



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

DAVY BARBOSA BÉRGAMO

**FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS DOS RECIFES DO ENTREMARÉS DA COSTA
DE PERNAMBUCO**

Recife

2022

DAVY BARBOSA BÉRGAMO

**FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS DOS RECIFES DO ENTREMARÉS DA COSTA
DE PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Oceanografia.

Área de concentração: Oceanografia
Biológica.

Orientadores: Prof. Dr. José Souto Rosa Filho.

Prof. Dr. David Holanda de Oliveira.

Recife

2022

DAVY BARBOSA BÉRGAMO

**FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS DOS RECIFES DO ENTREMARÉS DA COSTA
DE PERNAMBUCO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Oceanografia. Área de concentração: Oceanografia Biológica.

Aprovada em: 29/07/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. José Souto Rosa Filho (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. David Holanda de Oliveira (Orientador)
Universidade Federal da Paraíba

Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Patrícia Pinheiro Beck Eichler (Examinadora Externa)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

À minha família.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pelo dom de esperar a vida em todos seus arranjos.

À minha família, Cristiano Bérghamo de Araújo, Gizelma Barbosa Cruz e Valdomiro B. Bérghamo, pelo carinho e a confiança na minha jornada.

Aos membros do Programa de Pós-Graduação em Oceanografia (PPGO), professores, coordenadores e demais funcionários, pelo suporte fornecido e conhecimentos construídos.

Aos membros da companhia de Pesquisa de Recursos Minerais e da Fundação Oswaldo Cruz, especificamente a Márcio Valle e Karina Saraiva, pela parceria para realização das análises granulométricas e pelas dicas para realização das fotomicrografias de varredura eletrônica.

Aos amigos e parceiros dos Laboratórios de Bentos (LaBen)/UFPE, Laboratório de Vertebrados e Paleontologia (LAVEP)/UFPB, Laboratório de Macroalgas (LaMMar)/UFPE e do Laboratório de Paleontologia (PaleoLab)/UFPE, em especial a Nykon Craveiro, Edson Vasconcelos, Nilmara Lacerda, Fausthon Fred, Mariana Calvacanti, Jefferson Gomes, Anny Lira, Juliane Vasconcelos, Rodrigo Vinícius e Johnson Sarmento que de forma acolhedora e em suas respectivas áreas de atuação, forneceram auxílio e suporte durante os momentos de coleta, triagem, identificação, discussão e comemoração pelos resultados alcançados.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão da bolsa de Mestrado durante o período vigente.

Aos membros da banca avaliadora da dissertação e dos seminários internos do PPGO, os Professores Doutores - Patrícia Pinheiro Beck Eichler, Roberto Lima Barcellos, Edson Régis Tavares Pessoa Pinho de Vasconcelos, Marius Nils Muller e Mirella Borba Santos Ferreira Costa, pelo prestígio de tê-los tido como especialistas fornecendo contribuições de extremo valor para o desenvolvimento e aprimoramento deste trabalho.

Aos meus Orientadores, Prof. Dr. José Souto Rosa Filho e Prof. Dr. David Holanda de Oliveira, pela enorme honra, consideração e satisfação em tê-los tido como meus conselheiros, instrutores e educadores durante essa fase. Agradeço ainda, pela forma sabia e empática de me conduzirem assertivamente nesse estudo, o qual tenho muito orgulho em ter desenvolvido.

RESUMO

Os foraminíferos bentônicos nas regiões costeiras são encontrados nos sedimentos ou associados a outros organismos, como nas macroalgas. Através da aplicação desses como bioindicadores é possível compreender como a microfauna reage as condições ambientais ofertadas no substrato das regiões marinhas rasas. Assim, objetivou-se caracterizar as assembleias de foraminíferos bentônicos em diferentes substratos dos recifes de arenito da zona entremarés no estado de Pernambuco (Brasil). As coletas aconteceram nas praias do Pina, Enseada dos Corais e Toquinho, Nordeste - Brasil. Foram coletadas nove amostras de sedimento e quatro amostras das macroalgas *Palisada perforata*, *Gelidiella acerosa*, *Bryopsis plumos*, *Padina antillarum* e *Ulva lactuca*. Os foraminíferos foram analisados através dos protocolos padrões de lavagem dos substratos e coleta. No sedimento, foram coletados 6.829 (99% mortos) foraminíferos de 76 espécies, representados pela assembleia - *Amphistegina lessonii*, *Archaias angulatus*, *Massilina pernambucensis*, *Quinqueloculina lamarckiana*, *Textularia agglutinans* e *Triloculina laevigata*. As variações das assembleias de foraminíferos foram atribuídas as características da hidrodinâmica de cada praia estudada, que influenciam na formação do ambiente deposicional costeiro. Das macroalgas, foram coletados 133.814 foraminíferos epifíticos de 39 espécies, representados pela assembleia - *Rosalina anglica*, *R. bradyi*, *R. floridana*, *R. globularis*, *Pararotalia cananeaensis*, *Quinqueloculina* sp. "A", *Glabratella mirabilis* e *G. brasiliensis*. Os foraminíferos vivos exclusivos das macroalgas ocorrem na costa por essa vegetação atenuar as condições ambientais e oferecer microhabitats que permitem o estabelecimento e desenvolvimento dos foraminíferos epifíticos. As características das assembleias dos foraminíferos da região costeira permitiram inferir informações relacionadas a adaptações ao substrato e das condições ambientais circundantes, possibilitando a aplicação dos foraminíferos como bioindicadores dos efeitos da dinâmica sedimentar, da interação como outros organismos e das variações ambientais.

Palavras-chave: bioindicadores; epifíticos; macroalgas; região costeira.

ABSTRACT

The benthic foraminifera of coastal regions are found either in the sediment or in association with other organisms, such as macroalgae. The use of these organisms as bioindicators permits the understanding of the effects of the environmental conditions of the substrate on the microfauna of shallow marine regions. The present study describes the assemblages of benthic foraminifera in different beachrocks substrates found in the intertidal zone of the Brazilian state of Pernambuco. Samples were collected from Pina, Enseada dos Corais, and Toquinho beaches, northeastern Brazil. Nine sediment samples and four samples of macroalgae species belonging to *Palisada perforata*, *Gelidiella acerosa*, *Bryopsis plumos*, *Padina antillarum* e *Ulva lactuca*. The foraminifera were analyzed using the standard protocols of substrate washing and extraction. A total of 6,829 foraminifera (99% of which were dead) representing 76 species were collected from the sediment, with six dominant species – *Amphistegina lessonii*, *Archaias angulatus*, *Massilina pernambucensis*, *Quinqueloculina lamarckiana*, *Textularia agglutinans*, and *Triloculina laevigata*. The variations in foraminiferal assemblages were attributed to the hydrodynamics characteristics of each beach studied, which influence on the dynamics of depositional environments. A total of 133,814 epiphytic foraminifera of 39 species were collected from the macroalgae samples, with dominance of *Rosalina anglica*, *R. bradyi*, *R. floridana*, *R. globularis*, *Pararotalia cananeaensis*, *Quinqueloculina* sp. "A", *Glabratella mirabilis*, and *G. brasiliensis*. In the coast, living benthic foraminifera were exclusive to macroalgae and only occur because this vegetation attenuates the environmental conditions and provides favorable microhabitats for the establishment and development of epiphytic species. The characteristics of the foraminiferal assemblages sampled in the present study reflect their adaptations to the substratum and the prevailing environmental conditions, which supports the use of the foraminifera as bioindicators of the effects of sediment dynamics, interactions with other organisms, and variations in environmental conditions.

Keywords: bioindicators; epiphytic; macroalgae; coastal region.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	OBJETIVOS	10
1.1.1	Objetivo Geral	11
1.1.2	Objetivos Específicos	11
1.2	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	11
1.3	ÁREA DE ESTUDO	11
2	ARTIGO 1 - <i>RESPONSES OF FORAMINIFERAL ASSEMBLAGES TO HYDRODYNAMICS AND SEDIMENTARY PROCESSES ON TROPICAL COASTAL BEACHROCKS</i>.....	14
3	ARTIGO 2 - FORAMINÍFEROS ASSOCIADOS A MACROALGAS EM RECIFES TROPICAIS COSTEIROS (PERNAMBUCO, BRASIL)	33
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
	REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

Zonas costeiras são áreas dinâmicas sujeitas a intensas modificações ambientais resultantes da exposição aos ventos, chuvas, vazão dos rios, ondas, correntes costeiras e variações do nível do mar (Seibold & Berger, 2017; Mclachlan & Defeo, 2018).

Na costa do Nordeste do Brasil são frequentes os recifes de arenito (*beachrocks*), encontrados paralelamente a atual linha de costa e dispostos comumente em duas a três faixas seccionadas por canais e lacunas (Mabesoone, 1964; Dominguez, 2006; Pereira et al., 2017; Domingues et al., 2017; Ferreira Junior et al., 2018). Essas áreas possuem elevada importância ecológica (Laborel, 1970; Floetera et al., 2006; Leão et al., 2016) e oferecem diversos serviços ecossistêmicos para as populações humanas, como proteção costeira e renda, através da pesca e do turismo (Ferreira & Maida, 2001; Pegas et al., 2018; Martins et al., 2019).

A presença dos recifes influencia fortemente a hidrodinâmica local e a morfodinâmica praias por diminuírem (25 a 55%) a altura das ondas e atenuarem e dissiparem sua energia (97%), fatores que auxiliam no combate a erosão costeira e favorecem o estabelecimento e desenvolvimento das comunidades marinhas (Vousdoukas et al., 2007; Martins et al., 2019).

Nos recifes de arenito um componente biológico de grande importância é o fital, definido por Remane (1933) como o ambiente marinho formado por macrófitas (macroalgas ou fanerógamas marinhas) e seus organismos associados. As macroalgas com suas distintas composições químicas e arquitetônicas, favorecem o estabelecimento de invertebrados e vertebrados ao disponibilizar mais microhabitats, amenizar predação e competição, reduzir o estresse ambiental (dessecação, radiação UV, batimento de ondas) e acumular perifíton e detritos, além de, oferecerem locais para reprodução e forrageamento (Christie et al., 2009; Bates, 2009; Veiga et al., 2014; Tano et al., 2016; Borst et al., 2019).

