SILVA

**DINÂMICA SEDIMENTAR E EVOLUÇÃO DEPOSICIONAL DO MANGUEZAL DA  
PRAIA DA PEDRA, ESTUÁRIO DO RIO FORMOSO (PE): IMPLICAÇÕES E  
IMPORTÂNCIA NA PEGADA DE CARBONO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Oceanografia do Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Oceanógrafa.

**Orientador:** Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva, Maria Amanda Cabral da.

Dinâmica sedimentar e evolução deposicional do manguezal da praia da pedra,  
estuário do rio Formoso (PE): implicações e importância na pegada de carbono /  
Maria Amanda Cabral da Silva. - Recife, 2022.

36 p. : il., tab.

Orientador(a): Roberto Lima Barcellos

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de  
Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Oceanografia -  
Bacharelado, 2022.

Inclui referências, apêndices.

1. sedimentação estuarina. 2. manguezal. 3. blue carbon. 4. estoque de  
carbono. 5. NE Brasil. I. Barcellos, Roberto Lima. (Orientação). II. Título.

550 CDD (22.ed.)

MARIA AMANDA CABRAL DA SILVA

**DINÂMICA SEDIMENTAR E EVOLUÇÃO DEPOSICIONAL DO MANGUEZAL DA  
PRAIA DA PEDRA, ESTUÁRIO DO RIO FORMOSO (PE): IMPLICAÇÕES E  
IMPORTÂNCIA NA PEGADA DE CARBONO**

Trabalho de Conclusão de Curso de  
Bacharelado em Oceanografia do  
Departamento de Oceanografia da  
Universidade Federal de Pernambuco, como  
requisito parcial para a obtenção do título de  
Oceanógrafa.

Recife, 16 de dezembro de 2022.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos - Orientador  
Departamento de Oceanografia – Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Antônio Vicente Ferreira Júnior – Avaliador  
Departamento de Oceanografia – Universidade Federal de Pernambuco

---

Profa. Dra. Tereza Cristina Medeiros de Araújo – Avaliador  
Departamento de Oceanografia – Universidade Federal de Pernambuco

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a minha família pelo apoio durante essa jornada, principalmente meus pais que possibilitaram que eu tivesse liberdade para me dedicar integralmente aos estudos.

Ao meu orientador Roberto, por toda a paciência e conhecimentos passados.

Aos meus amigos que me apoiaram e estiveram ao meu lado durante toda a graduação.

E as instituições CNPq e FACEPE, pelas bolsas de pesquisa.

## RESUMO

As florestas de mangue são um dos principais sequestradores e estocadores de carbono, elas constituem os *Blue Carbon Systems (BCS)*. O *Blue Carbon* é o carbono estocado em ambientes aquáticos e marinhos e os *BCS* são os ecossistemas responsáveis por sequestrar e estocar carbono. O trabalho objetivou aprofundar o conhecimento sobre a dinâmica sedimentar, evolução deposicional, fluxos e estoques de matéria orgânica e carbono no manguezal da praia da Pedra no estuário do rio Formoso (PE). Foram realizadas coletas de testemunhos, no dia 01/02/2022, no manguezal superior e franja, sendo executadas as análises dos teores de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), matéria orgânica total (MOT) e carbono orgânico total (COT), granulometria das frações de cascalho, areia e lama, além dos fluxos e estoques de carbono dos dois ambientes. Também foram realizadas análises de correlação entre os parâmetros obtidos. O testemunho do mangue superior (M1) registrou 37 cm de profundidade de uma coluna sedimentar homogênea rica em matéria orgânica. A partir dos resultados de  $\text{CaCO}_3$ , percebeu-se pulsos de maior e menor influência marinha. Ocorreu maior influência de sedimentação autóctone em direção ao topo do testemunho, mais enriquecida em lama e MOT. O testemunho da franja (F1) com 46 cm de recuperação, apresentou distribuição heterogênea, apresentando 10 fácies sedimentares. A base do testemunho da franja apresentou características de mangue, com sedimentos mais lamosos e ricos em MOT, característicos de turfeiras. Nesse foi possível observar maior influência marinha em direção ao presente, com aumento no teor de  $\text{CaCO}_3$ . Os fluxos de sequestro de carbono aumentam em direção ao topo no mangue, e o contrário acontece na franja. A estimativa do estoque de  $C_{\text{org}}$ , para um metro de profundidade, foi superior para o ambiente da franja do mangue, o que pode revelar a importância dos depósitos mais antigos nos estoques, visto que neste os sedimentos basais são turfa. Foi possível perceber o processo de retração do manguezal. Tais processos reforçam a necessidade na preservação do ecossistema manguezal, para o que ele exerça seu papel de sumidouro de carbono, e não seja uma fonte de carbono para o ambiente.

**Palavras-chave:** sedimentação estuarina; manguezal; blue carbon; estoque de carbono; NE Brasil

## ABSTRACT

Mangrove forests are one of the main carbon sinks and storages, they constitute the Blue Carbon Systems (BCS). Blue Carbon is the carbon stored in aquatic and marine environments and the BCS are the ecosystems responsible for sequestering and storing carbon. The work aimed to deepen the knowledge about the sedimentary dynamics, depositional evolution, flows and stocks of organic matter and carbon in the mangrove of Praia da Pedra in the estuary of the Formoso river (PE). Samples were collected on 02/01/2022, in the upper mangrove and fringe, with analyzes of calcium carbonate ( $\text{CaCO}_3$ ), total organic matter (TOM) and total organic carbon (TOC), analysis of the fractions of gravel, sand and mud, in addition to the carbon fluxes and stocks of the two environments. Correlation analyzes between the obtained parameters were also performed. The core of the upper mangrove (M1) recorded 37 cm of depth of a homogeneous sedimentary column rich in organic matter. From the results of  $\text{CaCO}_3$ , pulses of greater and lesser marine influence were perceived. There was a greater influence of autochthonous sedimentation towards the top of the core, more enriched in mud and TOM. The core of the fringe (F1) with 46 cm of recovery, presented heterogeneous distribution, presenting 10 sedimentary facies. The base of the fringe core showed mangrove characteristics, with muddy sediments rich in TOM, characteristic of peat bogs. In this one, it was possible to observe a greater marine influence towards the present, with an increase in the  $\text{CaCO}_3$  content. Carbon sequestration fluxes increase towards the top in the mangrove, and the opposite happens in the fringe. The estimate of the organic carbon stock, for a depth of one meter, was higher for the mangrove fringe environment, which may reveal the importance of the oldest deposits in the stocks, since the basal sediments are peat in this environment. It was possible to perceive the process of retraction of the mangrove. Such processes reinforce the need to preserve the mangrove ecosystem, so that it plays its role as a carbon sink, and not a source of carbon for the environment.

**Keywords:** estuarine sediments; mangrove; blue carbon; carbon stock; NE Brazil

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - (a) Localização da área de estudo do estuário do rio Formoso, PE; (b) pontos de coleta dos testemunhos, M1 (Mangue superior) e F1 (Franja do mangue). ....	13
Figura 2 – Foto da coluna sedimentar e distribuição vertical de $\text{CaCO}_3$ , MOT e COT do testemunho M1.....	18
Figura 3 - Diagrama ternário de Folk (1954) com a classificação textural das amostras do M1. ....	19
Figura 4 – Foto da coluna sedimentar e distribuição vertical de $\text{CaCO}_3$ , MOT e COT do testemunho F1. ....	22
Figura 5 - Diagrama ternário de Folk (1954) com a classificação textural das amostras do testemunho F1. ....	23
Figura 6 - (a) Densidade de peso seco (DPS), e (b) taxa de acumulação de carbono ( $C_{\text{burial}}$ ) do mangue superior; (c) DPS, e (d) $C_{\text{burial}}$ da franja. ....	25
Figura 7 - Estoque de $C_{\text{org}}$ ( $\text{g m}^{-2}$ ) estimados para um metro de profundidade. ....	26

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Referência, localização, identificação do testemunho, método de datação e taxa de sedimentação (cm/ano). .....	16
Tabela 2 - Correlação de Pearson para as amostras do testemunho M1. ....	17
Tabela 3 - Correlação de Pearson para as amostras do testemunho F1. ....	21

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	9
1.1 OBJETIVOS.....	11
1.1.1 <i>Objetivos específicos</i> .....	11
1.2 HIPÓTESE.....	11
<b>2 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	12
2.1 ÁREA DE ESTUDO .....	12
2.2 COLETA EM CAMPO .....	14
2.3 PROCEDIMENTOS EM LABORATÓRIO.....	14
2.4 ANÁLISE DE CARBONO.....	15
2.5 ANÁLISE DOS DADOS .....	15
<b>3 RESULTADOS</b> .....	16
3.1 CÁLCULO DAS TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO .....	16
3.2 MANGUE SUPERIOR – M1.....	16
3.2.1 <i>Teores de Carbonato de cálcio (%CaCO<sub>3</sub>) e Matéria Orgânica Total (%MOT)</i> .....	16
3.2.2 <i>Frações de cascalho, areia e lama</i> .....	19
3.3 FRANJA DO MANGUE – F1 .....	20
3.3.1 <i>Teores de Carbonato de cálcio (%CaCO<sub>3</sub>) e Matéria Orgânica Total (%MOT)</i> .....	20
3.3.2 <i>Frações de cascalho, areia e lama</i> .....	23
3.4 FLUXO E ESTOQUE DE CARBONO .....	24
<b>4 DISCUSSÃO</b> .....	26
<b>5 CONCLUSÃO</b> .....	28
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	30
<b>APÊNDICE A – Resultados das análises de laboratório do testemunho do mangue superior.</b> .....	33
<b>APÊNDICE B – Resultados das análises de laboratório do testemunho da franja.</b> .....	34
<b>APÊNDICE C – Fotografias dos testemunhos abertos.</b> .....	35

## 1 INTRODUÇÃO

Estuários são ambientes costeiros de transição presentes na interface continente oceano. Dentre suas definições, destaca-se a de Pritchard (1967), que descreve o estuário como um corpo d'água costeiro semifechado que apresenta livre conexão com o mar, onde a água salgada é diluída pela água doce de origem continental. Por se tratar de uma área que sofre com a hidrodinâmica de ambas as forças, dos rios e dos oceanos, os estuários são ambientes importantes para o ciclo sedimentar, e áreas com características de intensa deposição de sedimentos (Santos e Barcellos, 2017). Por essa característica e alta dinâmica, os estuários são considerados ambientes efêmeros, do ponto de vista geológico, que apresentam rápidas modificações (Dyer, 1996). Os estuários oferecem serviços ecossistêmicos importantes, tais como seu papel de berçário de espécies marinhas, oferecendo proteção e alta disponibilidade de alimento durante os estágios iniciais de vida de inúmeras espécies.

