



**UNIVERSIDADE
ESTADUAL DO
MARANHÃO**



Programa de Pós-Graduação - Mestrado
Recursos Aquáticos e Pesca

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CENTRO DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO (MESTRADO) EM RECURSOS
AQUÁTICOS E PESCA**

IONE DE OLIVEIRA GOMES

**ZONAÇÃO DA MACROFAUNA BÊNITICA SOB INFLUÊNCIA DAS
MACROMARÉS DA COSTA AMAZÔNICA – BRASIL**

**São Luís – MA
2021**

IONE DE OLIVEIRA GOMES

**ZONAÇÃO DA MACROFAUNA BÊNICA SOB INFLUÊNCIA DAS
MACROMARÉS DA COSTA AMAZÔNICA – BRASIL**

Dissertação apresentada em cumprimento às exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Aquáticos e Pesca da Universidade Estadual do Maranhão para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof.^a Dra. Verônica Maria de Oliveira.

Coorientador: Prof. Dr. Miodeli Nogueira Júnior.

**São Luís – MA
2021**

Gomes, Ione de Oliveira.

Zonação da macrofauna bêntica sob influência das macromarés da costa amazônica – Brasil / Ione de Oliveira Gomes. – São Luís, 2021.

53 f

Dissertação (Mestrado) – Curso de Recursos Aquáticos e Pesca, Universidade Estadual do Maranhão, 2021.

Orientador: Profa. Dra. Verônica Maria de Oliveira.

1.Ecologia. 2.Estuário. 3.Distribuição. 4. Poliqueta. 5.Substrato não consolidado. I.Título.

CDU: 574.587(811.3)

IONE DE OLIVEIRA GOMES

**ZONAÇÃO MACROFAUNA BÊNICA SOB INFLUÊNCIA DAS MACROMARÉS
DA COSTA AMAZÔNICA – BRASIL**

Dissertação apresentada em cumprimento às exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Aquáticos e Pesca da Universidade Estadual do Maranhão para obtenção do título de Mestre.

Aprovada em: ____/____/____

Banca examinadora

Verônica Maria de Oliveira

Prof.^a Dra. Verônica Maria de Oliveira (Orientadora)
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)



Prof. Dr. Miodeli Nogueira Júnior (Coorientador)
Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

Wilma dos Santos Eugenio

Prof.^a Dra. Wilma dos Santos Eugenio
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)
1^a Examinadora

Selma Patrícia Diniz Cantanhede

Prof.^a Dra. Selma Patrícia Diniz Cantanhede
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA)
2^a Examinadora

Dedico esta dissertação à minha família,

A meus pais pelo suporte em vários momentos da minha vida e a minha querida irmã pelo incentivo e amor diário.

AGRADECIMENTOS

Ao Pai Celestial por seu amor infinito, ser minha fortaleza nos momentos de alegria e dificuldades, fazendo-me perseverar e confiar que com Ele tudo é possível. Pelas bênçãos derramadas sobre mim, pelas oportunidades que desfrutei durante a minha caminhada acadêmica e pela concretização de mais uma conquista em minha vida.

A minha família, Maria, José, Ingrid, Francivane e Hellysson por todo amor, carinho e confiança em mim. Vocês me incentivam sempre a buscar o melhor, amo vocês.

Aos meus orientadores, professora Verônica Maria e ao professor Miodeli Nogueira pelos valiosos conselhos, incentivos e apoio nesta jornada do mestrado.

As minhas queridas amigas, Adryanne, Aldeane e Daniele pelos conselhos, pela ajuda nos momentos alegres e difíceis que me acompanharam durante essa caminhada, amo vocês. Aos meus amigos de turma, Ádila, Janderson e Manoel pela parceria contínua durante os estudos e as pesquisas realizadas.

Ao Laboratório de Pesca e Ecologia Aquática/Labpea ao suporte oferecido na identificação dos organismos, bem como ao professor Leonardo Gonçalves de Lima, coordenador do Laboratório de Estudos em Oceanografia Geológica/Leog pela sua disponibilidade para realização das análises granulométricas e todo auxílio fornecido.

Aos docentes do PPGRAP pelas contribuições e ensinamentos compartilhados.

A Universidade Estadual do Maranhão e ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Aquáticos e Pesca pela formação acadêmica. A Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão - FAPEMA pela bolsa de mestrado concedida. E a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma para o meu crescimento acadêmico e construção deste trabalho. Muito obrigada!

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi descrever a zonação da macrofauna bêntica em uma praia arenosa sobre influência das macromarés da costa amazônica maranhense, Brasil. Cinco coletas bimestrais foram realizadas entre os meses agosto, outubro e dezembro/2019 (estação seca), fevereiro e julho/2020 (estação chuvosa) em dois locais na região de estudo. Em ambos os locais foram delimitado um transecto de 100 m perpendicular a linha d'água durante a maré baixa, com três zonas distantes entre si em 50 m. As amostragens de seis réplicas em cada zona foram realizadas com um corer de 10 cm diâmetro, totalizando 180 amostras. Variáveis ambientais foram mensuradas para relacionar com os fatores biológicos. Os organismos foram distribuídos em 38 taxa, os poliquetas, oligoquetas e crustáceos juntos contribuíram com 88,7% da abundância total. O grupo dos poliquetas foi o que apresentou maior riqueza com 22 espécies, enquanto o crustáceo tanaidáceo *Monokallipseudes schubarti*, Oligochaeta e as espécies de poliquetas *Heteromastus* sp., *Laeonereis* sp., *Sigambra grubei* e *Capitella aracaensis* foram mais abundantes. A zonação da macrofauna bêntica apresentou distribuição espacial, indicando heterogeneidade entre as três zonas com maiores densidade registradas nas zonas infra e mesolitoral por serem mais favoráveis para os organismos. A estação seca apresentou o aumento da abundância, densidade e diversidade de espécies da macrofauna bêntica. As distribuições das espécies *M. schubarti*, *Heteromastus* sp. Oligochaeta, *Laeonereis* sp., *S. grubei* foram influenciadas pelos fatores frações de sedimento, salinidade e matéria orgânica, respectivamente. Os resultados deste estudo auxiliam na compreensão de como os organismos da macrofauna bêntica se distribuem em zonas com substrato não consolidado de regiões tropicais, podendo assim, práticas de manejo e monitoramento ambiental de ambiente estuarino.

Palavras-chave: ecologia; estuário; distribuição; poliqueta; substrato não consolidado.

ABSTRACT

The objective of this work was to describe the zoning of the benthic macrofauna on a sandy beach on the impact of the macromares of the Amazonian coast of Maranhão, Brazil. Five bimonthly collections were carried out between August, October and December / 2019 (dry season), February and July / 2020 (rainy season) in two locations in the study region. In both locations, a 100 m transect perpendicular to the water line was defined during low tide, with three zones 50 m apart. Samples of six replicates in each zone were performed with a 10 cm diameter core, totaling 180 values. Environmental variables were measured to relate to biological factors. The organisms were distributed in 38 taxa, the polychaetes, oligochaetes and crustaceans together contributed with 88,7% of the total abundance. The group of polychaetes was the one with the highest richness with 22 species, while the tanaid crustacean *Monokallipseudes schubarti*, Oligochaeta and the polychaete species *Heteromastus* sp., *Laeonereis* sp., *Sigambra grubei* and *Capitella aracaensis* were more abundant. The zonation of the benthic macrofauna shows spatial distribution, indicating heterogeneity between the three zones with greater densities in the infra and mesolitoral zones as they are more favorable for organisms. The dry season showed an increase in abundance, diversity and diversity of species of benthic macrofauna. The distributions of *M. schubarti*, *Heteromastus* sp. Oligochaeta, *Laeonereis* sp., *S. grubei* were influenced by the sediment fractions, salinity and organic matter factors, respectively. The results of this study help to understand how the benthic macrofauna organisms are distributed in areas with unconsolidated substrate in tropical regions, thus enabling management and environmental monitoring practices in the estuarine environment.

Keywords: ecology; estuary; distribution; polychaete; unconsolidated substrate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização do município São José de Ribamar e a praia de Juçatuba com transectos de amostragem, Maranhão, Brasil.	17
Figura 2. Desenho amostral das coletas da macrofauna bêntica na praia de Juçatuba, Maranhão. Legenda: R, réplica.	18

CAPÍTULO

Fig. 1. Mapa de localização do município São José de Ribamar e a praia de Juçatuba com transectos de amostragem, Maranhão, Brasil.	24
Fig. 2. Média e desvio padrão das variações sazonais e espaciais de (A–B) temperatura, (C–D) salinidade, (E–F) oxigênio dissolvido para T1 e T2 (esquerda e direita).	27
Fig. 3. Variações sazonais e espaciais da matéria orgânica do sedimento para o T1(A) e T2 (B).....	28
Fig. 4. Contribuições sazonais e espaciais de massa das principais frações de sedimentos (A–B) areia média, (C–D) areia fina, (E–F) areia muito fina, (G–H) silte grosso para T1 e T2 (esquerda e direita)	29
Fig. 5. Média e desvio padrão das variações sazonais e espaciais de (A–B) número de espécies, (C–D) densidade total das espécies para T1 e T2 (direita e esquerda).	30
Fig. 6. Média e desvio padrão das variações sazonais e espaciais de (A–B) índice de Margalef, (C–D) equitabilidade de Pielou, (E–F) índice de Shannon para T1 e T2 (esquerda e direita).	33
Fig. 7. Média e desvio padrão das variações sazonais e espaciais de densidade das espécies dominantes da fauna bêntica (A–B) <i>M. schubarti</i> , (C–D) <i>Oligochaeta</i> , (E–F) <i>Heteromastus</i> sp., (G–H) <i>Laeonereis</i> sp., (I–J) <i>S. grubei</i> , (K–L) <i>C. aracaensis</i> para T1 e T2 (direita e esquerda).	36
Fig. 8. Gráfico de ordenação da Análise de Redundância mostrando os dois primeiros eixos canônicos e as relações das espécies da macrofauna (vetor azul) com variáveis ambientais explicativas (vetor preto) os círculos representam os pontos amostrais. Código das espécies: Sig, <i>Sigambra grubrei</i> ; Olig, <i>Oligochaeta</i> ; Het, <i>Heteromastus</i> sp.; Ner, <i>Nemertea</i> ; Cap, <i>Capitella aracaensis</i> ; Mon, <i>Monokallipseudes schubarti</i> ; Cni, <i>Cnidaria</i> ; Nem, <i>Nematoda</i> ; Chi, <i>Chironomidae</i> (larva); Iso, <i>Isolda pulchella</i> ; Lae, <i>Laeonereis</i> sp.; Arm, <i>Armandia hossfeldi</i> ; Sip, <i>Sipuncula</i> . Código das variáveis explicativas: AM, areia média; AF, areia fina; AMF, areia muito fina; SG, silte grosso; SA, salinidade; OD, oxigênio dissolvido; TP, temperatura da água; MO, matéria orgânica.	38

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO

Tabela 1. Táxons amostrados da macrofauna bêntica da Praia de Juçatuba, entre agosto de 2019 a julho de 2020 e sua abundância relativa % para T1 e T2 e total.....	29
Tabela 2. Resumo do teste de ANOVA tri-fatorial para diferenças na densidade total, número de espécies e índices ecológicos da macrofauna bêntica, considerando meses, transectos e zonas como fatores e sua interação. As diferenças são significativas se $p < 0,05$ (em negrito)	32
Tabela 3. Resumo da análise PERMANOVA em Bray-Curtis para associações da macrofauna bêntica considerando meses, transectos e zonas como fatores e sua interação. As diferenças são significativas se $p < 0,05$ (em negrito); p (MC), valor de p obtido com o teste de permutação de Monte Carlo	36
Tabela 4. Resumo da análise SIMPER comparando as estações. Entre parênteses é mostrada a similaridade média (%) de cada mês e a contribuição das principais espécies (%)	36
Tabela 5. Resumo da Análise de Redundância realizada entre os táxons da macrofauna bêntica e as variáveis explicativas ambientais da praia de Juçatuba, Maranhão	37

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
2 OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo Geral.....	16
2.2 Objetivos específicos	16
3 METODOLOGIA.....	17
3.1 Area de estudo	17
3.2 Procedimento de campo.....	18
3.3 Procedimento de laboratório	19
3.4 Análise de Dados	19
4 RESULTADOS	20
4.1 Composição e zonation da macrofauna benthica em um praia tropical estuarina com regime de macromarés na costa amazônica maranhense, Brasil	21
5 CONCLUSÃO GERAL	50
REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

As praias arenosas representam o ambiente dominante das regiões costeiras tropicais e temperadas dos continentes, são formadas por minerais como areia, cascalho, seixo, entre outros, originados do desgaste de rochas terrestres e de estruturas costeiras pela ação das ondas, transporte eólico, fluvial ou ainda produzidos por organismos vivos (PEREIRA; SOARES-GOMES, 2009). São áreas com um amplo habitat para a instalação, abrigo e desova de organismos, além de serem utilizadas para atividades de pesca, recreação humana, serviços econômicos e amortecimento entre os ambientes terrestre e marinho (BROWN; MCLACHLAN, 1990; ROSS; LANCASTER, 2002; DEFEO et al., 2009).

Apesar de oferecer benefícios ecológicos e socioeconômicos, as praias são ambientes cuja sustentabilidade está cada vez mais ameaçada levando a perda da biodiversidade, devido aos impactos antrópicos sofridos, como a ocupação desordenada, crescimento do turismo e consequente pisoteio, bem como a falta de saneamento básico levando a contaminação desses ambientes por efluentes domésticos (MCLACHLAN; BROWN, 2006; BLANKENSTEYN, 2006; COSTA, 2017).

Uma das características mais marcantes das praias arenosas são os movimentos das marés que possuem uma dinâmica específica e tem profundo impacto nas comunidades biológicas. Comumente as águas sobem e descem duas vezes por dia. Essas são as marés semidiurnas com duas preamares (maré alta) e duas baixa-mares (maré baixa) (SCHMIEGELOW, 2004). As marés podem ainda ser classificadas de acordo com variações de amplitude (h): micromarés ($h < 2m$); mesomarés ($2 < h < 4m$); macromarés ($4 < h < 6m$) e hipermarés ($h > 6m$; VILLWOCK, 1994; SCHMIEGELOW, 2004).

Essas diferenças entre as marés determinam que as praias arenosas se iniciam na zona infralitoral que corresponde à porção submersa. A energia de ondas se dissipa ao longo da zona até chegar ao mesolitoral (região entremarés), zona extensa, situada entre os níveis de maré alta e baixa. Toda a região localizada acima do limite de maré alta até o início da ocorrência de dunas ou vegetação de restinga caracteriza a zona supralitoral, que sofre influência somente do *spray* marinho ou é alcançada pelas marés em eventos de tempestades (AZEVEDO-CUTRIM, 2007; VELOSO; CARDOSO, 2009; DANTAS et al., 2010). Nestas zonas os organismos marinhos distribuem-se em função de fator físico do ambiente e biológico, como recrutamento, reprodução, alimentação que são favoráveis para a vida o que é visto nas zonas mais próximas a linha d'água, e em região acima do limite da maré as condições físicas são desfavoráveis, pois

há exposição ao ar e conseqüentemente a dessecação dos organismos. No entanto, são adaptáveis as condições adversas (PAGLIOSA, 2004; MALVEZZI et al., 2010).

Além das variáveis ambientais já citadas, destaca-se também o sedimento das praias. Praias com grão de areia fina retêm maior quantidade de água no sedimento, o que justifica a maior presença de organismos nesse tipo de praia, visto que um sedimento mais úmido protege os organismos bênticos da dessecação, além de favorecer a absorção de matéria orgânica, enquanto, praias com areia mais grossa, que por drenarem a água com maior facilidade, tornam o ambiente desfavorável à presença de organismos (LEVINTON, 1995; PEREIRA; SOARES-GOMES, 2009).

