



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Oceanografia



Instituto de Geociências

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**Macrofauna bentônica associada a galerias de *Lepidophthalmus siriboia*
Felder & Rodrigues, 1993 (Decapoda: Callianassidae) em praias
amazônicas.**

Aluna: Rita de Cássia Gonçalves de Andrade

**Orientador: Dr. Thuareag Monteiro Trindade dos Santos – Instituto
de Ciências Biológicas – UFPA**

**Coorientador: Dr. Marcelo Petracco – Instituto de Geociências -
UFPA**

Belém - Pará

2021

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com
ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

- A553m Andrade, Rita de Cássia Gonçalves de.
Macrofauna bentônica associada a galerias de
Lepidophthalmus siriboia Felder & Rodrigues, 1993 (Decapoda:
Callianassidae) em praias amazônicas / Rita de Cássia Gonçalves
de Andrade. — 2021.
xi, 43 f.
- Orientador(a): Prof. Dr. Thuareag Monteiro Trindade
dos Santos
Coorientador(a): Prof. Dr. Marcelo Petracco
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências,
Faculdade de Oceanografia, Belém, 2021.
1. Bentos. 2. Bioengenheiros. 3. Costa amazônica.
4. Fauna associada. 5. Praias arenosas. I. Título.

CDD 574.52409811



Universidade Federal do Pará



Faculdade de Oceanografia



Instituto de Geociências

**Macrofauna bentônica associada a galerias de *Lepidophthalmus siriboia*
Felder & Rodrigues, 1993 (Decapoda: Callianassidae) em praias
amazônicas.**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO APRESENTADO POR:

Rita de Cássia Gonçalves de Andrade

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de bacharel em Oceanografia,
com a linha de pesquisa voltada para Ecologia de Comunidades em
praias amazônicas.**

Data da defesa:

Conceito:

Banca examinadora:

Thuareag Monteiro Trindade dos Santos – Orientador
Doutor em Ecologia Aquática e Pesca – UFPA

Marcelo Petracco – Coorientador
Doutor em Oceanografia – UFPA

Renan Peixoto Rosário
Doutor em Geofísica – UFPA

Ana Paula Ferreira Danin
Mestra em Ecologia – UFPA

José Eduardo Martinelli Filho
Doutor em Oceanografia - UFPA

A Deus, e a todos que (in)diretamente me ajudaram.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, grande criador do Universo por guiar meus passos em meio a caminhos tortuosos, pelas bênçãos diárias e por colocar pessoas incríveis em minha vida.

Aos meus pais Enio Andrade e Helga Rejane pelo amor incondicional, pela confiança e por me apoiarem nas minhas escolhas. Minha eterna gratidão e admiração. Sem vocês nada disso seria possível. Vocês são tudo para mim.

Aos meus irmãos Helda e Matheus, ao meu sobrinho Allyson e minha marida/irmã Hevellyn por toda a força e incentivo. Vocês foram essências.

Aos meus tios Socorro e Paulo, por me acolherem, me tratarem como filha, por todos os momentos de incentivo, por serem minha segunda família. Serei eternamente grata por tudo o que fizeram/fazem por mim.

Às amigas de curso Camila, Babi e Cibelle por serem minha força maior durante este período. Sem vocês não teria graça. Foi uma viagem perfeita. Espero que cada uma de nós sejamos extremamente felizes. Agradeço às minhas amigas do ensino médio Ivana e Agnes, lembro-me da loucura que era o nosso pré-vestibular, felizmente estamos formadas e desejo somente a nossa felicidade. Aos meus amigos que me incentivaram e encorajaram nem que seja com um simples tweet ou até mesmo em pensamentos, meu muitíssimo obrigada.

Ao meu querido e amado orientador Thuareag Monteiro por toda sua paciência, sabedoria e incentivo. Não mediu esforços para que este trabalho ocorresse. Esteve disponível em todos os instantes. Eu sou sinceramente grata por tudo.

À minha professora Dra. Sury Monteiro que levo para vida como exemplo de profissional e ser humano. Pela ajuda em um dos momentos mais difíceis da graduação. Por ter sido tão acolhedora e querida comigo.

Aos colegas de profissão que ajudaram nas coletas, em especial Dai, Adrielle, Lucas e Gabriel, vejo o quanto são apaixonados pela ciência e realizam o ofício com amor.

À Biblioteca Raimundo Montalvão, em especial Lucia Imbirira pela dedicação e paciência nas correções e orientações finais.

Ao LAPMAR/GENAQ por terem cedido o espaço para o processamento de dados e pelo agradável local de trabalho.

“Não importa o que aconteça, continue a nadar”
(Graham Walters, Dory; Finding Nemo, 2003)

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo caracterizar a macrofauna bentônica associada a galerias do corrupto *Lepidophthalmus siriboia* em duas praias na Ilha de Algodual-Maiandeuá (PA). Amostras foram coletadas em maio (período chuvoso) e novembro (período seco) de 2019 nas praias da Beira e Caixa d'água. Em cada praia foram delimitadas duas subáreas amostrais, uma localizada na porção mais superior do médiolitoral (zona superior) e outra mais próxima a linha d'água (zona inferior). Em cada área, foram coletadas quatro réplicas biológicas e uma réplica de sedimento para granulometria e matéria orgânica utilizando um amostrador cilíndrico de 10cm de diâmetro enterrado 20cm no substrato, além de serem estimadas a densidade de *L. siriboia* utilizando um *quadrat* (25 m²). Para comparar os descritores biológicos (riqueza e densidade) assim como as variáveis abióticas entre períodos, praias, e áreas foram utilizados métodos univariados (ANOVA, teste de Tukey) e multivariados (Permanova, PCO, PCA, Simper). Os dados sobre a abundância de *L. siriboia* foram analisados separadamente da fauna associada e testados entre os períodos, praias e áreas usando o mesmo tratamento. Foram encontrados um total de 26 táxons (excluindo *L. siriboia*). Sendo o filo Annelida com o maior número de táxons (16) e o mais abundante em ambos períodos, áreas e zonas. Os poliquetas *Laeonereis culveri* (32,9%) e *Nephtys simoni* (13,4%) foram os organismos mais abundantes durante o estudo. Observou-se assim, maiores densidades de *L. siriboia* no período chuvoso e nas zonas inferiores, possivelmente pelo aumento de sedimento mais finos, características morfodinâmicas, temperatura e conteúdo de água no sedimento. Encontrou-se também, maior riqueza e densidade da macrofauna bentônica no período seco, característica bem evidente em praias amazônicas.

Palavras-chave: Bentos. Bioengenheiros. Costa amazônica. Fauna associada. Praias arenosas.

ABSTRACT

This study aims to characterize the macrobenthic fauna associated with galleries of *Lepidophthalmus siriboia* on two beaches on the Island of Algodual-Maiandeuá (PA). Samples were collected in May (rainy season) and November (dry season) of 2019 on Beira and Caixa d'água beaches. On each beach, two sampling sub-areas were defined, one located in the high intertidal (upper zone) and other closer to the water line (lower zone). In each area, four biological and three sediment samples for granulometry and organic matter were collected using a 10 cm diameter cylindrical sampler buried 20 cm in the substrate, in addition to the density of *L. siriboia* was assessed using a quadrat (0,25 m²). To compare biological descriptors (richness and density) as well as abiotic variables among periods, beaches, and areas, an univariate (ANOVA, Tukey's test) and multivariate (Permanova, PCO, PCA, Simper) methods were used. The data on the abundance of *L. siriboia* were analyzed separately from the associated fauna and tested between periods, beaches and areas using the same treatment. A total of 26 taxa were found (excluding *L. siriboia*). The phylum Annelida presented the highest number of taxa (16) and was the most abundant in the both periods, areas and zones. Polychaetes *Laeonereis culveri* (32.9%) and *Nephtys simoni* (13.4%) were the most abundant organisms during the study. Thus, higher densities of *L. siriboia* were observed in the rainy season and in the lower zones, possibly due to the increase in finer sediment, morphodynamic characteristics, temperature and water content in the sediment. It was also found, greater richness and density of the benthic macrofauna in the dry period, which is a conspicuous characteristic feature in Amazonian beaches.

Keywords: Amazon coast. Associate fauna. Benthos. Bioengineers. Sandy beaches.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1- Mapa da área de estudo com a identificação das áreas coletadas: 1 – praia da Beira e 2 – praia da Caixa d'água. **Erro! Indicador não definido.**
- Figura 2- Desenho esquemático representando as áreas coletadas (A), amostrador cilíndrico para a coleta da fauna (B) e quadrat utilizado para estimar as densidades de *L. siriboia* (C) nas praias estudadas..... 8
- Figura 3- Composição granulométrica dos sedimentos das áreas estudadas entre períodos (A: chuvoso; B: seco). Am = areia média; AF = areia fina; AMF = areia muito fina..... 13
- Figura 4- Gráficos da análise de componentes principais (PCA) para as variáveis abióticas das áreas estudadas entre períodos e zonas 14
- Figura 5- Densidade das galerias (média \pm DP) de *L. siriboia* nas áreas estudadas entre os períodos (A: chuvoso; B: seco). Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$)..... 16
- Figura 6- Abundância relativa (%), grupos tróficos, densidade média (ind/m² \pm DP) e riqueza (média \pm DP) da fauna macrobentônica nas áreas estudadas (Área 1: praia da Beira; Área 2: praia da Caixa d'água) entre períodos (A: chuvoso; B: seco) e entre zonas da praia (superior e inferior) 20
- Figura 7- Gráfico da análise de coordenadas principais (PCO) das amostras da macrofauna bentônica coletadas nas áreas de estudo em diferentes períodos. Os vetores representam espécies com correlação $>50\%$ (baseada no coeficiente de correção de Spearman) com um dos eixos do PCO. (A) todas as amostras; (B) período chuvoso; (C) período seco. 22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Resultados da análise de variância ANOVA (tri-way) para os dados ambientais nas áreas estudadas.	11
Tabela 2- Características ambientais (média \pm DP) das áreas estudadas. Letras diferentes indicam diferenças significativas (Teste Tukey $p < 0,05$)	12
Tabela 3- Densidade média (ind/m ² \pm DP) da fauna macrobentônica encontrada nas áreas estudadas.....	18
Tabela 4- Resultados da análise de variância ANOVA (tri-way) para os descritores da comunidade nas áreas estudadas.....	21
Tabela 5- Resultado da análise PERMANOVA para a estrutura da comunidade macrobentônica nas áreas estudadas.	23

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGADECIMENTOS	v
EPÍGRAFE	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	ix
LISTA DE TABELAS	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVO	5
2.1 OBJETIVO GERAL	5
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
3 MATERIAL E MÉTODOS	6
3.1 ÁREA DE ESTUDO	6
3.2 AMOSTRAGEM	7
3.3 ANÁLISES LABORATORIAIS.....	8
3.4 ANÁLISE DOS DADOS	8
4 RESULTADOS	10
4.1 CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS.....	10
4.2. DENSIDADE DE GALERIAS DE <i>Lepdophtalmus siriboia</i>	15
4.2. MACROFAUNA ASSOCIADA.....	16
5 DISCUSSÃO	24
5.1 DENSIDADE DE <i>Lepdophtalmus siriboia</i>	25
5.2 MACROFAUNA ASSOCIADA.....	27
6 CONCLUSÃO	32
REFERÊNCIAS	33

1 INTRODUÇÃO

Engenheiros de ecossistemas são organismos capazes de modificar um ambiente através de sua presença física (autogênicos) ou atividade biológica (alogênicos), modulando, direta ou indiretamente, a disponibilidade de recursos para outras espécies com as quais eles não têm relação trófica direta (Jones & Gutiérrez 2007, Jones *et al.* 1994). No domínio bentônico, esses organismos causam uma variedade de impactos diferentes, estabilizando ou desestabilizando o substrato, alterando sua textura ou criando bioestruturas (Bouma *et al.* 2009, Reise 2002).

Em comunidades bentônicas, diversos organismos sésseis abrigam uma variedade de invertebrados que vivem como endo- ou epibiontes. Por exemplo, colônias de esponjas (Frith 1976), cnidários (Young 1986) e moluscos (Thiel & Ullrich 2002) são micro-habitats utilizados por diversas espécies, oferecendo abrigo e proteção. Por sua vez, outros organismos, embora não forneçam sua superfície e estruturas corporais como moradia, são capazes de construir estruturas físicas estáveis, adequadas ao estabelecimento e sobrevivência de uma fauna diversificada, influenciando a composição e organização das comunidades presentes (Bouma *et al.* 2009, Jones *et al.* 2010). Entre essas estruturas podem se citar os tubos de Polychaeta (*ex: Sabellaria wilsoni*, Aviz *et al.* 2009; *Diopatra cúprea*, Santos & Aviz 2018; *Lanice conchilega*, Callaway 2003) e galerias de moluscos Teredinidae (Aviz *et al.* 2009, Turner 1966) e de crustáceos Thalassanidae (Branch & Pringle 1987).

Os ecossistemas das praias arenosas abrigam diversas formas de vida, todas especializadas e adaptadas para viver em sedimentos altamente móveis (McLachlan & Defeo 2018) e os crustáceos talassinídeos, (pertencentes às infraordenadoras Gebiidea e Axiidea, Robles *et al.* 2009) são um grupo comum neste ambiente. Os talassinídeos estão distribuídos em todo o mundo, com maior concentração de espécies nas regiões localizadas em baixas latitudes (Dworschack, 2000) e abrangem um número relativamente pequeno de espécies com aproximadamente 674 espécies catalogadas (Dworschack 2015). A maioria das espécies é marinha ou estuarina e habita águas rasas (0 - 200 m), com poucas espécies encontradas em profundidades superiores a 200 m (Dworschack 2000, 2005). Além disso, algumas espécies têm valor

econômico indireto, pois são utilizadas como isca na pesca artesanal e recreativa (Rodrigues & Shimizu 1997). Essas espécies também são muito sensíveis a qualquer tipo de distúrbio em seus ambientes, servindo como bioindicadores eficazes (Rodrigues & Shimizu 1997).

Uma característica comum desses crustáceos é seu estilo de vida recluso, com a construção das galerias, que são considerados como um dos sistemas mais profundos e complexos registrados em ambientes marinhos (Rodrigues & Pezzuto 1999). Alguns autores se referem a esses crustáceos como engenheiros de ecossistema (Berkenbusch & Rowden 2003; Siebert & Branch 2006), uma vez que as tocas desses crustáceos são consideradas ambientes únicos, cujo as características físico-químicas do ambiente são fortemente afetadas pelo comportamento desses organismos (Rodrigues & Shimizu 1997). Essas tocas são construídas em superfícies lamosas e arenosas da zona costeira e por sua vez, proporcionam abrigo, proteção contra predadores e locais de reprodução (Abrunhosa *et al.* 2008, Rodrigues & Pezzuto 1999, Rodrigues & Shimizu 1997).