Por serem áreas abrigadas que apresentam proteção contra as forças das ondas, os estuários sempre foram ambientes ideais para a construção de portos marítimos, e com isso, o desenvolvimento de grandes centros urbanos ao seu redor. As principais cidades do mundo e as grandes megalópoles encontram-se próximas a regiões estuarinas, e com a presença de 70% da população mundial presente ao longo de 200 km de linha de costa (Santos & Barcellos, 2017). Além da sua importância socioeconômica, os estuários também apresentam incomparável importância ecológica. Esse ambiente abrange uma diversidade de ecossistemas costeiros em seu entorno, dentre eles, os manguezais, os apicuns e os prados de fanerógamas marinhas. Tais ambientes constituem os *Blue Carbon Systems*, ecossistemas fundamentais na estocagem de carbono em regiões costeiras.

Os manguezais são ecossistemas distribuídos em regiões intermarés, na interface terra-mar, presentes desde a região tropical a subtropical do globo entre as latitudes 30° N e 30° Sul (Giri *et al.*, 2011). Eles desenvolvem-se em ambientes com condições adversas, tais como, alta salinidade, elevada temperatura, marés extremas, alta taxa de sedimentação e presença de solos anaeróbicos lamacentos (Giri *et al.*, 2011). Dentre suas funções, os manguezais destacam-se pelo seu papel no sequestro

de carbono, ciclagem de nutrientes e proteção da linha de costa (Lovelock *et al.*, 2017).

Os manguezais estão entre os ecossistemas mais produtivos das zonas costeiras, e as árvores de mangue, as plantas mais produtivas dessa região (Alongi, 2014). Woodroffe (1992) evidenciou que do ponto de vista biológico, os manguezais são fontes de produção de matéria orgânica, promovendo um fluxo de energia para áreas estuarinas adjacentes; em contrapartida, do ponto de vista geológico, os manguezais são sumidouros de sedimentos; tal acúmulo proporciona a formação das florestas de mangue e preenchimento das planícies costeiras adjacentes. A floresta de mangue é um dos principais sequestradores e estocadores de carbono (Alongi, 2014; Kauffman *et al.*, 2020). O carbono é estocado principalmente nos solos desses ambientes (Alongi, 2014; Kauffman *et al.*, 2018; Kauffman *et al.*, 2020).

O *Blue Carbon* (ou carbono azul) é o carbono estocado em ambientes aquáticos e marinhos. Com isso, tem-se os *Blue Carbon Systems*, que são os ecossistemas responsáveis por sequestrar e estocar carbono. O sequestro de CO<sub>2</sub> dá-se principalmente pelo processo de fotossíntese dos organismos autotróficos. Os manguezais são ambientes que sequestram carbono de forma passiva e ativa, e embora representem, apenas, cerca de 0,5% da área costeira oceânica global, eles são responsáveis por 10 a 15% de todo o carbono estocado no mundo (Alongi, 2014).

As taxas de acumulação de carbono no sedimento são parâmetros importantes para quantificar o quanto de carbono é sequestrado pelo ambiente (Breithaupt *et al.* 2012). Fatores como o clima, topografia e atividades antrópicas influenciam a quantidade de matéria orgânica no solo, e conseqüentemente a capacidade de armazenamento de carbono pelo ambiente (Amundson, 2001). O entendimento dos fatores que controlam o acúmulo de carbono orgânico no sedimento é essencial para compreender o destino dele numa perspectiva de mudanças climáticas; visto que as alterações no ambiente modificam o processo de sequestro de carbono e provocam respostas diferentes para o aquecimento global (Wang *et al.* 2021).

Song *et al.* (2022) destaca a importância sobre o conhecimento da camada de mistura do sedimento (CMS), sua espessura pode impactar diretamente na preservação do carbono orgânico no oceano costeiro. A taxa de acumulação de carbono e a CMS apresentam relação inversa, logo, quanto maior a espessura da CMS, menor será o sequestro de carbono orgânico pelo sedimento (Song *et al.* 2022).

Tendo em vista os desafios e as consequências das mudanças climáticas, o manguezal mostra-se como um importante ecossistema que pode auxiliar em estratégias de redução da emissão de gases do efeito estufa (Kauffman *et al.* 2020). A restauração e preservação dos ambientes marinhos faz parte da agenda 2021-2030, da década do oceano, determinada pela Organização das Nações Unidas.

## 1.1 OBJETIVOS

O presente trabalho possui como objetivo aprofundar o conhecimento sobre a dinâmica sedimentar, evolução deposicional, fluxos e estoques de matéria orgânica e carbono no manguezal da praia da Pedra no estuário do rio Formoso (PE).

### 1.1.1 *Objetivos específicos*

- I. Comparar a variabilidade temporal do processo sedimentar dos ambientes que compõem o manguezal estudado: franja e mangue superior, com base nos parâmetros geoquímicos das colunas sedimentares e textura dos sedimentos estudados;
- II. Avaliar se características composicionais dos sedimentos de cada zona do manguezal é essencial para a manutenção dos estoques e fluxos de carbono locais;
- III. Classificar, com base nas características das colunas sedimentares, se o mangue local tem aspectos progradacionais ou erosivos (corte-preenchimento);
- IV. Quantificar os fluxos, acumulação e estoques locais para contribuir com os inventários de estoques de carbono globais do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), bem como nacionais (PE).

## 1.2 HIPÓTESE

O trabalho possui como hipótese que a região que compreende o mangue superior possui maior capacidade de estocar carbono se comparado com a região da franja. Observa-se que o manguezal superior é um ambiente de sedimentação mais estável, quando comparado com a franja do mangue (Woodroffe, 1992), sendo um importante sítio de sedimentação com taxas médias de 2,8 mm ano<sup>-1</sup> (Breithaupt *et*

*al.*, 2012). Tais características tornam o mangue superior uma armadilha de sedimentos e de matéria orgânica. A franja do manguezal é um sítio sedimentar que pulsa, variando espacial e temporalmente. Somada à essas características, o regime de mesomaré com suas rápidas subidas e descidas do nível do mar, contribui na retirada de material da região da franja.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a execução da pesquisa foram realizados estudos sobre a área analisada, procedimentos em laboratório e análise dos dados obtidos.

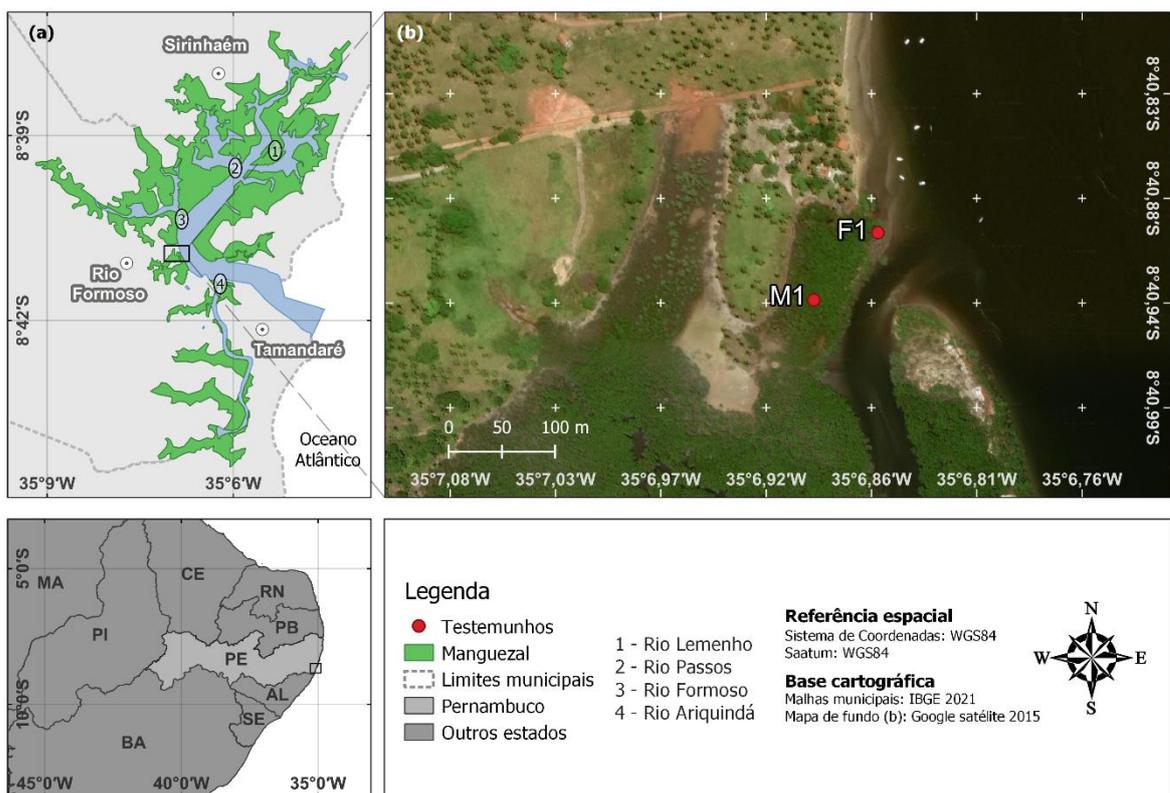
### 2.1 ÁREA DE ESTUDO

O complexo estuarino do rio Formoso (Figura 1.a) está localizado no litoral Sul da costa pernambucana e possui uma área de aproximadamente 27 km<sup>2</sup> (Santos e Barcellos, 2017). O rio Formoso e seu canal estuarino servem de limite natural para os municípios de Sirinhaém, na porção norte, Rio Formoso, porção oeste e Tamandaré na porção sul (Silva, 2008). A região encontra-se na Zona da Mata do estado de Pernambuco, e possui como característica o clima tropical úmido (temperatura média de 25 °C e índices pluviométricos de aproximadamente 2000 mm/ano); de acordo com a classificação de Köppen ele é do tipo As', apresentando chuvas distribuídas entre o outono e o inverno (Silva, 2008; Martins *et al.*, 2021).