Entre os organismos das praias arenosas destaca-se a macrofauna bêntica que é extremamente rica e diversificada, sendo representada por vários grupos de invertebrados que são retidos em peneiras com diâmetro de malha 0,5 mm, entre eles estão poliquetas, moluscos crustáceos, equinodermos, nematódeos, sipunculídeos (LANA, 2002; VIANA et al., 2005). Comumente esses grupos alternam sua dominância de acordo com as condições físicas sofridas pelo ambiente (NEVES; VALENTIM, 2011). Em regiões costeiras a macrofauna bêntica normalmente é representada por moluscos, poliquetas e crustáceos que são altamente adaptáveis às condições adversas predominantes na faixa entremarés (OLIVEIRA; MOCHEL; 1999; CUTRIM, 2017; FERREIRA et al., 2020).

Os poliquetas tendem a dominar em regiões protegidas de baixa energia e compostas por sedimentos mais finos, enquanto os crustáceos dominam em ambientes de alta energia e sedimentos mais grosseiros e os moluscos, em ambientes intermediários (DEXTER, 1983; AMARAL et al., 1990; PAIVA et al., 2005; PLAGIOSA, 2006). Ecologicamente esses organismos desempenham um papel fundamental na estrutura e funcionamento dos ecossistemas, uma vez que participam de diversos processos, tais como estruturação e aeração do substrato, decomposição da matéria orgânica, reciclagem de nutrientes e transferência de energia para níveis superiores (AMARAL; NONATO, 1996; PAIVA, 2006; ROSA; BEMVENUTI, 2006). Além disso, é amplamente conhecida a utilização de organismos da macrofauna bêntica como bioindicador de perturbações ambientais devido à associação com o substrato (AMARAL et al., 1998; BIASI et al., 2010). Dentre os integrantes da macrofauna bêntica, destaca-se a classe poliqueta, que tem sido reconhecida como boa bioindicadora ambiental (AMARAL et al., 1998; SAIZ-SALINA; GONZÁLEZ-OREJA, 2000; SURUGIU, 2005).

A preferência dos organismos em regiões entremarés a fator(es) específico(s) é conhecido como zonação, refletindo assim, a restrição de cada espécie a uma seção específica de um gradiente ambiental físico ou biológico (RAFFAELI et al. 1991; NEVES; BEVENUTI, 2009). O conhecimento da estrutura e zonação da macrofauna bêntica em praias são fundamentais para compreender o funcionamento desses ecossistemas, visto que a distribuição desses organismos depende da exigência e tolerância tanto a fatores que atuam como seletivos de organismos aptos a ocuparem em zonas específicas no ambiente (ELLIOT, 1994; NEVES, et al., 2007). Entre os fatores físicos destacam-se: salinidade, temperatura, frações de sedimento, as marés, hidrodinamismo. Além dos fatores biológicos que são importantes como, predação, recrutamento, competição e disponibilidade de alimento (NEVES; BEMVENUTI, 2006; ECHEVERRÍA; PAIVA, 2007).

A zonação na região entremarés em praias arenosas não é bem evidente já que a maioria dos organismos bênticos estão enterrados no sedimento (GIANUCO, 1987; NEVES et al., 2012). Enquanto, em substratos rochosos é bem conhecida, pois a fauna bêntica ocorre paralela a linha da costa sendo facilmente observada (GINUCA, 1987; MORENO; DA ROCHA, 2012). Em zonas entremarés em praias a macrofauna bêntica pode ser caracterizada como uma comunidade com baixa diversidade, reduzida riqueza e elevada dominância numérica quando comparadas a regiões submersas (AMARAL et al.; 1998; ROSA-FILHO, 2006).

Estudos que analisam a distribuição da macrofauna bêntica são comuns em regiões temperadas e menos frequentes em regiões tropicais (VELOSO et al., 2003; FUJII, 2007; SIRVANAS et al., 2013). No Brasil os primeiros estudos foram realizados nas regiões subtropicais do Sul e Sudeste devido à proximidade de grupos de pesquisas historicamente consolidados (GIANUCA, 1985; NETTO; LANA, 1995; VELOSO; CARDOSO, 2009; NEVES et al., 2012). Atualmente, estudos sobre a distribuição da macrofauna bêntica em regiões tropicais no Brasil vem sendo realizados principalmente em áreas estuarinas e de praias (OLIVEIRA; MOCHEL, 1999; ROCHA-BARREIRA et al., 2001; VIANA et al., 2005; ROSA-FILHO, 2006; CUTRIM, 2017; FERREIRA et al., 2020).

O litoral maranhense é um dos maiores do Brasil com aproximadamente 640 km de costa e apesar do tamanho há pouco conhecimento sobre a macrofauna bêntica, sendo destacado alguns estudos no Golfão Maranhense que trabalharam com grupos da macrofauna (OLIVEIRA E MOCHEL, 1999; COELHO-COSTA, 2007; FERES et al., 2008; RODRIGUES et al., 2016; SOUSA, 2018; TAVARES CUTRIM et al., 2018; FERREIRA et al., 2020).

Entre as baías do litoral maranhense, destaca-se a baía de São José, localizada na Costa Amazônica Maranhense sendo formada por extensos manguezais e praias arenosas, onde são registradas marés com até 7,5 m de amplitude (TEIXEIRA; SOUSA-FILHO, 2009; GAMA et al., 2011). Adicionalmente, está localizada numa das regiões com menos estudos científicos da macrofauna bêntica associada a dinâmica ambiental (LANA et al., 2017). Praias hipoteticamente abrigam diferentes comunidades da macrofauna bêntica, visto que apresentam características distintas para a instalação desses organismos. Desta forma, no presente estudo foi testada a hipótese de que a zonation dos organismos da macrofauna bêntica não ocorre aleatoriamente entre as zonas, mas estruturada pelas mudanças das diferentes variáveis ambientais.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Descrever a zonação da macrofauna benthica sobre influência das macromarés da costa amazônica maranhense, Brasil.

2.2 Objetivos específicos

- Relacionar as assembleias da macrofauna benthica com os descritores numéricos de densidade e índices ecológicos entre as zonas em dois transectos na praia de Juçatuba.
- Comparar a distribuição espaço-temporal da macrofauna benthica entre os transectos de amostragem.
- Verificar a relação entre a composição da macrofauna e as variáveis ambientais dos transectos estudados.

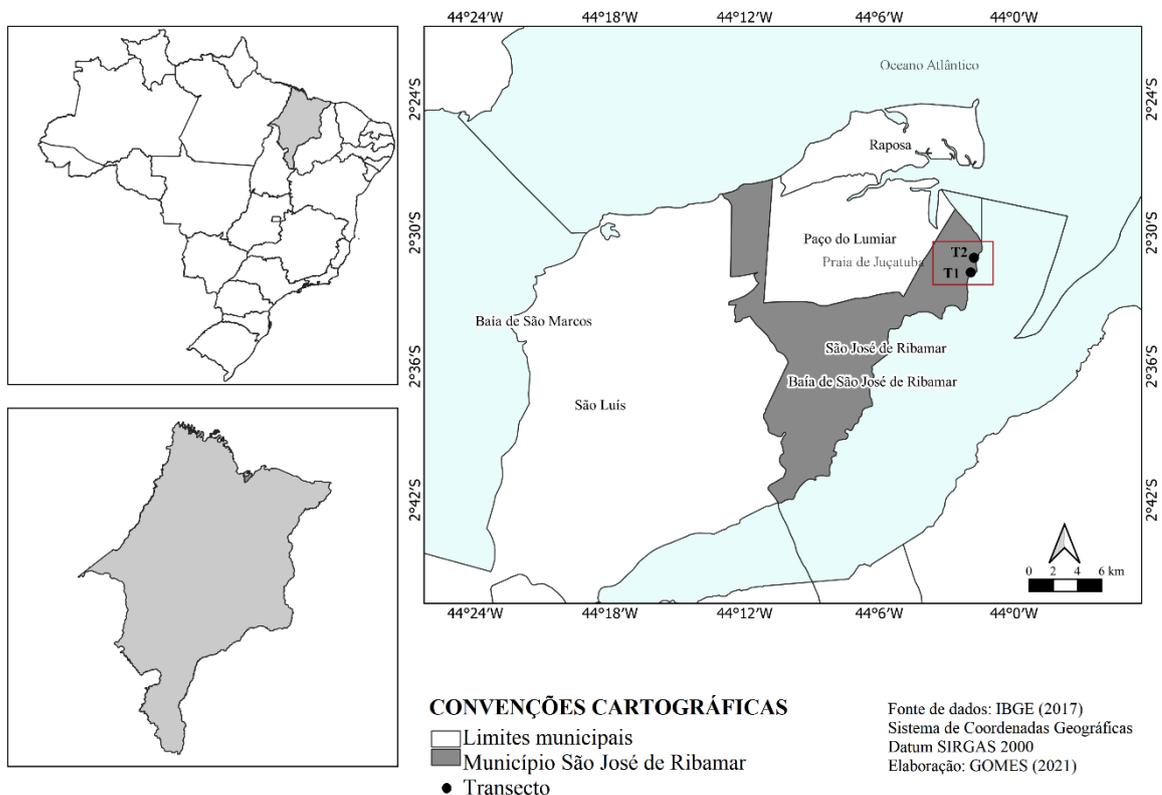
3 METODOLOGIA

3.1 Area de estudo

O município de São José de Ribamar com extensão de 388 km², está localizado ao sudeste da capital São Luís, Maranhão, sendo limitado ao norte pelo Oceano Atlântico e ao oeste pela baía de São Marcos (Figura 1) tem grande importância econômica na pesca e turismo por estar inserido na baía de São José com águas tipicamente estuarinas e resultantes das misturas de água doce provenientes dos rios Itapecuru/Munim e Geniparana (SOUSA, 2009).

O regime de marés na região é do tipo macromarés semidiurnas, onde a amplitude chega a 7,5 no Golfão Maranhense (STRIDE, 1992), ambiente predominado por manguezais e praias estuarinas com clima úmido classificado em tropical equatorial, precipitação média anual de 1.788 mm e temperatura média anual a 26°C com duas estações bem definidas: chuvosa que compreende de janeiro a junho, e a seca presente em agosto a dezembro (INMET, 2016).

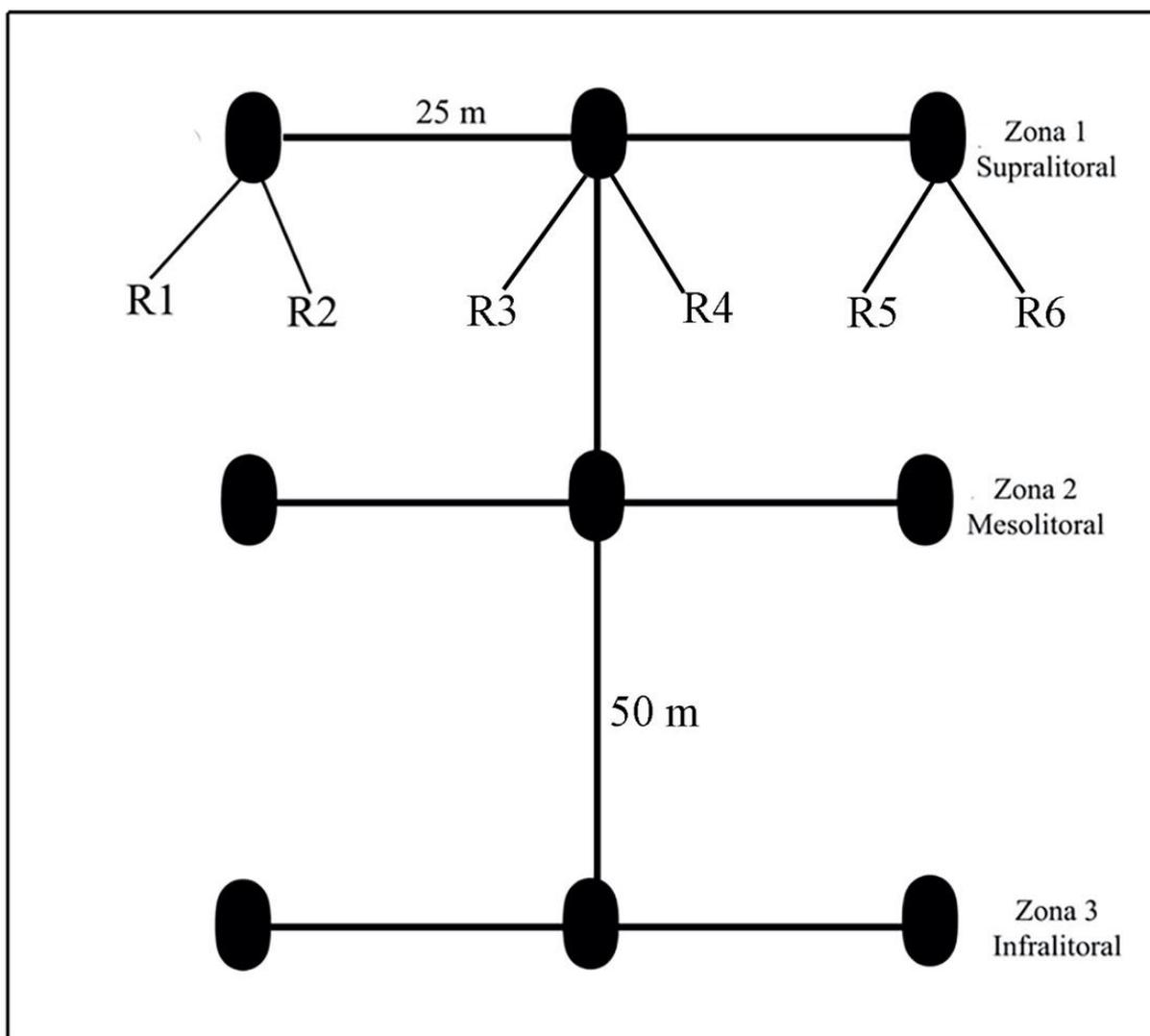
Figura 1. Mapa de localização do município São José de Ribamar e a praia de Juçatuba com transectos de amostragem, Maranhão, Brasil.



3.2 Procedimento de campo

Cinco coletas bimestrais foram realizadas durante a maré baixa em dois transectos distantes entre si na praia de Juçatuba, $2^{\circ}36'39,52''$ S, $44^{\circ}06'24,86''$ W, localizada em São José de Ribamar (Figura 1), sendo três na estação seca (agosto, outubro e dezembro de 2019) e duas na estação chuvosa (fevereiro e julho de 2020) não foi possível realizar coleta em abril. A partir da delimitação do transecto 1 (T1) e transecto 2 (T2), ambos com 100 metros de comprimento perpendicular à linha d'água, foram determinadas três zonas equidistantes em 50 metros entre si que correspondem ao supra, meso e infralitoral, sendo retiradas no total seis réplicas em cada zona no intervalo de 25 metros para esquerda, centro e direita (Figura 2) com 18 réplicas por transecto e totalizando em 180 amostras.

Figura 2. Desenho amostral das coletas da macrofauna bêntica na praia de Juçatuba, Maranhão. Legenda: R, réplica.



As amostras de sedimentos com material biológico foram coletadas com um corer (testemunho) com 10 cm de diâmetro e 20 cm de profundidade, visto que a maior abundância dos macroinvertebrados é encontrada entre 15-20 cm de profundidade dentro do sedimento (BALLY, 1983). Adicionalmente, alguns parâmetros físico-químicos, como temperatura (°C), salinidade e oxigênio dissolvido (mg/L^{-1}) foram mensurados com a sonda multiparamétrica HI98194 HANNA. Amostras adicionais de sedimento foram coletadas para a análise granulométrica e matéria orgânica acondicionadas em sacos de polietileno previamente identificados e transportadas ao laboratório de Zoologia, Universidade Estadual do Maranhão, para posterior processamento.