As galerias construídas por esses crustáceos podem ser observadas na superfície do sedimento a partir de aberturas, que constituem pequenos furos rodeados de pelotas fecais com diâmetro médio de 5 mm (Rodrigues & Shimizu 1997). Essas galerias geralmente são interconectadas e possuem morfologia diversa, além de possuírem variabilidade temporal (Butler & Bird 2008). De maneira geral, as galerias variam de estruturas de ramificação não complicadas em forma de “U” ou “Y” (ex. Upogebiidae – Atkinson & Taylor 2005, Kinoshita & Itani 2005) a estruturas de ramificação extremamente complexas (ex: Thallasinidae – Dworschak 2008, Dworschak *et al.* 2006) com extensas redes de galerias abaixo da superfície do sedimento (Dworschak 1983). Sendo essas galerias consideradas uma das mais profundas e complexas entre os decápodos (Atkinson & Taylor 1988, Dworschak 1983).

O hábito em escavar/construir sistemas de galerias, possibilita a formação de ambientes de alta complexidade, tornando-os favoráveis para a formação de microhabitats e por conseqüente, a associação da fauna local (Berkenbusch & Rowden 2003), composta por exemplo, por bivalves, copépodes e caranguejos (Peiró & Mantelatto 2011, Peiró *et al.* 2011a, Peiró *et al.* 2013, Rodrigues & Shimizu 1997). Em regiões com grandes concentrações

desses crustáceos, existe uma modificação na estrutura do sedimento, que se torna mais poroso e possui elevada concentração de partículas finas (ex: silte e argila) e matéria orgânica (Laverock *et al.* 2010) o que influencia a fauna presente, além de favorecer na ciclagem dos nutrientes (Branch & Pringle 1987, Ziebis *et al.* 1996, Waslenchuk *et al.* 1983, Webb & Eyre 2004).

A densidade e a distribuição desses crustáceos no ambiente são influenciadas por diversos fatores físicos como: o tamanho dos grãos de sedimento (Botter-Carvalho 2007, Oliveira *et al.* 2017, Witbaard & Duineveld 1989), temperatura e salinidade (Berkenbush & Rowden 1999, Posey *et al.* 1996) e morfodinâmica praial (Pezzuto 1999, Phillips 1971). Além disso, fatores biológicos como resultado da disponibilidade de alimentos, efeitos da reprodução na dispersão e assentamento, competição intra- e interespecífica e os efeitos da predação (Knox 2000, Stamhuis & Videler 1997) também exercem importante influência na ecologia desses crustáceos.

Na região amazônica foram registrados a ocorrência de duas famílias: Callianassidae (Axiidae) e Upogebiidae (Gebiidae), sendo principalmente encontrados em águas rasas (< 2 m de profundidade) (Dworschack 2000). O Callianassidae *Lepidophthalmus siriboia* Felder e Rodrigues, 1993, popularmente conhecido como “corrupto”, ocorrem em águas rasas (Melo, 1999), desembocaduras de rios e ambientes com alta disponibilidade de matéria orgânica (Nates & Felder 1998, 1999). Sua ocorrência é comum em praias arenoso-lamosa da região (Rosa-Filho *et al.* 2013, Silva *et al.* 2012) onde se é possível encontrar densas populações de *L. siriboia* habitando a região de entremarés, podendo alcançar densidades superiores a 500 ind.m⁻² em algumas áreas (Rosa-Filho *et al.* 2013).

A costa amazônica, representa 35% do litoral brasileiro e tem um regime hidrodinâmico muito peculiar em comparação com outras áreas costeiras do mundo (Pereira *et al.* 2016, Souza-Félix *et al.* 2020, Souza-Filho *et al.* 2009). Nesta área, o regime de macromarés, a grande quantidade de sedimentos transportados pelos rios para o litoral e a alta hidrodinâmica em águas rasas favorecem a ocorrência de praias com diferentes tipos de sedimentos, morfologia e exposição a ondas (Klein & Short 2016, Rosa Filho *et al.* 2011). A costa amazônica possui uma série de características únicas, incluindo altos volumes de vazão de rios e intensas estações de seca e chuvas, que

contribuem para marcadas flutuações na salinidade e hidrodinâmica da água em ambientes costeiros ao longo do ano (Dittmar & Lara 2001, Pereira *et al.* 2012, 2016, Rosa Filho *et al.* 2018, Souza-Filho *et al.* 2009, Venekey *et al.* 2019). Essas modificações ambientais influenciam diretamente as comunidades bênticas amazônicas provocando variações espaço-temporais extremas nas características da Amazônia comunidades bênticas (Braga *et al.* 2013, Rosa Filho *et al.* 2009, 2011, Santos & Aviz 2018, Venekey *et al.* 2019).

Apesar de suas características ambientais singulares e de grande importância econômica e ecológica, a fauna bentônica dessas praias tem sido pouco estudada, incluindo sua diversidade e ecologia. Em particular, estudos envolvendo bioengenheiros na região são limitados apenas a poliquetas (ex: Ataíde *et al.* 2014, Aviz *et al.* 2019, Santos & Aviz 2018), sendo inexistente até o momento não existe estudo sobre a fauna bentônica associada a tocas de *L. siriboia* embora esse crustáceo apresente alta densidade em diversas praias da região (Rosa-Filho *et al.* 2013). Portanto, levando em consideração a importância desse crustáceo na bioengenharia do ecossistema, é necessário assim, conhecer e entender os processos que ocorrem no ambiente de praia arenosas, e por consequente, a importância das tocas para a associação da macrofauna bentônica, tendo em vista, somar com os estudos existentes.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

- Caracterizar a macrofauna bentônica associada a galerias do corrupto *Lepidophthalmus siriboia* nas praias da Beira e Caixa d'Água (Ilha de Algodual-Maiandeuá) em distintos períodos climáticos (chuvoso e seco).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar as variações espaciais (diferentes áreas do entremarés) na estrutura da comunidade macrobentônica associados às galerias de *L. siriboia* nas praias da Ilha de Algodual-Maiandeuá (PA).
- Descrever as variações temporais (períodos chuvoso e seco) na comunidade macrobentônica associada às galerias de *L. siriboia* nas praias da Ilha de Algodual-Maiandeuá (PA).
- Caracterizar as variações espaciais (diferentes áreas do entremarés) e temporais (períodos chuvoso e seco) na densidade de *L. siriboia* nas praias da Ilha de Algodual-Maiandeuá (PA).
- Levantar a diversidade de invertebrados macrobentônicos associados às galerias de *L. siriboia* na Ilha de Algodual-Maiandeuá (PA).
- Caracterizar a influência dos fatores ambientais (salinidade, granulometria, matéria orgânica, temperatura) na presença de tocas de *L. siriboia* em períodos distintos (chuvoso e seco).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A ilha de Algodual-Maiandeuá está localizada na costa norte do Brasil ($0^{\circ} 34'45'' - 0^{\circ} 37'30''$ S, $47^{\circ} 32'05'' - 47^{\circ} 34'12''$ W) e é cercada nos três lados por rios e canais estuarinos (Figura 1). A região é dominada por macromarés semidiurnas, com uma amplitude de 4-5,8 m (Silva *et al.* 2011). O clima local é tropical úmido, com temperatura média anual de $27,7 \pm 1,1^{\circ}$ C (Martorano *et al.* 1993) e precipitação média anual (registros de 30 anos) de 2200 a 2800 mm (Moraes *et al.* 2005). A precipitação varia consideravelmente ao longo do ano, no entanto, com uma estação chuvosa bem definida de janeiro a julho (precipitação total de aproximadamente 1700 mm) e uma estação seca de agosto a dezembro, com precipitação total de cerca de 500 mm (Moraes *et al.* 2005).

A Ilha Algodual-Maiandeuá possui 35 km de praias arenosas, com substratos arenosos e areno-lamosos, variam consideravelmente em sua inclinação, extensão, largura e exposição à ação das ondas (Mendes 2005). As praias estudadas, Beira e Caixa d'Água, estão localizadas na margem oeste da ilha, banhadas pelo rio Marapanim e possuem uma ampla zona entremarés (~400 m) sendo composta principalmente por finas areia (Rosa-Filho *et al.* 2011, 2013). Nessas praias, tocas de *L. siriboia* são comuns na região de entremarés.

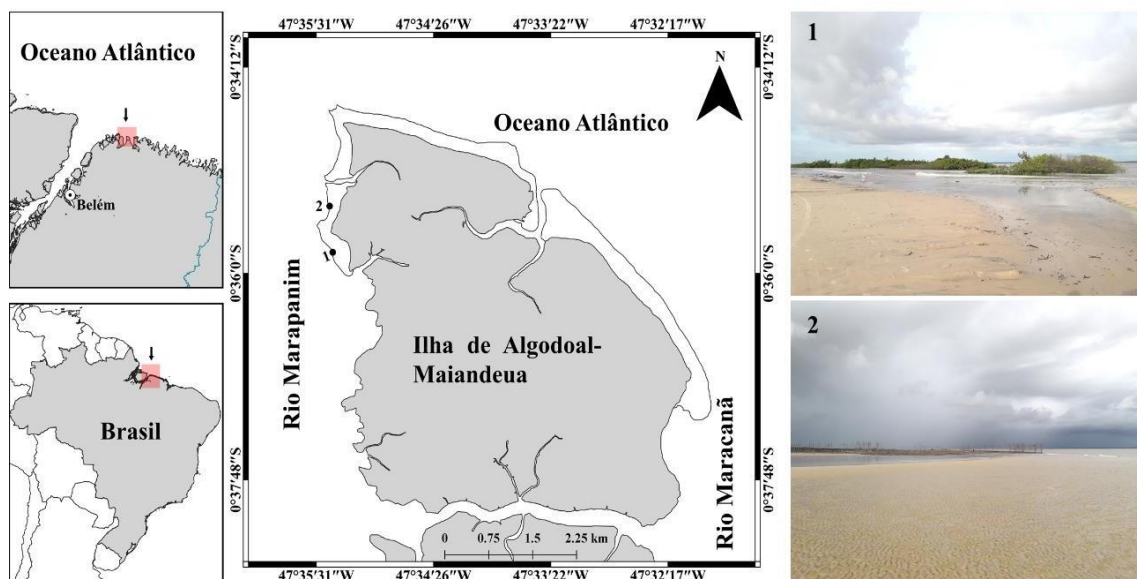


Figura 1- Mapa da área de estudo com a identificação das áreas coletadas: 1 – praia da Beira e 2 – praia da Caixa d’água

3.2 AMOSTRAGEM

Amostras foram coletadas em maio (período chuvoso) e novembro (período seco) de 2019 nas praias da Beira e Caixa d’água durante o período de maré de sizígia. Em cada praia, foram estabelecidos três perfis (equidistantes 100 m) perpendiculares à linha d’água abrangendo a região do entremarés, nas quais foram delimitadas duas subáreas amostrais (Figura 2A), uma localizada na porção mais superior do médiolitoral (zona superior) e outra mais próxima a linha d’água (zona inferior). Em cada área, foram coletadas quatro réplicas biológicas utilizando um amostrador cilíndrico de 10 cm de diâmetro enterrado 20 cm no substrato (Figura 2B), sendo a galeria de *L. siriboia* posicionada no centro de cada corer. Em seguida, essas amostras foram lavadas em campo com uma malha de 0,3 mm de abertura e os organismos retidos foram fixados em formalina salina a 4%. Para estimar a densidade de *L. siriboia* em cada praia e zonas, o número de galerias foi contado através de um “*quadrat*” (0,25 m²) posicionado aleatoriamente três vezes em cada zona (Figura 2C).

Paralelo a coleta de material biológico, em cada área de cada perfil foi medida a temperatura do sedimento (termômetro de solo) e uma amostra de sedimento foi retirada para determinação dos parâmetros texturais e o teor de

matéria orgânica (M.O). Além disso, a salinidade da água superficial em cada praia foi medida ao longo de um ciclo de maré utilizando um refratômetro manual. Os dados referentes à precipitação pluviométrica foram obtidos junto ao Instituto de Meteorologia (INMET).

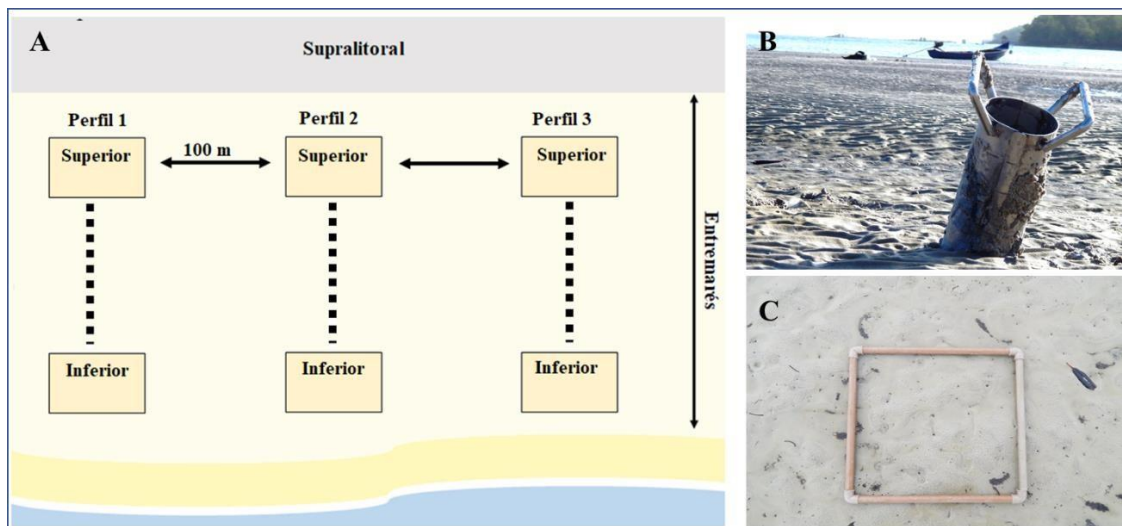


Figura 2- Desenho esquemático representando as áreas coletadas (A), amostrador cilíndrico para a coleta da fauna (B) e “quadrat” utilizado para estimar as densidades de *L. siriboia* (C) nas praias estudadas.

3.3 ANÁLISES LABORATORIAIS

Em laboratório, as amostras de macrofauna foram lavadas em malha de 0,3 mm de abertura. Posteriormente, os organismos retidos na malha foram triados sob estereomicroscópio, identificados ao menor nível taxonômico possível, contadas e conservadas em álcool etílico a 70%.