O Fital de recifes costeiros marinhos tropicais é formado principalmente por macroalgas dos filos Ochrophyta (Classe Phaeophyceae - Algas pardas) do Reino Chromista e Rhodophyta (algas vermelhas) e Chlorophyta (algas verdes) do Reino Plantae (Ruggiero et al., 2015; Guiry & Guiry, 2022), invertebrados dos filos Annelida, Arthropoda, Bryozoa, Chordata, Cnidaria, Echinodermata, Mollusca, Nematoda e Porifera (Edgar, 1983; Lippert et al., 2001; Jacobucci & Leite, 2002; Murray, 2006; Tano et al., 2016), e vertebrados, em especial peixes.

Os foraminíferos são organismos unicelulares eucarióticos do Reino Chromista (Ruggiero et al., 2015; Boudagher-Fadel, 2018), que sintetizam carapaças carbonáticas e

podem ser encontrados desde água rasa até o mar profundo com grande riqueza de espécies e abundância, vivendo na coluna d'água (planctônicos), no sedimento e/ou sob macroalgas e angiospermas marinhas submersas (bentônicos) (Boltovskoy, 1971; Langer, 1993; Murray, 2006).

Os principais fatores responsáveis pela ocorrência e desenvolvimento das assembleias de foraminíferos são a profundidade, hidrodinâmica, temperatura, salinidade, disponibilidade de oxigênio, nutrientes, matéria orgânica e a dinâmica sedimentar (Boltovskoy et al., 1976b; Jones, 2013).

O fundo sedimentar marinho caracteriza-se como ambiente final de deposição das carapaças dos foraminíferos quando mortos, resultando em uma alta riqueza de espécies acumuladas pela contínua deposição (Boltovskoy et al., 1976; Sen Gupta, 2002; Murray, 2006). A alta sensibilidade das populações vivas de foraminíferos levam as assembleias a apresentarem elevada especificidade as condições ambientais e as características estruturais dos habitats, relacionadas à oferta de abrigo, proteção e disponibilidade de substrato, como a associação de espécies de foraminíferos epifíticos nas macroalgas marinhas (Atkinson, 1969; Boltovskoy et al., 1976a; Langer, 1993; Debenay & Payri, 2010). As assembleias de foraminíferos, mesmo que composta apenas por organismos mortos, são utilizadas como bioindicadoras em estudos da dinâmica sedimentar e da hidrodinâmica, refletindo diferentes níveis energéticos, sentidos de fluxo, aporte, transporte e deposição dos sedimentos (Scott et al., 2001; Murray, 2006).

Os métodos de estudo e aplicação dos foraminíferos como bioindicadores distinguem as assembleias vivas e mortas, considerando os descritores biológicos (composição taxonômica, abundância, riqueza e características morfológicas e tafonômicas) como importantes ferramentas de bioindicação para análises da qualidade ambiental, identificação de províncias sedimentares e inferências das condicionantes físicas, químicas e geológicas atuantes nas áreas de estudo (Boltovskoy & Wright, 1976b; Scott et al., 2001; Murray, 2006; Jones, 2013).

1.1 OBJETIVOS

O estudo das assembleias de foraminíferos bentônicos da região costeira do estado de Pernambuco (Nordeste do Brasil) foi proposto com os objetivos de:

1.1.1 Objetivo Geral

Caracterizar as assembleias de foraminíferos bentônicos em diferentes substratos dos recifes de arenito da zona entremarés no estado de Pernambuco (Brasil).

1.1.2 Objetivos Específicos

- Identificar os foraminíferos em distintos substratos (macroalgas e sedimentos) da zona entremarés no estado de Pernambuco (Brasil);
- Descrever a estrutura das assembleias de foraminíferos nos distintos substratos (macroalgas e sedimentos), considerando os descritores composição taxonômica, riqueza e abundância;
- Caracterizar os sedimentos costeiros e as macroalgas dos recifes de arenito da zona entremarés no estado de Pernambuco (Brasil);
- Correlacionar as assembleias de foraminíferos com as características dos sedimentos e das macroalgas dos recifes de arenito da zona entremarés do estado de Pernambuco (Brasil);

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está subdivida em dois capítulos construídos em forma de artigos. O artigo 1, intitulado “*Responses of foraminiferal assemblages to hydrodynamics and sedimentary processes on tropical coastal beachrocks*”, aborda a assembleia de foraminíferos bentônicos como indicadora das condições ambientais próximas aos recifes de arenito do entremarés do estado de Pernambuco (Brasil), tendo sido submetido à revista *Journal of South American Earth Sciences*. O artigo 2, intitulado “Foraminíferos associados a macroalgas em recifes tropicais costeiros (Nordeste, Brasil)”, e aborda as características das assembleias de foraminíferos epifíticos em diferentes espécies de macroalgas dos recifes costeiros, este que, será submetido a revista *Journal of Foraminiferal Research*.

1.3 ÁREA DE ESTUDO

O estado de Pernambuco está situado na zona tropical na região Nordeste do Brasil. A zona costeira do estado (7°32'52''S - 34°50'27''O - 8°54'57''S - 35°09'76''O) possui 155 km de extensão e abrange geopoliticamente 14 municípios costeiros identificados como partes do bioma Mata Atlântica, que juntos, representam cerca de 4% do território (IBGE, 2021; Barcellos et al., 2022).

A costa é banhada por águas marinhas com temperatura média de 27°C, bem oxigenadas e com salinidade próxima de 36 (Domingues et al., 2017; Manso et al., 2018). A precipitação pluviométrica anual varia de 1.800 a 2.500 mm, com balanço hídrico positivo (Ramos et al., 2009; Manso et al., 2018). Distintas estações climáticas ocorrem na região, seca de setembro a fevereiro e chuvosa de março a agosto (Bontempo et al., 2022). As marés são mesotidais e semi-diurnas, com amplitude média variando de 0,7 a até 2,5 m nas marés de sizígia equinociais e com ondas que alcançam altura média que varia entre 1,5 e 2 m, com período médio entre 5,4 e 14,8 s (Pereira et al., 2017; Manso et al., 2018; Bontempo et al., 2022). As correntes costeiras são controladas pelas variações de marés, ondas e direcionamento dos ventos, dando origem a correntes de deriva litorânea com sentido predominante de sul para norte ao longo do ano, sendo o seu fluxo fortemente influenciado pela presença dos recifes (Lira et al., 2010; Domingues et al., 2017).

A faixa costeira de Pernambuco é formada majoritariamente por sedimentos arenosos terrígenos quartzosos e biogênicos calcários de idade Quaternária e Cretácea, pertencentes a Bacia sedimentar de Pernambuco depositada sobre rochas cristalinas da Província Borborema (Pré-Cambriana) e vulcanitos da Formação Ipojuca (Mabesoone, 1972; Buarque et al., 2016; Pereira et al., 2017; Manso et al., 2018; Barcellos et al., 2020). Os recifes de arenito estudados apresentam coloração preta a acinzentada e composição arenítica, ocorrem paralelamente à linha de costa e localizam-se a menos de 1 km das praias, onde ficam predominantemente expostos nas marés baixas de sizígia (Mabesoone, 1964; Domingues et al., 2017; Ferreira Junior et al., 2018; Barcellos et al., 2020).

As áreas de coleta foram as praias do Pina (Recife)(8° 5'24.91"S - 34°52'45.94"O), Enseada dos Corais (Cabo de Santo Agostinho)(8°19'24.74"S - 34°56'56.85"O) e Toquinho (Ipojuca)(8°34'12.79"S - 35° 1'55.22"O)(Fig. 1), litoral central e sul de Pernambuco. Na praia do Pina o recife de arenito localiza-se a 90 m da praia, tem largura média de 6,6 m, altura média de 0,6 m e cerca de 5,5 km de extensão. Em Enseada dos Corais o recife distancia-se 50 m da costa, com largura média de 42,5 m, altura média de 0,69 m e extensão de 2,93 km (Vasconcelos, 2016). Este recife é separado em duas partes por um canal com aproximadamente 20 m de largura e cerca de 3 m de profundidade durante a maré alta. Nesse canal as correntes de retorno são permanentes (Maia et al., 2014) e formam *ripple marks* com comprimento médio de 1,85 m e altura de até 0,2 m. O recife de Toquinho está a 95 m da costa, tem largura média de 13 m, altura média de 0,96 m e se estende por 3,35 km (Vasconcelos, 2016). No canal que separa o recife da costa ocorrem *ripple marks* baixas

(menos de 0,1 m) e estreitas (0,6 m), formadas por fracas correntes de retorno (Mallmann et al., 2014).

Os recifes costeiros pernambucanos foram descritos pela primeira vez por Darwin no século XIX e são caracterizados resumidamente como corpos rochosos compostos principalmente de grãos arenosos de quartzo cimentados por carbonato de cálcio. Os recifes do entremarés são densamente colonizados por bancos de macroalgas típicas da província fitogeográfica tropical (Horta et al. 2001). Nessas áreas ocorrem cerca de 40 espécies de macroalgas, com dominância de *Palisada perforata* (Bory de Saint-Vincent) K.W. Nam, *Gelidiella acerosa* (Forsskal) Feldmann & G. Hamel, *Ulva* spp. Linnaeus, *Bryopsis* sp. J.V. Lamouroux, *Chondracanthus acicularis* (Roth) Fredericq e *Sargassum* C. Agardh (Vasconcelos et al., 2019).