3.3 Procedimento de laboratório

Em laboratório, após duas horas, as amostras de sedimento foram imediatamente congeladas para análise granulométrica e matéria orgânica, as amostras de sedimentos com material biológico foram fixadas com formaldeído 4% durante o período de 48 horas, após esse tempo foram lavadas em peneira granulométrica com abertura de malha 0,5 mm de diâmetro e o material retido na peneira foi conservado em álcool 70%. As amostras foram triadas e as identificações dos organismos foram feitas ao menor nível taxonômico usando chaves de identificação (AMARAL; NONATO, 1996) com auxílio de estereomicroscópio Zeiss Stemi DV4 e microscópio óptico Zeiss Primo Star.

A análise granulométrica foi realizada seguindo o método por Suguio (1973). As frações de sedimento foram quantificadas usando o método de pipetagem com base na lei de Stokes. Para a matéria orgânica foi usando o método colorimétrico para determinar a quantidade de íons Cr (III) medindo a intensidade da cor esverdeada produzida por esses íons na solução (CANTARELLA et al., 2001).

3.4 Análise de Dados

Média e desvio padrão foram calculados para as variáveis físico-químicas, índices de Margalef, Shannon, Equitabilidade de Pielou, densidade e número de espécies através do software Microsoft Excel (2016). A ANOVA tri-fatorial foi usada para testar se as médias da densidade total, número de espécies e os índices ecológicos se diferem entre os meses, zonas, transectos e a interação entre esses fatores. No caso de diferenças significativas ($p < 0,05$) para

densidade total foi feito comparações entre os pares (níveis) do(s) fator(es) usando o teste de Tukey para verificar a homogeneidade entre eles (ZAR, 2010). Essas análises foram realizadas usando o software STATISTICA V.7.0. Para testar diferenças entre assembleias da macrofauna bêntica considerando os fatores meses, zonas e transectos foi usado a análise de variância multivariada permutacional (PERMANOVA). Essa análise permite testar a hipótese nula de que não há diferenças de assembleias entre os fatores (ANDERSON et al., 2008). A análise foi baseada em matriz de Bray-Cutis de similaridade depois que os dados de densidade total foram transformados por $\log(x+1)$. Em caso de diferenças significativas, comparações de pares (níveis) entre o(s) fator(es) significativos foram testados. A análise de porcentagem de similaridade (SIMPER) foi realizada para quantificar as contribuições das espécies para diferenças entre os meses em cada estações. Essas análises foram realizadas usando o software PRIMER V.6 + PERMANOVA.

Para testar a influência das variáveis ambientais na distribuição da macrofauna bêntica foi realizada a análise de ordenação de gradiente direto. Foram incluídas oito variáveis explicativas entre parâmetros físico-químicos e do sedimento. Para facilitar a visualização do modelo foram incluídas apenas 13 espécies que mais ocorreram nos cinco meses. Para testar o comprimento do gradiente foi realizado uma análise de ordenação restrita. Como o maior comprimento do gradiente foi (2,8). Ele pode ser considerado curto, sugerindo o uso de métodos lineares como a análise de redundância (RDA; LEPSS; SMILAUER, 2003). As variáveis ambientais explicativas usadas foram: as proporções de diferentes frações do sedimento, matéria orgânica, temperatura da água, oxigênio dissolvido e salinidade, bem como foi usado a randomização de Monte Carlo testando a significância dos eixos canônicos. Essa análise foi realizada usando o software CANOCO V.4.5.

4 RESULTADOS

Os resultados desta dissertação serão apresentados em único capítulo construído em forma de artigo.

4.1 COMPOSIÇÃO E ZONAÇÃO DA MACROFAUNA BÊNITICA EM UMA PRAIA TROPICAL ESTUARINA COM REGIME DE MACROMARÉS NA COSTA AMAZÔNICA MARANHENSE, BRASIL¹

Ione de Oliveira Gomes^{1*}, Miodeli Nogueira Júnior², Verônica Maria de Oliveira¹

¹Programa de Pós-Graduação em Recursos Aquáticos e Pesca, Universidade Estadual do Maranhão, Cidade Universitária Paulo VI; ²Departamento de Sistemática e Ecologia, Universidade Federal da Paraíba, Cidade Universitária João Pessoa.

Autor correspondente: *ionedeoliveiragomes@gmail.com

Resumo

Em ambientes estuarinos a zonação dos organismos bênticos em substratos não consolidados é influenciada por fatores físicos, biológicos e antrópicos. Neste estudo foi analisada a composição e zonação da macrofauna bêntica da região entremarés em uma praia tropical estuarina (Maranhão – Brasil). As amostras biológicas e ambientais foram coletadas bimestralmente que compreenderam os meses agosto, outubro, dezembro/2019 (estação seca), fevereiro e julho/2020 (estação chuvosa) em dois locais na região de estudo. Em ambos os locais foi delimitado um transecto de 100 m perpendicular a linha d'água durante a maré baixa, com três zonas distantes entre si em 50 m. As amostragens de seis réplicas em cada zona foram realizadas com um corer de 10 cm diâmetros, totalizando 180 amostras. Variáveis ambientais foram mensuradas para relacionar com os fatores biológicos. Os organismos foram distribuídos em 38 taxa, os poliquetas, oligoquetas e crustáceos juntos contribuíram com 88,7% da abundância total. O grupo dos poliquetas foi o que apresentou maior riqueza com 22 espécies, enquanto o crustáceo tanaidáceo *Monokallipseudes schubarti*, Oligochaeta e as espécies de poliquetas *Heteromastus* sp., *Laonereis* sp., *Sigambra grubei* e *Capitella aracaensis* foram mais abundantes. A zonação da macrofauna bêntica apresentou distribuição espacial, indicando heterogeneidade entre as três zonas com maiores densidade registradas nas zonas infra e mesolitoral por serem mais favoráveis para os organismos. A estação seca apresentou o aumento da abundância, densidade e diversidade de espécies da macrofauna bêntica. As distribuições das espécies *M. schubarti*, *Heteromastus* sp. Oligochaeta, *Laonereis* sp., *S. grubei* foram influenciadas pelos fatores frações de sedimento, salinidade e matéria orgânica, respectivamente.

¹ A ser submetido no Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, qualis B1 em Biodiversidade.

Palavras-chave: ecologia; estuário; macroinvertebrados; substrato não consolidado.

INTRODUÇÃO

A macrofauna bêntica consiste em organismos retidos em tamanho de malha 0,5 mm que habita principalmente em sedimentos não consolidados. Este grupo é extremamente rico e diversificado, sendo constituído por poliquetas, oligoquetas, crustáceos, equinodermos, nematóides e sipunculídeos (LANA, 2002; VIANA et al., 2005). Comumente eles têm grande importância ecológica na estrutura e funcionamento dos ecossistemas aquáticos, servindo na decomposição da matéria orgânica, reciclagem de nutrientes e na transferência de energia para níveis superiores (ROSA; BEMVENUTI, 2006) sendo também bons indicadores biológicos (SURUGIU, 2005; BIASI et al., 2010).

A forma como a macrofauna bêntica é organizada não é homogênea, como é perceptível pela distribuição dos organismos que é resultado da junção de fatores bióticos, abióticos e antrópicos cuja relevância varia entre os locais. Para cada ambiente as espécies criam mecanismos que permitem a elas viverem de acordo com as condições oferecidas pelo habitat. Diante disso, as espécies se distribuem em zonas bem distintas, essa distribuição, ecologicamente se chama de zonação (ELLIOT, 1994; NEVES et al., 2007). Fatores abióticos como, salinidade, temperatura, frações de sedimento, marés e o hidrodinamismo podem influenciar na distribuição, composição de espécies e densidade da macrofauna bêntica. Comumente, fatores bióticos como, qualidade e disponibilidade de alimento, predação, recrutamento e competição também são importantes (NEVES; BEMVENUTI, 2006; ECHEVERRÍA; PAIVA, 2007).

Em geral, em ambientes estuarinos, salinidade e granulometria têm acentuados gradientes temporais e normalmente são os fatores mais relevantes que impulsionam na distribuição espaço-temporal da macrofauna bêntica (ROSA; BEMVENUTI, 2006; FERREIRA et al., 2020). Para ecossistemas tropicais, particularmente isso pode ser verdade, visto que comumente não sofrem forte sazonalidade e possuem duas estações bem distintas determinadas pelo regime de chuva (ALVARES et al., 2014).

Análises da distribuição da macrofauna bêntica são comuns em regiões temperadas e menos frequentes em regiões tropicais (VELOSO et al., 2003; FUJII, 2007; SIRVANAS et al., 2013). No Brasil os primeiros estudos foram realizados nas regiões subtropicais do Sul e Sudeste devido à proximidade de grupos de pesquisas historicamente consolidados

(GIANUCA, 1985; VELOSO; CARDOSO, 2009). Enquanto, os estudos são relativamente escassos, principalmente na costa tropical norte brasileira sobre a macrofauna bêntica em sedimentos não consolidados devido à falta de informação de especialistas (OLIVEIRA; MOCHEL, 1999; ROSA-FILHO, 2006; FERREIRA et al., 2020).

A baía de São José, localizada na costa amazônica maranhense, é um bom modelo de estudo de ambientes tropicais, formada com alta diversidade de habitat e espécies, incluindo a presença de manguezais e praias com ocorrência de marés com até 7,5 de amplitude (TEIXEIRA; SOUSA-FILHO, 2009; GAMA et al., 2011). Adicionalmente, está localizada numa das regiões com menos estudos científicos da macrofauna bêntica associada a dinâmica ambiental (LANA et al., 2017). Assim, o presente estudo teve como objetivo analisar a composição e zonação da macrofauna bêntica e identificar como as variáveis ambientais determinam o padrão de zonação desses organismos em uma praia tropical estuarina. Além disso, foi testada a hipótese de que a zonação dos organismos da macrofauna bêntica não ocorre aleatoriamente entre as zonas, mas estruturada pelas mudanças das diferentes variáveis ambientais.

MATÉRIAS E MÉTODOS

Área de estudo

O presente estudo foi realizado na praia estuarina de Juçatuba (2°36'39,52" S, 44°06'24,86" W) localizada no litoral de São José de Ribamar, Maranhão, área de grande importância econômica para a pesca e turismo por estar inserido na baía de São José com águas tipicamente estuarinas e resultantes das misturas de água doce provenientes dos rios Itapecuru/Munim e Geniparana no Maranhão, no nordeste do Brasil (SOUSA, 2009; Fig. 1). Este ambiente apresenta duas estações bem definidas: chuvosa que compreende de janeiro a junho, e a seca presente em agosto a dezembro com o regime de macromarés semidiurnas e amplitude de maré que chega a 7,5 metros (INMET, 2016; GAMA et al., 2001; FERREIRA et al, 2020).

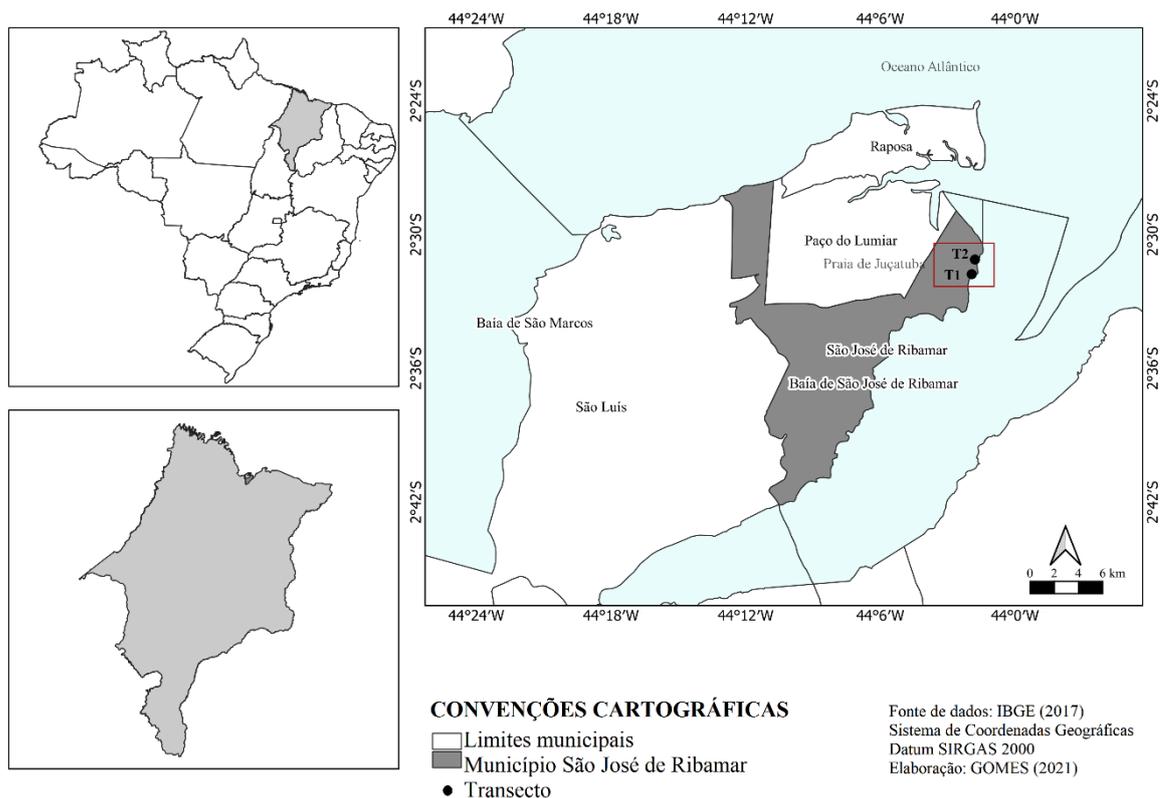


Fig. 1. Mapa de localização do município São José de Ribamar e a praia de Juçatuba com transectos de amostragem, Maranhão, Brasil.

Procedimento de campo

Cinco coletas bimestrais foram realizadas durante a maré baixa em dois transectos distante entre si (Fig. 1), sendo três realizadas na estação seca em agosto, outubro e dezembro de 2019 e duas na estação chuvosa em fevereiro e julho de 2020, não foi possível realizar coleta em abril. A partir da delimitação do transecto 1 (T1), próximo a passagem do rio Geniparana e transecto 2 (T2), diretamente ligado ao mar, ambos com 100 metros de comprimento perpendicular à linha d'água foram determinadas três zonas equidistantes em 50 metros entre si que correspondem ao supra, meso e infralitoral, sendo retiradas no total seis réplicas em cada zona no intervalo de 25 metros para esquerda, centro e direita com 18 réplicas por transecto e totalizando em 180. As amostras de sedimentos com macrofauna bêntica foram coletadas com corer (testemunho) com 10 cm de diâmetro e 20 cm de profundidade, visto que a maior abundância dos macroinvertebrados é encontrada entre 15–20 cm de profundidade dentro do sedimento (BALLY, 1983). Adicionalmente, alguns parâmetros físico-químicos, como temperatura ($^{\circ}\text{C}$), salinidade e oxigênio dissolvido (mg/L^{-1}) foram mensurados com a sonda multiparamétrica HI98194 HANNA. Amostras adicionais de sedimento foram coletadas para a

análise granulométrica e matéria orgânica (MO) e acondicionadas em sacos de polietileno previamente identificados e transportadas ao laboratório para posterior processamento.

Procedimento de laboratório

Em laboratório, após duas horas, as amostras de sedimento foram imediatamente congeladas para análise granulométrica e MO, as amostras de sedimentos com material biológico foram fixadas com formaldeído 4% durante o período de 48 horas, após esse tempo foram lavadas em peneira granulométrica com abertura de malha 0,5 mm de diâmetro e o material retido na peneira foi conservado em álcool 70%. As amostras foram triadas e as identificações dos organismos foram feitas usando chaves de identificação (AMARAL; NONATO, 1996) com auxílio de estereomicroscópio Zeiss Stemi DV4 e microscópio óptico Zeiss Primo Star ao menor nível taxonômico. A análise granulométrica foi realizada seguindo o método por Suguio (1973). As frações de sedimento foram quantificadas usando o método de pipetagem com base na lei de Stokes. Para a MO foi usando o método colorimétrico para determinar a quantidade de íons Cr (III) medindo a intensidade da cor esverdeada produzida por esses íons na solução (CANTARELLA et al., 2001).