Nos sedimentos a granulometria foi determinada por peneiramento dos sedimentos grosseiros e pipetagem dos finos como proposto por Suguio (1973) e os parâmetros estatísticos (média do diâmetro dos grãos, grau de seleção e proporções de areia, silte e argila) foram calculados utilizando as equações propostas por Folk & Ward (1957). O teor de matéria orgânica do sedimento foi determinado pelo método da calcinação (Walkley & Black 1934).

3.4 ANÁLISE DOS DADOS

Para cada amostra biológica foram calculados a riqueza e densidade total de táxons (ind/m²) e a variação desses parâmetros foram analisados através uma análise de variância (*tri-way* ANOVA) para comparar os descritores

biológicos entre períodos (abril: período chuvoso e novembro: período seco), praias (Beira e Caixa d'água) e zonas (superior e inferior), após verificar as premissas de normalidade e homogeneidade das variações, usando os métodos de Kolmogorov – Smirnov e Levene, respectivamente. Quando necessário, os dados foram transformados (raiz quarta). Também, foram analisadas as variáveis relacionadas às características de sedimento (temperatura, tamanho médio de grãos, grau de seleção, %areia, silte/argila, %matéria orgânica e %H₂O) utilizando o mesmo modelo dos descritores biológicos. Quando a ANOVA detectou uma diferença significativa, o teste *a posteriori* de Tukey foi aplicado para identificar diferenças significativas entre os pares. Os dados sobre a abundância de *L. siriboia* foram analisados separadamente da fauna associada e foram testados entre os períodos, praias e áreas usando o mesmo tratamento descrito anteriormente.

Os dados de abundância por espécie foram submetidos à análise PERMANOVA para testar as diferenças na estrutura das associações de organismos entre os fatores estudados. A formação de grupos significativamente diferentes foi visualizada através de análises de ordenação (PCO) e a contribuição de cada táxons para a dissimilaridade entre os fatores estudados foi visualizada através da rotina SIMPER (*Similarity Percentage*). Os dados ambientais (tamanho médio do grão de sedimento, grau de seleção, teor de matéria orgânica, temperatura do sedimento) também foram analisados através da análise de variância seguindo o mesmo modelo. Os parâmetros abióticos foram transformados ($\log x+1$), normalizados e analisados através da Análise de Componentes Principais (PCA). O nível de significância de 5% foi considerado em todas as análises.

4 RESULTADOS

4.1 CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS

De maneira geral, a precipitação e a salinidade apresentaram um padrão sazonal, tendo o período chuvoso maior precipitação 336,3 mm e menor salinidade ($11,5 \pm 1,2 \text{ ‰}$) enquanto o inverso foi observado no período seco (precipitação: 3,2 mm; salinidade: $28,2 \pm 1,2 \text{ ‰}$). Diferenças na salinidade foram observadas entre as áreas estudadas, sendo maior na Área 2 em ambos os períodos (chuvoso: $13 \pm 2 \text{ ‰}$; seco: $29 \pm 1 \text{ ‰}$) em comparação à Área 1 (chuvoso: $11,6 \pm 1,5 \text{ ‰}$; seco: $27,6 \pm 0,5 \text{ ‰}$). A temperatura e a umidade do sedimento assim como a M.O variaram entre períodos, áreas e zonas (Tabela 1), onde maiores valores de temperaturas e menores de umidade do sedimento foram encontrados no período seco e na zona superior de ambas as áreas, enquanto maiores valores de M.O e umidade do sedimento foram encontrados no período chuvoso na zona inferior (Tabela 2). Entre áreas, maiores valores de M.O foram encontradas na Área 1 em ambos os períodos.

Tabela 1- Resultados da análise de variância ANOVA (tri-way) para os dados ambientais nas áreas estudadas.

Fator	Temperatura (°C)			Umidade		Matéria Orgânica		Tamanho médio dos grãos (Φ)		Grau de seleção (Φ)		% areia		% areia média		% areia fina		% areia muito fina		% finos	
	gl	F	p	F	P	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p	F	p
Período (P)	1	271,92	0,00	166,41	0,00	24,06	0,00	9,44	0,00	5,36	0,02	0,05	0,83	39,10	0,00	306,88	0,00	95,21	0,00	73,60	0,00
Área (A)	1	18,59	0,00	6,03	0,02	18,32	0,00	5,10	0,03	5,06	0,03	0,11	0,74	5,80	0,02	2,55	0,12	7,52	0,01	0,44	0,51
Zona (Z)	1	4,05	0,05	6,94	0,01	1,48	0,23	0,27	0,60	5,06	0,03	2,29	0,13	24,11	0,00	6,38	0,01	1,50	0,22	39,02	0,00
P x A	1	36,25	0,00	0,37	0,55	2,26	0,14	9,44	0,00	5,36	0,02	5,83	0,02	5,95	0,02	2,12	0,15	4,89	0,03	1,93	0,17
P x Z	1	0,03	0,86	4,06	0,05	13,40	0,00	0,26	0,61	5,35	0,02	0,09	0,76	23,93	0,00	8,69	0,00	0,74	0,39	13,86	0,00
A x Z	1	1,06	0,31	0,31	0,58	7,21	0,01	11,62	0,00	47,28	0,00	2,09	0,15	7,27	0,01	1,21	0,28	0,51	0,48	10,67	0,00
P x A x Z	1	1,15	0,29	2,75	0,10	9,43	0,00	0,26	0,61	5,35	0,02	7,50	0,01	4,62	0,04	8,14	0,01	1,21	0,28	2,86	0,10
Error	64																				

*diferenças significativas ($p < 0,05$); gl: graus de liberdade

Tabela 2- Características ambientais (média ± DP) das áreas estudadas. Letras diferentes indicam diferenças significativas (Teste Tukey $p < 0,05$).

Fatores	Período	Área 1		Área 2	
		Superior	Inferior	Superior	Inferior
Temperatura (C°)	Chuvoso	30,7±0,3a	30,3±0,2 ^a	31,2±0,3a	30,7±0,1a
	Seco	36,9±0,7a	35,8±1,9b	33,7±1,6a	33,6±1,4a
Umidade (%)	Chuvoso	19,6±2,5a	26,4±10,8 ^a	18,8±2,6a	21,1±2,1 a
	Seco	8,8±0,9a	9,3±0,7b	6,9±1,3a	8,6±0,9b
Matéria orgânica (g)	Chuvoso	0,5±0,2a	1,3±0,7b	0,5±0,08a	0,4±0,2a
	Seco	0,5±0,3a	0,3±0,2 ^a	0,3±0,05a	0,1±0,001a
Tamanho médio do grão (Φ)	Chuvoso	3186±428,2a	2833±565,5 ^a	3404±156,8a	3572±109,5a
	Seco	3186±428,2a	2833±565,5 ^a	2761,3±323,6a	3111,3±112,7a
Grau de seleção (Φ)	Chuvoso	0,7±0,08a	904,6±685,6a	0,5±0,02a	0,3±0,1a
	Seco	0,7±0,08a	904,6±685,6a	917,3±687,5a	0,7±0,1a
% areia	Chuvoso	97,0±3,0a	96,3±4,2 ^a	96,0±5,0a	91,8±11,0a
	Seco	96,8±2,3a	89,6±7,9 ^a	94,8±3,2a	98,8±0,1a
% areia média	Chuvoso	0,415±0,418a	2,5±2,05 ^a	2,5±2,6a	0,2±0,1a
	Seco	27,0±12,0a	6,9±10,3 ^a	66,3±44,7a	6,9±10,3a
% areia fina	Chuvoso	93,3±5,4a	84,2±14,5 ^a	85,4±8,5a	91,0±10,7a
	Seco	2,2±1,7a	41,5±44,5 ^a	66,0±10,2a	67,3±6,5a
% areia muito fina	Chuvoso	2,7±2,9a	2,7±3,8 ^a	3,5±5,2a	7,4±11,0a
	Seco	31,3±44,3a	51,3±38,4 ^a	66,0±10,2a	67,3±6,5a
% finos (silte+argila)	Chuvoso	0,1±0,06a	0,9±0,3 ^a	0,4±0,2a	0,6±0,1a
	Seco	0,03±0,05a	0,25±0,3 ^a	0,014±0,011a	0,06±0,04a
Classificação textural	Chuvoso	AF/AMF	AMF	AMF	AMF
	Seco	AM/AMF	AF/AMF	AM/AMF	AF/AMF
Classificação de Seleção	Chuvoso	PS/MBS	MS/MBS	MS/MBS	MS/MBS
	Seco	PS/MS	MS	MS	PS/MS

*AF= areia fina; AMF = areia muito fina; AM = areia média; PS = pobremente selecionado; MS = moderadamente selecionado; MBS = muito bem selecionado

As áreas estudadas apresentaram sedimentos compostos predominantemente de areia fina (125 μm) e areia muito fina (63 μm) muito bem selecionada (Figura 3; Tabela 2), contudo, diferenças entre períodos e zonas foram observadas (Tabela 1). De maneira geral, maiores grãos de sedimento (areia média: 300 μm) foram encontrados no período seco enquanto sedimentos finos (<63 μm) foram encontrados somente no período chuvoso na zona inferior em ambas as áreas (Figura 3).

Quanto ao grau de seleção, diferenças significativas foram observadas entre períodos, áreas e zonas (Tabela 1). No período chuvoso, ambas as zonas da área 2, apresentaram sedimentos variando de moderadamente selecionado a muito bem selecionado. Já na área 1, a zona superior apresentou sedimentos variando de pobremente selecionados à

moderadamente selecionado, enquanto a zona inferior apresentou moderadamente selecionada à muito bem selecionada. No período seco, a área 1, na zona superior, apresentou sedimentos variando de pobremente selecionado à moderadamente selecionada. Enquanto na zona inferior, observou-se moderadamente selecionado. Por sua vez na área 2, tanto a zona superior quanto a inferior apresentaram sedimentos moderadamente selecionados (Tabela 2).

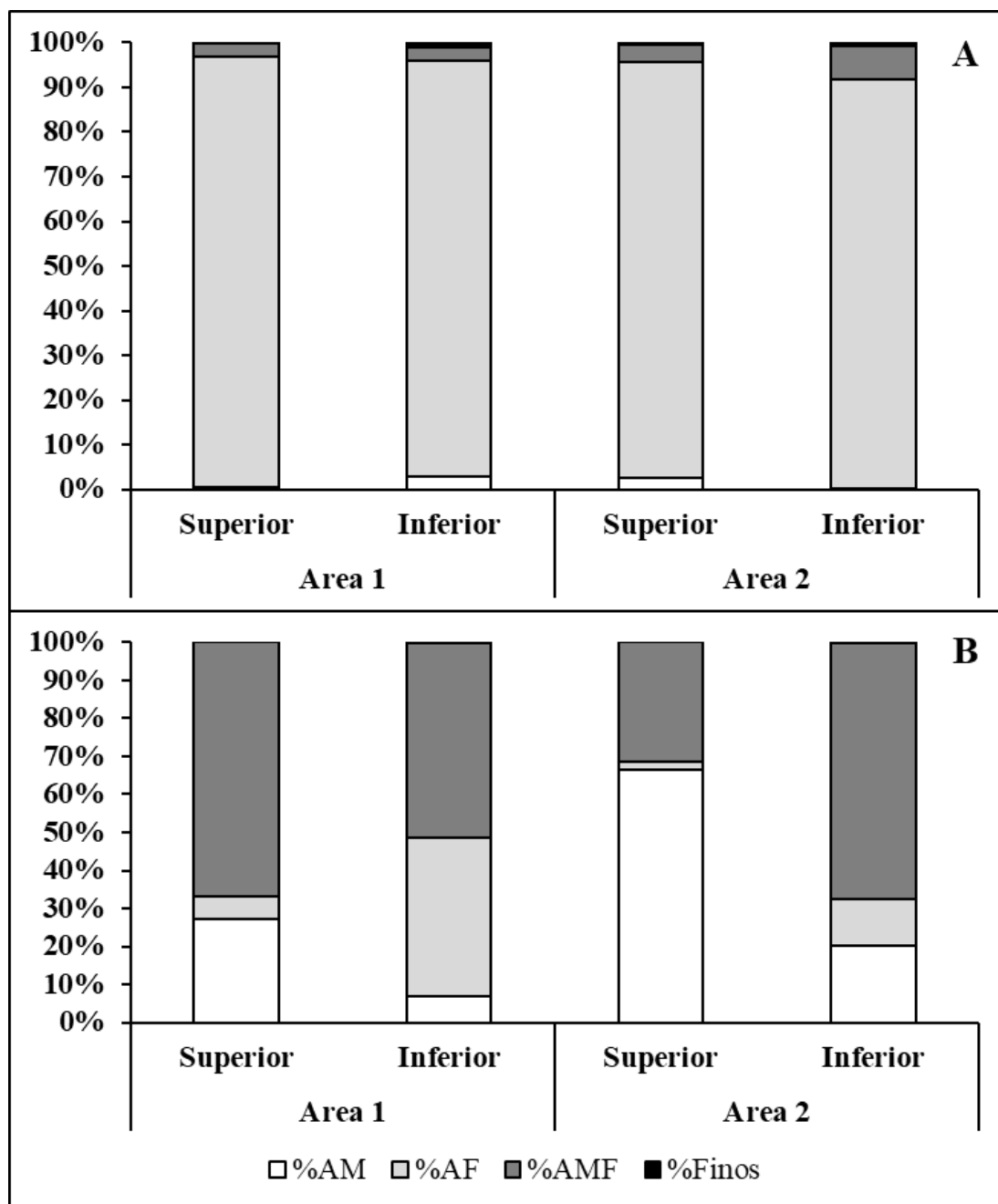


Figura 3- Composição granulométrica dos sedimentos das áreas estudadas entre períodos (A: chuvoso; B: seco). Am = areia média; AF = areia fina; AMF = areia muito fina

Baseado nos parâmetros do sedimento e dados ambientais, os dois primeiros componentes (PC1 e PC2) explicaram 60% da variação entre períodos, áreas e zonas (Figura 4). O eixo 1 (PC1) explicou 41,1% dessa separação, e foi responsável pela separação entre áreas. As variáveis que melhor se relacionaram com a Área 1 foram a matéria orgânica (M.O), umidade do sedimento, tamanho médio dos grãos e os % de areia e finos. Por outro lado, a Área 2 foi mais bem relacionada com a temperatura do sedimento, grau de seleção e o % de areia média e areia muito fina. O eixo 2 (PC2) explicou 18,9% dessa separação e foi responsável pela separação entre zonas. Essa separação é mais evidente nas amostras da Área 1. As variáveis, umidade de sedimento, M.O e % finos no período chuvoso e grau de seleção e % areia muito fina e areia média no período seco foram as responsáveis por essa separação.