2 ARTIGO 1 - RESPONSES OF FORAMINIFERAL ASSEMBLAGES TO HYDRODYNAMICS AND SEDIMENTARY PROCESSES ON TROPICAL COASTAL BEACHROCKS



SUBMETIDO À REVISTA - JOURNAL OF SOUTH AMERICAN EARTH SCIENCES

ABSTRACT

Coastal environments are very influenced by hydrodynamics and associated sedimentary processes. The assemblages of benthic foraminifera are structured by environmental characteristics, given the sensitivity and specificity of living populations or the presence of dead specimens, making them good indicators of the dominant processes in coastal environments. The present study used the benthic foraminifera as a proxy to assess environmental characteristics in beachrocks of Brazilian tropical sandy beaches. Samples were collected at the base of coastal beachrocks on the beaches Pina, Enseada and Toquinho (northeastern, Brazil) to describe foraminiferal assemblages (27 samples), and to grain size analysis and CaCO₃ content determination (27 samples). The sediments were predominantly composed of moderately sorted and approximately symmetrical medium to coarse sand of terrestrial origin. The littoral drift, rip currents, and waves are the main factors driving the size, sorting and redistribution of the sediments. A total 6,829 foraminifera were identified belonging to 42 genera and 76 species. The assemblages were dominated by *Amphistegina lessonii*, *Archaias angulatus*, *Massilina pernambucensis*, *Quinqueloculina lamarckiana*, *Textularia agglutinans* and *Triloculina laevigata*, and were mostly composed of relict tests probably originated and deposited during the last marine static period of sea level. The structure of foraminiferal assemblages significantly varied among beaches and was related to the dominant hydrodynamics and sedimentary processes. Higher richness and abundance of foraminifera occurred in areas with lower hydrodynamics and finer sediments, like Pina, whereas more intense hydrodynamics tended to prevent the deposition of fine sediments and foraminifera, and cause greater degradation of the tests, as observed in Enseada. These findings highlight the suitability of using foraminiferal assemblages to understand the dominant environmental processes in coastal areas dominated by beachrocks.

Keywords: benthos. bioindicators. hydrodynamics. sand-reefs. Brazil.

2.1 INTRODUCTION

Coastal zones are dynamic areas subject to intense environmental modifications, resulting from their exposure to wind, rain, river discharge, waves, coastal currents, and variations in sea level (Seibold & Berger, 2017; Mclachlan & Defeo, 2018). Beachrocks, reefs composed mostly of quartz (20–80%), together with biogenic grains derived from algae and mollusks, cemented with carbonate compounds, are common in the intertidal zone of northeastern Brazil (Mabesoone, 1964; Pereira et al., 2017; Ferreira Junior et al., 2018). These reefs play an important role in the maintenance of the marine biodiversity (Laborel, 1970; Floetera et al., 2006; Leão et al., 2016) and provide a range of ecosystem services for local human populations, such as coastal protection, leisure areas and income generated by fishing and tourism (Ferreira & Maida, 2001; Pegas et al., 2018; Martins et al., 2019).

The beachrocks of the Brazilian coast runs parallel to the beach marking ancient shorelines and were first described by Charles Darwin in 1841. These reefs are either permanently exposed and/or submerged (at depths of 5–10 m) or they are alternately exposed and submerged at high and low tide (Mabesoone, 1964; Leão et al., 2016). The morphology of beachrocks vary considerably, with a thickness of 3–5 m, width of up to 60 m, and a maximum extension of 10 km (Mabesoone, 1964; Laborel, 1970; Bezerra et al., 2005; Vieira & De Ros, 2006). The reefs have a strong influence on coastal hydrodynamics by generating strong rip currents in the gaps between the rocks on some beaches (Maia et al., 2014), driving the morphology and morphodynamic of beaches (Pereira et al., 2017; Martins et al., 2019), as well as acting as a trap for terrigenous material (Barcellos et al., 2020).

Benthic foraminifera (protists) form carbonate tests and are both extremely diverse and abundant in sediments or in association with other organisms, occurring from shallow coastal waters to the deep sea (Boltovskoy, 1971; Langer, 1993; Murray, 2006). The potential of these organisms as bioindicators makes them important tools for oceanographic studies, given their sensitivity and specificity to environmental factors (Zalesny, 1959; Scott et al., 2001; Murray, 2006; Jones, 2013). Even dead foraminiferal assemblages can provide important insights – direct or indirect – about the dominant environmental conditions at the time of sedimentation (Belart et al., 2018; Laut et al., 2020).

Previous studies have shown that salinity, depth, currents activity, sedimentary processes (erosion, input, transport, and deposition) and biological interactions control the establishment and development of benthic foraminifera (Zalensky, 1959; Boltovskoy & Wright, 1976b; Jones, 2013). Once dead, tests of planktonic and benthic foraminifera are

deposited in the bottom sediments (Murray, 2006). Depositional environments favor the establishment of rich and diverse foraminiferal assemblages, given the continuous accumulation of debris, making these environments important sources of information for the understanding of the interactions between environmental characteristics and the structure of foraminiferal assemblages (Boltovskoy & Wright, 1976b; Sen Gupta, 2002). Most studies with foraminifera distinguish living and dead assemblages, and use descriptors like taxonomic composition and richness, abundance, and morphological and taphonomic characteristics as proxies for environmental analysis (Scott et al., 2001; Murray, 2006; Jones, 2013).

The taxonomy of the foraminifera from the continental shelf of northeastern Brazil is already well known (Tinoco, 1971; Madeira-Falcetta, 1977; Araripe et al., 2016; Alves & Nogueira Junior, 2020). However, the relationships between the structure of the assemblages and the characteristics of the sedimentary environments are still largely unknown. The present study used the benthic foraminiferal assemblages as an as a proxy of environmental characteristics, focusing on the taxonomic composition, richness and abundance and their response to the hydrodynamics and sedimentary processes in areas influenced by beachrocks in the tropical Brazilian coast. The tested hypothesis was that, as part of the bottom sediments, the benthic foraminiferal assemblages provide good indications of how dominant environmental factors around coastal beachrocks influence the sediment characteristics.

2.2 MATERIALS AND METHODS

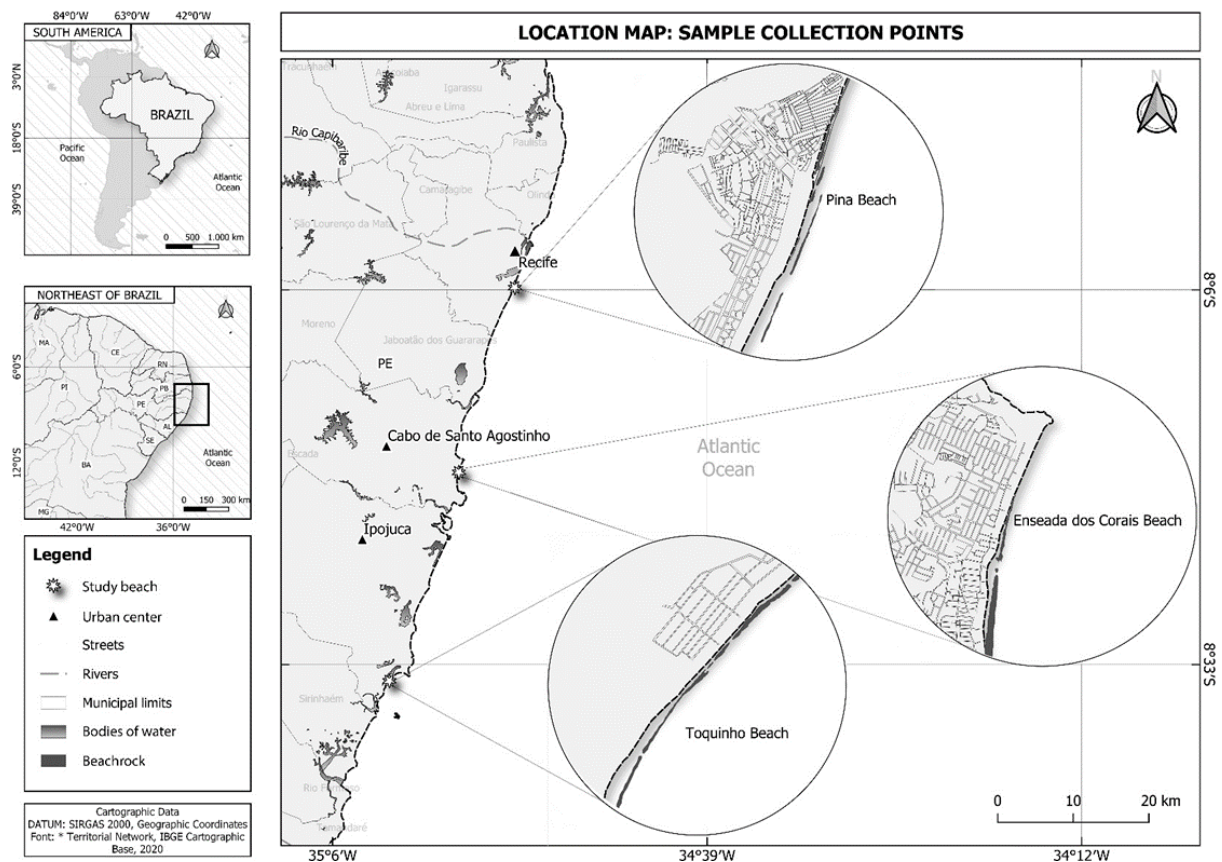
2.2.1 Study areas

Samples were collected in three beaches on the tropical coast of Brazil (Fig. 1) – Pina beach (08° 5' 24.91" S - 034° 52' 45.94" W), Enseada dos Corais (hereafter called Enseada) (08° 19' 24.74" S - 034° 56' 56.85" W) and Toquinho (08° 34' 12.79" S - 035° 1' 55.22" W). The climate is tropical hot/humid, with average annual temperatures above 25 °C throughout the year (Domingues et al., 2017). The mean wave height is between 1.5 and 2 m and the mean peak period is 8–9 s. The tides are semi-diurnal, with an amplitude of approximately 2.5 m at the equinoctial high tide (Pereira et al., 2017). The water is well-oxygenated, has salinity around 36 and temperature of 27°C (Domingues et al., 2017).