O estuário está inserido na Área de Proteção Ambiental (APA) de Guadalupe, localizada a uma distância de aproximadamente 100 km da capital do estado, Recife (SETUR/CPRH, 2011). Por estar inserido completamente na APA de Guadalupe e distante de grandes centros urbanos, é possível perceber um estado de conservação moderado desse estuário (Silva, 2008). O estuário do rio Formoso é constituído pelos rios dos Passos, Lemenho, Ariquindá e Formoso, o principal tributário da drenagem desse sistema (Silva, 2008; CPRH, 2022). Sua linha de costa apresenta barreiras naturais formadas por arrecifes, tal proteção garante uma baixa amplitude de maré no estuário e condições especiais para o desenvolvimento da fauna e flora local (CPRH, 2022). Em estudos realizados por Lira *et al.* (1979), a maré dinâmica do estuário do rio Formoso atingiu um nível máximo de 1,73 metros.

O estuário do rio Formoso é do tipo dominado por marés, apresentando considerável participação das ondas em suas margens em períodos de maré alta (Silva, 2008). Quanto à sua estrutura geomorfológica, ele é do tipo de origem tectônica, caracterizado a partir do sistema de falhas e fraturas (Silva, 2008). Com relação à salinidade, o estuário é do tipo verticalmente homogêneo e bem misturado (Silva, 2008; Lira *et al.*, 1979). Lira *et al.* (1979) classificou o estuário como do tipo planície costeira, constituído por sedimentos quaternários.

Figura 1 - (a) Localização da área de estudo do estuário do rio Formoso, PE; (b) pontos de coleta dos testemunhos, M1 (Mangue superior) e F1 (Franja do mangue).



Fonte: A autora (2022).

As árvores de mangue representam cerca de 80% da cobertura vegetal das margens do estuário (Lira *et al.*, 1979), com a presença das espécies *Rhizophora mangle* (mangue vermelho), *Laguncularia racemosa* (mangue branco), *Avicennia schaueriana* (mangue preto) e *Conocarpus erectus* (mangue de botão) (Santos e Barcellos, 2017). Lira *et al.* (1979) descreveu a predominância de sedimentos lamosos e de coloração escura, indicando alto nível de matéria orgânica e principal fonte de material em suspensão. Em Santos e Barcellos (2017), os teores de Matéria Orgânica Total (MOT) variaram de 1,07 a 29,57% no período chuvoso de 2014 e de 0,80 a

35,77% no período seco de 2015, ambos os períodos com predomínio de valores abaixo dos 10%.

Martins *et al.* (2021) descreveu o desenvolvimento do sistema estuarino do rio Formoso em duas fases, a primeira, datada do início ao meio do Holoceno, com características de ambiente continental, possivelmente um lago ou lagoa costeira com circulação fechada; e a segunda fase do meio ao final do Holoceno, com o desenvolvimento do manguezal, possivelmente por meio da formação de lagoas costeiras.

## 2.2 COLETA EM CAMPO

O método de coleta empregado em campo consistiu na obtenção de testemunhos de sondagem. Os testemunhos foram coletados no dia 01 de fevereiro de 2022, durante a maré baixa, na praia da Pedra, no estuário do rio Formoso (Figura 1.b). Para a coleta empregou-se a técnica de *pushcore*, caracterizada pela amostragem da coluna sedimentar utilizando tubos PVC, de 5 cm de diâmetro, com o auxílio de equipamentos como braçadeiras e pesos, os quais facilitam o processo de penetração e retirada do depósito sedimentar.

## 2.3 PROCEDIMENTOS EM LABORATÓRIO

Em laboratório, os testemunhos foram abertos longitudinalmente, fotografados, e subamostrados a cada 2 cm, para os 10 primeiros centímetros, e a cada 5 cm no restante da coluna sedimentar, ajustando-se à estrutura heterolítica da mesma. A coluna foi descrita em relação à textura, estruturas e restos biogênicos contidos.

Foram realizadas análises sedimentares quanto aos teores de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) e matéria orgânica total (MOT), separando entre 3 e 5 gramas de sedimento das subamostras e atacando com ácido clorídrico (HCl) 10% e peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) 10%, respectivamente para as análises de carbonato de cálcio e matéria orgânica total (Carver, 1971). Os dados obtidos a partir dos teores de carbonatos foram classificados seguindo o proposto por Larssonneur *et al.* (1982) e Vital *et al.* (2005). As amostras que passaram pelo processo de oxidação da matéria orgânica, com o  $\text{H}_2\text{O}_2$ , seguiram para as análises granulométricas. Foram separadas as frações de cascalho ( $> 2 \text{ mm}$ ), areia ( $2 \text{ mm} > x > 0,063 \text{ mm}$ ) e lama ( $< 0,063 \text{ mm}$ )

através do peneiramento úmido. Os dados da granulometria foram analisados de acordo com o diagrama ternário de Folk (1954).

## 2.4 ANÁLISE DE CARBONO

Para a obtenção do teor de carbono orgânico total (COT) e taxas de acumulação, os dados obtidos da matéria orgânica total foram multiplicados por 0,58 de acordo com Allen (1974).

Estudos relacionados à taxa de acumulação e sequestro de carbono ainda são escassos em ambientes estuarinos pernambucanos e tropicais brasileiros, dessa forma, foram utilizados como base os dados de testemunhos de outras pesquisas publicadas em artigos que abordaram os processos de sedimentação recente e holocênica nos estuários de Pernambuco (Passos *et al.*, 2021; Passos *et al.*, 2022).

A taxa de acumulação/sequestro de carbono orgânico ( $C_{burial}$ ) na coluna sedimentar foi calculada nos testemunhos, baseada na taxa de sedimentação (Tx), densidade aparente seca e no COT através da equação:

$$C_{burial} \text{ (em g } C_{org} \text{ m}^{-2} \text{ ano}^{-1}) = COT * DPS * Tx \text{ (Matos } et al., 2020) [1],$$

sendo a taxa de sedimentação, a média obtida a partir dos dados de Passos *et al.* (2021) e Passos *et al.* (2022), de estuários pernambucanos. A densidade de peso seco (DPS, em  $\text{g cm}^{-3}$ ) foi determinada pela razão entre o valor da massa seca obtido e o volume do intervalo da amostra.

O estoque de carbono foi calculado a partir da equação:

$$\text{Estoque (em g m}^{-2}) = DPS * \text{Profundidade} * (\%COT / 100) \text{ (Howard } et al., 2014) [2].$$

## 2.5 ANÁLISE DOS DADOS

Para as análises dos teores de  $\text{CaCO}_3$ , MOT, COT e os percentuais das frações granulométricas utilizou-se o Microsoft Excel (2020); no mesmo também foram realizadas as análises de correlação de Pearson e os cálculos dos fluxos e estoques de carbono orgânico. Os diagramas ternários de Folk (1954) com a classificação textural foram gerados no Gradistat v. 9.1. O Strater 5 foi utilizado para mostrar visualmente a distribuição vertical dos teores de  $\text{CaCO}_3$ , MOT e COT, assim como a variação das frações cascalho, areia e lama dos testemunhos.

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 CÁLCULO DAS TAXAS DE SEDIMENTAÇÃO

A taxa de sedimentação (Tx) foi igual à 0,51 cm ano<sup>-1</sup>, resultado da média aritmética das taxas de Suape (PE), Tx = 0,73 cm ano<sup>-1</sup> (Passos *et al.* 2020), e Catuama (PE), Tx<sub>Core1</sub> = 0,52 cm ano<sup>-1</sup> e Tx<sub>Core2</sub> = 0,27 cm ano<sup>-1</sup> (Passos *et al.* 2021) (Tabela 1).

Tabela 1 - Referência, localização, identificação do testemunho, método de datação e taxa de sedimentação (cm/ano).

Referência	Localização	ID do testemunho	Método	Tx de Sedimentação (cm/ano)
Passos <i>et al.</i> 2021	Suape/PE	-	<sup>210</sup> Pb	0,73
Passos <i>et al.</i> 2022	Catuama/PE	Core 1	<sup>210</sup> Pb	0,52
Passos <i>et al.</i> 2022	Catuama/PE	Core 2	<sup>210</sup> Pb	0,27
<b>Média</b>	—	—	—	0,51

#### 3.2 MANGUE SUPERIOR – M1

O testemunho coletado no mangue superior (M1) foi recuperado com 37 centímetros, apresentou coluna sedimentar homogênea e presença de muitas raízes, principalmente em sua base. A partir da média das taxas de sedimentação (Tx = 0,51 cm ano<sup>-1</sup>) dos estuários pernambucanos (Passos *et al.*, 2021; Passos *et al.*, 2022), a base do testemunho foi datada por volta do ano de 1949. Sua coluna sedimentar representa o período de aproximadamente 73 anos.

##### 3.2.1 Teores de Carbonato de cálcio (%CaCO<sub>3</sub>) e Matéria Orgânica Total (%MOT)

Ao longo da coluna sedimentar o carbonato de cálcio variou de 4,64 a 16,48% (média de 8,64 ± 3,46%), enquanto a matéria orgânica total variou de 2,18 a 9,03% (média de 4,80 ± 2,11%) (Figura 2). Os valores mínimos de CaCO<sub>3</sub> e MOT foram obtidos nas profundidades entre 15-20 cm para ambos os fatores, os valores máximos foram obtidos entre as profundidades de 20-25 cm e 0-2 cm, respectivamente.

Segundo Larsonneur *et al.* (1982), os sedimentos foram classificados como litoclásticos ( $\text{CaCO}_3 < 30\%$ ).