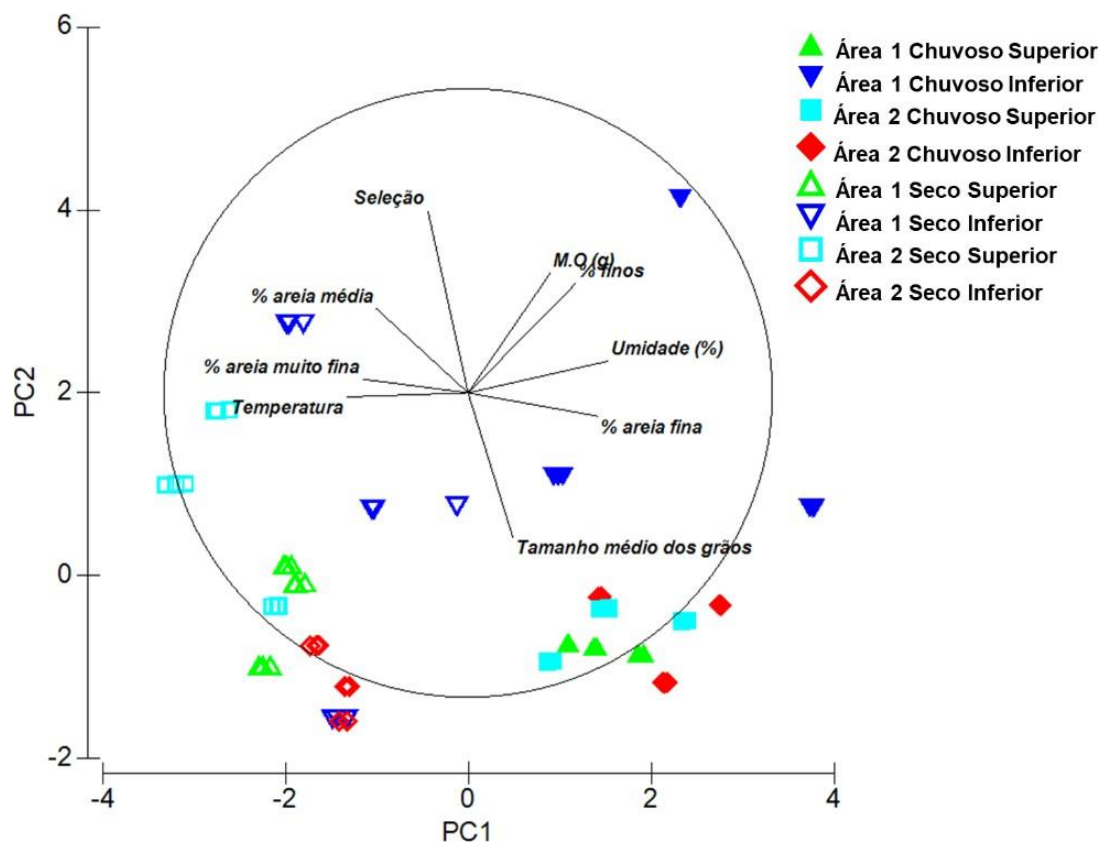


Figura 4- Gráficos da análise de componentes principais (PCA) para as variáveis abióticas das áreas estudadas entre períodos e zonas

4.2. DENSIDADE DE GALERIAS DE *Lepdophtalmus siriboia*

A densidade de *L. siriboia* variou entre períodos ($F_{(1,112)} = 25,1$; $p < 0,001$), áreas ($F_{(1,112)} = 288,4$; $p < 0,001$) e zonas ($F_{(1,112)} = 5,1$; $p < 0,001$), contudo, diferenças não foram encontradas na interação área x zona ($F_{(1,112)} = 0,8$; $p = 0,3$). De maneira geral, maiores densidades foram encontradas no período chuvoso ($11,4 \pm 9,3$ ind/m²) em comparação ao período seco ($7,5 \pm 6,8$ ind/m²). Entre áreas, maiores densidades ocorreram na Área 1 em ambos períodos (chuvoso: $19,2 \pm 6,9$ ind/m²; seco: $13 \pm 5,5$ ind/m²) em relação à Área 2 (chuvoso: $3,7 \pm 2,05$ ind/m²; seco: $2,1 \pm 1,5$ ind/m²). Diferenças entre zona foram observadas entre as áreas, com exceção da Área 1 no período seco, maiores densidades sempre foram encontradas na zona inferior (Figura 5).

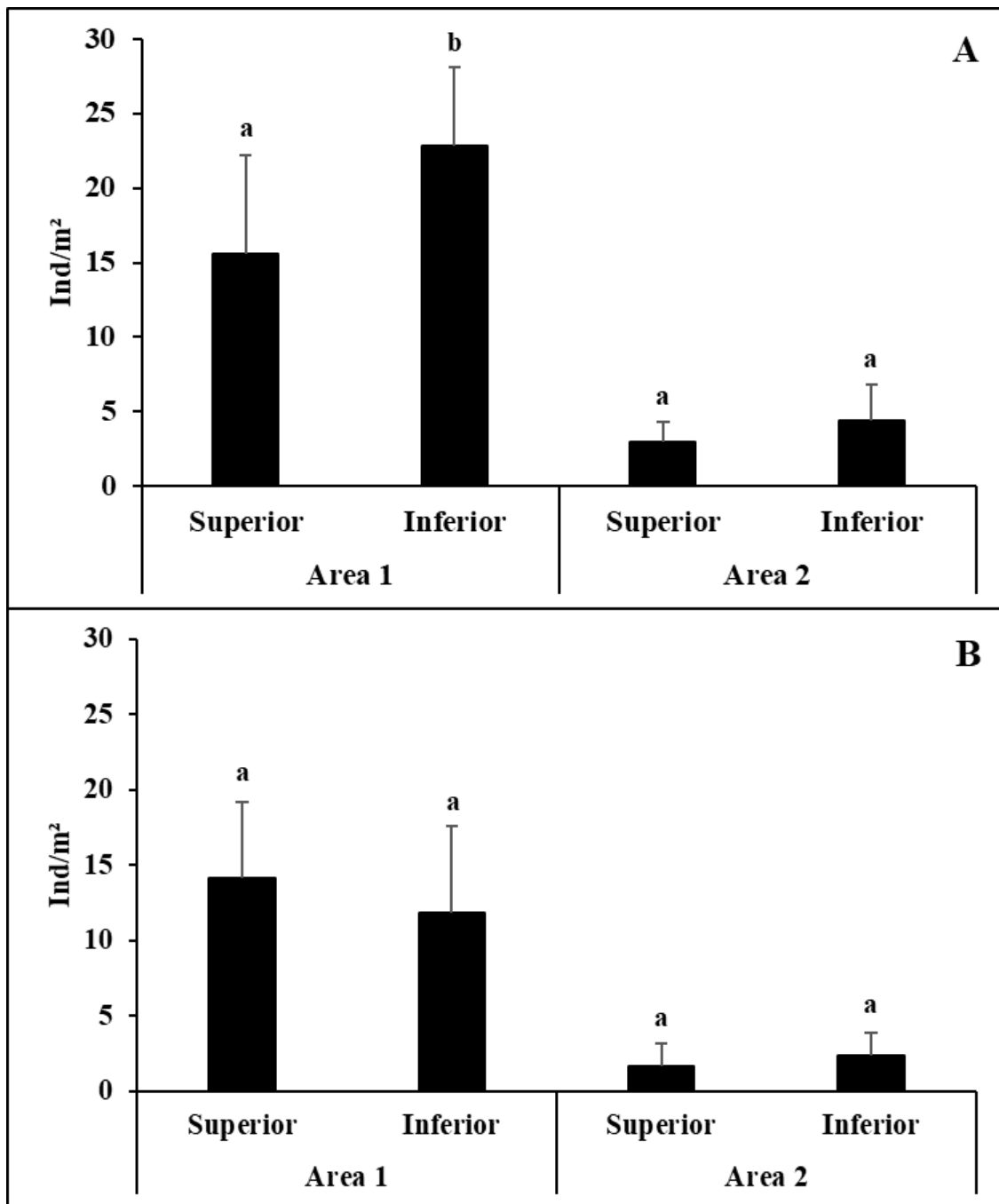


Figura 5- Densidade das galerias (média \pm DP) de *L. siriboia* nas áreas estudadas entre os períodos (A: chuvoso; B: seco). Letras diferentes indicam diferenças significativas ($p < 0,05$).

4.2. MACROFAUNA ASSOCIADA

Um total de 26 táxons (excluindo *L. siriboia*) foram identificados no presente estudo, dos quais cinco foram encontrados exclusivamente na Área 1 e apenas dois na Área 2 (Tabela 3). Annelida foi o filo com o maior número de táxons (16) e o mais abundante em ambos os períodos, áreas e zonas (Figura 6A e 6B). Os filios Nemertea e Arthropoda apresentaram variações de

densidades entre os períodos. No período chuvoso, Nemertea apresentou maiores densidades, em especial na zona superior da Área 1, enquanto maiores densidades de Arthropoda foram encontradas na zona inferior da Área 2 (Figura 6A). No período seco observou-se uma drástica redução na densidade de Nemertea seguida de um aumento na densidade de Arthropoda (Figura 6B). Por sua vez, o filo Mollusca foi encontrado somente no período seco na zona inferior de ambas as áreas (Figura 6A e 6B)

Tabela 3- Densidade média (ind/m²±DP) da fauna macrobentônica encontrada nas áreas estudadas

Táxons	Area 1				Area 2				Grupo trófico
	Chuvoso		Seco		Chuvoso		Seco		
	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	
<i>Nemertea</i>	42,1±112,3	63,2±100,9	31,6±57,2	52,7±84,6	21,0±73,0	42,1±82,4	31,6±57,2	21,0±49,2	Pred
<i>Nephtys simoni</i> (P)	73,8±100,3	116±156,9	31,6±57,2	42,1±62,3	126,5±142,8	84,3±124,6		84,3±124,6	Pred
<i>Magelona sp.</i> (P)		21±49,2		63,2±100,9	10,5±36,5	10,5±36,5	31,6±57,2		Dep
<i>Nereis oligohalina</i> (P)	10,5±36,5	52,7±126,1	21,0±49,2	21,0±49,2				10,5±36,5	Omn
<i>Heteromastus filiformes</i> (P)				31,6±78,6					Dep
<i>Mediomastus sp</i> (P)				10,5±36,5					Dep
<i>Capitella capitata</i> (P)	10,5±36,5	10,5±36,5	21,0±73,0	94,9±153,8		10,5±36,5		10,5±36,5	Dep
<i>Thoracophellia papillata</i> (P)	42,1±112,3		84,3±124,6		31,6±57,2		94,9±122,1		Dep
<i>Armandia sp</i> (P)			21,0±49,2				73,8±84,6	31,6±57,2	Dep
<i>Orbinnia sp.</i> (P)		42,1±62,3		105,4±118,6	21,0±73,0	31,6±57,2			Dep
<i>Scoloplos sp.</i> (P)				31,6±57,2					Dep
<i>Scolecopsis squamata</i> (P)			21,0±49,2				31,6±57,2	52,7±65,1	Dep
<i>Dyspion remanei</i> (P)			10,5±36,5				42,1±62,3		Dep
<i>Paraonis sp.</i> (P)				10,5±36,5				10,5±36,5	Dep
<i>Sigambra grubii</i> (P)			21,0±49,2	42,1±62,3				10,5±36,5	Pred
<i>Laeonereis culveri</i> (P)			1297,4±1297	116,0±174,5		10,5±36,5		221,0±49,2	Omn
<i>Eteone sp.</i> (P)				21,0±49,2	10,5±36,5	21,0±49,2		10,5±36,5	Pred
<i>Lepidophtalmus siriboia</i> (Cr)	10,5±36,5	42,1±62,3	10,5±36,5	52,7±113,9		21,0±49,2			Filt/Susp
<i>Lepidopa richmond</i> (Cr)				21,0±49,2	10,5±36,5	21,0±49,2		31,6±57,2	Filt/Susp
<i>Pinnixa sp.</i> (Cr)			10,5±36,5	105,4±151,0				63,2±147,8	Filt/Susp
<i>Kalliapseudes schubatii</i> (Cr)				21,0±49,2				52,7±84,6	Filt/Susp
Phoxocephallidae sp. (Cr)			10,5±36,5	10,5±36,5			21,0±49,2	21,0±49,2	Pred
Amphipoda sp. (Cr)								21,0±49,2	Pred
<i>Mysida sp.</i> (Cr)			10,5±36,5	31,6±57,2					Omn
<i>Excirrolana armata</i> (Cr)							31,6±57,2		Omn
<i>Donax striatus</i> (B)				10,5±36,5				21,0±49,2	Filt/Susp
<i>Macoma sp.</i> (B)				31,6±57,2					Filt/Susp

*Pred: predador; Omn: omnívoro; Dep: comedor de depósito; Filt/Susp: filtrador/supensívoro; *P: Polychaeta; Cr: Crustáceo; B: Bivalve.;

De maneira geral, os poliquetas *Laeonereis culveri* (32,9%) e *Nephtys simoni* (13,4%) foram os organismos mais abundantes durante o estudo. Durante o período chuvoso, *N. simoni* (39,1%) e Nemertea (16,4%) foram as mais abundantes representando juntos mais de 50% do total da fauna presente enquanto no período seco, *L. culveri* sozinho 42% do total da fauna presente (Tabela 3). Contudo, diferenças entre áreas e zonas foram observadas em cada período. No período chuvoso, a zona superior da Área 1, os poliquetas *N. simoni* (38,8%) e *Thoracophellia papilata* (22%) juntamente com Nemertea (22%) foram os mais abundantes, enquanto na zona inferior, *N. simoni* (33%) e *Nereis oligohalina* (15,1%) foram os mais abundantes. Por outro lado, na Área 2, *N. simoni* sozinho representou 54% da abundância total na zona superior, enquanto na zona inferior *N. simoni* (33%) e Nemertea (16%) foram os mais abundantes. No período seco, *L. culveri* sozinho representou mais de 80% da abundância total na zona superior da Área 1, enquanto o crustáceo *Pinnixa* sp. (11,3%) e os poliquetas *Orbinnia* sp. (11%), *Capitella capitata* (10,2%) e *Magelona* sp. (6,8%) foram os mais abundantes na zona inferior. Na Área 2, os poliquetas *T. papilata* (26,4%), *Armandia* sp. (20,5%) e *Paraonis* sp. (11,7%) foram os mais abundantes na zona superior. Por outro lado, os poliquetas *N. simoni* (17,7%) e *Scolelepis squamata* (11%) juntamente com os crustáceos *Pinnixa* sp. (13,3%) e *Kalliapseudes schurbartii* (11%) foram os mais abundantes na zona inferior.