The beachrocks run parallel to the coastline, extending no more than 1 km out to sea, and are exposed almost completely at low tide. In Pina the studied beachrock is on average 90 m offshore, extends along the coast for approximately 5.5 km, and has an average width of 6.6 m and height of 0.6 m. In Enseada the beachrock is on average 50 m offshore, 42.5 m in width, 0.69 m high, and extends for 2.93 km along the coast (Vasconcelos, 2016), although it

is divided into two stretches by a channel approximately 20 m wide and around 3 m deep at high tide. The rip currents in this channel are permanent (Maia et al., 2014) and form ripple marks with mean length of 1.85 m and heights of up to 0.2 m. In Toquinho the beachrock is 95 m offshore, 13 m in width and 0.96 m high, extending along the coast for 3.35 km (Vasconcelos, 2016). Weak rip currents form low (less than 0.1 m) and narrow (0.6 m) ripple marks in the channel that separates the beachrock from the coastline (Mallmann et al., 2014).

Figure 1 – Location of the study beaches on the coast of Pernambuco (northeastern Brazil).



Source: Proper (2022).

2.2.2 Field procedures

Surface sediment samples were collected in October 2020 (dry season) on the spring tide. The samples were collected using a cylindrical sampler (3 cm diameter x 12 cm height - 85 cm³) at the internal (coastline-facing) base of the reefs. At each beach samples were taken at three sites (10 m interval among sites – three samples per site) for foraminifera and sediment analysis. After collection, foraminiferal samples were fixed with 70% ethylic alcohol and stained with Rose Bengal (1g stain: 1000 ml alcohol) (Walton, 1952; Bernhard, 2000).

2.2.3 Laboratory procedures

For the analysis of foraminifera, a sub-sample of 10 g of sediment was taken from each sample and sieved on a 0.063 mm mesh screen under running water. The material retained in the sieve posteriorly dried (60°C) and weighted (0,1g precision balance). Due to the large number of foraminifera in some samples, the 10 g of sediments were split in aliquots of approximately 1.25 g using a dry microsplitter. All foraminifera from one of these aliquots were collected. If the chosen aliquot did not have 300 foraminifera other aliquots were completely processed, until a minimum of 300 foraminifera was reached or the 10 g was completely analyzed. The selected specimens were transferred to and sorted on micro-slides for identification based on Ellis & Messina (1940–2006), Tinoco (1958), Loeblich & Tappan (1988) and Debenay et al. (2001). To refine the taxonomic assessment, photomicrographs were obtained using a Scanning Electron Microscope (Jeol JSM-5600LV). The degree of degradation (intact or degraded by abrasion, fragmentation, dissolution, or encrustation) and alteration of the natural coloration (unaltered or altered to yellow, brown, black, or mottled) of the tests were determined for each specimen (Leão & Machado, 1989; Duleba, 1994; Moraes & Machado, 2003). The abundance of foraminifera was expressed in number of individuals per 10 g of sediment.

The sediments were analyzed for particle size determination using a laser diffractometer (Horiba LA-950) and the carbonate content was determined by digestion with hydrochloric acid (1N) (Schumacher, 2002). The mean grain size, asymmetry, and sorting of sediment samples were calculated using the equations of Folk & Ward (1957), which were run in SYSGRAN 3.0 (Camargo, 2006).

2.2.4 Data analysis

The species richness (total number of species), abundance (number of foraminifera per 10 g of sediment), and the relative frequency and of occurrence of each species were calculated per sample (Tinoco, 1989). The ternary diagram, based on the wall structure of the benthic foraminifera, was used to determine the different environmental fields proposed by Murray (1973) and Boltovskoy & Wright (1976b). The characteristics of the sediment and assemblage were compared among beaches using a one-way Analysis of Variance (ANOVA) with data $\log(x+1)$ transformed. When the ANOVA results were significant, Tukey's post hoc test was applied for pairwise comparisons (Zar, 2010). One-way Permutational Multivariate Analysis of Variance (PERMANOVA) (Anderson, 2001) was applied to compare foraminiferal assemblages and sediment characteristics among beaches.

Canonical Analysis of Principal Coordinates (CAP) (Anderson & Willis, 2003) was used to assess multivariate patterns in foraminiferal assemblages and sediment characteristics across beaches. Distance-Based Linear Models (DistLM) were fitted to correlate foraminiferal assemblages with sediment characteristics (Clarke & Gorley, 2015). PERMANOVA, CAP and DistLM were run on resemblance matrices calculated using the Bray Curtis similarity (data square-root transformed - foraminifera) and Euclidean Distance (data log transformed – sediments). These analyses were run in Statistica® 12 (TIBCO, 2020) and PRIMER 7 + PERMANOVA (Clarke & Gorley, 2015), considering a significance level of 5%.

2.3 RESULTS

2.3.1 Sediment characteristics

The mean grain size varied significantly among beaches, ranging from medium sand in Pina to coarse sand in Toquinho, and coarse to very coarse sand in Enseada. Significantly more very coarse sand, and significantly less medium sand, fine sand, and very fine sand were recorded in Enseada. The mean grain size did not vary significantly between Toquinho and Pina, nor did the proportions of the different grain sizes except for fine sand, which was significantly higher in Pina than in Toquinho. The sorting also did not vary significantly among beaches, with moderately sorted grains dominating everywhere. The grains have an approximately symmetrical distribution in Toquinho and Pina, but significantly positively skewed in Enseada. The CaCO₃ contents ranged from 1% to 70% and were significantly highest in Pina and did not significantly vary between Enseada and Toquinho (Tab. 1).

Table 1. Sediment characteristics and results of ANOVA, and Tukey's post hoc test. Samples from beaches on Pernambuco coast (northeastern Brazil).

Descriptor	Mean ± standard deviation			F (ANOVA)	Tukey's test results
	Pina	Enseada	Toquinho		
Mean diameter (mm)	0.484 ± 0.71	0.997 ± 0.222	0.594 ± 0.174	23.30*	E>T=P
Very coarse sand (%)	4.65 ± 3.8	35.73 ± 12.06	11.72 ± 10.92	25.65*	E>T=P
Coarse sand (%)	32.44 ± 8.26	32.26 ± 6.95	34.97 ± 10.83	0.27 ^{ns}	
Medium sand (%)	49.06 ± 8.50	22.47 ± 12.73	44.48 ± 16.47	10.79*	E<T=P
Fine sand (%)	12.64 ± 4.81	2.24 ± 1.50	7.71 ± 5.35	13.54*	E<T=P
Very fine sand (%)	1.13 ± 0.75	0.01 ± 0.02	0.35 ± 0.35	22.11*	E<T<P
Sorting	0.81 ± 0.09	0.86 ± 0.09	0.80 ± 0.11	0.83 ^{ns}	
Skewness	-0.02 ± 0.05	0.19 ± 0.03	-0.03 ± 0.07	4.39*	E>T=P
CaCO ₃ (%)	57.00 ± 10	3.00 ± 1	2.00 ± 1	436.45*	E=T<P

Source: Proper (2022). *: p < 0.05, ^{ns}: not-significant.

2.3.2 Foraminiferal assemblages

A total 6,829 foraminifera were identified belonging to 42 genera and 76 species (Fig. 2 and 3, Tab. 2 and 3). Six species, *Amphistegina lessonii*, *Archaias angulatus*, *Massilina pernambucensis*, *Quinqueloculina lamarckiana*, *Textularia agglutinans* and *Triloculina laevigata*, dominated, while 10 species were accessory, and 60 were rare. Regarding the frequency of occurrence, 33 species were constant, 17 accessories, and 26 were incidental. Only 0.19% of the specimens were alive and belonged to the *Ammonia beccarii*, *Pararotalia cananeaensis*, *Amphistegina lessonii*, *Bulimina sp.*, *Eponides repandus*, *Quinqueloculina sp.* "A", *Rosalina bradyi*, *R. floridana*, and *Textularia sp.* "B".

Table 2. Abundance (mean \pm standard deviation) of foraminifera in samples from beaches on Pernambuco coast (northeastern Brazil). Continue