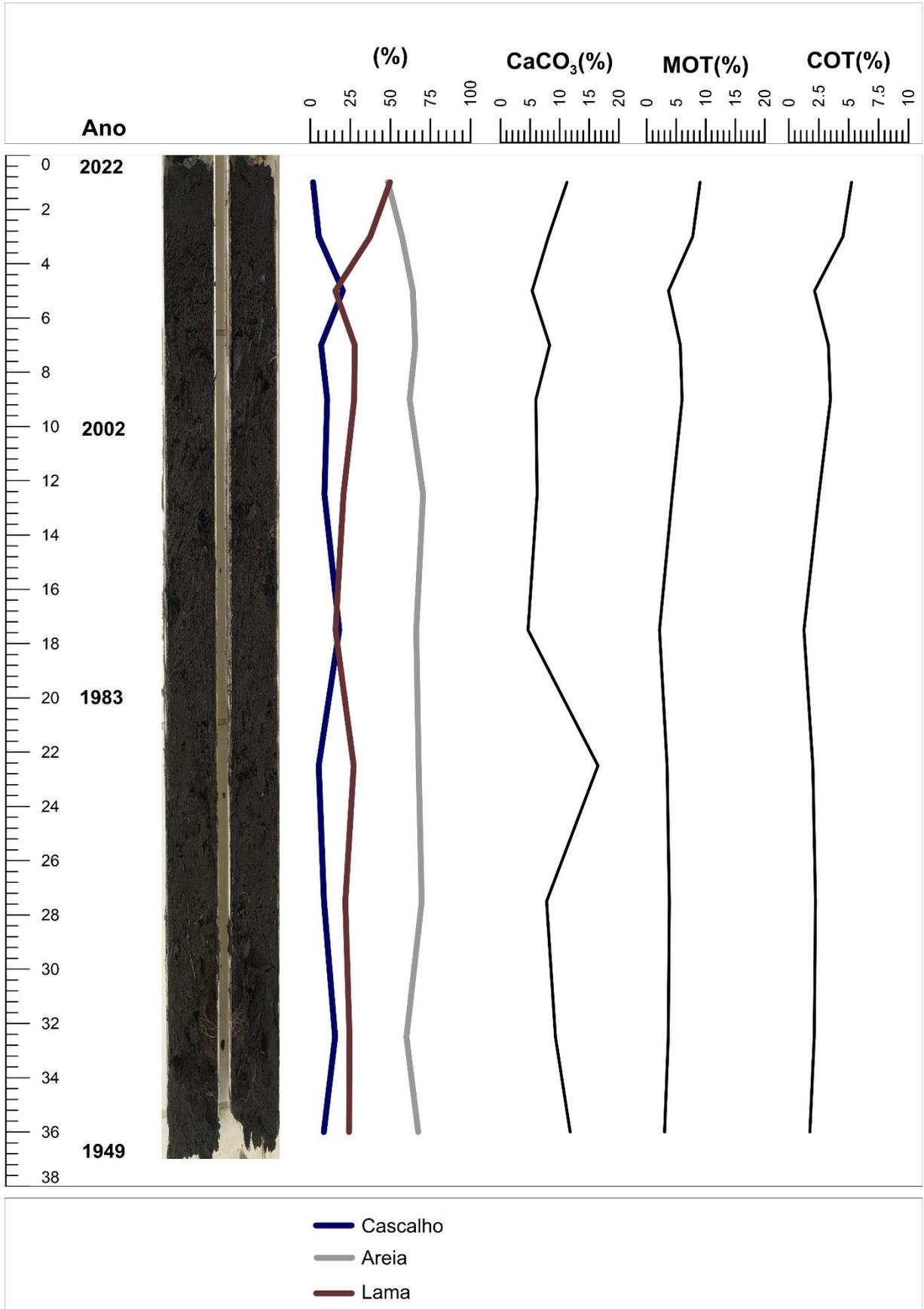
O  $\text{CaCO}_3$  apresentou correlação inversa forte com a fração cascalho ( $r = -0,604$ ;  $p < 0,05$ ;  $n = 11$ ) (Tabela 1). A MOT apresentou correlação direta forte com a fração lama ( $r = 0,900$ ;  $p < 0,001$ ;  $n = 11$ ), e correlação inversa forte com as frações cascalho ( $r = -0,649$ ;  $p < 0,05$ ;  $n = 11$ ) e areia ( $r = -0,796$ ;  $p < 0,05$ ;  $n = 11$ ) (Tabela 1).

Tabela 2 - Correlação de Pearson para as amostras do testemunho M1.

M1		% CaCO <sub>3</sub>	% MOT	% COT	% Cascalho	% Areia	% Lama
%CaCO <sub>3</sub>	Pearson's r	—					
	p-value	—					
%MOT	Pearson's r	0,071	—				
	p-value	0,836	—				
%COT	Pearson's r	0,071	<b>1,000</b>	—			
	p-value	0,836	<b>&lt; ,001</b>	—			
%Cascalho	Pearson's r	<b>-0,604</b>	<b>-0,649</b>	<b>-0,649</b>	—		
	p-value	<b>0,049</b>	<b>0,031</b>	<b>0,031</b>	—		
%Areia	Pearson's r	-0,111	<b>-0,796</b>	<b>-0,796</b>	0,302	—	
	p-value	0,745	<b>0,003</b>	<b>0,003</b>	0,366	—	
%Lama	Pearson's r	0,427	<b>0,900</b>	<b>0,900</b>	<b>-0,784</b>	<b>-0,829</b>	—
	p-value	0,190	<b>&lt; ,001</b>	<b>&lt; ,001</b>	<b>0,004</b>	<b>0,002</b>	—

Fonte: A autora (2022).

Figura 2 – Foto da coluna sedimentar e distribuição vertical de CaCO<sub>3</sub>, MOT e COT do testemunho M1.

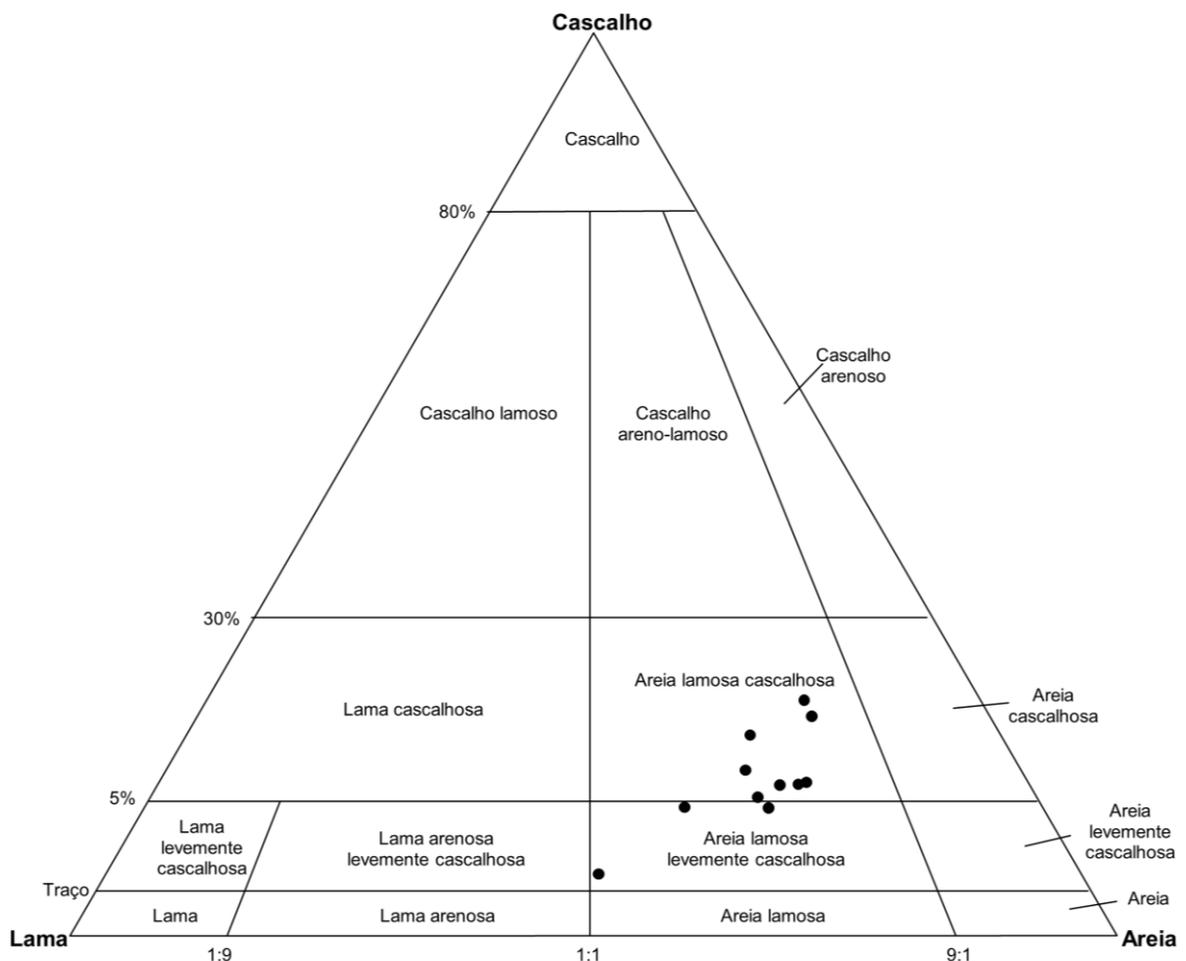


Fonte: A autora (2022).

### 3.2.2 Frações de cascalho, areia e lama

A fração de cascalho (> 2 mm) variou ao longo da coluna sedimentar de 1,76 a 20,35% (média de  $9,95 \pm 5,76\%$ ). Apresentou mínimo valor entre 0-2 cm e máximo valor entre 4-6 cm de profundidade. A fração de areia ( $2 \text{ mm} > x > 0,063 \text{ mm}$ ) variou de 48,44 a 70,42% (média de  $63,48 \pm 6,39\%$ ), com valor mínimo entre 0-2 cm e máximo entre 10-15 cm de profundidade. A fração dos sedimentos finos (< 0,063 mm) variou de 15,65 a 49,80% (média de  $26,56 \pm 9,81\%$ ), com valor mínimo na profundidade entre 4-6 cm e máximo entre 0-2 cm.

Figura 3 - Diagrama ternário de Folk (1954) com a classificação textural das amostras do M1.



Fonte: A autora (2022).

A fração de cascalho apresentou alternância entre aumento e queda, com baixos valores próximos ao topo do testemunho. A fração de areia não variou muito ao longo da coluna sedimentar, porém apresentou diminuição no sentido do topo. Já a fração de lama apresentou maiores valores em direção ao topo do testemunho

(Figura 2). De acordo com Vital *et al.* (2005), os sedimentos da coluna sedimentar do manguezal superior, foram classificados como lamas terrígenas (LL1).

A partir do diagrama ternário de Folk (1954) (Figura 3), as amostras do testemunho do manguezal superior foram classificadas como areia lamosa cascalhosa e, apenas a amostra do topo (0-2 cm) foi classificada como areia lamosa levemente cascalhosa.