Em relação ao grupo trófico, de maneira geral, omnívoro foi o grupo mais abundante (37,9%), entretanto, diferenças foram encontradas quando analisamos separadamente os períodos. No período chuvoso, os predadores foram os mais abundantes em ambas as áreas (Área 1: 54,9%; Área 2: 63%) seguido de comedores de depósitos (Área 1: 23,5%; Área 2: 23,9%). No período seco, omnívoros (59,1%) foram os mais abundantes na Área 1 enquanto os comedores de depósitos (41,7%) e os predadores (26,5%) foram na Área 2. Entre zonas, no período chuvoso, os predadores e comedores de depósitos foram os mais abundantes em ambas nas áreas estudadas (Figura 6B). Além disso, maior abundância de filtradores foram encontradas na zona inferior de ambas as áreas. Por sua vez, omnívoro não foi encontrado na zona superior da Área 2 (Figura 6B). No período seco, a zona superior da Área 1 foi dominada praticamente por omnívoros. Na zona inferior, observou-se uma

drástica redução de omnívoros juntamente com o aumento de comedores de depósitos e filtradores/suspensívoros (Figura 6B). Na Área 2, comedores de depósitos foram os mais abundantes na zona superior, enquanto predadores e filtradores/suspensívoros foram na zona inferior (Figura 6B).

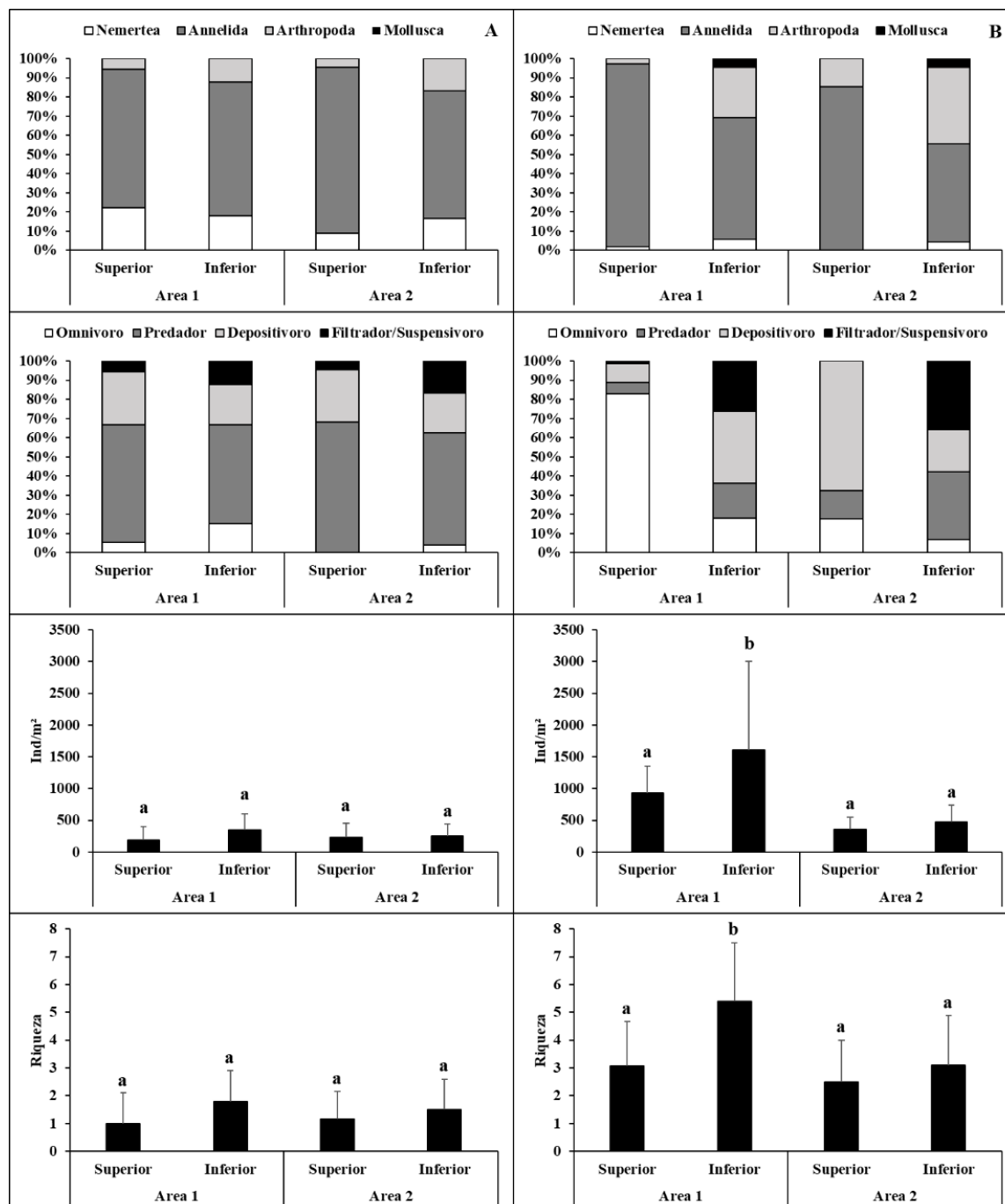


Figura 6- Abundância relativa (%), grupos tróficos, densidade média (ind/m² ± DP) e riqueza (média ± DP) da fauna macrobentônica nas áreas estudadas (Área 1: praia da Beira; Área 2: praia da Caixa d'água) entre períodos (A: chuvoso; B: seco) e entre zonas da praia (superior e inferior).

A densidade e a riqueza da macrofauna apresentaram diferenças significativas entre períodos, áreas e na interação período x área, contudo

somente a riqueza apresentou diferenças entre zonas (Tabela 4). Maiores densidades e riqueza foram observadas no período seco ($841,2 \pm 877,5$ ind/m²; 27 táxons) em relação ao chuvoso ($255,8 \pm 217,6$ ind/m²; 11 táxons). Entre áreas, maiores densidades e riqueza foram observadas na Área 1 em ambos os períodos. De maneira geral, maiores valores de densidade e riqueza foram observados na zona inferior de ambas as áreas em todos os períodos (Figura 6A e 6B). Os resultados do teste *Tukey* indicaram diferenças significativas na interação área x zona para esses descritores ocorreu somente no período seco na Área 1.

Tabela 4- Resultados da análise de variância ANOVA (tri-way) para os descritores da comunidade nas áreas estudadas.

	Densidade			Riqueza	
	GI	F	p	F	p
Período (P)	1	27,0	0,00*	49,4	0,00*
Área (A)	1	15,1	0,00*	5,7	0,02*
Zona (Z)	1	0,7	0,40	12,1	0,00*
P x A	1	13,3	0,00*	5,1	0,03*
P x Z	1	2,7	0,10*	2,1	0,16
A x Z	1	2,1	0,15	2,9	0,09
P x A x Z	1	4,2	0,04*	1,0	0,31
Error	88				

*diferenças significativas ($p < 0,05$); gi: graus de liberdade

O gráfico da análise PCO distinguiu as amostras de macrofauna entre períodos e áreas (Figura 7A). No período chuvoso (Figura 7B), o eixo 1 (PCO 1) foi responsável pela separação das áreas. No lado negativo, os poliquetas *Thoracophellia papillata*, *Nephtys simoni* e *Orbinnia* sp. juntamente com o crustáceo *Lepdophthalmus siriboia* e o Nemertea foram responsáveis pela separação dos eixos e foram os mais abundantes na Área 2. O eixo 2 (PCO 2) foi responsável pela separação das zonas. Os poliquetas *N. simoni* e *T. papillata* foram mais abundantes na zona superior e *Orbinnia* sp., *L. siriboia* e Nemertea na zona inferior. No período seco, o eixo 1 foi responsável pela separação das áreas. Os poliquetas *Laeonereis culveri* e *Orbinnia* sp. foram mais abundantes na Área 1, enquanto na Área 2 foram *N. simoni*, *T. papillata* e *Armandia* sp. O eixo 2 foi responsável pela separação das zonas onde *T.*

papillata, *Armandia* sp. e *L. culveri* foram mais abundantes na zona superior e *N. simoni* e *Orbinnia* sp. na zona inferior. A análise PERMANOVA confirmou essa configuração espacial, mostrando diferenças significativas entre períodos, áreas e zonas (Tabela 5).

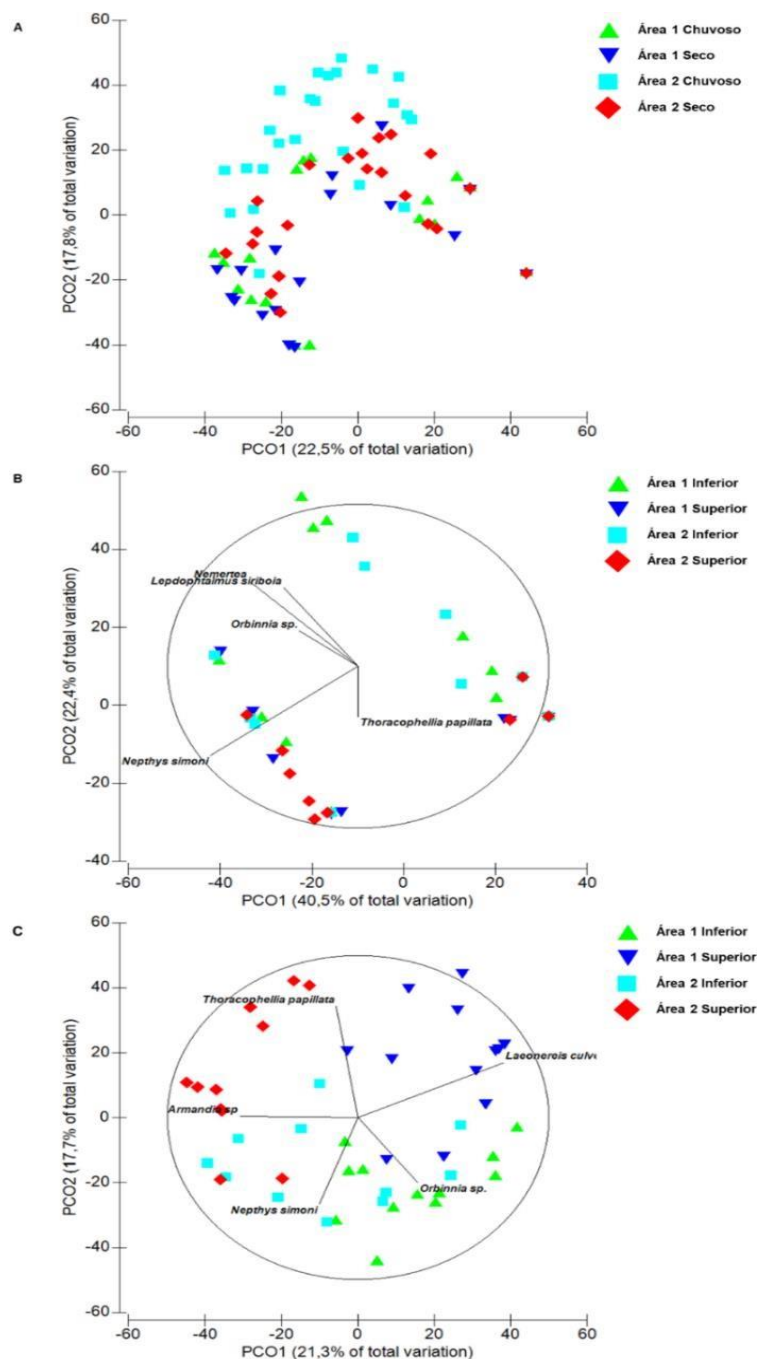


Figura 7- Gráfico da análise de coordenadas principais (PCO) das amostras da macrofauna bentônica coletadas nas áreas de estudo em diferentes períodos. Os vetores representam espécies com correlação >50% (baseada no coeficiente de correção de Spearman) com um dos eixos do PCO. (A) todas as amostras; (B) período chuvoso; (C) período seco.

Tabela 5- Resultado da análise PERMANOVA para a estrutura da comunidade macrobentônica nas áreas estudadas.

	GI	Pseudo-F	p(perm)
Período (P)	1	11,8	0,00*
Área (A)	1	47,68	0,00*
Zona (Z)	1	74,15	0,00*
P x A	1	44,33	0,00*
P x Z	1	27,90	0,01*
A x Z	1	2,56	0,01*
P x A x Z	1	13,69	0,25
Resíduo	88		

*diferenças significativas ($p < 0,05$); gl: graus de liberdade

5 DISCUSSÃO

As condições ambientais na costa amazônica são muito dinâmicas e temporalmente variáveis, em resposta principalmente ao regime de macromarés semidiurnas, grandes aportes fluviais de água doce e fortes mudanças sazonais nas chuvas (seguidas por grandes mudanças na salinidade) e regime de ondas e ventos (Souza-Filho *et al.* 2009, Venekey *et al.* 2019). Estudos anteriores em praias amazônicas mostraram modificações cíclicas na morfologia da praia, com processos erosivos dominando durante os meses chuvosos (associados a alta descarga fluvial e fortes correntes de maré) e processos de acreção durante a estação seca (Alves & El-Robrini 2006, Nascimento & Pereira 2016, Pereira *et al.* 2013).

De maneira geral, no presente estudo, a temperatura do sedimento e o tamanho médio dos grãos foram menores na zona inferior. Inversamente, o conteúdo de matéria orgânica e a umidade nos sedimentos forma maiores na zona inferior em ambas as praias. Embora esses padrões tenham sido observados em ambos os períodos, mudanças temporais marcantes foram observadas. No período chuvoso, os gradientes de umidade e temperatura no sedimento foram menos evidentes. É possível atribuir esse padrão ao aumento das chuvas, altas vazões fluviais e à redução da radiação solar durante os meses chuvosos (Moraes *et al.* 2005, Souza-Filho *et al.* 2009).

Os grãos mais grossos (areia mais média) foram encontrados no período seco, enquanto os sedimentos finos praticamente só foram registrados no período chuvoso. Essas diferenças podem estar relacionadas à hidrodinâmica natural da área. Na costa amazônica, ventos alísios de leste mais intensos são normalmente encontrados durante os meses mais secos, gerando ondas maiores e mais frequentes, que remobiliza mais sedimentos de fundo (Pereira *et al.* 2013). A influência de ondas fortes e mais frequentes e turbulências podem impedir a deposição de sedimentos finos nesse período. Por outro lado, durante o período chuvoso, os ventos são mais fracos, o período e a altura das ondas menores e a descarga de sedimentos aumenta, aumentando a disponibilidade e deposição de sedimentos finos (Braga *et al.* 2007, Pereira *et al.* 2016, Souza-Filho *et al.* 2009).