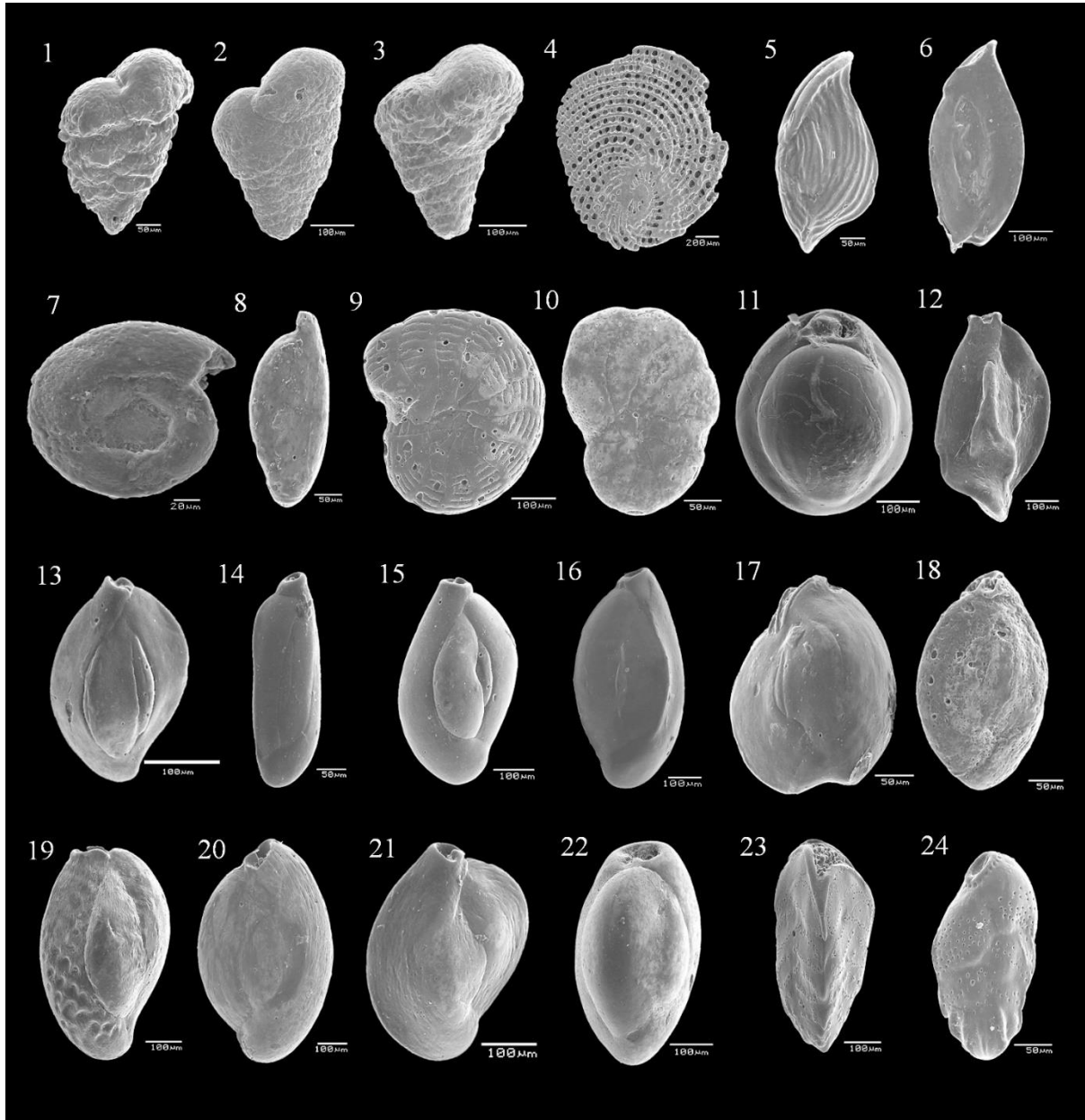
Species	Abundance (ind.10 ⁻¹ g sediment)		
	Pina	Enseada	Toquinho
Textulariida			
<i>Clavulina tricarinata</i> d'Orbigny, 1839	0.89 \pm 2.67	0	0
<i>Textularia agglutinans</i> d'Orbigny, 1839	306.67 \pm 116.7	11 \pm 20.92	23.67 \pm 11.58
<i>Textularia barreti</i> Jones & Parker, 1876	14.67 \pm 12.33	0	2 \pm 2.6
<i>Textularia candeiana</i> d'Orbigny, 1839	20.44 \pm 15.93	0.67 \pm 1	1.56 \pm 1.24
<i>Textularia conica</i> Ehrenberg, 1840	16 \pm 12.49	0	1.33 \pm 1.32
<i>Textularia gramem</i> d'Orbigny, 1846	58.67 \pm 24.58	1.78 \pm 2.17	1.67 \pm 1.5
<i>Textularia sp.</i> "A" DeFrance, 1824	40 \pm 25.06	0.89 \pm 1.54	2.44 \pm 2.13
<i>Textularia sp.</i> "B" DeFrance, 1824	2.67 \pm 8	0.56 \pm 1.33	0
Miliolida			
<i>Amphisorus hemprichii</i> Ehrenberg, 1839	4.89 \pm 5.58	0	0.11 \pm 0.33
<i>Archaias angulatus</i> (Fichtel & Moll, 1798)	180.89 \pm 64.12	0.56 \pm 1.13	1.11 \pm 1.36
<i>Articulina mucronata</i> (d'Orbigny, 1839)	35.11 \pm 14.67	0.67 \pm 0.87	3.22 \pm 2.05
<i>Articulina multilocularis</i> Brady et al., 1888	7.56 \pm 5.81	0.11 \pm 0.33	2.33 \pm 2.18
<i>Borelis pulchra</i> (d'Orbigny, 1839)	0.89 \pm 2.67	0	0.11 \pm 0.33
<i>Cornuspira involvens</i> (Reuss, 1850)	1.33 \pm 2.83	0	0.11 \pm 0.33
<i>Hauerina bradyi</i> d'Orbigny, 1839	11.56 \pm 13.33	0	3 \pm 2.65
<i>Massilina pernambucensis</i> Tinoco, 1958	155.56 \pm 53.27	1.33 \pm 1.66	16.78 \pm 9.24
<i>Miliolinella sp.</i> Wiesner, 1931	0	0.11 \pm 0.33	0
<i>Peneroplis bradyi</i> Cushman, 1930	40 \pm 22.27	0.89 \pm 0.93	8.89 \pm 4.88
<i>Peneroplis pertusus</i> (Forsskål in Niebuhr, 1775)	1.78 \pm 5.33	0.33 \pm 0.71	0.44 \pm 0.88
<i>Peneroplis proteus</i> d'Orbigny, 1839	11.56 \pm 20.44	2.67 \pm 2	6.22 \pm 3.73
<i>Pseudolachlanella eburnea</i> d'Orbigny, 1839	0	0.33 \pm 0.71	0
<i>Pyrgo elongata</i> (d'Orbigny, 1826)	4.89 \pm 6.86	0.22 \pm 0.67	0.22 \pm 0.67
<i>Pyrgo subsphaerica</i> (d'Orbigny, 1839)	10.67 \pm 9.8	0.11 \pm 0.33	1.67 \pm 1.12
<i>Quinqueloculina candeiana</i> d'Orbigny, 1839	50.67 \pm 10.39	0.44 \pm 1.33	10.33 \pm 7.37
<i>Quinqueloculina derbyi</i> Tinoco, 1958	50.67 \pm 40.4	0.33 \pm 0.5	1.44 \pm 1.42
<i>Quinqueloculina lamarckiana</i> d'Orbigny, 1839	588.89 \pm 262.27	16 \pm 8.57	47.44 \pm 18.43
<i>Quinqueloculina moynensis</i> Collins, 1953	111.56 \pm 50.06	1.78 \pm 2.33	27.89 \pm 9.44
<i>Quinqueloculina parkeri</i> (Brady, 1881)	29.78 \pm 26.62	1.11 \pm 1.9	0.11 \pm 0.33
<i>Quinqueloculina polygona</i> d'Orbigny, 1839	3.11 \pm 7.94	0.56 \pm 1.13	1.11 \pm 1.54
<i>Quinqueloculina seminulum</i> (Linnaeus, 1758)	0.89 \pm 2.67	0.11 \pm 0.33	3.11 \pm 8.61

Table 2. Abundance (mean \pm standard deviation) of foraminifera in samples from beaches on Pernambuco coast (northeastern Brazil). Conclusion

Species	Abundance (ind.10-1 g sediment)		
	Pina	Enseada	Toquinho
<i>Quinqueloculina</i> sp."A" d'Orbigny, 1826	0	0.22 \pm 0.44	0.33 \pm 0.71
<i>Quinqueloculina</i> sp."B" d'Orbigny, 1826	0.89 \pm 1.76	0.11 \pm 0.33	0
<i>Quinqueloculina venusta</i> Karrer, 1868	48 \pm 42.14	0.44 \pm 0.88	0
<i>Quinqueloculina vulgaris</i> d'Orbigny, 1826	8.89 \pm 15.85	0	3.78 \pm 3.63
<i>Sigmoilina</i> sp."A" Schlumberger, 1887	71.56 \pm 24.69	0.67 \pm 0.87	6 \pm 2.69
<i>Sigmoilina</i> sp."B" Schlumberger, 1887	0	0.78 \pm 1.3	1.22 \pm 1.92
<i>Triloculina laevigata</i> d'Orbigny, 1826	204.44 \pm 103.93	0.67 \pm 1	10.44 \pm 8.17
<i>Triloculina sommeri</i> Tinoco, 1955	89.78 \pm 53.63	9.11 \pm 6.85	9.89 \pm 4.68
<i>Triloculina</i> sp. d'Orbigny, 1826	0.89 \pm 2.67	0.44 \pm 0.73	0
<i>Triloculina trigonula</i> (Lamarck, 1804)	2.67 \pm 5.66	0	0.44 \pm 0.53
Rotaliida			
<i>Allomorphina</i> sp. Reuss, 1849	4.89 \pm 8.43	0	0
<i>Ammonia beccarii</i> (Linnaeus, 1758)	18.67 \pm 8	0.44 \pm 1.33	9.78 \pm 6.61
<i>Amphistegina lessonii</i> d'Orbigny, 1832	158.22 \pm 55.68	6.44 \pm 2.83	6.78 \pm 3.31
<i>Bolivina</i> sp."A" d'Orbigny, 1839	16 \pm 33.53	0.22 \pm 0.44	2 \pm 2.55
<i>Bolivina</i> sp."B" d'Orbigny, 1839	0	0	0.22 \pm 0.44
<i>Bolivina variabilis</i> (Williamson, 1858)	5.33 \pm 10.58	0	0.89 \pm 0.93
<i>Bulimina</i> sp. d'Orbigny, 1826	0	0.11 \pm 0.33	0.11 \pm 0.33
<i>Cibicides refulgens</i> Montfort, 1808	60 \pm 26.83	0.11 \pm 0.33	6.56 \pm 3.64
<i>Cibicides</i> sp."A" Montfort, 1808	7.11 \pm 12.93	0.44 \pm 0.44	1.44 \pm 3.36
<i>Cibicides</i> sp."B" Montfort, 1808	2.67 \pm 4	0	1.22 \pm 1.72
<i>Discorbis mira</i> Cushman, 1922	40.89 \pm 24.88	0.67 \pm 1.41	1.67 \pm 2.55
<i>Elphidium alvarezianum</i> (d'Orbigny, 1839)	15.56 \pm 12.4	0.22 \pm 0.67	2.22 \pm 1.64
<i>Elphidium discoideale</i> (d'Orbigny, 1839)	32.89 \pm 26.06	1 \pm 1.22	5.67 \pm 3
<i>Elphidium incertum</i> (Williamson, 1858)	1.78 \pm 5.33	0	0.89 \pm 1.76
<i>Elphidium sagra</i> (d'Orbigny, 1839)	36.89 \pm 21.52	0	2.78 \pm 2.05
<i>Eponides repandus</i> (Fichtel & Moll, 1798)	43.56 \pm 25.02	1.67 \pm 2	3.89 \pm 2.71
<i>Glabratella brasiliensis</i> Boltovskoy, 1959	27.56 \pm 17.37	0.22 \pm 0.67	1.78 \pm 2.28
<i>Glabratella miriabilis</i> Seiglie & Bermúdez, 1965	0.89 \pm 2.67	0	0.11 \pm 0.33
<i>Gypsina vesicularis</i> (Parker & Jones, 1860)	22.22 \pm 16.87	0.22 \pm 0.67	0.44 \pm 0.73
<i>Heterostegina antillarum</i> d'Orbigny, 1826	12.44 \pm 10.67	0	0.56 \pm 0.73
<i>Nonion grateloupii</i> (d'Orbigny, 1839)	12.44 \pm 15.03	0.33 \pm 0.5	1 \pm 0.87
<i>Pararotalia cananeaensis</i> Debenay et al., 2001	104 \pm 41.18	2.22 \pm 2.33	10.11 \pm 4.78
<i>Planorbulina mediterraneanensis</i> d'Orbigny, 1826	2.22 \pm 3.53	0	0
<i>Poroeponides</i> sp. (Terquem, 1878)	0	0	0.11 \pm 0.33
<i>Reussella aequa</i> Cushman & McCulloch, 1948	33.78 \pm 19.61	0.22 \pm 0.44	6.56 \pm 3.43
<i>Rosalina bradyi</i> (Cushman, 1915)	3.56 \pm 8.11	0.44 \pm 0.88	1.56 \pm 1.88
<i>Rosalina floridana</i> (Cushman, 1922)	8.89 \pm 12.29	2.33 \pm 2.6	0.33 \pm 0.71
<i>Rosalina globularis</i> d'Orbigny, 1826	0	0	0.67 \pm 2
<i>Sigmavirgulina tortuosa</i> (Brady, 1881)	4.89 \pm 8.43	0.22 \pm 0.67	0.33 \pm 1
<i>Siphogenerina rephanus</i> (Parker & Jones, 1865)	3.56 \pm 4.22	0	0.56 \pm 0.73
<i>Siphonina reticulata</i> (Czjzek, 1848)	22.67 \pm 14.14	0.33 \pm 0.71	1.22 \pm 1.39
<i>Siphoninoides</i> sp. Cushman, 1927	12.44 \pm 9.89	0	1.33 \pm 2.18
<i>Uvigerina</i> sp. d'Orbigny, 1826	3.56 \pm 8.11	0	1 \pm 1.73
Spirillinida			
<i>Patellina</i> sp. Williamson, 1858	0	0	0.11 \pm 0.33
<i>Spirillina vivipara</i> Ehrenberg, 1843	6.67 \pm 6.32	0	0.44 \pm 0.53
Vaginulinida			
<i>Dimorphina</i> sp. d'Orbigny, 1826	4.44 \pm 10.67	0	0.44 \pm 0.73