Análise de Dados

Média e desvio padrão foram calculados para as variáveis físico-químicas, índices de Margalef, Shannon, Equitabilidade de Pielou, densidade e número de espécies através do software Microsoft Excel (2016). A ANOVA tri-fatorial foi usada para testar se as médias da densidade total, número de espécies e os índices ecológicos se diferem entre os meses, zonas, transectos e a interação entre esses fatores. No caso de diferenças significativas ($p < 0,05$) para densidade total foi feito comparações entre os pares (níveis) do(s) fator(es) usando o teste de Tukey para verificar a homogeneidade entre eles (ZAR, 2010). Essas análises foram realizadas usando o software STATISTICA V.7.0. Para testar diferenças entre assembleias da macrofauna bêntica considerando os fatores meses, zonas e transectos foi usado a análise de variância multivariada permutacional (PERMANOVA). Essa análise permite testar a hipótese nula de que não há diferenças de assembleias entre os fatores (ANDERSON et al., 2008). A análise foi baseada em matriz de Bray-Cutis de similaridade depois que os dados de densidade total foram transformados por $\log(x+1)$. Em caso de diferenças significativas, comparações de pares

(níveis) entre o(s) fator(es) significativos foram testados. A análise de porcentagem de similaridade (SIMPER) foi realizada para quantificar as contribuições das espécies para diferenças entre os meses em cada estações. Essas análises foram realizadas usando o software PRIMER V.6 + PERMANOVA.

Para testar a influência das variáveis ambientais na distribuição da macrofauna bêntica foi realizada a análise de ordenação de gradiente direto. Foram incluídas oito variáveis explicativas entre parâmetros físico-químicos e do sedimento. Para facilitar a visualização do modelo foram incluídas apenas 13 espécies que mais ocorreram nos cinco meses. Para testar o comprimento do gradiente foi realizado uma análise de ordenação restrita. Como o maior comprimento do gradiente foi (2,8). Ele pode ser considerado curto, sugerindo o uso de métodos lineares como a análise de redundância (RDA; LEPSS; SMILAUER, 2003). As variáveis ambientais explicativas usadas foram: as proporções de diferentes frações do sedimento, matéria orgânica, temperatura da água, oxigênio dissolvido e salinidade, bem como foi usado a randomização de Monte Carlo testando a significância dos eixos canônicos. Essa análise foi realizada usando o software CANOCO V.4.5.

RESULTADOS

Variáveis ambientais

No transecto T1, a média da temperatura da água variou de 28 a 34°C, enquanto no T2 de 29 a 36°C, com pouca variação nas diferentes estações e zonas em ambos transectos (Fig. 2A–B). A salinidade em geral foi menor no T1 variando de 10,4 a 34,6 (Fig. 2C), enquanto no T2 variou de 14 a 38 sendo observado uma diminuição na estação chuvosa, período que o infralitoral teve maior valor (Fig. 2D). Na estação seca a salinidade foi aproximadamente similar nas 3 zonas para ambos transectos. O oxigênio dissolvido em ambos os transectos variou de 2 a 8 mg/L, com valores sempre <3 mg/L na estação chuvosa, principalmente em julho. O meso e infralitoral tiveram valores levemente superior em ambos transectos (Fig. 2E–F).

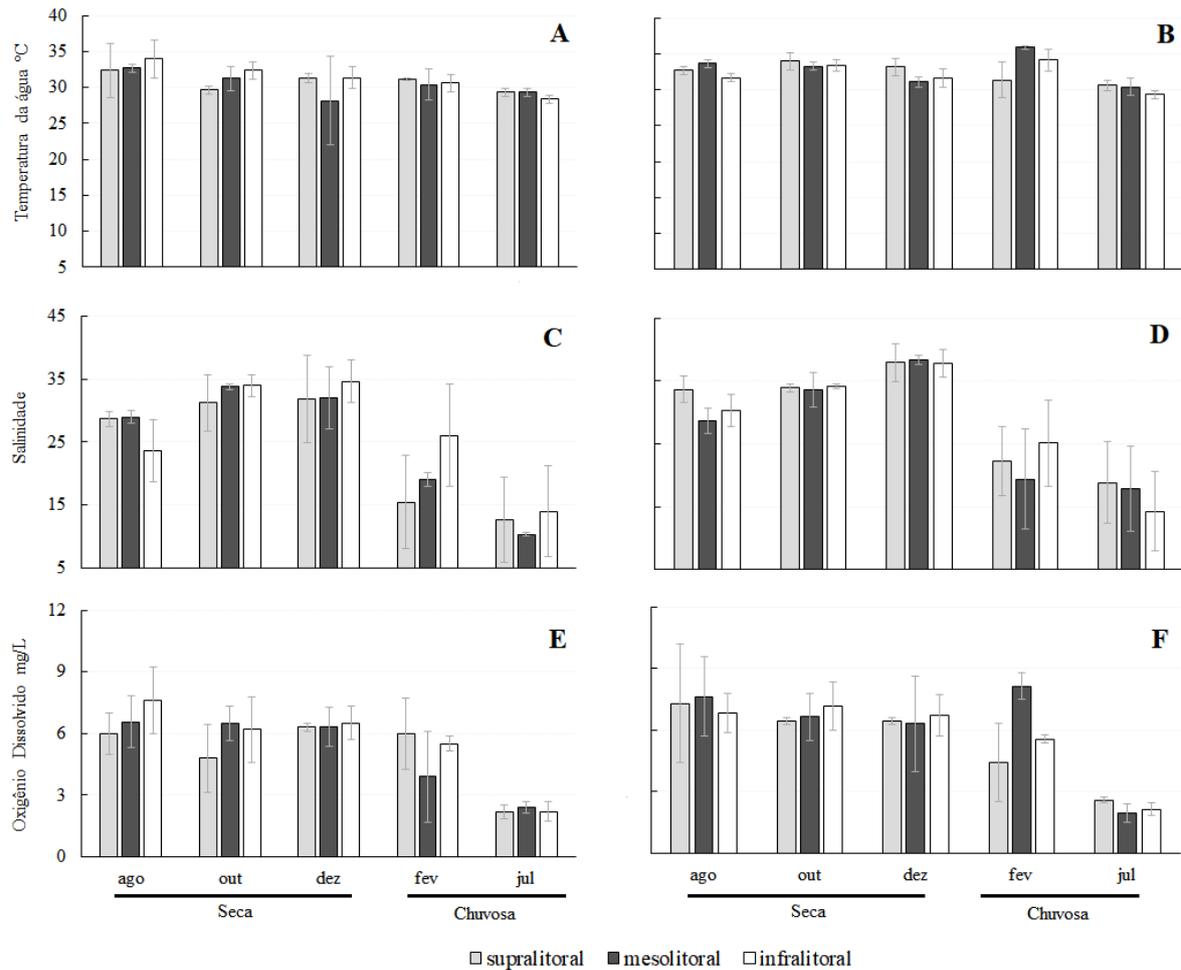


Fig. 2. Média e desvio padrão das variações sazonais e espaciais de (A–B) temperatura, (C–D) salinidade, (E–F) oxigênio dissolvido para T1 e T2 (esquerda e direita).

A MO no T1 não ultrapassou 5%, enquanto foi observado um aumento no percentual de resíduos orgânicos no T2 (Fig. 3A–B). A contribuição de MO foi consideravelmente menor na estação chuvosa, principalmente em julho no T1 e maior na estação seca que foi aproximadamente similar entre os meses, período em que o supralitoral variou de 1,6 a 4,2% (Fig. 3A), enquanto no T2 para ambas as estações a contribuição foi aproximadamente similar e maiores percentuais foram observados no mesolitoral que variou de 2,8 a 6%, embora foi observado elevado percentual de 6,5% registrado no infralitoral em julho (Fig. 3B).

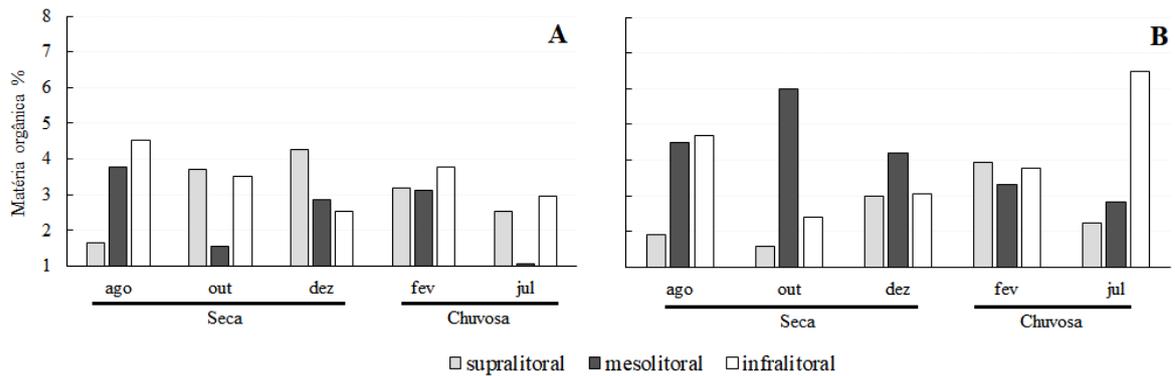


Fig. 3. Variações sazonais e espaciais da matéria orgânica do sedimento para o T1(A) e T2 (B).

As amostras de sedimentos tiveram um padrão geral constituído por areia e silte, sendo observado predominância de areia classificada como areia média, fina e muito fina em ambos transectos (Fig. 4). A areia média predominou em toda estação seca e em fevereiro para o T1 (Fig. 4A). O supra e mesolitoral em ambas as estações foram aproximadamente similares para o T1, enquanto no T2 a areia média foi predominante no supralitoral, principalmente em dezembro (Fig. 4A–B). Areia fina não teve predominância no T1, enquanto foi consideravelmente dominante nas duas estações no supralitoral para o T2 (Fig. 4C–D). A areia muito fina esteve presente em ambos transectos e estações. No T1 teve predominância nas duas estações, principalmente em dezembro e julho no supra e infralitoral (Fig. 4E), enquanto foi observado predominância na estação seca, principalmente no infralitoral para o T2 (Fig. 4F). O silte grosso predominou na estação seca e chuvosa, respectivamente para o T1 e T2. Em ambos transectos o infralitoral teve maior percentual, principalmente no mês de julho para o T2 (Fig. 4G–H).

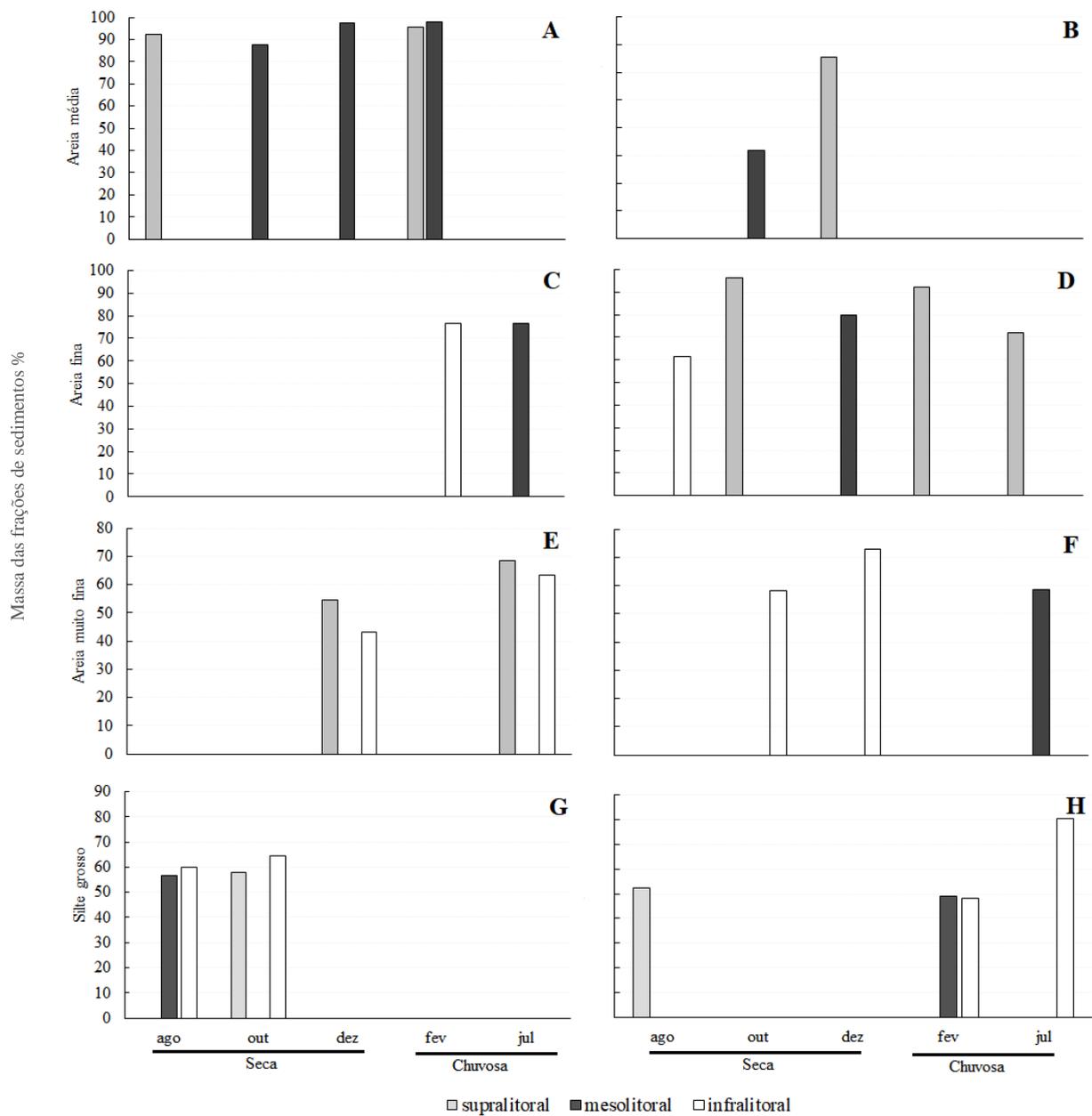


Fig. 4. Contribuições sazonais e espaciais de massa das principais frações de sedimentos (A–B) areia média, (C–D) areia fina, (E–F) areia muito fina, (G–H) silte grosso para T1 e T2 (esquerda e direita).

Zonação da macrofauna bêntica

Foram encontrados 20.331 indivíduos distribuídos em 38 táxons dos quais 21 ocorreram em ambas as áreas e 7 e 10 spp. foram encontradas exclusivamente no T1 e T2 respectivamente (Tabela 1).

Tabela 1. Táxons amostrados da macrofauna bêntica da Praia de Juçatuba, São José de Ribamar, Maranhão, entre agosto de 2019 a julho de 2020 e sua abundância relativa % para T1 e T2 e total.