No presente estudo, a granulometria e o conteúdo de matéria orgânica variaram entre áreas, sendo encontrada maior tamanho dos grãos de sedimento na área 2 e maior conteúdo de matéria orgânica na área 1. E essa diferença pode estar relacionada às características granulométricas da área e diferenças nas características morfodinâmicas. A área 1 está em uma região mais abrigada, próxima a um canal de marés que permite a deposição de sedimentos finos e matéria orgânica. A granulometria fina associada à característica natural da área 1 pode reter grandes quantidades de água e matéria orgânica devido a sua alta porosidade e capilaridade (McLachlan & Defeo 2018) além da baixa ação das ondas da área que impede a ressuspensão e erosão deste sedimento. Por outro lado, a área 2 está situada em uma parte mais exposta com maior influência de correntes e ondas que remobiliza mais sedimentos de fundo aumentando a erosão e conseqüentemente diminuindo a deposição de grãos de sedimentos mais finos e matéria orgânica.

5.1 DENSIDADE DE *Lepdophtalmus siriboia*

Densas concentrações de tocas de crustáceos thalassinideos são comumente encontradas em áreas de entremarés em todo o mundo (D'Andrea & DeWitt 2009, Posey 1986). De maneira geral, os valores de densidade de *L. siriboia* encontrados no presente estudo foi menor em comparação aos valores registrados para as populações thalassinideos em diversas outras áreas de entremarés na costa brasileira (ex: Botter-Carvalho *et al.* 2002, 2007, Botter-Carvalho *et al.* 2015, Moschetto *et al.* 2020, Rodrigues & Shimizu 1997, Shimizu 1997, Shimizu & Rosso 2000, Simão & Soares-Gomes 2007, Souza *et al.* 1998). Esse menor valor encontrado pode estar relacionado à característica natural da área de estudo, visto que em algumas áreas da costa amazônica é possível encontrar alta densidade de *L. siriboia* (Rosa-Filho *et al.* 2013).

Na Ilha de Algodão-Maiandeuá, as tocas de *L. siriboia* costumam ser encontrados espalhados ao longo da zona entremarés, o que provavelmente se deve à intensa hidrodinâmica das praias de macromaré da região, o que pode impedir o desenvolvimento de agregações mais densas. Isto é corroborado pelo fato de a menor densidade ter sido registrada durante o período seco (setembro), quando a hidrodinâmica é mais intensa, devido aos fortes ventos

alísios de leste (Pereira *et al.* 2009) e às fortes correntes de maré (Pereira *et al.* 2012) tipicamente encontrados nas praias amazônicas durante este período. Mesmo padrão foi verificado para outros bioengenheiros encontrados na região do entremarés das praias da região (Santos & Aviz 2018).

A densidade e o padrão de distribuição desses talassinídeos nas áreas entremarés são geralmente influenciados pelas características físicas do ambiente; tal como; tamanho do grão do sedimento (Botter-Carvalho *et al.* 2007, Oliveita *et al.* 2017, Witbaard & Duineveld 1989), temperatura e salinidade da água (Berkenbush & Rowden 1998, Posey *et al.* 1996, Silva & Martinelli-Lemos 2012) e características morfodinâmicas (Pezzuto 1998). E em geral, altas densidades desses talassinídeos ocorrem em áreas com sedimentos finos e declividade plana (Souza & Borzone 2003). No presente estudo, foram encontradas diferenças de densidade entre as áreas com maior densidade populacional na área 1 do que na área 2. Essa diferença pode estar relacionada às características e condições naturais de cada área. A área 1 é mais abrigada e situa-se perto de um manguezal e banco de marismas, que permite naturalmente a deposição de sedimentos mais finos. Por outro lado, a área 2 está situada em uma parte mais exposta com maior influência de correntes e ondas que ressuspendem mais sedimentos de fundo com maior frequência. A influência de ondas fortes e mais frequentes e turbulências pode aumentar as taxas de erosão e evitar a deposição de grãos de sedimentos mais finos. Além disso, a densidade de talassinídeos está inversamente relacionada à instabilidade dos sedimentos e declive da praia, mostrando que as características dinâmicas (ex: morfodinâmica) podem influenciar a distribuição espacial e a densidade desses crustáceos (Alves & Rodrigues 2000).

Sabe-se que os organismos bentônicos que habitam regiões costeiras geralmente apresentam estruturas espaciais distintas ao longo do entremarés como consequência de mudanças nas condições ambientais que ocorrem (Schlacher & Thompson 2013ab). No presente estudo, a densidade de *L. siriboia* foi maior na zona inferior da praia em ambas as áreas. Corroborando com o padrão encontrado para outras populações talassinídeos em áreas costeiras amazônicas (Silva & Martinelli-Lemos 2012). Essa maior densidade encontrada nessa zona provavelmente se deve a uma resposta conjunta da

diminuição da temperatura com o aumento da quantidade de sedimentos mais finos e do conteúdo de água no sedimento. A relação entre a fauna bentônica e o conteúdo de água está associada ao risco de dessecação e à dependência das atividades alimentares da maioria das espécies da macrofauna na submersão das marés (McLachlan & Jaramillo 1995, Armonies & Reise 2000). As espécies que habitam as zonas mais superiores devem não apenas se adaptar a um tamanho de grão de areia maior, mas também ser capazes de passar longos períodos expostas, sendo esse tempo de exposição particularmente mais grave em praias meso a macromarés (McLachlan & Defeo 2018).

Além disso, essa distribuição espacial pode estar relacionada às diferenças granulométricas na zona de entremarés. *L. siriboia* pode preferir sedimentos mais finos, uma vez que a maior densidade ocorreu na zona inferior, onde sedimentos mais finos (silte e argila) foram encontrados em ambas as áreas. Portanto, o tipo de sedimento poderia atuar como fator limitante para esta espécie (Silva & Martinelli-Lemos 2012), o que explica a maior concentração deste crustáceo presente nessa zona. Sabe-se que o tamanho das partículas do sedimento desempenha um papel importante na determinação das condições ambientais intersticiais e, portanto, na estruturação da comunidade bentônica (ver McLachlan & Defeo 2018 para revisão). Por exemplo, um estudo anterior sobre populações de *Calichirus major* (Say 1818) relacionou maiores densidades dessa espécie com sedimentos mais finos (areias muito finas) e melhor selecionado (Botter-Carvalho *et al.* 2007, Souza & Borzone 2003).

5.2 MACROFAUNA ASSOCIADA

Embora existam limitações óbvias para a comparação de regiões e/ou habitats, a composição taxonômica, riqueza e densidade da fauna macrobentônica nas praias estudadas são semelhantes a outras praias de oceano aberto com poliquetas, crustáceos e moluscos como os grupos mais comuns (McLachlan & Defeo 2018). Na área de estudo, assim como em outros ambientes de fundos moles na costa amazônica (ex: Beasley *et al.* 2010, Braga *et al.* 2009, 2011, 2013, Rosa Filho *et al.* 2006, 2009, 2011, Santos & Aviz 2018, 2020, Santos *et al.* 2020), tendo anelídeos como grupo dominante.

O domínio dos anelídeos é bem conhecido na costa amazônica, assim como em praias arenosas e se deve principalmente como resultado da forma do corpo do organismo (alongado e fino), que facilita as atividades de escavação em fundos de sedimentos finos (Giangrande & Gambi 1998); a conhecida alta tolerância ao estresse ambiental (Dauvin *et al.* 2016), permitindo-lhes sobreviver em um ambiente hostil como praias arenosas (Omena & Amaral 2003, Purschke 1981); e a diversidade dos hábitos alimentares, levando-os a utilizar todos os recursos alimentares disponíveis (Fauchald & Jumars 1979, Jumars *et al.* 2015). Além disso, essa dominância está principalmente ligada à grande abundância dos poliquetas *Laonereis culveri* e *Nephtys simoni* durante todo o estudo. Os poliquetas habitam em substratos moles, em sedimentos arenoso-lamosos, em grande maioria são carnívoros ou omnívoros, podendo apresentarem como predadores e comedores de depósitos (Dittman 2000, Pearson 1970), muitos são de vida livre e outros possuem apêndices para cavar o substrato como é o caso dessas duas espécies.

No presente trabalho, omnívoros foi o principal grupo trófico encontrado, e essa alta abundância se deve principalmente pela grande ocorrência de *L. culveri*. Entretanto, diferenças entre áreas e períodos foram encontradas. No período chuvoso, carnívoro foi o grupo mais abundante principalmente pela grande ocorrência de *N. simoni* em ambas áreas e zonas. Esse poliqueta é comumente encontrado em praias arenosas da região (Rosa Filho *et al.*, 2009, 2011, Santos & Aviz 2018, 2020) e são conhecidos por seu papel como predadores no ambiente bentônico (Arndt-Sullivan & Schiedek 1997, Benvenuti, 1994, Schubert & Reise 1986), sendo eles presentes em grande abundância em áreas com granulometria variando de areia média a areia fina (Lana *et al.* 1996, Rosa-Filho *et al.* 2011). No período seco, omnívoro foi o principal grupo encontrado na área 1, entretanto essa dominância foi somente na zona superior e essa alta abundância se deve pela presença de *L. culveri* nessa zona. Os poliquetas do gênero *Laonereis* têm uma reconhecida capacidade de ocupar diversos habitats costeiros, com ampla tolerância a variações de temperatura e de salinidade (Pettibone 1971). Por outro lado, na zona inferior os comedores de depósito foi o grupo mais abundantes. A grande abundância de comedores de depósito se deve pela presença dos poliquetas *Orbinnia* sp. e

Capitella capitata. Os poliquetas da família Orbinidae e Capitellidae são comedores de depósito não seletivos que habitam áreas com grande quantidade de sedimentos finos e alto teor de matéria orgânica (Dittmann 2000, Pearson & Rosenberg 1978). Na área 2 os poliquetas *Thoracophelia papilata*, *Armandia* sp. e *Paraonis* sp foram os organismos mais abundantes na zona superior. Esses poliquetas são tipicamente encontrados em praias arenosas (Rosa Filho *et al.* 2009, 2011). Enquanto na zona inferior o poliqueta *Nephtys simoni* foi o mais abundante. Esse poliqueta é tipicamente encontrado em áreas com sedimento arenoso (areia média a fina) (Lana *et al.* 1996; Rosa Filho *et al.* 2011) sendo tradicionalmente citados como típicos predadores da fauna bentônica (inclusive de outros organismos da macrofauna) em praias arenosas e regiões estuarinas (Arndt-Sullivan & Schiedek 1997, Benvenuti 1994, Schubert & Reise 1986).

Sazonalmente, maior densidade e riqueza foram encontradas no período seco, uma característica bem evidenciada nas áreas costeiras amazônicas (Aviz *et al.*, 2019, Beasley *et al.* 2010, Braga *et al.* 2013, Rosa Filho *et al.* 2009, Santos & Aviz 2018, Silva *et al.* 2011). Em contraste com as praias arenosas de regiões temperadas, onde as mudanças na estrutura das comunidades bentônicas são devidas predominantemente a modificações de temperatura e fotoperíodo (Neves *et al.* 2008), na zona costeira amazônica o principal fator responsável pelas variações temporais de densidade e riqueza é salinidade (Rosa Filho *et al.* 2009, Venekey *et al.* 2019). A alta pluviosidade causa reduções acentuadas da salinidade, levando à restrição ou exclusão de espécies exclusivamente marinhas ou mal adaptadas à baixa salinidade (Kinne 1971).

Os descritores de comunidade (densidade e riqueza) variaram entre áreas, sendo maiores na área 1 do que na área 2. E esta diferença pode estar relacionada às características granulométricas da área e diferenças nas características morfodinâmicas. Como explicado anteriormente, a área 1 se encontra numa região mais abrigada e próxima a um canal de marés que permite a deposição de sedimentos finos e matéria orgânica. Sabe-se que a densidade da macrofauna é maior em áreas de sedimentos mais finos em comparação a áreas com sedimentos maiores. Adicionalmente, áreas com sedimentos finos (silte e argila) têm altos valores de matéria orgânica do que

áreas com sedimentos arenosos (ver MacLachlan & Defeo 2018 para revisão). A quantidade de matéria orgânica pode ser um fator chave na estruturação das comunidades bentônicas marinhas (Heip *et al.* 2005, Snelgrove & Butman 1994) e correlações positivas entre as entradas de matéria orgânica e a estrutura macroinfaunal foram descritas para vários ambientes.

Além disso, a maior densidade e riqueza encontradas na área 1 podem estar relacionadas à alta abundância de *L. siriboia* presente na zona entremarés dessa área. Sabe-se que as tocas de crustáceos talassinideos têm um papel significativo como engenheiros de ecossistema (Pillay & Branch 2011). Em regiões com intensa agregação de tocas desse crustáceo, devido às suas atividades de bioturbação e bioirrigação, ocorre uma alteração na estrutura do sedimento tornando-o mais poroso além de ter maior concentração de grãos de sedimento menores e maior concentração de matéria orgânica (Webb & Eyre 2004). Por sua vez, essas alterações nas características do sedimento podem modificar significativamente as características físicas e químicas (ex.: oxigenação e remineralização de nutrientes) do sedimento (Powilleit & Graf 1996, Webb & Eyre 2004). E conseqüentemente, tais condições influenciam a estrutura da comunidade bentônica local (Berkenbusch *et al.* 2000, Kinoshita 2002), criando, alterando e mantendo um mosaico de habitats para uma gama mais ampla de organismos (Berkenbusch & Rowden 2007).

Entre zonas, maiores valores de densidade e riqueza foram encontrados na zona inferior de ambas as áreas estudadas. Condições extremas (ou subótimas) para a macrofauna nas zonas superiores da praia, incluindo alta temperatura e baixa umidade, aumentam o risco de dessecação (Fanini & Defeo 2009, Scapini 2014). Por outro lado, em direção às zonas mais inferiores (em direção a linha d'água), o estresse ambiental é gradualmente atenuado conforme a umidade da areia aumenta e a temperatura diminui. A fuga da dessecação se enterrando para camadas mais profundas do sedimento e migrações de maré permitem que a macrofauna mais móvel se mova para frente e para trás ao longo da costa para selecionar um micro-habitat ideal (Gibson 2003, Rejeki & Naylor 1996). Além disso, a maior riqueza encontradas na zona inferior de ambas as áreas pode estar relacionada à alta abundância de *L. siriboia* presente. De maneira geral, diversos organismos associados aos

talassinídeos ocorrem dentro de suas tocas, utilizando-os como abrigo e alimentação (Oliveira *et al.* 2017). No entanto, além dessas espécies, existe uma fauna variada (ex: poliquetas, gastrópodes, bivalves, equinodermas, crustáceos) que coexiste nas áreas habitadas por talassinídeos que não necessariamente vivem dentro das tocas, mas que também são influenciadas pela distribuição e dinâmica desses crustáceos (Oliveira *et al.* 2017).