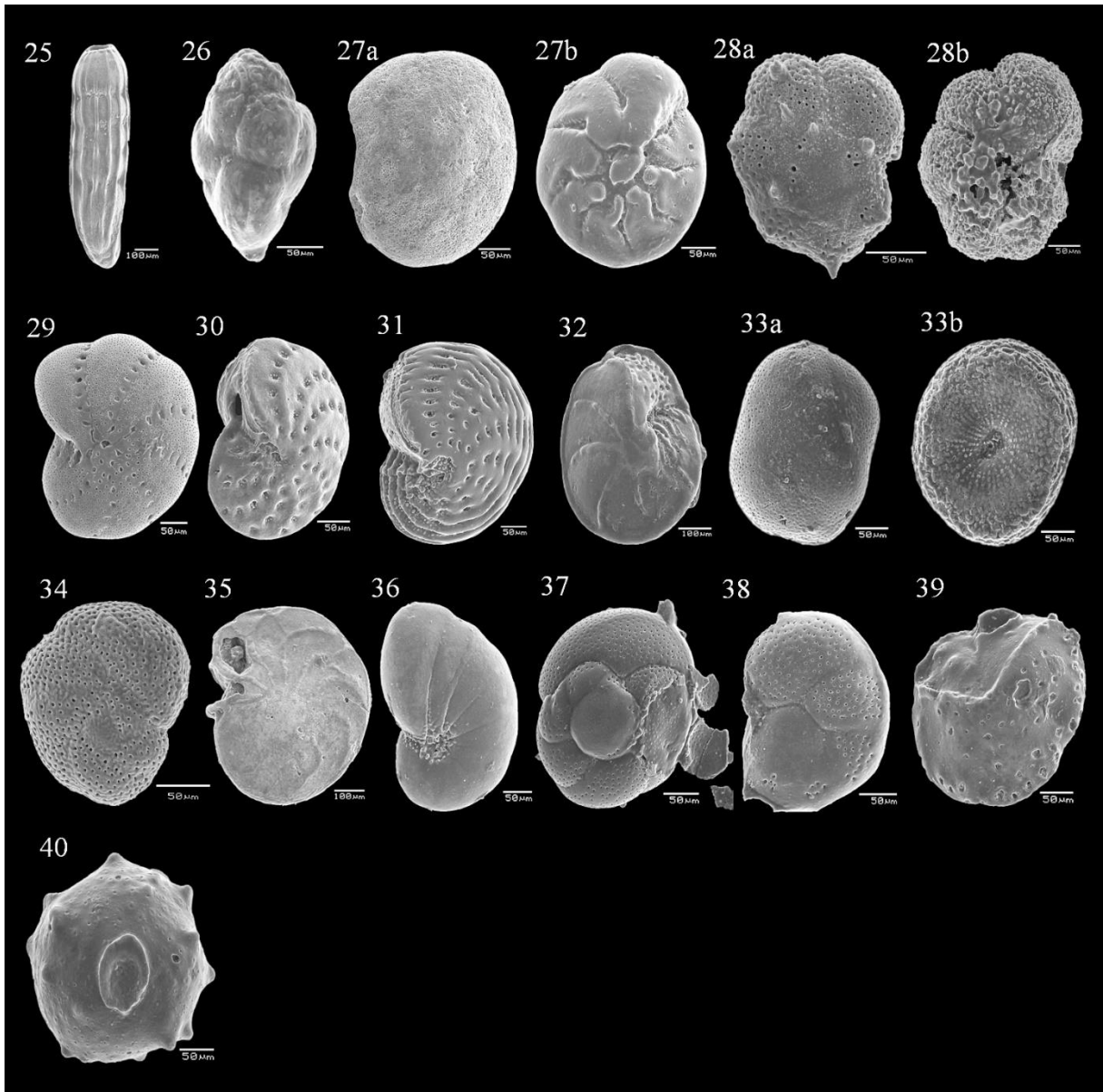
Source: Proper (2022).

Figure 2. Scanning electron micrographs of foraminiferal specimens belonging to: 1- *Textularia agglutinans*; 2- *Textularia* sp. "A"; 3- *T. candeiana*; 4- *Archaias angulatus*; 5- *Articulina mucronata*; 6- *A. multilocularis*; 7- *Cornuspira involvens*; 8- *Massilina pernambucensis*; 9- *Peneroplis pertusus*; 10- *P. proteus*; 11- *Pyrgo subsphaerica*; 12- *Quinqueloculina derbyi*; 13- *Q. lamarckiana*; 14- *Q. moynensis*; 15- *Q. seminulum*; 16- *Q. venusta*; 17- *Q. vulgaris*; 18- *Sigmoilina* sp."A"; 19- *Triloculina bicarinata*; 20- *T. laevigata*; 21- *T. sommeri*; 22- *T. trigonula*; 23- *Reussella aequa*; 24- *Bolivina* sp. "A". Specimens from beaches on Pernambuco coast (northeastern Brazil).



Source: Proper (2022).

Figure 3. Scanning electron micrographs of foraminiferal specimens belonging to: 25- *Siphogenerina rephanus*; 26- *Uvigerina* sp.; 27a e 27b - *Ammonia beccarii* (dorsal and ventral faces); 28a e 28b- *Pararotalia cananeaensis* (dorsal and ventral faces); 29- *Elphidium discoidale*; 30- *E. incertum*; 31- *E. sagra*; 32- *Eponides repandus*; 33a e 33b - *Glabratella brasiliensis* (dorsal and ventral faces); 34- *G. mirabilis*; 35- *Heterostegina* sp.; 36- *Nonion grateloupii*; 37- *Rosalina floridana*; 38- *R. bradyi*; 39- *Siphonina reticulata*; 40- *Siphoninoides* sp. Specimens from beaches on Pernambuco coast (northeastern Brazil).



Source: Proper (2022).

Although not very abundant, live foraminifera were present in high frequency. The highest abundance of living foraminifera was found in Enseada, where they represented 43.86 % of living specimens ($3 \pm 2 \text{ ind.} \cdot 10^{-1} \text{ g sediment}$). The species richness and abundance varied

significantly among beaches, being lowest in Enseada. Pina and Toquinho had similar richness, although abundance was significantly higher in Pina (Tab. 3).

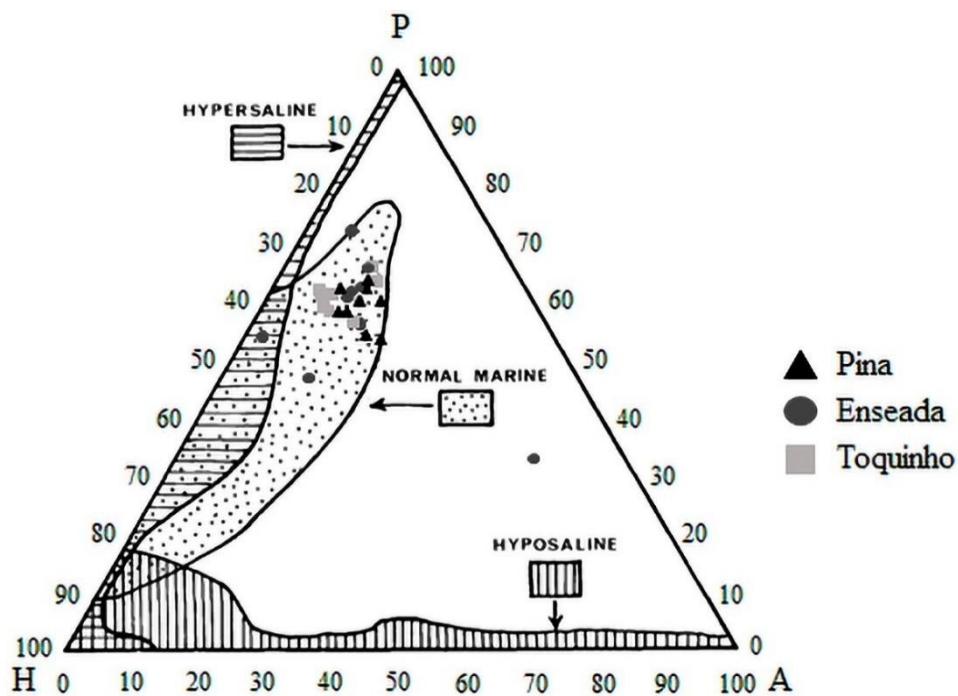
Table 3. Descriptors of foraminiferal assemblages (mean \pm standard deviation). Summary results of ANOVA and Tukey's post hoc test. Sample from beaches on Pernambuco coast (northeastern Brazil).