Táxons	T1	T2	Total
Filo Annelida			
Classe Oligochaeta	6,0	30	18
Classe Polychaeta			
<i>Alitta succinea</i> (Leuchart, 1847)	1,6	4,8	3,2
<i>Armandia hossfeldi</i> Hartmann-Schröder, 1956	0,3	0,3	0,3
<i>Capitella aracaensis</i> Silva et al., 2017	4,0	10	7,1
<i>Capitella</i> sp.	0,0	0,1	0,0
<i>Dispio remanei</i> Friedrich, 1956	0,1	0,0	0,0
<i>Glycinde multidentis</i> Müller in Grube, 1858	0,0	0,2	0,1
<i>Hemipodia californiensis</i> (Hatman, 1968)	0,3	0,0	0,1
<i>Heteromastus</i> sp.	9,2	19	14
<i>Hypereteone</i> sp.	0,0	0,1	0,0
<i>Isolda pulchella</i> Müller in Grube, 1858	0,3	0,5	0,4
<i>Laeonereis</i> sp.	10	8,3	9,5
<i>Magelona papillicornis</i> Müller, 1858	0,3	0,2	0,3
<i>Nephtys fluviatilus</i> Monro, 1937	1,3	0,0	0,6
<i>Nephtys simoni</i> Perkins, 1980	0,0	0,5	0,2
<i>Nephtys</i> sp.	0,1	0,0	0,0
<i>Notomastus</i> sp.	0,1	0,0	0,0
<i>Paranaitis chitinoso</i> Oliveira et al., 2018	0,1	0,0	0,0
<i>Phyllococe tupana</i> Oliveira et al., 2021	0,6	0,6	0,6
<i>Scoletoma tetraura</i> Schmarda, 1861	0,0	0,2	0,1
<i>Sigambra grubei</i> (Müller, 1858)	11	6,7	8,9
<i>Streblospio benedicti</i> Webster, 1879	0,4	0,8	0,6
<i>Streblospio shrubsoyii</i> (Buchanan, 1858)	0,3	0,2	0,3
Filo Arthropoda			
Subfilo Crustacea			
<i>Excirrolana braziliensis</i> Richardson, 1912	0,1	0,0	0,0
<i>Leptura thayeri</i> (Rathbun, 1900)	0,5	0,1	0,3
<i>Monocorophium acherusicum</i> (Costa, 1853)	0,0	0,2	0,1
<i>Monokalliapseudes schubarti</i> (Mañé-Garzón, 1949)	42	4,7	24
Isopoda	0,1	0,0	0,0
Subfilo Hexapoda			
Chironomidae (larva)	1,2	3,4	2,3
Filo Cnidaria	0,3	0,2	0,3
Filo Mollusca			
Classe Bivalvia			
<i>Ameritella diantha</i> (Boss, 1964)	0,1	0,3	0,2
<i>Macoma uruguayensis</i> (EA Smith, 1885)	0,5	0,0	0,2
<i>Mytella strigata</i> (Hanley, 1843)	0,0	0,1	0,0
<i>Phacoides pectinatus</i> (Gmelin, 1791)	0,2	0,0	0,1
<i>Tagelus plebeius</i> (Lightfoot, 1786)	0,1	0,1	0,1
Filo Nematoda	0,6	0,6	0,6
Filo Nemertea	4,4	3,8	4,1
Filo Sipuncula	1,9	1,9	1,9

A ANOVA tri-fatorial indicou que a diferença entre os transectos não foi significativa ($p < 0,05$; Tabela 2). O maior número de táxons foi encontrado na estação seca em ambos transectos (Fig. 5A–B), demonstrando que houve diferença significativa entre os meses e a interação entre meses e transectos (Tabela 2). Em ambos os transectos o mesolitoral se destacou

com maior número de táxons na estação seca e menos na chuvosa, exceto em julho para o T2 (Fig. 5A–B). O supralitoral teve menor número de táxons entre as estações como observado para o T2 (Fig.5B) demonstrando diferença significativa entre as zonas (Tabela 2).

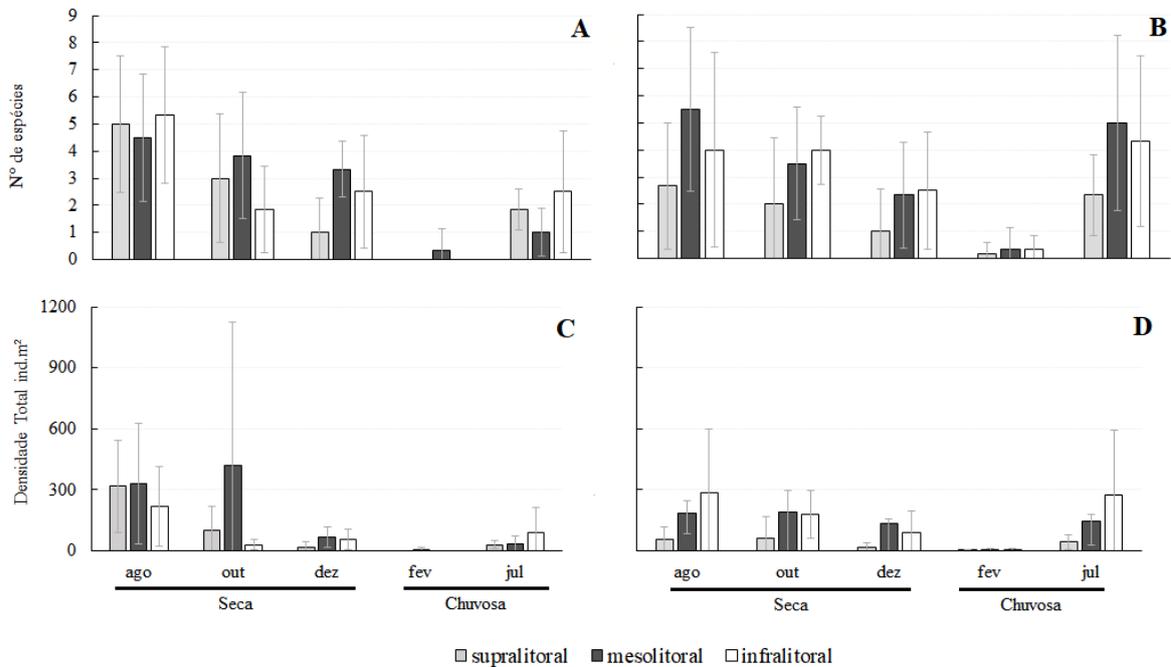


Fig. 5. Média e desvio padrão das variações sazonais e espaciais de (A–B) número de espécies, (C–D) densidade total das espécies para T1 e T2 (esquerda e direita).

Em geral as densidades foram maiores no T1 quando comparadas com o T2 (Fig. 5C–D). Entretanto, não foi observada diferença significativa entre os transectos ($p < 0,05$; Tabela 2). Maior densidade foi observada na estação seca para ambos os transectos (Fig. 5C–D) apresentando diferença significativa entre os meses (Tabela 2). O mesolitoral teve maior densidade na estação seca e menor na chuvosa para o T1 (Fig. 5C), enquanto no T2 foi observado maior densidade para o infralitoral e menor no supralitoral para ambas as estações (Fig. 5D), demonstrando diferença significativa entre as zonas, por outro lado não houve diferença entre as interações dos três fatores (Tabela 2).

Tabela 2. Resumo do teste de ANOVA tri-fatorial para diferenças na densidade total, número de espécies e índices ecológicos da macrofauna bêntica, considerando meses, transectos e zonas como fatores e sua interação. As diferenças são significativas se $p < 0,05$ (em negrito).

Variável	Fator	F	p
Densidade total	Intercept	66,6	0,00
	Meses	8,0	0,00
	Transectos	0,0	0,91
	Zonas	3,3	0,03
	Meses x transectos	1,7	0,14
	Meses x zonas	1,2	0,27
	Transectos x zonas	2,7	0,06
	Meses x transectos x zonas	0,9	0,51
N° de spp.	Intercept	289	0,00
	Meses	22,0	0,00
	Transectos	0,8	0,37
	Zonas	4,7	0,01
	Meses x transectos	2,8	0,02
	Meses x zonas	0,4	0,90
	Transectos x zonas	1,8	0,16
	Meses x transectos x zonas	1,2	0,26
Margalef	Intercept	228	0,00
	Meses	18,5	0,00
	Transectos	0,7	0,38
	Zonas	3,7	0,02
	Meses x transectos	3,4	0,00
	Meses x zonas	0,3	0,94
	Transectos x zonas	0,9	0,38
	Meses x transectos x zonas	1,4	0,17
Pielou	Intercept	298	0,00
	Meses	16,0	0,00
	Transectos	0,0	0,86
	Zonas	2,9	0,05
	Meses x transectos	2,5	0,04
	Meses x zonas	1,2	0,28
	Transectos x zonas	0,1	0,84
	Meses x transectos x zonas	0,9	0,46
Shannon	Intercept	275	0,00
	Meses	19,0	0,00
	Transectos	1,5	0,22
	Zonas	3,7	0,02
	Meses x transectos	3,5	0,00
	Meses x zonas	0,5	0,81
	Transectos x zonas	0,8	0,42
	Meses x transectos x zonas	1,5	0,13

O índice de Margalef foi menor no T1 quando comparado com T2 (Fig. 6A–B). Entretanto, não houve diferença significativa entre os transectos ($p < 0,05$; Tabela 2). A maior diversidade foi observada na estação seca para ambos os transectos e em julho somente para o T2 com menor diversidade para os demais meses da estação chuvosa em ambos os transectos (Fig. 6A–B). O meso e infralitoral em ambos os transectos tiveram maior diversidade na estação seca, enquanto na chuvosa teve ausência no supra e infralitoral em fevereiro (Fig. 6A–B),

demonstrando que houve diferença significativa entre os diferentes meses, zonas e entre a interação dos fatores meses e transectos (Tabela 2). Equitabilidade de Pielou em ambos os transectos foi similar quando comparados valores <1 observados para a estação seca e em julho, enquanto para o valor igual a 1 foi observado padrão similar em fevereiro para ambos os transectos e somente em dezembro para o T2. Para ambos os transectos foi observado que o mesolitoral teve maior valor em fevereiro (Fig. 6C–D). Houve diferença significativa entre os diferentes meses e entre a interação dos fatores meses e transectos ($p < 0,05$; Tabela 2).

O índice de Shannon em ambos transectos foi aproximadamente similar quando comparados (Fig. 6E–F) e não houve diferença significativa entre ambos ($p < 0,05$; Tabela 2). Maiores valores foram observados na estação seca para ambos os transectos e somente em julho para o T2 (Fig. 6E–F) com diminuição para os demais meses da estação chuvosa em ambos os transectos, demonstrando que houve diferença significativa para a interação entre meses e transectos (Tabela 2). O infralitoral teve maiores valores na estação seca para o T1, enquanto o mesolitoral teve maiores valores para ambas as estações no T2 (Fig. 6E–F), demonstrando diferença significativa entre as zonas e não houve diferença significativa entre as interações dos três fatores (Tabela 2).

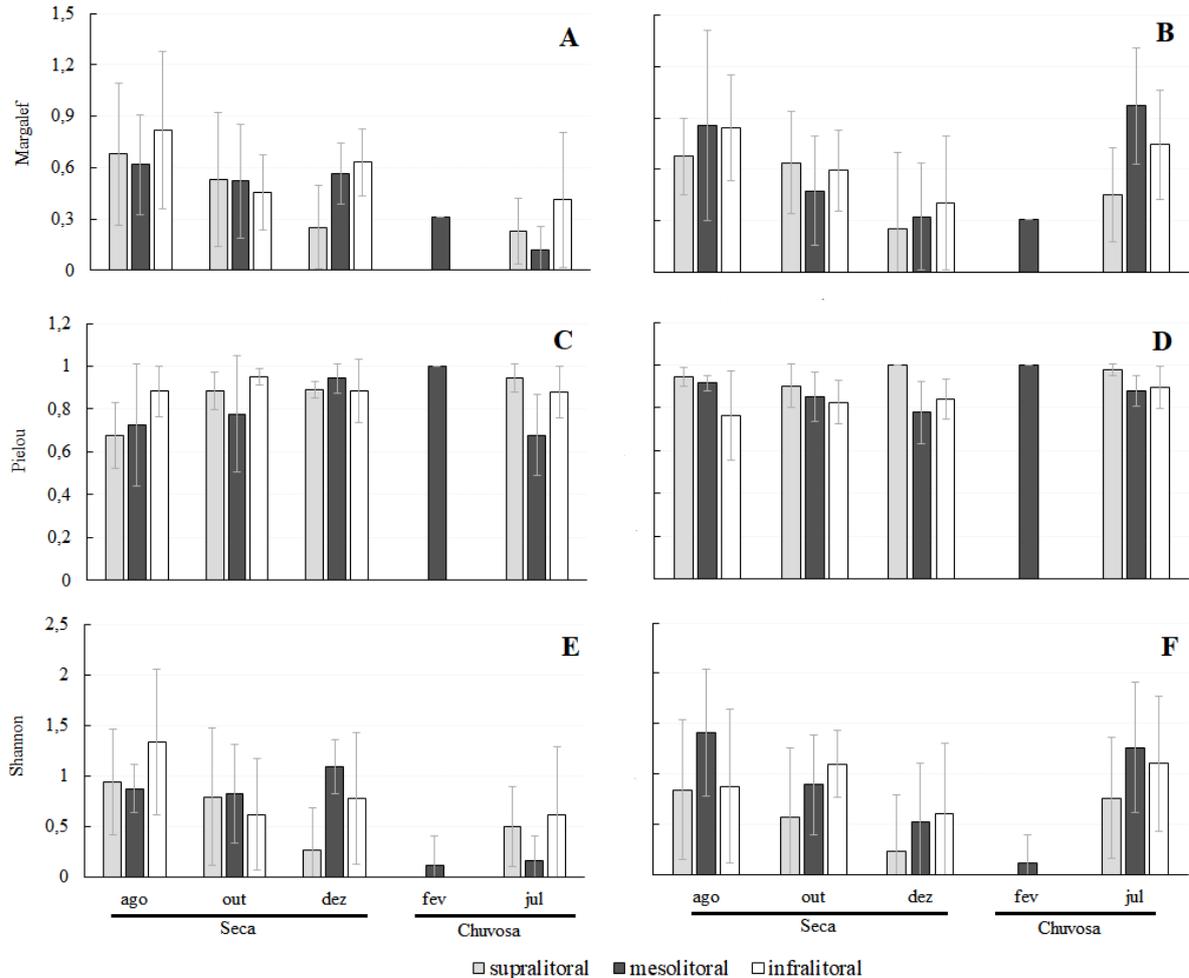


Fig. 6. Média e desvio padrão das variações sazonais e espaciais de (A–B) índice de Margalef, (C–D) equitabilidade de Pielou, (E–F) índice de Shannon para T1 e T2 (esquerda e direita).

O crustáceo tanaidáceo *M. schubarti* representou 24% do total de indivíduos coletados, seguidos de Oligochaeta 18% e dos poliquetas *Heteromastus* sp. 14%, *Laonereis* sp. 9,5%, *S. grubei* 8,9% e *C. aracaensis* (7,1%; Tabela 1). A principal diferença entre os dois transectos foi *M. schubarti* que representou 42% da abundância total para o T1 e apenas 4,7% no T2 e Oligochaeta que representou 6% para o T1 e predominou no T2 com 30% (Tabela 1). Além desses, *Heteromastus* sp. teve maior abundância relativa no T1 com 19% e apenas 9,2% no T2 e *C. aracaensis* predominou no T1 com 10% e apenas 4% no T2 (Tabela 1).

A densidade da espécie *M. schubarti* foi maior no T1 na estação seca e quase ausente na chuvosa (Fig. 7A), enquanto no T2 as densidades foram aproximadamente similares entre as duas estações (Fig. 7B). Em ambos os transectos foi observado ausência em fevereiro. O mesolitoral apresentou maior densidade na estação seca para o T1, em contrapartida no T2 as 3 zonas tiveram densidade aproximadamente similar para ambas as estações (Fig. 7A–B).

Os táxons *Oligochaeta* e *Heteromastus* sp. tiveram menor densidade no T1 (Fig. 7C–F). Foi observado para o T1 que *Oligochaeta* e *Heteromastus* sp. tiveram maior densidade na estação seca quando comparada a estação chuvosa (Fig. 7C–E). Enquanto, para o T2 maior densidade para *Oligochaeta* e *Heteromastus* sp. foi observada na estação seca com um leve aumento para *Heteromastus* sp. em julho e completa ausência de ambas as espécies em fevereiro nos transectos (Fig. 7D–F). As duas espécies tiveram maior densidade no mesolitoral, principalmente na estação seca para o T1, enquanto no T2 as 3 zonas foram aproximadamente similares para ambas as espécies na estação chuvosa, exceto em julho para *Heteromastus* sp. (Fig. 7C–F).