### 3.3 FRANJA DO MANGUE – F1

O testemunho F1, coletado na zona de franja do mangue, apresentou uma coluna sedimentar de 46 cm. A coluna apresentou estrutura heterogênea e foi descrita em 10 fácies. A fácies 1 (0-4 cm) e 2 (4-13 cm) do testemunho apresentaram areia muito fina com lama pouco oxidada, com a presença de matéria orgânica, fragmentos vegetais e  $\text{CaCO}_3$ , observando que a segunda fácies apresentava pouco  $\text{CaCO}_3$ . A fácies 3 (13-18 cm) apresentou areia fina com lama e presença de muita matéria orgânica, com fragmentos vegetais e marinhos. A fácies 4 (18-27 cm) apresentou areia muito fina com lama pouco oxidada, presença de fragmentos vegetais e pouco  $\text{CaCO}_3$ , com presença de lentes de areia média. A fácies 5 (27-32 cm) apresentou areia fina e areia média grossa, mal selecionada, com muita pouca matéria orgânica e fragmentos vegetais. A fácies 6 (32-37 cm) apresentou areia média fina com lama pouco oxidada, presença de fragmentos vegetais e lentes de areia média e areia grossa. A fácies 7 (37-41 cm) e fácies 9 (42-44 cm) apresentaram características semelhantes a fácies 5, enquanto a fácies 8 (41-42 cm) foi semelhante a fácies 2. A fácies 10 (44-46 cm) teve a presença de turfeira lamosa com muita matéria orgânica.

A partir da média das taxas de sedimentação ( $T_x = 0,51 \text{ cm ano}^{-1}$ ) dos estuários pernambucanos (Passos *et al.*, 2021; Passos *et al.*, 2022), a base do testemunho foi datada por volta do ano de 1932, representando o período de aproximadamente 90 anos.

#### 3.3.1 Teores de Carbonato de cálcio ( $\%\text{CaCO}_3$ ) e Matéria Orgânica Total ( $\%\text{MOT}$ )

O teor de  $\text{CaCO}_3$  variou de 1,26 a 27,60% (média de  $14,28 \pm 9,38\%$ ), e a MOT variou de 0,52 a 10,17% (média de  $3,42 \pm 2,86\%$ ) (Figura 4). Os valores mínimos de  $\text{CaCO}_3$  e MOT foram obtidos nas profundidades entre 42-44 cm e 36-41 cm, e os

valores máximos foram obtidos nas profundidades entre 13-19 cm e 44-46 cm respectivamente. Os sedimentos foram classificados como litoclásticos ( $\text{CaCO}_3 < 30\%$ ) de acordo com Larssonneur *et al.* (1982).

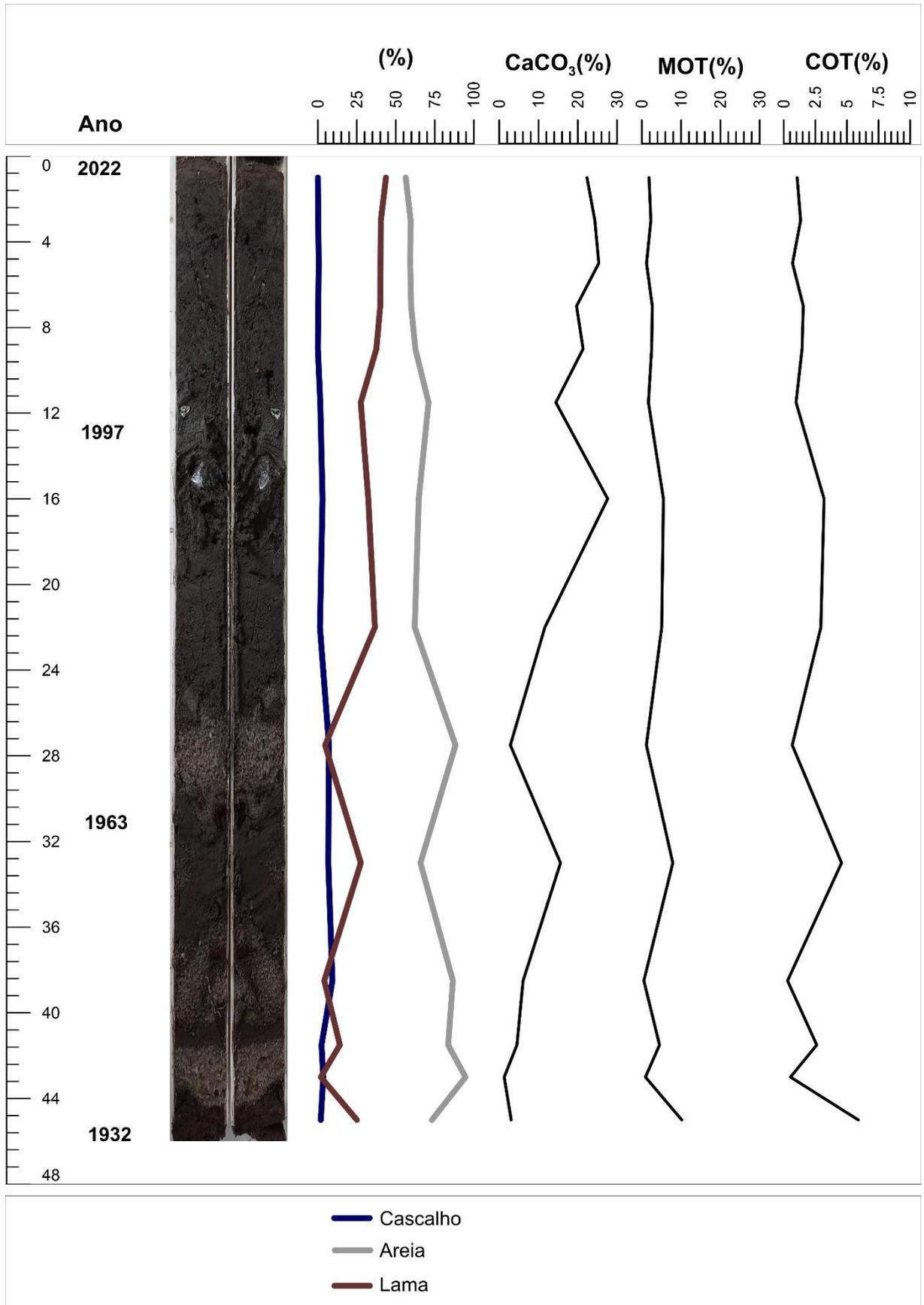
Tabela 3 - Correlação de Pearson para as amostras do testemunho F1.

F1		% CaCO <sub>3</sub>	% MOT	% COT	% Cascalho	% Areia	% Lama
%CaCO <sub>3</sub>	Pearson's r	—					
	p-value	—					
%MOT	Pearson's r	-0,098	—				
	p-value	0,738	—				
%COT	Pearson's r	-0,098	<b>1,000</b>	—			
	p-value	0,738	<b>&lt; ,001</b>	—			
%Cascalho	Pearson's r	-0,527	-0,025	-0,025	—		
	p-value	0,053	0,933	0,933	—		
%Areia	Pearson's r	<b>-0,862</b>	-0,186	-0,186	<b>0,660</b>	—	
	p-value	<b>&lt; ,001</b>	0,524	0,524	<b>0,010</b>	—	
%Lama	Pearson's r	<b>0,844</b>	0,164	0,164	<b>-0,766</b>	<b>-0,989</b>	—
	p-value	<b>&lt; ,001</b>	0,575	0,575	<b>0,001</b>	<b>&lt; ,001</b>	—

Fonte: A autora (2022).

O  $\text{CaCO}_3$  apresentou correlação direta forte com a fração de lama do sedimento ( $r = 0,844$ ;  $p < 0,001$ ;  $n = 14$ ), e correlação inversa forte com a fração de areia ( $r = -0,862$ ;  $p < 0,001$ ;  $n = 14$ ) (Tabela 2).

Figura 4 – Foto da coluna sedimentar e distribuição vertical de  $\text{CaCO}_3$ , MOT e COT do testemunho F1.

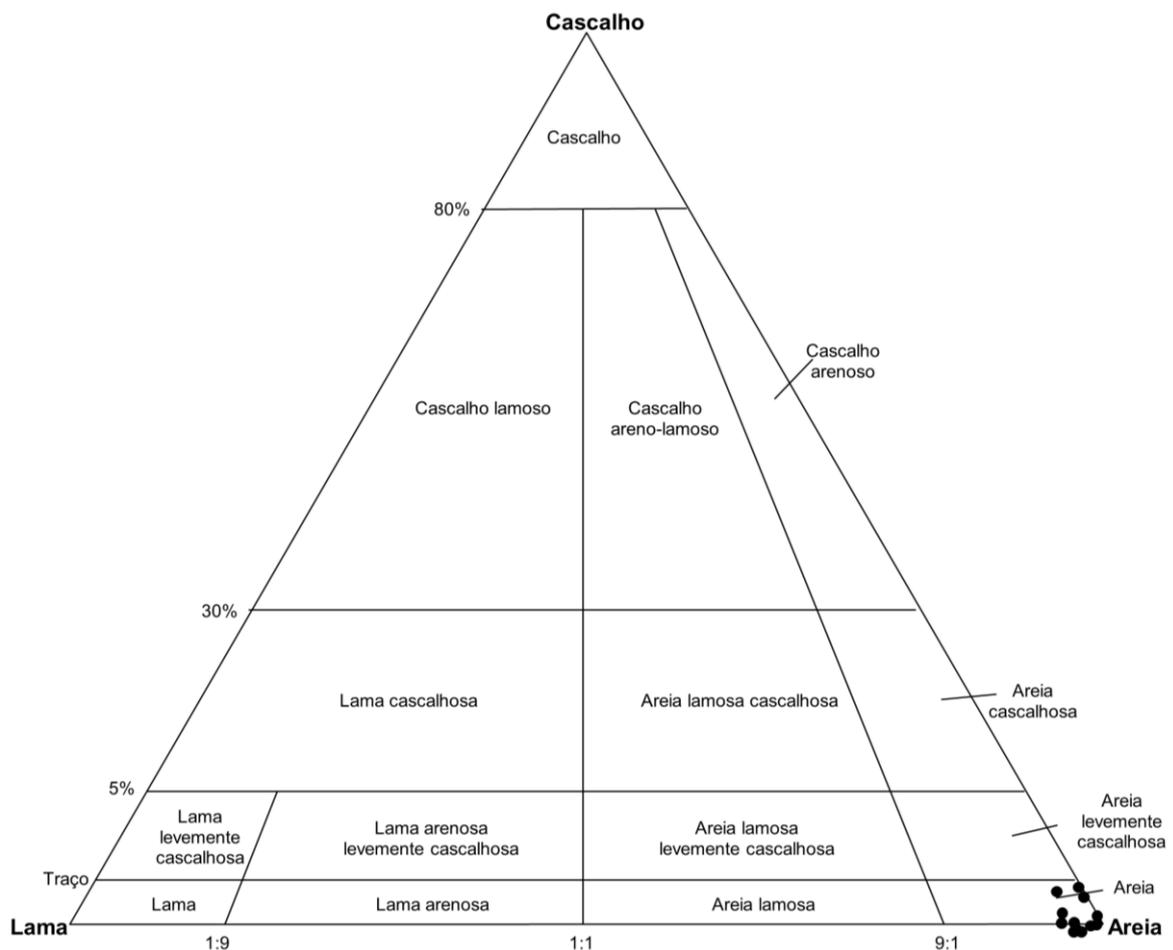


Fonte: A autora (2022).