Descriptor	Mean \pm standard deviation			F (ANOVA)	Tukey's test results
	Pina	Enseada	Toquinho		
Species richness	43.22 \pm 3.56	17.22 \pm 3.49	38.78 \pm 5.74	107.68*	E<T=P
Abundance (ind.10 ⁻¹ g sediment)	2920 \pm 870.66	72.89 \pm 29.55	275.22 \pm 88.79	260.50*	E<T<P

Source: Proper. * $p < 0.05$.

Porcelaneous tests (order Miliolida) dominated on all beaches, representing 59% of the total specimens, followed by hyaline-perforate tests (orders Buliminida, Lagenida, Rotaliida and Spirillinida) (25% of the total specimens) and agglutinated tests (order Textulariida) (16% of specimens). Most samples fell in the normal marine environment (salinity 30-40) provided by Murray (1973) and Boltovskoy & Wright (1976b) (Fig. 4).

Figure 4. Ternary diagram showing percent abundance of wall structure types (P: porcelaneous, H: hyaline-perforate and A = agglutinated foraminifera) of individual samples. Samples from beaches in Pernambuco coast (northeastern Brazil).



Source: Modified from Murray (1973) and Boltovskoy & Wright (1976b).

Most tests (83%) had color alteration, and no significant variation in type of color alteration were found among beaches. Brown tests dominated in Enseada (59%) and Pina (49%), while mottled tests dominated in Toquinho (61%), followed by white or yellow (Pina) tests. Approximately 80% of foraminifera were intact, the main degradation was fragmentation, and no encrusted tests were observed. Degraded tests were significantly more abundant in Enseada (16% of fragmentation and 12% of abrasion) (Table 4).

Table 4. Taphonomic characteristics of foraminifera. Summary results of ANOVA and Tukey's post hoc test. Samples from beaches on Pernambuco coast (northeastern Brazil).

Color alteration (%) (mean \pm standard deviation)				Degradation (%) (mean \pm standard deviation)			
	Pina	Enseada	Toquinho		Pina	Enseada	Toquinho
White	17 \pm 2	18 \pm 10	16 \pm 4	Intact	86 \pm 6	70 \pm 9	83 \pm 3
Black	2 \pm 1	4 \pm 2	6 \pm 2	Encrustation	0	0	0
Mottled	9 \pm 3	7 \pm 5	61 \pm 5	Dissolution	1 \pm 1	2 \pm 1	1 \pm 0
Brown	49 \pm 23	59 \pm 11	8 \pm 2	Fragmentation	11 \pm 5	16 \pm 8	12 \pm 3
Yellow	23 \pm 23	12 \pm 5	10 \pm 3	Abrasion	2 \pm 1	12 \pm 5	4 \pm 2
Unchanged	17 \pm 2	18 \pm 10	16 \pm 4	Intact	86 \pm 6	70 \pm 9	83 \pm 3
Changed	83 \pm 2	82 \pm 10	84 \pm 4	Degraded	14 \pm 6	30 \pm 9	17 \pm 3
ANOVA result				ANOVA result		Tukey's test result	
0.65 p: > 0.52				19.97 p: < 0.01		E>T=P	

Source: Proper (2022).

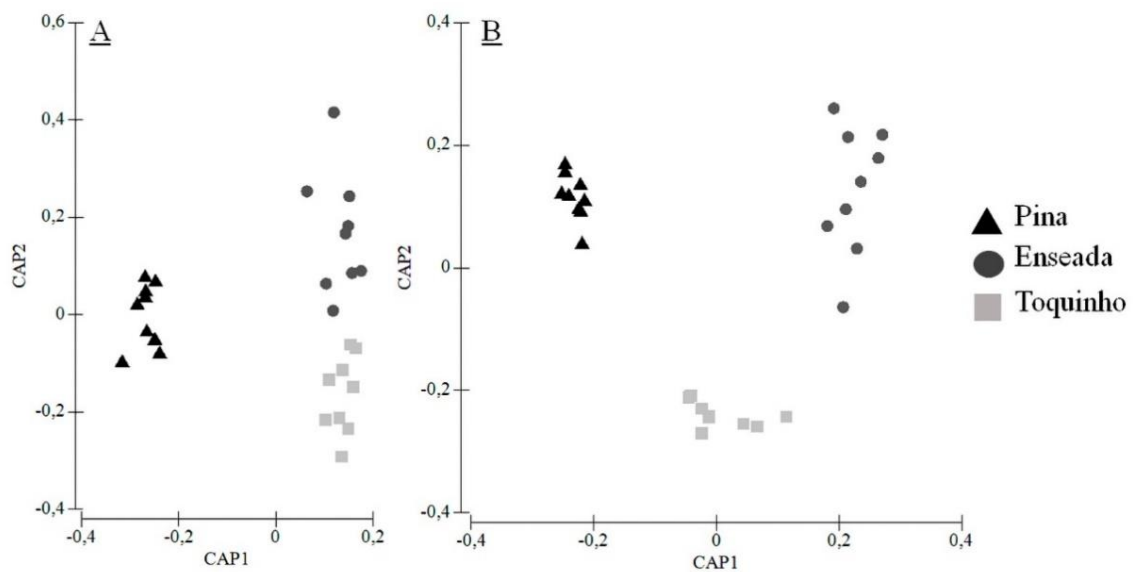
The characteristics of sediments and of foraminiferal assemblages varied significantly among beaches (Table 5). In CAP plots it is possible to identify three groups, each one representing one beach (Fig. 5), these results are reinforced by the high canonical correlations of the axes (Sediments - δ^2 CAP 1: 0.98, δ^2 CAP 2: 0.73; Foraminifera - δ^2 CAP 1: 0.97, δ^2 CAP 2: 0.89) and high number of samples correctly classified (sediment: 96.3% of samples correctly classified, foraminifera: 100% of samples correctly classified).

Table 5. Results of the PERMANOVA of the sediment characteristics and foraminiferal assemblages. Samples from beaches on Pernambuco coast (northeastern Brazil).

Sediment characteristics						
Source of variation	DF ¹	SS ²	MS ³	Pseudo-F	p(perm) ⁴	Unique permutations
Beach	2	91.73	45.87	9.46	< 0.01	996
Error	24	116.27	4.84			
Pair-wise tests (mean distance among/between beaches)						
	Pina		Enseada		Toquinho	
Pina	2.64					
Enseada	4.86*		2.84			
Toquinho	3.79*		3.67*		2.99	
Foraminiferal assemblages						
Source of variation	DF ¹	SS ²	MS ³	Pseudo-F	p(perm) ⁴	Unique permutations
Beach	2	26021	13010	17.73	< 0.01	998
Error	24	17610	733.73			
Pair-wise tests (mean similarity among/between beaches)						
	Pina		Enseada		Toquinho	
Pina	78.21					
Enseada	21.78*		46.34			
Toquinho	49.39*		38.48*		69.58	

Source: Proper. ¹ DF: Degree of Freedom, ² SS: Sum of Squares, ³ MS: Mean Square, ⁴ p(perm): p value after Monte Carlo permutation, ⁵ Mean resemblance within/between groups, *: p < 0.05.

Figure 7. The CAP plots on sediment characteristics (A) and the foraminiferal assemblages (B). Samples from beaches on Pernambuco coast (northeastern Brazil).



Source: Proper (2022).

The best distance-based linear models (DistLM) fitted explained 52% of the total variation in the foraminiferal assemblages. The proportion of very coarse grains and CaCO₃ content were the sediment characteristic that contributed most for explaining variation in foraminiferal assemblages (Table 6). When considering the individual descriptors of the assemblages, the best models were fitted for species richness and abundance, which explained more than 80% of the variation. All the models included the proportion of very coarse sand, which explained up to 65.2% of the variation in species richness and 47.4% of the variation in degradation. The CaCO₃ content was the variable that best explained the abundance of foraminifera (82.9% explanation).

Table 6. Distance-based linear models (DistLM) fitted of the foraminiferal assemblage descriptors against the sediment characteristics. Samples from beaches on Pernambuco coast (northeastern Brazil).

Foraminiferal assemblages - Sequential tests for stepwise model (Adjusted $r^2 = 0.52$)					
Variable	AIC	Pseudo-F	p	Prop. (%) ¹	res.df ²
% Very coarse sand	191.57	13.85	< 0.01	35.65	25
% CaCO ₃	185.42	8.45	< 0.01	16.76	24
Species richness - Sequential tests for stepwise model (Adjusted $r^2 = 0.8$)					
Variable	AIC	Pseudo-F	P	Prop. (%) ¹	res.df ²
% Very coarse sand	-26.34	49.06	< 0.01	65.24	25
% Skewness	-31.01	1.92	< 0.02	7.39	24
% Coarse sand	-43.64	2.87	< 0.01	11.03	23
Abundance - Sequential tests for stepwise model (Adjusted $r^2 = 0.86$)					
Variable	AIC	Pseudo-F	P	Prop. (%) ¹	res.df ²
% CaCO ₃	-44.64	120.86	< 0.01	82.86	25
% Coarse sand	-44.98	2.17	> 0.15	1.42	24
% Very coarse sand	-45.20	1.97	> 0.19	1.24	23
Degradation - Sequential tests for stepwise model (Adjusted $r^2 = 0.62$)					
Variable	AIC	Pseudo-F	p	Prop. (%) ¹	res.df ²
% Very coarse sand	-14.38	12.33	< 0.01	47.43	25
% Medium sand	-17.40	2.32	< 0.04	8.92	24
% Sorting	-19.14	1.47	> 0.07	5.64	23

Source: Proper (2022). ¹Proportion (%) of the variability explained, ²Residual degrees of freedom.