O poliqueta *Laeonereis* sp. teve maior densidade para o T1 durante a estação seca (Fig. 7G). As zonas supra e mesolitoral tiveram maior densidade na estação seca, respectivamente para o T1 e T2 e com menor no infralitoral em ambos os transectos (Fig. 7G–H). A espécie de poliqueta *S. grubei* teve maior densidade no T1 quando comparado ao T2 (Fig. 7I–J). Maior densidade foi observada na estação seca e menor na chuvosa com ausência em fevereiro para ambos transectos (Fig. 7I–J). O infralitoral teve maior densidade, principalmente na estação seca e foi aproximadamente similar em ambos os transectos na estação chuvosa (Fig. 7I–J). Enquanto, *C. aracaensis* teve menor densidade no T1 quando comparado ao T2 (Fig. 7L–K). Maior densidade foi observada na estação seca e com ausência na chuvosa para o T1 (Fig. 7L), enquanto no T2 maior densidade foi observada na estação seca e em julho com ausência em fevereiro (Fig. 7K). Em ambos os transectos o infralitoral teve maior densidade, principalmente na estação seca para o T1 e para ambas as estações no T2, enquanto meso e supralitoral, respectivamente para o T1 e T2 tiveram maior densidade na estação seca (Fig. 7J–K).

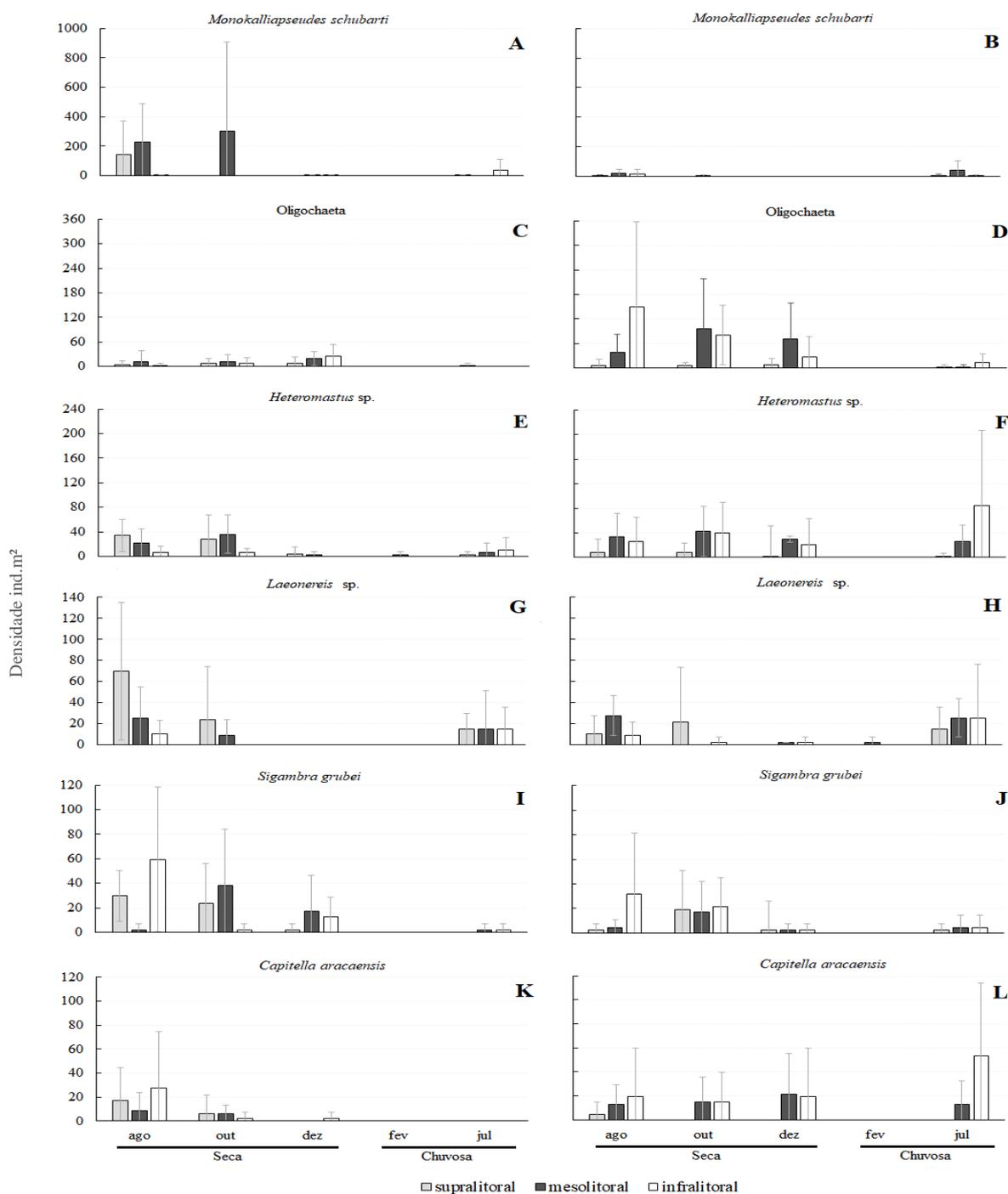


Fig. 7. Média e desvio padrão das variações sazonais e espaciais de densidade das espécies dominantes da fauna bêntica (A–B) *M. schubarti*, (C–D) *Oligochaeta*, (E–F) *Heteromastus* sp., (G–H) *Laeonereis* sp., (I–J) *S. grubei*, (K–L) *C. aracaensis* para T1 e T2 (esquerda e direita).

O PERMANOVA indica diferença significativa entre os meses ($p < 0,05$), mas não houve diferença significativa entre os demais fatores e suas interações (Tabela 3). A comparação entre os pares de meses sugere que agosto diferiu significativamente ($p < 0,05$) dos demais meses da estação seca, enquanto outubro e dezembro evidenciaram diferenças significantes ($p < 0,05$)

entre julho, estação chuvosa. As demais comparações entre os diferentes meses não foram significativas.

Tabela 3. Resumo da análise PERMANOVA em Bray-Curtis para associações da macrofauna bêntica considerando meses, transectos e zonas como fatores e sua interação. As diferenças são significativas se $p < 0,05$ (em negrito); p (MC), valor de p obtido com o teste de permutação de Monte Carlo.

Fator	F	p	p(MC)
Meses	5,1	0,01	0,01
Transectos	1,4	0,19	0,16
Zonas	1,1	0,35	0,32
Meses x transectos	1,2	0,14	0,14
Meses x zonas	0,8	0,68	0,67
Transectos x zonas	1,1	0,31	0,31
Meses x transectos x zonas	0,7	0,91	0,91

De acordo com a análise SIMPER *Oligochaeta* foi uma das espécies que mais contribuiu com a similaridade na estação seca, seguido de *Heteromastus* sp. e *S. grubei*. Embora apresentou menor densidade *Nemertea* teve contribuições relativamente altas para a estação seca (Tabela 4). As espécies *Laeonereis* sp., *A. succinea*, *Heteromastus* sp. e *S. tetraura* tiveram contribuições altas principalmente na estação chuvosa (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da análise SIMPER comparando as estações. Entre parênteses é mostrada a similaridade média (%) de cada mês e a contribuição das principais espécies (%).

Táxon/Contribuição	Seca			Chuvosa	
	Agosto (29,4)	Outubro (34,1)	Dezembro (27,6)	Fevereiro (6,6)	Julho (23,5)
<i>Laeonereis</i> sp.	22,6	1,58	0,00	0,00	43,0
<i>Heteromastus</i> sp.	22,0	31,8	11,3	0,00	14,4
<i>Sigambra grubei</i>	10,1	17,9	11,4	0,00	1,72
<i>Oligochaeta</i>	8,61	33,3	53,5	0,00	1,60
<i>Nemertea</i>	2,51	4,71	15,1	0,00	6,22
<i>Alitta succinea</i>	4,05	0,00	0,00	0,00	15,5
<i>Scoletoma tetraura</i>	0,00	0,00	0,00	100	0,00

Relação com as variáveis ambientais

Os quatro primeiros eixos canônicos explicaram 37,8% da variância total da assembleia da macrofauna (Fig. 8; Tabela 5). O primeiro eixo explicou 24,9% e foi principalmente relacionado negativamente com a salinidade e oxigênio dissolvido, e positivamente relacionado com areia fina e silte grosso (Fig. 8; Tabela 5). O segundo eixo explicou 6,6% da variância dos dados e foi principalmente correlacionado positivamente com areia média, e negativamente relacionado à matéria orgânica e silte grosso (Fig. 8; Tabela 5). O terceiro e quarto eixo foram

influenciados principalmente por oxigênio dissolvido, temperatura, areia fina e silte grosso, respectivamente, mas seu poder explicativo foi baixo e juntos explicaram 6,3% da variância da assembleia da macrofauna benthica (Fig. 8; Tabela 5).

Tabela 5. Resumo da Análise de Redundância realizada entre os táxons da macrofauna benthica e as variáveis explicativas ambientais da praia de Juçatuba, Maranhão.

RDA	Axis 1	Axis 2	Axis 3	Axis 4
Valor próprio	0,249	0,066	0,043	0,020
Correlações espécie-ambiente	0,878	0,779	0,772	0,483
% de variância explicada (dados de espécies)	24,9	6,6	4,3	2,0
Variância acumulada %				
dos dados de espécies	24,9	31,5	35,8	37,8
da relação espécie-ambiente	61,9	78,2	88,8	93,6
Correlações das variáveis explicativas				
Salinidade	-0,88	0,09	0,29	0,13
Oxigênio dissolvido	-0,56	-0,13	0,66	0,03
Temperatura da água	-0,18	-0,33	0,60	0,01
Matéria orgânica	-0,33	-0,60	-0,06	-0,09
Areia média	-0,17	0,48	-0,20	-0,11
Areia fina	0,16	-0,37	0,04	-0,42
Areia muito fina	-0,05	0,03	-0,51	-0,08
Silte grosso	0,12	-0,57	0,13	0,76

Oligochaeta e *S. grubei* foram associadas positivamente com salinidade e somente *S. grubei* foi relacionada negativamente com silte grosso, enquanto *Nemertea* e *C. aracaenses* foram associadas positivamente com matéria orgânica e negativamente com areia média. A espécie *Laeronereis* sp. foi associado levemente com silte grosso e negativamente com a salinidade, enquanto *M. schubarti* foi associada levemente com silte grosso e negativamente com a matéria orgânica (Fig. 8).

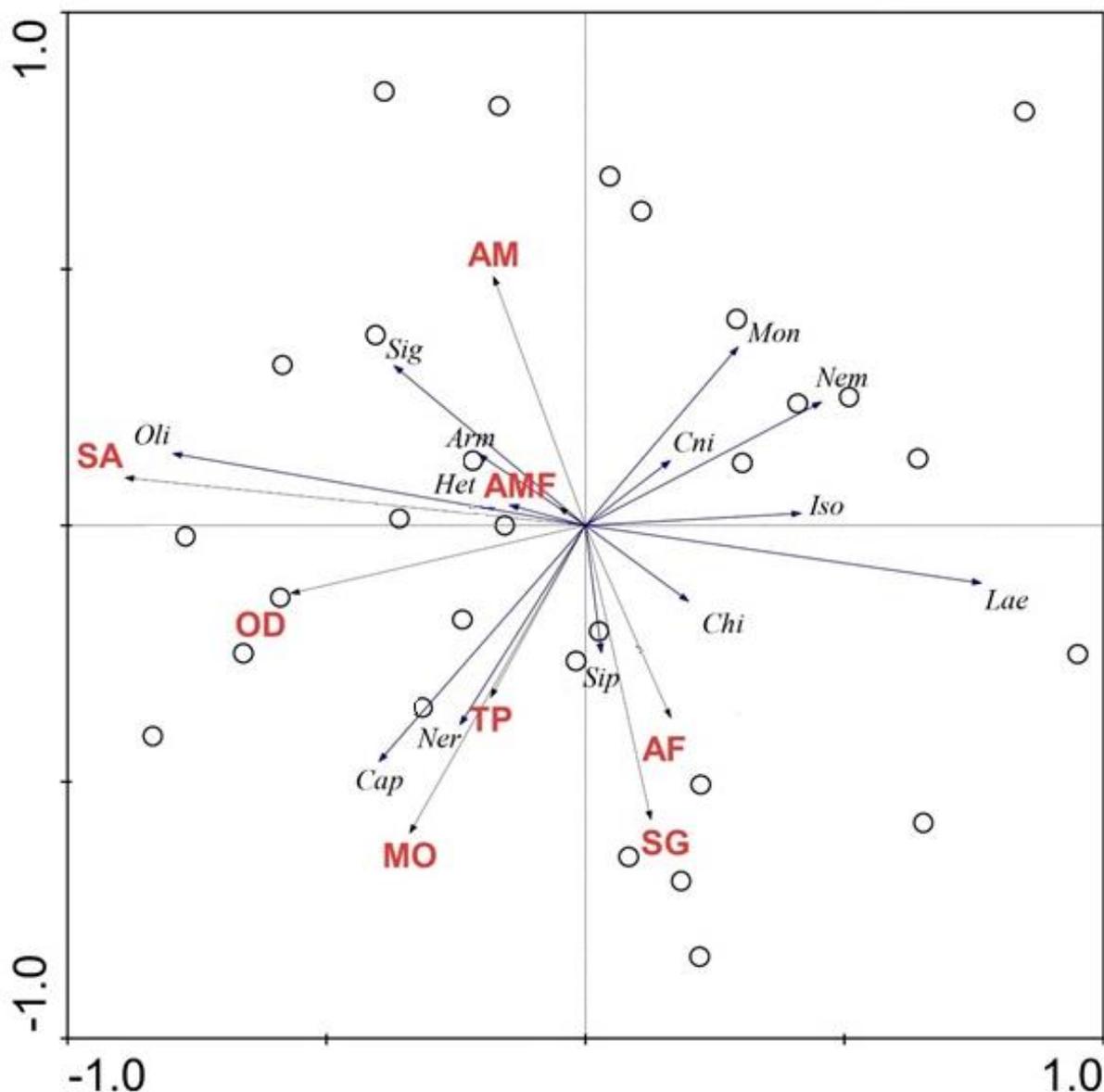


Fig. 8. Gráfico de ordenação da Análise de Redundância mostrando os dois primeiros eixos canônicos e as relações das espécies da macrofauna (vetor azul) com variáveis ambientais explicativas (vetor preto) os círculos representam os pontos amostrais. Código das espécies: Sig, *Sigambra grubrei*; Oli, Oligochaeta; Het, *Heteromastus* sp.; Ner, Nemertea; Cap, *Capitella aracaensis*; Mon, *Monokallipseudes schubarti*; Cni, Cnidaria; Nem, Nematada; Chi, Chironomidae (larva); Iso, *Isolda pulchella*; Lae, *Laeronereis* sp.; Arm, *Armandia hossfeldi*; Sip, Sipuncula. Código das variáveis explicativas: AM, areia média; AF, areia fina; AMF, areia muito fina; SG, silte grosso; SA, salinidade; OD, oxigênio dissolvido; TP, temperatura da água; MO, matéria orgânica.

DISCUSSÃO

A temperatura e salinidade registradas na praia estuarina de Juçatuba apresentaram padrões característicos de ambientes tropicais, com pouca variação de temperatura entre as estações e maior intrusão salina na estação seca evidenciando uma contribuição escassa de aporte fluvial, consequência das reduzidas precipitações pluviométricas. Por outro lado, na estação chuvosa, período que proporcionou o aumento de aporte de água dulcícola, principalmente do rio Geniparana, consequência da intensidade de chuvas na região, resultou

na redução dos valores de salinidade, comportamento semelhante ao observado para a costa amazônica (BRAGA et al., 2011; TAVARES CUTRIM et al., 2018; FERREIRA et al., 2020).