### 3.3.2 Frações de cascalho, areia e lama

A fração de cascalho (> 2 mm) não foi encontrada em todas as subamostras do testemunho. Onde esteve presente, a fração variou de 0,17 a 9,31% (média de  $2,68 \pm 2,98\%$ ). Ela esteve ausente nas profundidades entre 0-2 e 8-10 cm, e apresentou o máximo valor entre 36-41 cm de profundidade. A fração de areia variou de 56,33 a 94,67% (média de  $70,50 \pm 12,68\%$ ), com mínimo valor entre 0-2 cm e máximo entre 42-44 cm de profundidade. A fração de lama variou de 1,88 a 43,67% (média de  $26,81 \pm 14,82\%$ ), seu valor mínimo foi obtido entre 42-44 cm e o valor máximo entre 0-2 cm de profundidade.

Figura 5 - Diagrama ternário de Folk (1954) com a classificação textural das amostras do testemunho F1.



Fonte: A autora (2022).

As frações cascalho e areia apresentaram diminuição em direção ao topo do testemunho. Paralelamente a fração lama apresentou aumento em direção ao topo (Figura 4). De acordo com Vital *et al.* (2005), os sedimentos de 0-25 cm, 30-36 cm e

44-46 cm de profundidade, foram classificados como lamas terrígenas (LL1); enquanto de 25-30 cm e 36-44 cm de profundidade, como areias litoclásticas (AL1b).

A partir do diagrama ternário de Folk (1954) (Figura 5), todas as amostras do testemunho da franja de mangue, foram classificadas como areia.

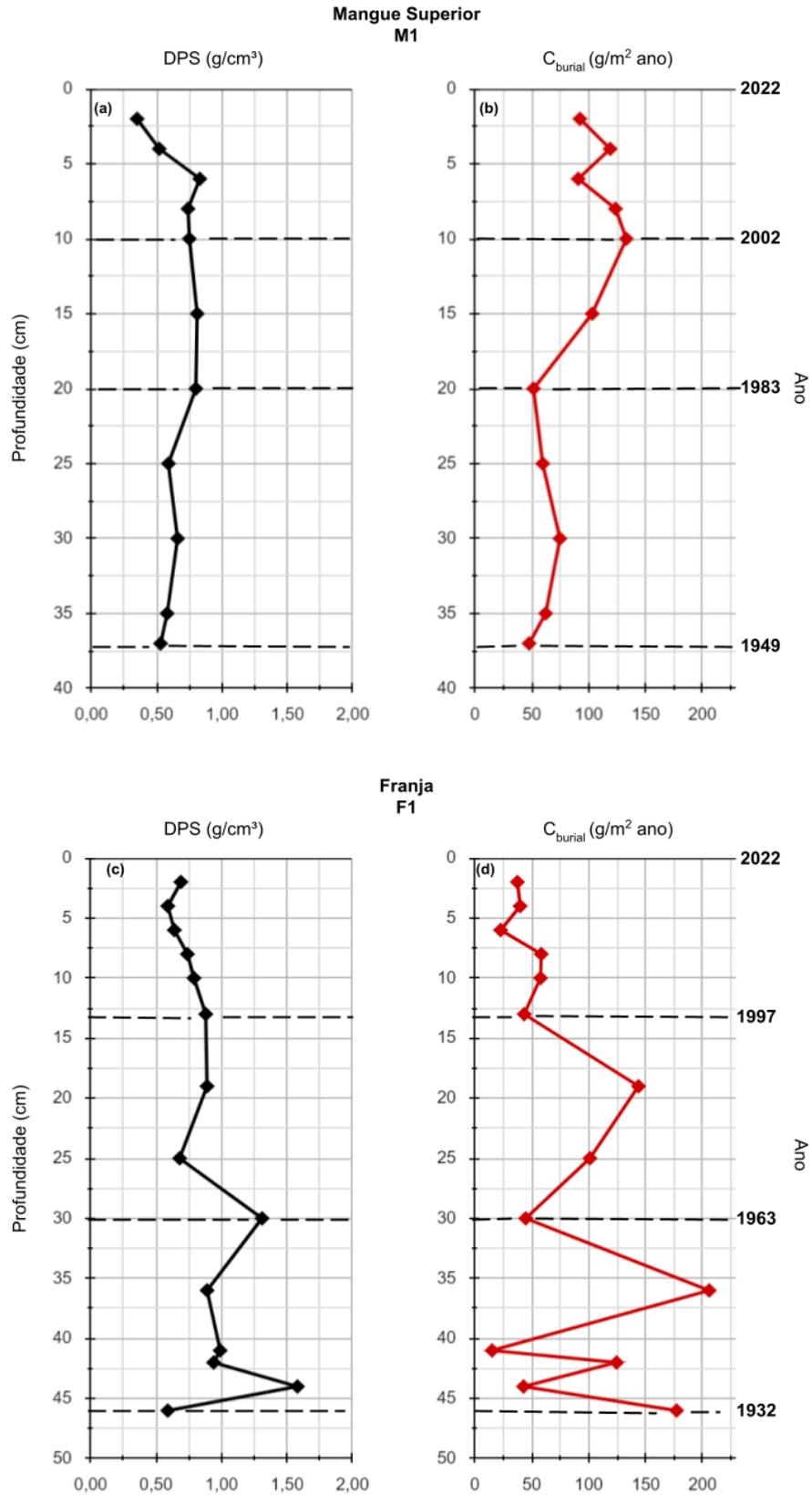
### 3.4 FLUXO E ESTOQUE DE CARBONO

No mangue superior, os teores de carbono orgânico total (COT) variaram de 1,26 a 5,24% (média de  $2,78 \pm 1,22\%$ ) (Figura 2). A densidade de peso seco (DPS) variou de 0,35 a 0,83 g cm<sup>-3</sup> (média de  $0,65 \pm 0,15$  g cm<sup>-3</sup>) (Figura 6.a). A taxa de acumulação de carbono ( $C_{\text{burial}}$ ) variou de 47,62 a 133,08 g m<sup>-2</sup> ano com média de 87,04 g m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup> ( $\pm 30,18$ ) (Figura 6.b). O  $C_{\text{burial}}$  apresentou valor constante nos últimos 17 cm do testemunho, com aumento em direção ao topo. Os 10 centímetros do topo apresentam alternância, com períodos de maior e menor sequestro de carbono nos anos mais recentes (Figura 6.b).

Os teores de COT variaram de 0,30 a 5,90% (média de  $1,98 \pm 1,66\%$ ) na coluna sedimentar da franja (Figura 5). A DPS variou de 0,59 a 1,58 g cm<sup>-3</sup> (média de  $0,87 \pm 0,28$  g cm<sup>-3</sup>) (Figura 6.c). O  $C_{\text{burial}}$  variou de 15,13 a 205,78 g m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>, com média de 79,60 g m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup> ( $\pm 60,53$  g m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup>) (Figura 6.d). Pulsos de maior e menor acúmulo de carbono caracterizam a base do testemunho, principalmente nos últimos 16 centímetros de profundidade. Ocorreu um pico positivo no sequestro de carbono na metade superior da coluna sedimentar, seguido de um declínio expressivo em direção ao presente, nos primeiros 10 cm de profundidade (Figura 6.d).

A densidade de peso seco apresenta decaimento em direção ao topo para os dois testemunhos analisados. Os resultados foram semelhantes aos encontrados por Matos *et al.* (2020). Ambos os testemunhos desse trabalho apresentaram médias de  $C_{\text{burial}}$  próximas aos 119,3 g m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup> obtidos por Passos *et al.* (2021), e 105,86 g m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup> e 134,01 g m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup> obtidos por Passos *et al.* (2022), em estuários pernambucanos, Suape e Catuama respectivamente. Já as médias da região amazônica obtidas por Matos *et al.* (2020), com resultados de 143,2; 218,7 e 215,8 g m<sup>-2</sup> ano<sup>-1</sup> são expressivamente superiores.