De fato, no estudo, encontramos táxons exclusivos na área 1 (ver Tabela 3), e a maioria deles não são normalmente encontrados em praias arenosas amazônicas. Por exemplo, alguns organismos que foram encontrados exclusivamente na área 1, geralmente são encontrados em substrato lamosos ou em áreas com grande concentração de sedimentos lamosos (Beasley *et al.* 2010, Santos & Aviz 2020), e esses taxa incluem os poliquetas capitelídeos *Heteromasuts filiformes* e *Mediomastus* sp., além do orbinidae *Scoloplos* sp. Por outro lado, na área 2, a fauna é tipicamente encontrada nas praias arenosas da região (Rosa Filho *et al.* 2009, 2011, Santos & Aviz 2018, 2020).

6 CONCLUSÃO

Foram encontrados um total de 26 táxons (excluindo *L. siriboia*). Sendo o filo Annelida com o maior número de táxons (16) e o mais abundante em ambos períodos, áreas e zonas.

Os poliquetas *Laeonereis culveri* (32,9%) e *Nephtys simoni* (13,4%) foram os organismos mais abundantes durante o estudo.

Maiores densidades de *L. siriboia* foram encontradas no período chuvoso e nas zonas inferiores, possivelmente pela diminuição da ação ondas, aumento da quantidade de sedimentos mais finos, do conteúdo de água no sedimento, temperatura e características morfodinâmicas.

A macrofauna bentônica das praias da Beira e Caixa D'água apresentou diferenças significativas entre períodos, áreas e na interação período x área, encontrando-se uma maior riqueza e densidade no período seco, uma característica bem evidenciada nas áreas costeiras amazônicas.

REFERÊNCIAS

- Abrunhosa F.A., Smith D.J.B., Palmeira C.A.M, Arruda D.C.B. 2008. Lecithotrophic behavior in zona and megalopa larvae of the ghost shrimp *Lepidophthalmus siriboia* Felder & Rodrigues, 1993 (Decapoda: Callinassidea). *Academia Brasileira de Ciência*, **80** (4):77-84.
- Alves M.M.S. & El-Robrin M. 2006. Morphodynamics of a macrotidal beach: Ajuruteua, Bragança North Brazil. *Journal Coastal Research*, **39**:949-951.
- Arndt-Sullivan C. & Schiedek D. 1997. *Nephtys hombergii*, a free-living predator in marine sediments: energy production under environmental stress. *Marine Biology*, **129**:643-650.
- Armonies W. & Reise K. 2000. Faunal diversity across a sandy shore. *Marine Ecology Progress Series*, **196**:49-57.
- Ataide M.B., Venekey V., Rosa Filho J.S., Santos P.J.P. dos. 2014. Sandy reefs of *Sabellaria wilsoni* (Polychaeta: Sabellariidae) as ecosystem engineers for meiofauna in the Amazon coastal region, Brazil. *Marine Biodiversity*, **44**:403- 413.
- Atkinson R.J.A., Froggia C., Arneri E., Antolini B. 1998. Observation on the burrows and burrowing behavior of *Brachynotus gemmellari* and on the burrows of several other species occurring on Squilla grounds off Ancona, Central Adriatic. *Scientia Marina*, **62**:91-100.
- Atkinson R.J.A. & Taylor A.C.A., 2005. Aspects of the physiology, biology and ecology of thalassinidean shrimps in relation to their burrow environment. *Oceanography and Marine Biology - An Annual Review*, **43**:211-278.
- Aviz D., Mello C.F., Silva P.F. 2009. Macrofauna associada às galerias de *Neoteredo reynei* (Bartsch, 1920) (Mollusca: Bivalvia) em troncos de *Rhizophora mangle* Linnaeus durante o período menos chuvoso, em manguezal de São Caetano de Odivelas, Pará (costa norte do Brasil). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais*, **4**:47-55.
- Aviz D., Silva R.F.D., Rosa Filho J.S. 2019. *Sabellaria wilsoni* (Polychaeta: Sabellariidae): An ecosystem engineer and promoter of zoobenthos diversity in the Brazilian Amazon coast. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **99** (5):1099-1109.
- Beasley C.R., Fernandes M.E.B., Figueira E.A.G., Sampaio D.S., Melo K.R., Barros R.S. 2010. *Mangrove infauna and sessile epifauna*. In: Saint-Paul U. & Schneider H. (eds.). *Mangrove Dynamics and Management in North Brazil*, 211 New York, Springer, p. 109-123.
- Benvenuti C.E. 1994. O poliqueta *Nephtys fluviatilis* Monro, 1937 como predador da infauna na comunidade de fundos moles. *Atlantica*, **16**:87-98.

Berkenbusch K., Rowden A.A., Probert P.K. 2000. Temporal and spatial variation in macrofauna community composition imposed by ghost shrimp *Callinassa filholi* bioturbation. **192**: 249-257.

Berkenbusch K. & Rowden A. 2003. Ecosystem engineering: moving away from 'just-so' stories. *New Zealand Journal of Ecology*, **27**: 67-73.

Berkenbusch K. & Rowden A.A. 2007. Na examination of spatial and temporal generality of the influence of ecosystem on the composition of associated assemblages. *Aquatic Ecology*, **41**: 129-147.

Botter-Carvalho M.L., Santos P.J. P., Carvalho P.V.V.C. 2002. Spatial distribution of *Callichirus major* (Say, 1818) (Decapoda, Callianassidae) on a sandy beach, Piedade, Pernambuco, Brazil. *Nauplius*, **10**: 97-109.

Botter-Carvalho M.L., Santos P.J.P., Carvalho P.V.V.C. 2007. Population dynamics of *Callichirus major* (Say, 1818) (Crustacea, Thalassinidea) on a beach in northeastern Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **71**: 508- 516.

Botter-Carvalho M.L., Costa L.B., Gomes L.L., Clemente C.C.C., Carvalho P.V.V.C. 2015. Reproductive biology and population structure of *Axianassa australis* (Crustacea, Axianassidae) on a sand-mud flat in north-eastern Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **95**: 735- 745.

Bouma T.J., Olenin S., Reise K., Ysebaert T. 2009. Ecosystem engineering and biodiversity in coastal sediments: posing hypotheses. *Helgoland Marine Research*, **63**: 95-106.

Braga F.P.S. & Souza-Filho P.W.M. 2007. *Sedimentologia e morfologia da praia de macromaré de Ajuruteua, Pará: um estudo para a definição de índices de sensibilidade ambiental ao derramamento de óleo. In: 4º PDPETRO, Campinas, Campinas, Brasil, Anais[...]. p.19-27.*

Braga C.F., Beasley C.R., Isaac V.J. 2009. Effects of plant cover on the macrofauna of *Spartina* marshes in northern Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, **52** (6):1409-420.

Braga C.F., Monteiro V.F., Rosa-Filho J.S., Beasley C.R. 2011. Benthic macroinfaunal assemblages associated with Amazonian saltmarshes. *Wetlands Ecology Management*, **19**:257-272.

Braga C.F., Silva R.F., Rosa-Filho J.S., Beasley C.R. 2013. Spatio-temporal changes in macroinfaunal assemblages of tropical saltmarshes, northern Brazil. *Pan-American Journal of Aquatic Sciences*, **8** (4):282-298.

Branch G. M. & Pringle A. 1987. The impact of the sand prawn *Callianassa kraussi* Stebbing on sediment turnover and on bacteria, meiofauna, and benthic microflora. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **107**:219-235.

Butler S. & Bird F. 2008. Temporal changes in burrow structure of the thalassinidean ghost shrimps *Trypaea australiensis* and *Biffarius arenosus*. *Journal of Natural History*, **42**:2041-2062.

Callaway R. 2003. Juveniles stick to adults: recruitment of the tube-dwelling polychaete *Lanice conchilega* (Pallas, 1966). *Hydrobiologia*, **503**:121-130.

Crooks J.A. 2002. Characterizing ecosystem-level consequences of biological invasions: the role of ecosystem engineers. *Oikos*, **97**:153-166.

D'Andrea A.F.D. & DeWitt T.H. 2009. Geochemical ecosystem engineering by the mud shrimp *Upogebia pugettensis* (Crustacea: Thalassinidea) in Yaquina Bay, Oregon: Density-dependent effects on organic matter remineralization and nutrient cycling. *Limnology and Oceanography*, **54**:1911-1932.

Das Neves L.P., Silva P. de S.R. da, Bemvenuti C.E. 2008. Temporal variability of benthic macrofauna on Cassino beach, southernmost Brazil. *Iheringia. Serie Zoologia*, **98**:36-44.

Dauvin J.C., Andrade H., De-la-Ossa-Carretero J., Del-Pilar-Ruso Y., Riera R. 2016. Polychaete/amphipod ratios: an approach to validating simple benthic indicators. *Ecological Indicators*, **63**:89-99.

Dittmar T. & Lara R.J. 2001. Driving forces behind nutrient and organic matter dynamics in a mangrove tidal creek in North Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **52**: 249-259.

Dworschak P.C. 1983. The biology of *Upogebia pussila* (Petagna) (Decapoda, Thalassinidea). I. The burrows. *Marine Ecology*, **4** (1):19-43.

Dworschak P.C., Koller P., Abed-Navandi D. 2006. Burrow structure, burrowing and feeding behaviour of *Corallianassa longiventris* and *Pestarella tyrrhena* (Crustacea, Thalassinidea, Callianassidae). *Marine Biology*, **148**:1369-1382.

Dworschak P.C. 2008. *Neocallichirus kempfi* Sakai, 1999, a junior synonym of *Callianassa karumba* Poore & Griffin, 1979 (Decapoda: Callianassidae). *The Raffles Bulletin of Zoology*, **56**:75-84.

Fanini L. & Defeo O. 2009. Testing the Habitat Safety Hypothesis with behavioural field experiments: amphipod orientation on sandy beaches with contrasting morphodynamics. *Marine Ecology Progress Series*, **392**:133-144.

Fauchald K. & Jumars P.A. 1979. The diets of worms: A study of Polychaete feeding guilds. *Oceanography and Marine Biology - An Annual Review*, **17**:193-284.

Folk R.L. & Ward W.C. 1957. Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, **27** (1):3-26.

Giangrande A. & Gambi M.C. 1998. Anellidi Policheti come nuova risorsa marina: un esempio con alcuni sabellidi. *Biologi Italiani*, **10**:13-19.

Gibson R. 2003. Go with the flow: tidal migration in marine animals. *Hydrobiologia*, **503**:153-161.

Hailstone T.S. & Sterpheson W. 1961. The biology of *Callia na88a* (Trypaea) australiana Dana, 1952 (Crustacea, Thalassinidea). Pap. Dep. Zool. Univ. Qd, **1**(12): 259-85.

Heip C., Herman P., Middelburg J., Moodley L., Soetaert K., Ysebaert T. 2005. The ecology of estuarine intertidal flats – the example of the Westerschelde. In: James G. (ed.). *The intertidal ecosystem: the Value of Ireland's shores*. Dublin, Royal Irish Academy, p.179-195.

Jones C.G., Lawton J.H., Shachak M. 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, **69**:373-386.

Jones C.G., Lawton J.H., Shachak M. 1997. Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers. *Ecology*, **78**:1946-1957.

Jones C.G. & Gutiérrez J.L. 2007. *On the purpose, meaning, and usage of the physical ecosystem engineering concept*. In: Cuddington C., Byers J.E., Wilson H.G., Hastings A. (eds.). *Ecosystem engineers: plants to protists*, 4, Amsterdam, Elsevier-Academic Press, p.3-20.

Jones C.G., Gutiérrez J.L., Byers J.E., Crooks J.A., Lambrinos J.G., Talley T.S. 2010. A framework for understanding physical ecosystem engineering by organisms. *Oikos*, **119**:1862-1869.

Jumars P.A., Dorgan K.M., Lindsay S.M. 2015. Diet of worms emended: An update of Polychaete feeding guilds. *Annual Review of Marine Science*, **7**:497-520.

Laverock B., Smith C.J., Tait K., Osborn A.M., Widdicombe S., Gilbert J.A. 2010. Bioturbating shrimp alter the structure and diversity of bacterial communities in coastal marine sediments. *ISME Journal*, **4**:1531-1544.

Kinne O. 1971. Salinity. In: Kinne O. (ed.). *Marine ecology: a comprehensive, integrated treatise of life in oceans and coastal Waters*, 1, London, John Wiley & Sons, p. 683-995.

Kinoshita K. 2002. Burrow structure of the mud shrimp *Upogebia major* (Decapoda: Thalassinidea: Upogebiidae). *Journal of Crustacean Biology*, **22** (2): 474-480.

- Kinoshita K. & Itani G. 2005. Interspecific differences in the burrow morphology between the sympatric mud shimp, *Austinogebia narutensis* and *Upogebia issaefi* (Crustacea: Thalassinidea: Upogebiidae). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **85**:943-947.
- Klein A.H.F. & Short A.D. 2016. *Santa Catarina beach systems*. Coastal Research Library, 17, Dordrecht, Dordrecht, Springer, p.465-506.
- Knox G. A. 2000. *The ecology of sea shores*. New York, CRC press. 555p.
- Lana P.C., Camargo M.G., Brogim, R.A., Isaac V.J., 1996. *O Bentos da costa brasileira: avaliação crítica e levantamento bibliográfico (1858–1996)*. MMA/CIRM/FEMAR, Revizee.
- Martorano L.G., Pereira L.C., César E.G.M., Pereira I.C.B. 1993. *Estudos climáticos do Estado do Pará: classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thornthwaite, Mather)*. Belém/PA: Sudam/Embrapa/Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 53p.
- McLachlan A. & Jaramillo E. 1995. Zonation on sandy beaches. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, **33**:305-335.
- McLachlan A. & Defeo O. 2018. *Ecology of sandy shores*. Third edition. [S.I.], Academic Press, 560p.
- Melo G.A.S. 1999. *Manual de identificação dos crustáceos Decapoda do litoral brasileiro: anomura, thalassinidea, palinuridea e astacidea*. São Paulo, Pleiade/FADESP, 551p.
- Mendes A.C. 2005. Geomorfologia e sedimentologia. *In: Fernandes M.E.B. (ed.). Os manguezais da costa Norte brasileira*, 2. Belém, Fundação Rio Bacanga, p. 13-31.
- Moraes B.C., Costa J.M.N., Costa A.C.L., Costa M.H. 2005. Variação espacial e temporal da precipitação no Estado do Pará. *Acta Amazonica*, **35**:207-214.
- Moschetto F., Borges R., Duarte L. 2020. Population structure of *Callichirus major* (Say 1818) (Crustacea: Callinassidae) and conservation considerations at Southeast coast of São Paulo, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **92**: e20180795.
- Nascimento A. & Pereira, L. 2016. Morphodynamic Processes on a Macrotidal Beach in the Eastern Amazon. *Journal of Coastal Research*, **1**:427-431.
- Nates S.F. & Felder D.L. 1998. Impacts of burrowing ghost shrimp, genus *Lepidophthalmus* Crustacea: Decapoda: Thalassinidea, on penaid shrimp culture. *Journal of the World Aquaculture Society*, **29**:188-210.