O número de táxons registrados no estudo é baixo quando comparado a outras áreas estuarinas do mundo (HERNANDEZ ALCANTARA; SOLISWEISS, 1995; ACHEAPONG; 2001) e da costa amazônica (OLIVEIRA; MORCHEL, 1999; FERREIRA et al., 2020). A baixa riqueza da macrofauna bêntica pode ser explicada pelo elevado estresse físico a que as assembleias estão submetidas, decorrentes das macromarés com amplitude máxima de 7,5 metros que ocorrem na região (GAMA et al., 2001). Essa dinâmica faz com que o substrato fique exposto por longo período de tempo durante o dia, provocando bruscas variações nas características físico-químicas do substrato, comportamento semelhante ao observado para a costa paraense (ROSA-FILHO, 2006).

Vale ressaltar que as zonas infra e mesolitoral tiveram números maiores de táxons, fato aliado a maior contribuição de matéria orgânica e habitat favorável que resultou para a maior ocorrência, tal comportamento foi observado em outras praias brasileiras (NEVES, BENVENUTI, 2006; ROCHA-BARREIRA et al., 2005). Além disso, o aumento da diversidade foi perceptível principalmente na estação seca. Comumente, alguns autores mencionam que durante esta estação há redução da diversidade em ambientes com elevadas salinidades (BARROS et al., 2008; DAUER et al., 2008). Por outro lado, na estação chuvosa houve a redução de diversidade principalmente na zona supralitoral, enquanto o aumento foi perceptível na zona infralitoral. No entanto, alguns autores que observaram o aumento da diversidade durante a estação chuvosa e atribuíram este aumento à redução de salinidade e maior aporte de água doce com enriquecimento orgânico, sedimento e poluentes (KIMMERER, 2002; KENNISH, 1997; CARVALHO et al., 2011; AVIZ et al., 2012).

A estrutura da comunidade teve como grupos dominantes poliquetas, oligoquetas e crustáceos, diferindo da composição das demais comunidades estuarinas da costa maranhense e do Brasil, onde a taxocenose tem dominância de poliquetas, crustáceos e moluscos comumente encontrada em fundos inconsolidados de regiões tropicais e temperadas (OLIVEIRA; MORCHEL, 1999; AMARAL et al., 2003; QUIROGA et al., 2012; MARTINS; ALMEIDA, 2014). A classe poliqueta constitui o grupo dominante e mais importante em ambientes na costa amazônica (OLIVEIRA; MORCHEL, 1999; TAVARES CUTRIM, 2018; ROSA-FILHO et al., 2009), em outras regiões tropicais e temperadas do mundo (BARROS et al., 2001; ROCHA-BARREIRA et al., 2005; QUIROGA et al., 2012; SILVADAS et al., 2013; GARCIA et al., 2014).

Entre as espécies dominantes, *M. schubarti*, representou 42% da abundância relativa para o T1, apresentando maior densidade durante a estação seca, principalmente na zona mesolitoral constituída por sedimento de areia média e silte com pouco teor de matéria orgânica. A presença desse crustáceo tanaidáceo é restrita à ambientes intermareais, ou seja, próximo a rios ou manguezais, ricos em sedimentos finos. Essas características resultam na elevada densidade dessa espécie, que possui distribuição agregada se tornando dominante, condições que ocorreram na praia de Juçatuba (CAPÍTOLA et al., 1978; LEITE et al., 2003; LUCERO et al., 2006).

Além dessas características, alguns autores relacionam a abundância do crustáceo tanaidáceo a elevado teor de matéria orgânica, por colaborar com a disponibilidade de alimento (BENVENUTI, 1987; LEITE et al., 2003). Entretanto, no presente estudo a matéria orgânica foi relacionada negativamente com a abundância de *M. schubarti* como observado na RDA, corroborando com os resultados observados por Freitas-Júnior et al., (2013). Comumente onde tem maior aporte de matéria orgânica há interação entre predador-presa, sendo *M. schubarti* importante na alimentação peixes, crustáceos e aves (BARREIROS et al., 2009; FREITAS-JÚNIOR et al., 2013).

Oligochaeta também teve uma contribuição significativa na composição da macrofauna bêntica, representando 30% da abundância relativa para o T2, com maior densidade na estação seca principalmente na zona supralitoral, composta principalmente por sedimento de areia muito fina com médio teor de matéria orgânica. Entretanto, nesta zona observou-se, em campo, sedimento lamacento. Este grupo tem preferência por elevados teores de matéria orgânica e sedimentos finos, porém comumente apresenta elevada densidade relacionada a sedimentos arenosos (GIERRE, 1993; AVIZ et al., 2012), padrão comum para ambiente de praias estuarinas e habitats marinhos de regiões tropicais (FERRANDO; MÉNDEZ, 2011; PAGLIOSA; BARBOSA, 2006). Entretanto, neste estudo, o grupo Oligochaeta não se relacionou as frações de sedimento, mas sim positivamente com a salinidade, corroborando com os estudos de Erséus (2002) e Rosa-Filho (2011) que documentaram maiores densidades de espécimes de oligoquetas se relacionadas à salinidade do ambiente estuarino. Vale ressaltar que os oligoquetas em sua maioria são indicadores de ambientes impactados (SURIANO; FONSECA-GUESSNER, 2004; RODRIGUES, 2007).

A espécie de poliqueta *Heteromastus* sp. representou 19% de abundância relativa para o T2, apresentando maior densidade na estação seca, principalmente na zona mesolitoral, constituído por frações de sedimentos arenosos, como areia fina e média o que propiciou a

colonização da espécie. Tal comportamento, foi semelhante ao observado nas zonas entremarés na costa paraense em Bragança, onde *Heteromastus* sp. teve maior densidade em áreas com elevado teor de areia, sendo a granulometria um agente controlador na distribuição da espécie (ROSA-FILHO, 2006). Enquanto, *Laeonereis* sp., tipicamente estuarina, teve 10% de abundância relativa para o T1 com maior densidade na estação seca, principalmente na zona mais hostil, supralitoral, com baixa salinidade e composta por frações de sedimentos arenosos, areia muito fina e média. Essa espécie é comedora de depósitos de subsuperfície sendo reconhecida por sua abundância em ambiente de baixa salinidade e predominante em substrato arenoso (SANTOS; LANA, 2001), razão pela qual também tenha sido coletado na estação chuvosa, principalmente no mês de julho.

Espécie marinha, *S. grubei*, representou 11% da abundância relativa para o T1, com maior densidade para a estação seca na zona com maior intrusão salina, infralitoral, próxima da linha d'água, sendo relacionada positivamente com a variável salinidade como observado na RDA. Tal comportamento corroborou com o observado por Rosa-Filho et al., (2006) onde as maiores densidades desta espécie ocorreram em pontos de maior salinidade no estuário paraense. Enquanto, a alta abundância de *C. aracaensis* no T2 está relacionada positivamente com o elevado teor de matéria orgânica, seja natural ou antrópico, nas zonas infra e mesolitoral, como observado na RDA. Por ser consumidora de depósito não-seletivo e com tendência a viver em agregados populacionais em todos os estágios de desenvolvimento se torna tolerante as mudanças no ambiente, principalmente as variações de marés que provoca estresse para a espécie (AMARAL; NONATO, 1996; DITTMAN, 2002). Vale ressaltar que espécies da família Capitellidae por ocorrerem em ambientes enriquecidos de matéria orgânica são consideradas como bioindicadoras (DEL-PILAR-RUSO et al., 2008; JUMARS et al., 2015).

As assembleias da macrofauna bêntica demonstraram diferenças notáveis entre as estações, sendo encontrada maior abundância, riqueza e diversidade de organismos da macrofauna na estação seca, onde as espécies mais importantes *Oligochaeta*, *S. grubri*, *Heteromastus* sp. tiveram maior abundância total com altas contribuições de similaridade, sendo influenciadas pelos fatores salinidade e frações de sedimento. Mudanças na composição e estrutura da macrofauna foi relatada em estudos realizados em estuários tropicais, tais mudanças temporais estão associadas a fatores como pluviosidade e salinidade que impactam positivamente as assembleias da macrofauna bentica (LUCERO et al., 2006; AVIZ et al., 2012).

As frações de sedimento, matéria orgânica e salinidade foram as que mais contribuíram para a zonação das espécies da macrofauna bêntica, como observado na RDA. Em geral, as

características de sedimento são frequentemente relatadas como importantes na estruturação da macrofauna bêntica (WHITLATCH, 1981; ROSA-FILHO, 2006; TAVARES CUTRIM et al., 2018), bem como a salinidade tende a ser outro fator responsável por modificações, devido as grandes variações que podem ocorrer durante o ano (SILVA et al., 2011).

CONCLUSÃO

No presente trabalho foi observado que a zonação da macrofauna bêntica apresentou distribuição espacial, indicando heterogeneidade entre as três zonas com maiores densidade registradas nas zonas infra e mesolitoral. Os poliquetas em ambos transectos foram os mais representativos em abundância e riqueza de espécies. A zonação da macrofauna bêntica em ambos transectos foi influenciada por fatores como frações de sedimento, salinidade e matéria orgânica.

Os resultados deste estudo auxiliam na compreensão de como os organismos da macrofauna bêntica se distribuem em zonas com substrato não consolidado de regiões tropicais, podendo assim, práticas de manejo e monitoramento ambiental de ambiente estuarino.

REFERÊNCIAS

Acheapong, E (2001) **Distribution of macrozoobenthos abundance and biomass in intertidal soft sediments of Northeast Brazil**. 69f. Thesis (M.Sc.) – University of Bremen, Bremen.

Alvares, CA, Stape, JL, Sentelhas, PC, De Moraes, G, Leonardo, J, Sparovek, G (2014). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift* **22**, 711–728.

Amaral, ACZ, Nonato, EF (1996) *Annelida Polychaeta: Características, glossário e chaves para famílias e gêneros da costa brasileira*. Campinas: Editora da Unicamp, **124**, 1996.

Amaral, ACZ, Denadai, MR, Turra, A, Rizzo, AE (2003) Intertidal macrofauna in Brazilian subtropical tide-dominated sandy beaches. *Journal of Coastal Research*, **35**, 446- 455.

Anderson, MJ (2008) Animal-sediment relationships re-visited: characterising species' distributions along an environmental gradient using canonical analysis and quantile regression splines. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **366**, 16–27.

Aviz, D, Carvalho, ILR, Rosa ilho, JS (2012) Spatial and temporal changes in macrobenthic communities in the Amazon coastal zone (Guajará Estuary, Brazil) caused by discharge of urban effluents. *Scientia Marina*, **78**, 2, 381-390.

Bally, R (1983) Intertidal zonation on sandy beaches of west coast of South Africa. *Cahiers de Biologie Marine*, **24**, 85-103.

- Barreiros, JP, Branco, JO, Freitas Júnior, F, Machado, L, Hostim Silva, M, Verani, JR** (2009) Space time distribution of the ichthyofauna from Saco da Fazenda Estuary, Itajaí, Santa Catarina, Brazil. *Journal of Coastal Research*, **25**, 5, 1114-1121.
- Barros, F, Hatje, V, Figueiredo, MB, Magalhaes, WF, Dórea, HS, Emídio, ES** (2008) The structure of the benthic macrofaunal assemblages and sediments characteristics of the Paraguaçu estuarine system, NE, Brazil. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **78**, 4, 753-762.
- Bemvenuti, CE, Capitoli, RR, Gianuca, NM** (1978) Estudos de ecologia bentônica na região estuarial da Lagoa dos Patos. II distribuição quantitativa do macrobentos infralitoral, *Atlântica*, **3**, 1, 23-32.
- Biasi, C, König, R, Mendes, V, Tonin, A, Sensolo, D, Sobczak, J, Hepp, L** (2010) Biomonitoramento das águas pelo uso de macroinvertebrados bentônicos: oito anos de estudos em riachos da região do alto Uruguai (RS). *Perspectiva*, **34**, 125.
- Braga, CF, Monteiro, VF, Rosa Filho, JS, Beasley, CR** (2011) Benthic macrofaunal assemblages associated with Amazonian saltmarshes. *Wetlands Ecology and Management*, **19**, 3, 257-272.
- Cantarella, H, Van Raij, B, De Andrade, JC, Quaggio, JA** (2001) *Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais*. Campinas, Instituto Agronomico, **285**, 2001.
- Capitoli, RR, Bemvenuti, CE, Gianuca, M** (1978) Estudos de ecologia bentônica na região estuarial da Lagoa dos Patos. I-As comunidades bentônicas. *Atlântica*, **3**, 1, 5-22.
- Carvalho, S, Pereira, P, Pereira, F, De Pablo, H, Vale, C, Gaspar, MB** (2011) Factors structuring temporal and spatial dynamics of macrobenthic communities in a eutrophic coastal lagoon (Óbidos lagoon, Portugal). *Marine Environmental Research*, **71**, 2, 97-110.
- Dauer, DM, Llansó, RJ, Lane, MF** (2008) Depth-related patterns in benthic Community condition along an estuarine gradient in Chesapeake Bay, USA. *Ecological Indicators*, **8**, 4, 417-424.
- Del-Pilar-Russo, Y, De-la-Ossa-Carretero, JA, Giménez-Casalduero, F, Sánchez-Lizaso, JL** (2008) Effects of a brine discharge over soft bottom Polychaeta assemblage. *Environmental Pollution*, **156**, 2, 240-250.
- Dittman, S** (2002) Benthic fauna in tropical tidal flats – A comparative perspective. *Wetlands Ecology and Management*, **10**, 3, 189-195.
- Echeverría, CA, Paiva, PC** (2007) ¿Idiosincrasias del bentos antártico?. *Oecologia Brasiliensis*, **10**, 2, 165-176.
- Elliot, M** (1994) The analysis of macrobenthic community data. *Marine Pollution Bulletin*, **28**, 62-64.
- Erséus, C** (2002) Mangroves and marine oligochaete diversity. *Wetlands Ecology and Management*, **10**, 197-202.

Ferrando, A, Mendez, N (2011) Effects of organic pollution in the distribution of annelid communities in the Estero de Urías coastal lagoonm México. *Scientia Marina*, **75**, 2, 351-358.

Ferreira, HRS, Castro, ACLD, Cutrim, MVJ, Oliveira, VMD (2020) Composition and spatiotemporal distribution of benthic macrofauna in a macrotidal estuary on the Amazonian Coast of the State of Maranhão, Brazil. *Ocean and Coastal Research*, **68**.

Freitas-Júnior, F, Christoffersen, ML, Araújo, JP, Branco, JO (2013) Spatiotemporal distribution and population structure of *Monokalliapseudes schubarti* (Tanaidacea: Kalliapseudidae) in as estuary in Southern Brazil. *Scientific World Journal*, **2013**, 1-9.

Fujii, T (2007) Spatial patterns of benthic macrofauna in relation to environmental variables in an intertidal habitat in the Humber estuary, UK: Developing a tool for estuarine shoreline management. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **75**, 1-2, 101-119.

Gama, LRM, Sousa, MM, Almeida, ICS, Caridade, EO, Ferreira-Correia, MM, Terceiro, AM (2011) Microfitoplâncton das baías do golfo maranhense e litoral oriental do estado do Maranhão. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia*, **24**, 13-26.

Garcia, KS, Acacio, LEM., Alves, OF, De Oliviera, OC, Maddock, JL, Silva, MBF (2014) Análise da macrofauna bentônica da porção nordeste da baía de todos os santos-Ba. *Cadernos de Geociências*, **11**, 1-2, 121-134.

Gianuca, NM (1987) Zonação e produção nas praias arenosas do litoral sul e sudeste do Brasil. Simpósio de Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira – síntese dos conhecimentos, *Cananéia*, **1**, 313-332.

Giere, O (1993) *Meiobenthology: the microscopic fauna in Aquatic sediments* Springer Verlag Germany. Editora, Springer.

Hernandez Alcantara, P, Solisweiss, V (1995) Some macrobenthos communities associated with mangroves in the Terminos Lake (Gulf of Mexico). *Revista de Biologia Tropical*, **43**, 1-2, 117-129.

Instituto Nacional de Meteorologia (2016) Banco de dados meteorológicos para o ensino e pesquisa (BDMEP). Disponível em: <https://bdmep.inmet.gov.br>.