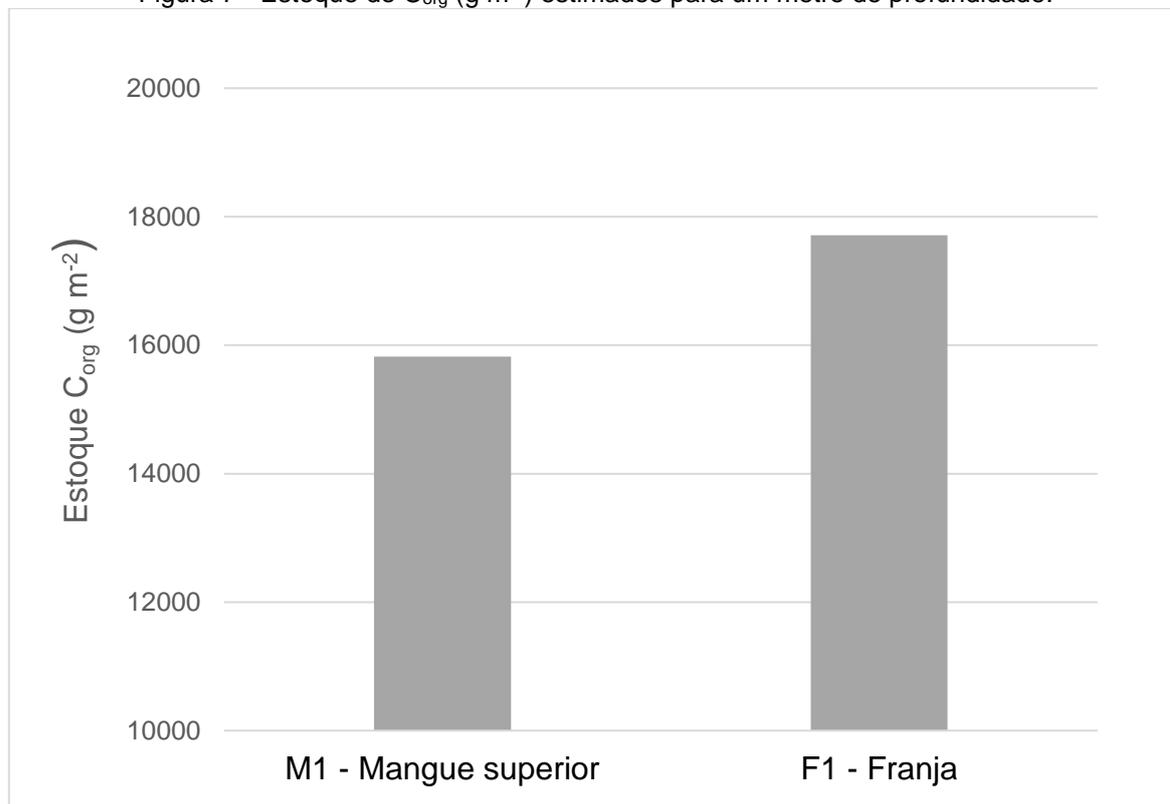
Figura 6 - (a) Densidade de peso seco (DPS), e (b) taxa de acumulação de carbono ( $C_{\text{burial}}$ ) do mangue superior; (c) DPS, e (d)  $C_{\text{burial}}$  da franja.



Fonte: A autora (2022).

Para um metro de profundidade, o estoque de  $C_{org}$  foi estimado em 15.822 g  $m^{-2}$ , para o M1, e em 17.709 g  $m^{-2}$  para o F1 (Figura 7).

Figura 7 - Estoque de  $C_{org}$  (g  $m^{-2}$ ) estimados para um metro de profundidade.



Fonte: A autora (2022).

#### 4 DISCUSSÃO

Ao longo da coluna sedimentar do M1 (Mangue superior), ocorreu o aumento da fração lama e de MOT em direção ao topo do testemunho, evidenciando processos de sedimentação autóctone atuais. Esse padrão é reforçado pela correlação direta significativa entre a fração lama e a MOT ( $r = 0,900$ ;  $p < 0,001$ ). Em paralelo a isso, os teores de  $CaCO_3$  apresentaram padrão alternado, ora aumentando, ora diminuindo. Essa alternância indica pulsos interanuais de maior influência marinha na sedimentação local. O aumento de material mais fino em direção ao topo indica diminuição da hidrodinâmica local, possivelmente relacionada ao desenvolvimento da floresta de mangue sobrejacente. A presença da floresta possibilitou o aprisionamento e retenção de mais matéria orgânica em direção aos dias atuais. Baseado nesses parâmetros e na datação aproximada do ano de 1949 para a base do testemunho, é

possível inferir que as características majoritariamente terrígenas do manguezal não sofreram alterações expressivas durante as últimas sete décadas.

Para a coluna sedimentar da franja (F1), sua base teve menores teores de  $\text{CaCO}_3$  e altos valores de MOT, indicando que onde está localizada a franja atual, era mangue no passado. Isso de acordo com as taxas de sedimentação estimadas seria por volta de 1932. Os maiores teores de MOT estão associados aos sedimentos finos presentes na base do testemunho, chegando a 10,17% de MOT entre 44-46 cm de profundidade, na fácies 10, onde foi observada a presença de turfeira lamosa. A alternância entre areia e lama na base da coluna indica a recorrência do processo erosivo, sendo evidenciado pelo aumento gradual do domínio marinho na sedimentação em direção ao presente. A zona da franja de mangue em estuários dominados por maré, como o rio Formoso, apresenta dois tipos de características de acordo com Chapell & Grindrod (1984) e Woodroffe (1992): modo progradação rápida (deposicional lamoso terrígeno) e modo de corte e preenchimento (erosivo heterolítico com níveis de  $\text{CaCO}_3$ ). O que corrobora para a área de estudo com o observado por Woodroffe (2002), que a franja do manguezal é um sítio sedimentar que pulsa, variando espacial e temporalmente. Ora progradando, ora retraindo em processos deposicionais e erosivos ao longo do tempo, mesmo em costas estáveis dominadas por marés. Assim, é possível observar um aumento de influência marinha em direção ao topo do testemunho com aumentos alternados do percentual de  $\text{CaCO}_3$  e diminuição da MOT, o que pode de fato reforçar o processo atual de retração (erosão) do manguezal.

Os sedimentos de ambos os testemunhos foram classificados como litoclásticos, logo os sedimentos da região apresentam, em sua maioria, origem continental e foram gerados pelo intemperismo e erosão de rochas. Os sedimentos possuem como principal transportador os rios, sendo retrabalhados atualmente pelas marés.

Da base até, aproximadamente, 20 cm de profundidade do M1, os níveis de sequestro de carbono mostraram-se em equilíbrio, o que daria por volta dos anos de 1949 a 1983. Reflexo das condições de sedimentação estáveis observadas a partir do resultado das frações cascalho, areia e lama. Com o aumento dos sedimentos mais finos em direção ao topo do testemunho, e maior aprisionamento de matéria orgânica, foi possível observar aumentos expressivos na taxa de acumulação de carbono, superando os  $100 \text{ g C}_{\text{org}} \text{ m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ .

A base da coluna sedimentar da franja (44-46 cm), caracterizada como turfeira lamosa, apresentou forte taxa de acumulação de carbono. Seu  $C_{\text{burial}}$  atingiu valores superiores aos  $150 \text{ g } C_{\text{org}} \text{ m}^{-2} \text{ ano}^{-1}$ . Os últimos 10 cm de profundidade da coluna sedimentar da franja apresentaram taxas alternadas de sequestro de carbono, esse comportamento é reflexo da adsorção devido aos maiores teores de lama. Quando ocorreu aumento dos sedimentos finos junto a maiores níveis de matéria orgânica, o  $C_{\text{burial}}$  também aumentou. O sequestro de carbono diminuiu em direção ao topo do testemunho, correspondendo aos baixos teores de MOT nos períodos mais recentes (nas últimas duas décadas e meia), e, em contrapartida, o aumento de influência marinha no topo da coluna sedimentar com altos níveis de  $\text{CaCO}_3$ .

O estoque de  $C_{\text{org}}$  maior para a o ambiente da franja, pode estar relacionado ao processo de retração do manguezal, visto que as maiores taxas de sequestro de carbono estão na base do testemunho. Diferente do passado, os anos mais recentes não conseguem alcançar 1/3 do  $C_{\text{burial}}$  atingido a, aproximadamente, 8 décadas atrás. O inverso foi observado no mangue superior, corroborando que o desenvolvimento do manguezal proporcionou maiores taxas de sequestro de carbono, como foi observado no topo do M1. O que pode indicar uma migração do manguezal em direção ao apicum e planície costeira à retaguarda nos últimos anos.

A partir de análises posteriores de  $^{210}\text{Pb}$ , será possível a obtenção das taxas de sedimentação específicas da região, e dados sobre a camada de mistura do sedimento para uma visão mais integrada dos processos que agem sobre o sequestro de carbono no manguezal da praia da Pedra.

## 5 CONCLUSÃO

Como esperado, a franja apresentou comportamento dinâmico, com alternância de areia e lama em sua coluna sedimentar. Enquanto o mangue superior mostrou maior estabilidade dos processos sedimentares. A partir das análises percebeu-se o processo de erosão da franja do mangue com aumentos expressivos da influência marinha, e retração do manguezal como um todo. A região da franja apresentou diminuição na capacidade de sequestro de carbono. Já, o mangue, apresenta tendência de maior acúmulo de matéria orgânica e por consequência maior atuação como sumidouro de carbono orgânico.

As modificações no ambiente fortalecem a importância de um maior esforço na preservação desses ecossistemas, principalmente num contexto de mudanças climáticas. A coluna sedimentar da franja evidencia a importância do mangue como armadilha de matéria orgânica e carbono, visto que seu estoque de  $C_{org}$  foi influenciado diretamente pelo manguezal que ali estava no passado. Estudos sobre a dinâmica sedimentar contribuem para o entendimento das variáveis envolvidas nos processos de sequestro e fluxos de carbono orgânico nos *Blue Carbon Systems*. O presente estudo contribui com o levantamento de dados sobre os fluxos e estoques de carbono, principalmente, para os manguezais tropicais do nordeste do Brasil.

## REFERÊNCIAS

ALLEN, S. E. Chemical Analysis of Ecological Materials, Wiley, New York. 1974.

ALONGI, D.M. Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Ann. Rev. Mar. Sci* 6, 195–219, 2014.

AMUNDSON, R. The carbon budget in soils, *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 29, 535–562, 29.1.535, 2001.

BREITHAUPT, J. L., SMOAK, J. M., SMITH III, T. J., SANDERS, C. J., & HOARE, A. Organic carbon burial rates in mangrove sediments: Strengthening the global budget. *Global Biogeochemical Cycles*, 26(3), 2012.

CARVER, R.E. (ed.). *Procedures in Sedimentary Petrology*. Wiley Interscience, p. 49-69, 1971.

CHAPPELL, J.; GRINDROD, J. Chenier plain formation in northern Australia. In: Thom, B. G. *Coastal geomorphology in Australia*. pp 197 - 232. Academic Press, Sydney, 1984.

CPRH. Unidade de Conservação APA Estuarina do Rio Formoso. CPRH Agência Nacional do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www2.cprh.pe.gov.br/uc/apa-estuarina-do-rio-formoso/>. Acesso em: 17 ago. 2022.

DYER, K. R. Sediment transport processes in estuaries. In: PERILLO, G.M.E. *Geomorphology and sedimentology of estuaries*. Amsterdam: Elsevier. p.423 - 447, 1996.