Nates S.F. & Felder D.L. 1999. Growth and maturation in the burrowing mud-shrimp *Lepidophthalmus sinuensis* Lemaitre and Rodrigues 1991 (Crustacea, Decapoda, Callianassidae), a burrowing pest in shrimp mariculture ponds. *Fishery Bulletin United State*, **97**:526-541.

Oliveira D.B., Abrunhosa F.A., Matinelli J.M. 2017. The thalassinidean mud shrimp *Upogebia vasquezii*: life cycle and reproductive traits on the Amazonian Coast, Brazil. In: Payan R.C. (eds.). *Theriozoology* DOI: 10.5772/intechopen.68934.

Omena E.P. & Amaral A.C.Z. 2003. Sandy beach morphodynamic and the polychaete fauna in Southeast Brazil. *Journal of Coastal Research*, **35**:431-439.

Pillay D. & Branch G.M. 2011. Bioengineering effects of burrowing thalassinidean shrimps on marine soft-bottom ecosystems. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, **49**:137-192.

Pearson T.H. 1970. The benthic ecology of Loch Linnhe and Loch Eil, a sea-loch system on the west coast of Scotland. The physical environment and distribution of the macrobenthic fauna. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **5**:1-34.

Pearson T.H. & Rosenberg R. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, **16**: 219-311.

Peiró D.F. & Mantelatto F.L. 2011. Population dynamics of the pea crab *Austinixa aidaea* (Brachyura, Pinnotheridae): a symbiotic of the ghost shrimp *Callichirus major* (Thalassinidea, Callianassidae) from the southwestern Atlantic. *Série Zoologia*, **101**:5-14.

Peiró D.F., Pezzuto P.R., Mantelatto F.L. 2011a. Relative growth and sexual dimorphism of *Austinixa aidaea* (Brachyura: Pinnotheridae): a symbiont of the ghost shrimp *Callichirus major* from the southwestern Atlantic. *Latin American Journal of Aquatic Research*, **39**:261-270.

Peiró D.F., Baeza J.A., Mantelatto F.L. 2013. Host-use pattern and sexual dimorphism reveals the mating system of the symbolic pea crab *Austinixa aidaea* (Crustacea: Brachyura: Pinnotheridae). *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **93**:715-723.

Pereira L.C.C., Dias J., Carmo, J. Antunes do, Polette M. 2009. A Zona Costeira Amazônica Brasileira. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, **9**:3-7.

Pereira L.C.C., Silva N.I. Sozinho da, Costa R.M. da, Asp N.E., Costa K.G. da, Vila-Concejo A. 2012. Seasonal changes in oceanographic processes at an equatorial macrotidal beach in northern Brazil. *Continental Shelf Research*, **43**: 95-106.

Pereira L.C.C, Cajueiro L., Ires N., Reis N., Costa R. Marinho da, Asp, N.E., Costa K.G., Vila-Concejo A. 2012. Seasonal changes in oceanographic processes at an equatorial macrotidal beach in northern Brazil. *Continental Shelf Research*, **43**:95-106.

Pereira L.C.C., Oliveira S.M. de O., Costa R.M., Costa K.G. da, Vila-Concejo A. 2013a. What happens on an equatorial beach on the Amazon coast when La Niña occurs during the rainy season? *Estuarine, Coastal Shelf Science*, **135**:116-127.

Pereira L.C.C, Vila-Concejo A., Short A. 2016. Coastal Morphodynamic Processes on the Macro-Tidal Beaches of Pará State Under Tidally-Modulated Wave Conditions. In: Short A., Klein A. (eds.). *Brazilian Beach System*. Coastal Research Library, 17, Springer.

Pettibone M.H. 1971. Revision of species referred to *Leptonereis*, *Nicon*, and *Laeonereis* (Polychaeta: Nereididae). *Smithsonian Contributions to Zoology*, **104**:1- 53.

Phillips, P. J. 1971. Observations on the biology of mudshrimps of the genus *Callinassa* (Anomura: Thalassinidea) in Mississippi Sound. *Gulf Research Report*, **3** (2):165-196.

Posey M.H. 1986. Predation on a burrowing shrimp, distribution and community consequences. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **103** (1-3):143-162.

Posey M.H., Lindberg W., Alphin T., Vose F. 1996. Influence of storm disturbance on an offshore benthic community. *Bulletin of Marine Science*, **59**:523-529.

Purschke G. 1981. Tolerance to freezing and supercooling of interstitial Turbellaria and Polychaeta from a sandy tidal beach of the island of Sylt (North Sea). *Marine Biology*, **63**:257-267.

Reise K. 2002. Sediment mediated species interactions in coastal waters. *Journal of Sea Research*, **48**:127–141.

Rejeki S. & Naylor E. 1996. Tidal migrations and rhythmic behavior of sandbeach crustacea. *Revista Chilena de Historia Natural*, **69**: 475-484.

Rodrigues S. de A. & Shimizu R.M. 1997. Autoecologia de *Callichirus major* (Sal, 1818). *Oecologia Brasiliensis*, **3**:155-170.

Rodrigues S.A. & Pezzuto P.R. 1999. Infraordem Thalassinidea (Decapoda). In: Backup L, Bond-Backup G, editors. Os Crustáceos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Universidade/UFRGS. p. 328-335.

Robles R., Tudge C.C., Dworschak P.C., Poore G.C.B., Felder D.L. 2009. Molecular phylogeny of the Thalassinidea based on nuclear and mitochondrial genes. *In: Martin J.W., Crandal K.A., Felder D.L. (ed.). Crustacean Issues 18: Decapoda Crustacean Phylogenetics.* Boca Raton, FL: Taylor and Francis/CR Press. p. 309-326.

Rosa Filho J.S., Busman D.V., Viana, A.P., Gregório A.M., Oliveira D.M. 2006. Macrofauna bentônica de zonas entre-marés não vegetadas do estuário do rio Caeté (Bragança-PA). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Série Zoologia*, **2**:109-121.

Rosa Filho J.S., Almeida M.F., Aviz D.E. 2009. Spatial and temporal changes in the benthic fauna of a macrotidal Amazon sandy beach, Ajuruteua, Brazil. *Journal of Coastal Research*, **56**:1780-1796.

Rosa Filho J.S., Gomes, T.P., Almeida M.F., Silva R.F. 2011. Benthic fauna of macrotidal sandy beaches along a small-scale morphodynamic gradient on the Amazon coast (Algodão Island, Brazil). *Journal of Coastal Research*, **64**:435-439.

Rosa Filho J.S., Frédou F.L., Girard T.C. 2013. Population dynamics of the burrowing shrimp *Lepidophthalmus siriboia* Felder and Rodrigues, 1993 (Reptantia: Axiidea: Callianassidae) on the Amazonian coast. *Journal of Crustacean Biology*, **33** (4): 503-511.

Rosa Filho J.S., Pereira L.C.C., Aviz D., Braga C.F., Monteiro M.C., Costa R.A.M. da, Asp N.E., Beasley C.R. 2018. Benthic estuarine assemblages of the Brazilian North Coast (Amazonia Ecoregion). *In: Lana P.D.C., Bernardino A.F. (eds.). Brazilian estuaries: a Benthic perspective.* Cham, Springer International Publishing, p. 39-74.

Santos T.M.T. & Aviz D. 2018. Macrobenthic fauna associated with *Diopatra cuprea* (Onuphidae: Polychaeta) tubes on a macrotidal sandy beach of the Brazilian Amazon. *Coast. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **99**:1-9.

Santos T.M.T. & Aviz D. 2020. Effects of a fish weir on the structure of the macrobenthic community of a tropical sandy beach on the Amazon coast. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **100** (2):211-219.

Santos T.M.T., Rabelo D.M.L., Beasley C.R., Braga C.F. 2020. Vertical distribution of macrobenthic community of tropical saltmarshes on the Amazon coast. *Regional Studies in Marine Science*, **40**. 101536, ISSN 2352-4855.

Scapini F. 2014. Behaviour of mobile macrofauna is a key factor in beach ecology as response to rapid environmental changes. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **150**:36-44.

- Schlacher T.A. & Thompson L. 2013. Spatial structure on ocean-exposed sandy beaches: Faunal zonation metrics and their variability. *Marine Ecology Progress Series*, **478**:43-55.
- Schubert A. & Reise K. 1986. Predatory effects of *Nephtys hombergii* on other polychaetes in the tidal flat sediments. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, **34**: 117-124
- Shimizu R. M. 1997. Ecologia populacional de *Scolelepis squamata* (Muller, 1806) (Polychaeta: Spionidae) e *Callinectes major* (Say, 1818) (Crustacea: Decapoda: Thalassinidea) da Praia de Barequeçaba (São Sebastião, SP). PhD Theses, Doutorado, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, 49 p.
- Shimizu R. M. & Rosso S. 2000. Influence of an oil spill on the abundance of *Callinectes major* (Say, 1818) on a sand beach in southeastern Brazil (Crustacea: Decapoda: Thalassinidea). *Nauplius*, **8** (1):63-72.
- Siebert T. & Branch G.M. 2006. Ecosystem engineers: interactions between eelgrass *Zostera capensis* and the sand prawn *Callinectes krausi* and their indirect effects on the mud prawn *Upogebia africana*. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **338**:253-270.
- Silva D. & Martinelli-Lemos J. 2012. Species composition and abundance of the benthic community of Axiidea and Gebiidea (Crustacea: Decapoda) in the Marapanim Bay, Amazon estuary, northern Brazil. *Zoologia (Curitiba)*, **29**:144-158.
- Silva N.I.S., Pereira L.C.C., Gorayeb A., Vila-Concejo A., Sousa R.C, Costa R.M. 2011. Natural and social conditions of Princesa, a macrotidal sandy beach on the Amazon Coast of Brazil. *Journal of Coastal Research*, **64**:1979-1983.
- Silva R.F., Rosa Filho J.S., Souza S.R., Souza Filho, P.W. 2001. Spatial and temporal changes in the structure of soft-bottom benthic communities in an Amazon estuary, Caeté estuary, Pará, Brazil. *Journal of Coastal Research*, **64**:440-444.
- Simão D.S., Ramos M.F., Soares-Gomes A. 2007. Distribuição de corruptos (*Callinectes major*, Say 1818: Crustacea., Thalassinidea) ao longo da região entremarés da Praia Rasa, Búzios, RJ – Brasil. *In: 12º Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar, COLACMAR, Florianópolis, v. 2. p. 254-254.*
- Snelgrove P.V.R. & Butman C.A. 1994. Animal-Sediment Relationships Revisited: Cause versus Effect. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, **32**:111-177
- Souza J.R.B, Borzone C.A., Brey T. 1998. Population dynamics and secondary production of *Callinectes major* (Crustacea, Thalassinidea) on a Southern Brazilian sandy beach. *Archive of Fishery and Marine Research*, **46**:151-164.
- Souza J.R.B. & Borzone C.A. 2003. A extração de corrupto *Callinectes major* (Say) (Crustacea, Thalassinidea) para uso como isca em praias do litoral do Paraná: as populações exploradas. *Revista Brasileira de Zoologia*, **20** (4):625-630.

Souza-Filho P.W.M., Lessa G.C., Cohen M.C.L., Costa F.R., Lara R.F. 2009. The subsiding macrotidal barrier estuarine system of the Eastern Amazon coast, northern Brazil. *Lectures Notes in Earth Sciences*, **107**:347–375.

Sousa-Felix R.C., Pessoa R.M.C., Costa R.M., Jiménez J.A., Pereira L.C.C. 2020. Recreational beaches management: A case study from the Amazon coast. In: Malvárez G., Navas F. (eds.) Global Coastal Issues of 2020. *Journal of Coastal Research*, **95**: 775–779

Stamhuis E. J. & Videler J. J. 1997a. Burrow ventilation in the tube-dwelling shrimp *Callinassa subterranea* (Decapoda: Thalassinidea). I. Morphology and motion of the pleopods, uropods and telson. *Journal of Experimental Biology*, **201**:2151-2158.

Suguio K. 1973. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo, EDUSP, 317 p.

Turner R.D. 1966. *A survey and illustrated catalogue of the Teredinidae (Mollusca: Bivalvia)*. Harvard University, The Museum of Comparative Zoology.

Venekey V., Melo T.P.G., Rosa Filho J.S. 2019. Effects of seasonal fluctuation of amazon river discharge on the spatial and temporal changes of meiofauna and nematodes in the amazonian coast. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **227**:106330.

Waslenchuk D.G., Matson E.A., Zajac R.N., Dobbs F.C., Tramontano J.M. 1983. Geochemistry of burrow waters vented by a bioturbating shrimp in Bermudian sediments. *Marine Biology*, **72**:219-225.

Webb A.P., Eyre B.D. 2004. Effect of natural populations of burrowing thalassinidea shrimp on the sediment, irrigation, benthic metabolism, nutrient fluxes and denitrification. *Marine Ecology Progress Series*, **268**:205-220.

Witbaard R. & Duineveld G. C. A. 1989. Some aspects of the biology and ecology of the burrowing shrimp *Callinassa subterranea* (Montagu) (Thalassinidea) from the southern North Sea. *Sarsia North Atlantic Marine Science*, **74**: 145–222.

Witbaard R. & Duineveld G. C. A. 1989. Some aspects of the biology and ecology of the burrowing shrimp *Callinassa subterranea* (Montagu) (Thalassinidea) from the southern North Sea. *Sarsia North Atlantic Marine Science*, **74**:145-222.

Young P.S. 1986. Análise qualitativa e quantitativa da fauna associada a corais hermatípicos (Coelenterata, Scleractinia) nos recifes de João Pessoa, PB. *Revista Brasileira de Biologia*, **46** (1):99-126.

Ziebis W., Foster S., Huettel M., Jørgensen B.B. 1996. Complex burrows of the mud shrimp *Callinassa truncata* and their geochemical impact in the sea bed. *Nature*, **382**:619-622.