Jumars, PA, Dorgan, KM, Lindsay, SM (2015) Diet of Worms Emended: Na Update of Polychaete Feeding Guilds. *Annual Review of Marine Science*, **7**, 1, 497-520.

Kennish, MJ (1997) *Practical handbook of estuarine and marine pollution*. Florida: Boca CRC Press LLC, **254**, 1997.

Kimmerer, WJ (2002) Physical, biological, and management responses to variable freshwater flow into the San Francisco estuary. *Estuaries*, **25**, 6, 1275-1290.

Lana, PC, Camargo, MG, Brongim, RA, Isaac, VJ (2002) Bentos de sedimento não consolidado. In: Pereira, RC, Soares-Gomes, A (org). *Biologia Marinha*. Rio de Janeiro: Interciências.

Lana, PC (2017) Polychaetes In Brazil: People And Places, Past, Present And Future. *Boletim del Instituto oceanográfico de Venezuela*, **1**, 1.

Leite, FPP, Turra, A, Souza, ECF (2003) Population biology and distribution of the tanaid *Kalliapseudes schubarti* Mane-Garzón, 1949, in na intertidal flat in Southeastern Brazil. *Brazilizn Journal of Biology*, **63**, 3, 469-479.

Leps, J, Smilauer, P (2003) *Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO*. Cambridge University Press: New York, NY, USA.

Lucero, RCH, Cantera, JRK, Romero, IC (2006) Variability of macrobenthic assemblages under abnormal climatic conditions in a small scale tropical estuary. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **68**, 1-2, 17-26.

Martins, MO, Almeida, TCM (2014) Distribuição espacial da macrofauna e sua relação com o sedimento no parque aquícola da enseada da Armação do Itapocoroy, Santa Catarina, Brasil. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, **18**, 1, 45-59.

Neves, FM, Bemvenuti, CE (2006) Spatial distribution of macrobenthic fauna on three sandy beaches from northern Rio Grande do Sul, southern Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, **54**, 2-3, 135-145.

Neves, LP, Da Silva, PR, Bemvenuti, CE (2007) Zonation of benthic macrofauna on Cassino Beach, southernmost Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, **55**, 4.

Oliveira, VM, Mochel, FR (1999) Macroendofauna bêmica de substratos móveis de um manguezal sob impacto das atividades humanas no Sudoeste da ilha de São Luís, Maranhão, Brasil. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia*, **12**, 75-93.

Pagliosa PR, Barbosa, FAR (2006) Assessing the environment benthic fauna coupling in protected and urban áreas of Southern Brasil. *Biological Conservation*, **129**, 3, 408-417.

Quiroga, E, Ortiz, P, Gerdes, D, Reid, B, Villagran, S, Quiñones, R (2012) Organic enrichment and structure of macrobenthic communities in the glacial Baker Fjord, Northern Patagonia, Chile. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, **92**, 1, 73-83.

Rocha-Barreira, CDAR, Oliveira Monteiro, D, Júnior, WF (2001) Macrofauna bentônica da faixa entremarés da Praia do Futuro, Fortaleza, Ceará, Brasil. *Arquivos de Ciências do Mar*, **34**, 1-2, 23-38.

Rodrigues CMF (2007) **Abordagem Preliminar e Integrada da Qualidade da Água da Microbacia do Córrego da Areia Branca, Campinas/ SP**. Dissertação Mestrado. Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais. Taubaté, Universidade de Taubaté - UNITAU.

Rosa-Filho, JS, Busman, DV, Viana, AP, Gregório, AM, Oliveira, DM (2006) Macrofauna bentônica de zonas entre-marés não vegetadas do estuário do rio Caeté, Bragança, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais*, **1**, 85-96.

Rosa-Filho, JS, Almeida, MF, Aviz, DE (2009) Spatial and temporal changes in the benthic fauna of a macrotidal Amazon sandy beach, Ajuruteua, Brazil. *Journal of Coastal Research*, **56**, 1796.

Rosa-Filho, JS, Gomes, TP, Almeida, MF, Silva, RF (2011) Benthic fauna of macrotidal sandy beaches along a small-scale morphodynamic gradient on the Amazon coast (Algadoal Island, Brazil). *Journal of Coastal Research*, **64**, 435-439.

Rosa, LC, Bemvenuti, CE (2006) Temporal variability of the estuarine macrofauna of the Patos Lagoon, Brazil. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, **41**, 1-9.

Santos, CSG, Lana, PC (2001) Nereididae (Annelida; Polychaeta) da costa nordeste do Brasil. I. Padrões regionais e zoogeográficos de distribuição. *Iheringia, Série de Zoologia*, **88**, 181-189.

Silva, RF, Rosa Filho, JS., Souza, SR, Souza-Filho, PW (2011) Spatial and temporal changes in the structure of soft-bottom benthic communities in an Amazon estuary (Caeté estuary, Brazil). *Journal of Coastal Research*, **64**, 440- 444.

Sivadas, SK, Ingole, BS, Fernandes, CEG (2013) Environmental gradient favours functionally diverse macrobenthic community in a placer rich tropical bay. *The Scientific World Journal*, **2013**.

Suguio, K (1973) *Introdução à Sedimentologia*. Edgard Blücher, EDUSP. São Paulo; **318**, 1973.

Suriano MT, Fonseca-Guessner AA (2004) Chironomidae (Diptera) larvae in streams of Parque Estadual de Campos do Jordão, São Paulo state, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensis*, **16**, 129-136.

Surugiu, V (2005) The use of polychaetes as indicators of eutrophication and organic enrichment of coastal Waters: a study case – Romanian Black Sea Coast. *Analete Stiintifice ale Universitatii “Al. I. Cusa” Iasi, s. Biologie animala*, **51**, 55-62.

Tavares Cutrim, AS, Santos, SLK, Passos Ribeiro, R, De Oliveira, VM, Silva De Almeida, ZD (2018) Structure of a polychaete community in a mangrove in the northern coast of Brazil. *Acta Biológica Colombiana*, **23**, 3, 286-294.

Teixeira, SG, Sousa Filho, PWM (2009) Mapeamento de ambientes costeiros tropicais (Golfão Maranhense, Brasil) utilizando imagens de sensores remotos orbitais. *Revista Brasileira de Geofísica*, **1**, 69-82.

Veloso, VG, Cardoso, RS, Petracco, M (2003) Secondary production of the intertidal macrofauna of Prainha beach, Brazil. *The Journal of Coastal Research*, **15**, 385-391.

Veloso, VG, Neves, G (2009) Praias Arenosas. In: Pereira, RC, Soares-Gomes, A *Biologia Marinha*. 2ª edição. Rio de Janeiro: Editora Interciência, **2**, 339- 359.

Viana, MG, Rocha-Barreira, CA, Grossi Hijo, CA (2005) Macrofauna bentônica da faixa entremarés e zona de arrebentação da praia de Paracurú (Ceará-Brasil). *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, **9**, n. 1, 75-82.

Whitlach, RB (1981) Animal-sediment relationships in intertidal marine benthic habitats: some determinants of deposit-feeding species diversity. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **53**, 1, 31-45.

Zar, JH (2010) *Biostatistical Analysis*. Pearson Prentice Hall: Upper Saddle River, NJ, USA.

**JOURNAL OF THE MARINE BIOLOGICAL ASSOCIATION OF THE UNITED
KINGDOM**

Instruções da revista para a submissão do artigo se encontra no domínio:
<https://www.cambridge.org/core/journals/journal-of-the-marine-biological-association-of-the-united-kingdom/information/instructions-contributors>

5 CONCLUSÃO GERAL

Os resultados desse trabalho auxiliam na compreensão de como os organismos da macrofauna bêntica se distribuem entre as zonas em substratos não consolidados da costa maranhense, podendo, assim, subsidiar práticas de manejo, gestão e monitoramento ambiental de praias. Além disso, essa produção vem contribuir para o conhecimento científico dos grupos na costa amazônica maranhense, tanto no ponto de vista taxonômico, quanto ecológico.

REFERÊNCIAS

AMARAL, A. C. Z.; BELUCIO, L. F.; LOPES, P. P.; FERREIRA, C.P.; LUTES, F. P. P. **The intertidal macrofauna of São Francisco complex beaches (São Sebastião-SP)**, in Anais do Simpósio de Ecossistemas da Costa Sul e Sudeste Brasileira, Águas de Lindóia, p. 314-325, 1990.

AMARAL, A. C. Z.; MORGADO, E. H.; SALVADRO, L. B. Poliquetas bioindicadores de poluição orgânica em praias paulistas. **Revista Brasileira de Biologia**, v. 58, n. 2, p. 307-316, 1998.

AZEVEDO, A. C. G.; CUTRIM, M. V. J. Fitoplâncton costeiro das porções norte-nordeste da ilha de São Luís, MA, Brasil. In.: SILVA, A. C.; FORTES, J. L. O. (Org.) **Diversidade biológica, uso e conservação de recursos naturais do Maranhão**. São Luís: Editora EdUEMA, p. 67-92, 2007.

BLANKENSTEYN, A. O uso do caranguejo maria-farinha *Ocypode quadrata* (Fabricius) (Crustacea, Ocypodidae) como indicador de impactos antropogênicos em praias arenosas da Ilha de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 23, n. 3, p. 870–876, 2006.

BROWN, A. C.; MCLACHLAN, A. **Ecology of sandy shores**. Amsterdam: Editora Elsevier, 327 p, 1990.

COELHO-COSTA, C. M. Distribuição espacial e temporal dos macrozoobentos de habitats entre-marés do canal da Raposa, Baía de São Marcos, Maranhão, Brasil. 50 p. São Luís: UFMA, Dissertação (Mestrado em Biodiversidade e Conservação), 2007.

COSTA, L. L., LANDMANN, J. G., GAELZER, L. R.; ZALMON, I. R. Does human pressure affect the community structure of surf zone fish in sandy beaches?. **Continental Shelf Research**, v. 132, p. 1-10, 2017.

CUTRIM, A. S. T. **Composição e distribuição da macrofauna bêntica da região entremarés da Raposa, Maranhão, Brasil.** 75 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Recursos Aquáticos e Pesca, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

DANTAS, J. G.; CUTRIM, H. S.; CASTRO, L. G.; JARDIM, E. L.; COELHO, S. L. Educação Ambiental: uma ferramenta utilizada na avaliação ambiental do manguezal e praia do Araçagy, Ilha de São Luís, Maranhão (Brasil). In.: CARVALHO-NETA, R. N. F. **Educação Ambiental na Zona Costeira.** Rio de Janeiro: Editora CBJE, 2010.

DEFEO, O.; MCLACHLAN, A.; SCHOEMAN, D. S.; SCHLACHER, T. A.; DUGAN, J., JONES, A.; LASTRA, M.; SCAPINI, F. Threats to sandy beach ecosystems: a review. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 81, n.1, p.1-12, 2009.

DEXTER, D. M. Sandy beach community structure: the role of exposure and latitude. **Journal of Biogeography**, v. 19, p. 59-66, 1992.

FERES, S.J.C.; SANTOS, L.A.; TAGORI-MARTINS, R.M.C. Família Nereidae (Polychaeta) como bioindicadora de poluição orgânica em praias de São Luís, Maranhão – Brasil. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 21, n. 1, p. 95-98, 2008.

LEVINTON, J.S. **Marine Biology: function, biodiversity and ecology.** Oxford University Press, Oxford, 448 p., 1995.

MALVEZZI, H.; VALÉRIO-BERARDO, M. T.; BARRELLA, W. Composição das Famílias de Poliquetas amostradas em duas praias de granulação distintas no Estado de São Paulo. **Revista Eletrônica de Biologia**, v. 3, n.1, p. 1-18, 2010.

MCLACHLAN, A.; BROWN, A. C. **The Ecology of Sandy shores**. New York: Elsevier, 2006.

MORENO, T. R.; DA ROCHA, R. M. Ecologia de costões rochosos. **Estudos de Biologia: Ambiente e Diversidade**, v. 34, n. 83, 2012.

NETTO, S. A.; LANA, P. C. Zonação e estratificação da macrofauna bêntica em um banco areno-lodoso do setor euhalino de alta energia da Baía de Paranaguá (Paraná, Brasil). **Iheringia Série Zoologia**, v. 79, p. 27-37, 1995.

NEVES, F. M.; BEMVENUTI, C. E. Daily zonation variation of sandy beach benthic macrofauna in north coast of the Rio Grande do Sul, Brazil. **Iheringia, Série Zoologia**. Porto Alegre, v. 99, n. 1, p. 71-81, 2009.

NEVES, R. A. F.; VALENTIM, J. L. Revisão bibliográfica sobre a macrofauna bentônica de fundos não-consolidados, em áreas costeiras prioritárias para conservação no Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar, Fortaleza**, v. 44, n. 3, p. 59 – 80, 2011.

NEVES, L. P.; DA SILVA, P. R.; BEMVENUTI, C. E. Distribuição horizontal da macrofauna bentônica na praia do Cassino, extremo sul do Brasil. **Iheringia. Série Zoologia**, v. 102, n. 3, p. 245-253, 2012.

PAGLIOSA, P. R. **Variação espacial nas características das águas, dos sedimentos e da macrofauna bêntica em áreas urbanas e em unidades de conservação na Baía da Ilha de Santa Catarina**. 107 p. Tese (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2004.

PAGLIOSA, P. R. Distribuição da macrofauna bêntica do entremarés ao sublitoral em uma praia estuarina da Baía da Babitonga, Sul do Brasil. **Biotemas**, v. 19, n. 1, p. 25-33, 2006.

PAIVA, A. C. G. D.; COELHO, P. A.; TORRES, M. F. A. Influência dos fatores abióticos sobre a macrofauna de substratos inconsolidados da zona entre-marés no Canal de Santa Cruz, Pernambuco, Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar, Fortaleza**, v. 38, p. 85-92, 2005.

PAIVA, P. C. Capítulo 7. Filo Annelida. Classe Polychaeta. In: LAVRADO, H. P; IGNACIO, B. I. (Eds). **Biodiversidade bentônica da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira**. Rio de Janeiro: Museu Nacional, n.18, p.261-298, 2006.

PEREIRA, R. C.; SOARES-GOMES, A. **Biologia Marinha**. (Org.). 2ª edição. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 631 p., 2009.

RAFFAELLI, D; KARAKASSIS, I & GALLOWAY, A. Zonation schemes on sandy shores: A multivariate approach. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**., v.148. p. 241-253, 1991.

ROCHA-BARREIRA, C. D. A. R., OLIVEIRA MONTEIRO, D., JÚNIOR, W. F. Macrofauna bentônica da faixa entremarés da Praia do Futuro, Fortaleza, Ceará, Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar**, 34(1-2), 23-38, 2001.

RODRIGUES, C. A. L.; RIBEIRO, R. P.; SANTOS, N. B.; ALMEIDA, Z. S. Patterns of mollusc distribution in mangroves from the São Marcos Bay, coast of Maranhão State, Brazil. **Acta amazonica**, v. 46, n. 4, p. 391-400, 2016.

ROSS, S. W.; LANCASTER, J. E. Movements and site fidelity of two juvenile fish species using surf zone nursery habitats along the southeastern North Carolina coast. **Environmental Biology of Fishes**, v. 63, n. 2, p. 161-172, 2002.

SAIZ-SALINAS, J. I.; GONZÁLES-OREJA, J. A. Stress in estuarine communities: lessons from the highly impacted Bilbao estuary (Spain). **Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery**, v. 7, n. 1, p. 43-55, 2000.

SCHMIEGELOW, J. M. **O Planeta Azul – Uma Introdução às Ciências Marinhas**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 222 p, 2004.

STRIDE, R. K. **Diagnóstico da pesca artesanal marinha do Maranhão**. São Luís: CORSUP/EDUFMA, 205 p., 1992.

VILLWOCK, J. A. A Costa Brasileira: Geologia e Evolução. Notas Técnicas. **CECO**. UFRGS, Porto Alegre, n.7, p. 38 - 49, 1994.