FOLK, R.L. The Distinction between Grain Size and Mineral Composition in Sedimentary-Rock Nomenclature. *The Journal of Geology*, 62, 344-359, 1954.

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

HOWARD, J., HOYT, S., ISENSEE, K., TELSZEWSKI, M., PIDGEON, E. (eds.). *Coastal Blue Carbon: Methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, tidal salt marshes, and seagrasses*. Conservation International, Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, International Union for Conservation of Nature. Arlington, Virginia, USA.2014.

KAUFFMAN, J.B., BERNARDINO, A.F., FERREIRA, T.O. Shrimp ponds lead to massive loss of soil carbon and greenhouse gas emissions in northeastern Brazilian mangroves. *Ecology and Evolution* 8, 5530–5540. 2018.

KAUFFMAN, J.B., ADAME, M.F., ARIFANTI, V.B., others, Total ecosystem carbon stocks of mangroves across broad global environmental and physical gradients. *Ecol. Monogr.* 90 (2), e01405, 2020.

LARSSONEUR, C.; BOUYASSE, P.; AUFRET, J. P. The superficial sediments of the English Channel and its Western Approach. *Sedimentology*, 29(6), 851-864, 1982.

LIRA, L.; ZAPATA, M.C.; FONSECA, V.G. Aspectos da dinâmica do estuário do Rio Formoso, PE. *Cad. Omega Univ. Fed. Pernamb.* 3, 133–156, 1979.

LOVELOCK, C.E., FELLER, I.C., REEF, R., others. Mangrove dieback during fluctuating sea levels. *Sci. Rep.* 7, 1680. 2017.

MARTINS, S. E. M.; FRANÇA, M. C.; SEDDIQUE, A. A.; SIAL, A. N.; PESSEDA, L. C. R.; DE CAMARGO, P. B.; SANTOS, L. R. O. C.; BARCELLOS, R.L. Holocene vegetation changes according to sea-level and climate dynamics on tidal flats of the Formoso River estuary, northeastern Brazil. *Quaternary International*, 2021.

MATOS, C. R. L.; BERRÊDO, J. F.; MACHADO, W.; SANDERS, C. J.; METZGER, E.; COHEN, M. C. L. Carbon and nutrient accumulation in tropical mangrove creeks, Amazon region. *Marine Geology*, 429, 106317. 2020.

PASSOS, T., PENNY, D., SANDERS, C.J., DE FRANCA, E., OLIVEIRA, T., SANTOS, L., BARCELLOS, R. Mangrove carbon and nutrient accumulation shifts driven by rapid development in a tropical estuarine system, northeast Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 161, 111794. 2021.

PASSOS, T., SANDERS, C.J., BARCELLOS, R. PENNY, D. Assessment of the temporal retention of mercury and nutrient records within the mangrove sediments of a high impacted estuary. *Environmental Research*, 206, 112569. 2022.

PRITCHARD, D.W. What Is An Estuary: Physical Viewpoint. In: Lauff, G.H., Ed., *Estuaries*, American Association for the Advancement of Science, Washington DC, Vol. 1, 149-176, 1967.

SANTOS, L.D.; BARCELLOS, R.L. *Sedimentação Atual Do Estuário Do Rio Formoso - PE (Brasil)*, 1, 1. NEA-Edições, Saarbrucken, Alemanha, p. 113, 2017.

SETUR/CPRH. Área de Proteção Ambiental de Guadalupe: encarte 3, análise da unidade de conservação. Recife. 206p. 2011.

SILVA, J.P. Estudos Sedimentológicos, hidrodinâmicos, batimétricos e da qualidade da água visando a evolução e os aspectos ambientais associados do estuário do Rio Formoso – PE. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Pernambuco. CTG. *Geociências*, Recife, p. 146, 2008.

SONG, S.; SANTOS, I. R.; YU, H.; WANG, F.; BURNETT, W. C.; BIANCHI, T. S.; DONG, J.; LIAN, E.; ZHAO, B.; MAYER, L.; YAO, Q.; YU, Z.; XU, B. A global assessment of the mixed layer in coastal sediments and implications for carbon storage. *Nature Communications*, 13:4903, 2022.

VITAL, H.; SILVEIRA, I.M.D; AMARO, V.E. Carta Sedimentológica da Plataforma Continental Brasileira: Área Guamaré a Macau (NE Brasil), Utilizando Integração de Dados Geológicos e Sensoriamento Remoto. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23, 233-241, 2005.

WANG, F.; SANDERS, C. J.; SANTOS, I. R. TANG, J.; SCHUERCH, M.; KIRWAN, M. L.; KOPP, R. E.; ZHU, K.; LI, X.; YUAN, J.; LIU, W.; LI, Z. Global blue carbon accumulation in tidal wetlands increases with climate change. *National Science Review*, Vol. 8, nwaa296, 2021.

WOODROFFE, C. Mangrove sediments and geomorphology, in *Coastal and Estuarine Studies: Tropical Mangrove Ecosystem*, edited by A.I. Robertson and D. M. Alongi, pp. 7–41, AGU, Washington, D. C., 1992.

WOODROFFE, C. *Coasts: form, process and evolution*. Cambridge University Press, 2002.

## APÊNDICE A – Resultados das análises de laboratório do testemunho do mangue superior.

Tabela I: Dados dos de intervalos das profundidades das amostras do M1 (Manguezal superior), percentuais de CaCO<sub>3</sub>, MOT, Cascalho, Areia e Lama.

Amostras(M1)	CaCO <sub>3</sub> (%)	MOT(%)	COT(%)	Cascalho(%)	Areia(%)	Lama(%)
0-2	11,23	9,03	5,24	1,76	48,44	49,80
2-4	8,10	7,80	4,52	5,35	57,23	37,42
4-6	5,33	3,70	2,15	20,35	64,00	15,65
6-8	8,30	5,70	3,31	6,75	65,50	27,75
8-10	5,97	6,00	3,48	10,57	62,02	27,41
10-15	6,18	4,34	2,52	8,84	70,42	20,74
15-20	4,64	2,18	1,26	18,09	66,14	15,76
20-25	16,48	3,46	2,01	5,26	67,64	27,10
25-30	7,78	3,84	2,23	8,57	69,55	21,88
30-35	9,28	3,66	2,12	15,49	60,02	24,50
35-37	11,77	3,03	1,76	8,46	67,34	24,20
<b>Média</b>	8,64	4,80	2,78	9,95	63,48	26,56
<b>Desvio Padrão</b>	3,46	2,11	1,22	5,76	6,39	9,81

Tabela II: Dados de densidade de peso seco (DPS), fluxo de carbono (C<sub>burial</sub>) e o estoque da coluna sedimentar do M1 (Mangue superior).

Amostras(M1)	DPS (g/cm <sup>3</sup> )	C <sub>burial</sub> (g/m <sup>2</sup> ano)	Estoque (g/cm <sup>2</sup> )
0-2	0,35	92,34	0,0364
2-4	0,52	118,88	0,0469
4-6	0,83	90,80	0,0358
6-8	0,74	123,63	0,0488
8-10	0,75	133,08	0,0525
10-15	0,81	103,07	0,1016
15-20	0,80	51,51	0,0508
20-25	0,59	59,56	0,0587
25-30	0,66	74,69	0,0737
30-35	0,58	62,22	0,0614
35-37	0,53	47,62	0,0188
<b>Média</b>	0,65	87,04	0,0532
<b>Desvio Padrão</b>	0,15	30,18	0,0217
<b>Soma</b>			0,5854

## APÊNDICE B – Resultados das análises de laboratório do testemunho da franja.

Tabela I: Dados dos intervalos das profundidades das amostras do F1 (Franja do mangue), percentuais de CaCO<sub>3</sub>, MOT, Cascalho, Areia e Lama.

Amostras(F1)	CaCO <sub>3</sub> (%)	MOT(%)	COT(%)	Cascalho(%)	Areia(%)	Lama(%)
0-2	22,33	1,83	1,06	0,00	56,33	43,67
2-4	24,33	2,30	1,33	0,17	59,47	40,36
4-6	25,33	1,20	0,70	0,61	59,21	40,18
6-8	19,67	2,67	1,55	0,21	59,79	40,00
8-10	21,33	2,50	1,45	0,00	62,50	37,50
10-13	14,40	1,68	0,97	1,53	70,97	27,50
13-19	27,60	5,50	3,19	3,01	64,68	32,32
19-25	11,60	5,06	2,93	1,33	62,10	36,57
25-30	2,82	1,16	0,67	7,10	88,26	4,63
30-36	15,58	7,88	4,57	6,69	65,78	27,53
36-41	6,06	0,52	0,30	9,31	86,59	4,10
41-42	4,50	4,50	2,61	2,34	83,56	14,10
42-44	1,26	0,92	0,53	3,45	94,67	1,88
44-46	3,03	10,17	5,90	1,86	73,14	25,01
<b>Média</b>	14,28	3,42	1,98	2,68	70,50	26,81
<b>Desvio Padrão</b>	9,38	2,86	1,66	2,98	12,68	14,82

Tabela II: Dados de densidade de peso seco (DPS), fluxo de carbono (C<sub>burial</sub>) e o estoque da coluna sedimentar do F1 (Franja do mangue).

Amostras(F1)	DPS (g/cm <sup>3</sup> )	C <sub>burial</sub> (g/m <sup>2</sup> ano)	Estoque (g/cm <sup>2</sup> )
0-2	0,69	37,40	0,0148
2-4	0,59	39,84	0,0157
4-6	0,64	22,66	0,0089
6-8	0,74	58,34	0,0230
8-10	0,79	57,73	0,0228
10-13	0,88	43,38	0,0257
13-19	0,89	143,78	0,1702
19-25	0,68	101,17	0,1197
25-30	1,31	44,69	0,0441
30-36	0,89	205,78	0,2435
36-41	0,99	15,13	0,0149
41-42	0,94	124,47	0,0246
42-44	1,58	42,75	0,0169
44-46	0,59	177,24	0,0699
<b>Média</b>	0,87	79,60	0,0582
<b>Desvio Padrão</b>	0,28	60,53	0,0709
<b>Soma</b>			0,8146

## APÊNDICE C – Fotografias dos testemunhos abertos.

Foto I: Coluna sedimentar do M1 (Manguezal superior).



Foto II: Coluna sedimentar do F1 (Franja do mangue).