2.4 DISCUSSION

2.4.1 Sediment characteristics

The sediments are predominantly composed of medium sand in Pina, coarse sand in Toquinho, and coarse to very coarse sand in Enseada. The sediments of the beaches and the

shallow continental shelf of Pernambuco are typically composed of medium to coarse sands of terrigenous origin, deposited between the Holocene marine terraces and the low tide line, where they have been reworked by the action of waves, tides, and coastal currents (Coutinho & Morais, 1970; Martins & Coutinho, 1981; Coutinho, 2005; Pereira et al., 2017). The sandy fraction is mainly composed of quartz, mica, and a smaller content of heavy minerals, while in the clay fraction, poorly-crystallized kaolinite, montmorillonite, and illite predominate (Pereira et al., 2017).

The sediments in the studied beaches are moderately sorted and had approximately symmetrical distribution, except in Enseada where they presented positive skewness. On sandy beaches the sorting and skewness of sand are a response to the prevailing physical processes, while these parameters of the silt and clay fractions are dominated more by chemical and biological factors rather than by any direct physical, process-response relationship (Carr, 1982; Komar, 1998). Although also dependent on other factors such as the supply of fluvial sediments to the coastal zone and to wind activity, longshore drift, which in northeastern Brazil occurs predominantly from south to north, together with rip currents and waves are the principal drivers of the redistribution of the sediments on the Brazilian northeastern sandy beaches (Lira et al., 2010; Domingues et al., 2017). The dominance of moderately sorted sands reveals the influence of relatively high wave energy condition in all beaches (Friedman, 1961; Pereira et al., 2017). Beaches characterized by no particular dominance of either positive or negative skewness, as Pina and Toquinho, are present where high wave energy may be effective one day but not the next (Folk & Ward, 1957; Duane, 1964).

In Enseada the sediments are significantly different from Pina and Toquinho, with bimodal distribution of grain size, lower sorting, positive skewness and higher abundance of very coarse sand. Sediments with these characteristics are typical of coastal areas influenced by rivers and where wave action cause heavy erosion of coastal rocks and sediments are deposited by waves and currents under high energy condition (Friedman, 1961; França et al., 1976; Suguio, 2003). The sediments in Enseada reflect the higher abundance of siliciclastic grains originated from rock fragments and siliclastic local minerals (mudstones, sandstones and conglomerates) (Barcellos et al., 2020) and the strong tidal currents in the channel that separates the beachrock from the beach, as indicated by the abundant ripple marks, up to 1.85 m in width and 0.2 m in height present there.

The CaCO_3 content was very low at Toquinho and Enseada (mean of 2% and 3% respectively) and high in Pina (mean of 57%). Based on calcium carbonate content

(Larsonneur, 1977; Larsonneur et al., 1982), the sediments in Enseada and Toquinho form a lithoclastic deposit, which are influenced intensely by continental terrestrial deposition, whereas in Pina sediments form a biolithoclastic deposit, which are influenced moderately by terrestrial deposition. The CaCO_3 content of the sediments on the coast of northeastern Brazil is generally lower than 50%, increasing only in deeper areas of the continental shelf, at depths of over 20 m, where the content may exceed 90% composed of sand gravelly bioclastic sediments, with low organic matter content (Coutinho & Morais, 1970; França et al., 1976; Barcellos et al., 2020). Since carbonate sediments are lighter than other types of sediments their deposition is strongly related to hydrodynamics (Kruijf et al., 2021), and it is expected that maximum calcium carbonate contents be found in the more sheltered areas, such as Pina, and the opposite will occur in more hydrodynamic places, such as Enseada and Toquinho. It is also to point out that carbonate sediments on the sandy beaches of northeastern Brazil are formed primarily by calcareous algae, corals, mollusk shells, and tests of foraminifera (Manso et al., 2003), which may contribute to explain the highest contents of CaCO_3 recorded in Pina, where the abundance of foraminifera is significantly higher than in the other beaches.

2.4.2 Foraminiferal assemblages

The dominant species, *Amphistegina lessonii*, *Archaias angulatus*, *Massilina pernambucensis*, *Quinqueloculina lamarckiana*, *Textularia agglutinans*, and *Triloculina laevigata*, were the same on all studied beaches. This taxonomic composition and the dominance of porcelaneous tests of the order Miliolida, which are relatively resistant to degradation, is typical of the continental shelf and coastal areas of northeastern Brazil (Tinoco, 1971; Madeira-Falcetta, 1977; Araripe et al., 2016; Alves & Nogueira Junior, 2020). The ecological characteristics of these species and the abundance of the different tests types in the ternary diagram indicated that these are environments of mixed carbonatic/siliciclastic sedimentation and temporally persistent deposits, located in warm, shallow, translucent tropical waters, with euryhaline salinity and moderate to intense hydrodynamics (Murray, 1973, 2006; Madeira-Falcetta, 1977; Armstrong & Brasier, 2005; Bruno & Araújo, 2012).

The abundance of live foraminifera was low everywhere, even though they were present in almost all samples. Most living specimens belonged to hyaline epiphytic species, like *Rosalina bradyi*, *R. floridana*, and *Pararotalia cananeaensis*, and were probably attached to macroalgae. These species are not abundant in the continental shelf sediments, demonstrating the high specificity of these epiphytic species to the substrate (Boltovskoy et al., 1976a; Langer, 1993). The thinner and more delicate of tests, and their reduced abundance

in sediments, indicate that epiphytic foraminifera may be less resistant to the degradation caused by transport and bottom friction. It suggests that the living individuals were freshly detached from the macroalgae and were recently deposited on the bottom sediments (Boltovskoy et al., 1976a; Langer, 1993, Debenay & Payri, 2010).

Marine macroalgae are known to favor the establishment of populations of many different organisms by providing microhabitats that reduce environmental stress and increase the availability of food and shelter and probably determined the occurrence of the living epiphytic foraminifera recorded in the studied beaches (Stachowicz, 2001; Bates, 2009; Veiga et al., 2014; Borst et al., 2019; Craveiro et al., 2021). Macroalgal beds on the coastal beachrocks of northeastern Brazil are extremely diverse and are dominated by species like *Palisada perforata*, *Gelidiella acerosa*, *Ulva* sp., *Bryopsis* sp., *Chondracanthus acicularis* and *Sargassum* sp. (Vasconcelos et al., 2019). Studies have already shown high diversity of plants and animals associated with macroalgae in the coastal reefs of the Brazilian tropical coast (Soares & Fuji, 2012; Chaves et al., 2013; Costa et al., 2016; Roos et al., 2019)

Living foraminifera were relatively more abundant in Enseada than in Pina and Enseada, and it may have resulted from the different level of urbanization these beaches. When studying macroalgae as indicator of urbanization in the Pernambuco coast, Vasconcelos et al (2019) classified Enseada as intermediate level of urbanization. It is well known that intermediate level of impacts can enhance both species diversity and abundance of benthic communities by artificially increasing the availability of food (Pearson & Rosemberg, 1978; Magni et al., 2009; Kark, 2017), which would not happen in beaches classified as consolidated urbanization as Pina, and non-urbanized like Toquinho (Vasconcelos et al., 2019).

The structure of foraminiferal assemblages, particularly species richness and abundance, varied significantly among beaches, resulting from differences in environmental characteristics among beaches, mainly those related sediments and hydrodynamics. In Enseada, where there are coarse sediments and strong currents in the channel that separates the beach from the beachrock (Bontempo et al., 2022), the richness and abundance of foraminifera was minimal, whereas highest number of species and abundance were recorded in Pina, the most protected beach and the one with the finest sediments.

Even dead, foraminiferal assemblages can be very useful to understand and reconstruct the populations dynamics, especially in areas subject to environmental instability (Belart et al., 2018; Laut et al., 2020; Di Bella et al., 2021). Whereas the living fauna provides environmental information related to their lifetime, the dead assemblage provides insights into

the relatively longer-term depositional and taphonomic processes (Di Bella et al., 2021). Due to their carbonate composition, sand-size foraminiferal tests have a greater transport potential than other grain types (like quartz grains) and are more easily transported (Kruijff et al., 2021). As stated by Haynes (1981), in general foraminiferal tests are scarce in coarse sands but are often abundant in silts and fine sands as observed in the beaches on the coast of Pernambuco.

Most foraminifera on all beaches were brown or mottled and have intact test, with degradation increasing from Pina to Enseada. Color alterations are commonly related to taphonomic processes of test filling or replacement of CaCO_3 by compounds like iron monosulfide, pyrite, carbonate phosphate, limonite, organic matter (Silva & Duleba, 2013). Also exposure, which occurs after the tests are unearthed from the reducing zone and exposed in the oxidative zone, are responsible by the temporal gradient of color change from white to black, passing by mottled, brown and yellow successively (Leão & Machado, 1989; Duleba, 1994). The low number of white (17-18 %) and black (2-6 %) tests indicate low deposition of recent foraminifera originated in deeper waters and low rate of sediment turning, which would be evidenced by the presence of black tests recently removed from the reducing zone where were they buried (Leão & Machado, 1989; Duleba, 1994).

The analyses we carried out do not allow to determine the age of the foraminifera found. However, the dominance of mottled tests in Toquinho indicates that the sediments in this beach are younger than on the other beaches. The presence of a carbonate sedimentary province, composed of low number of recent tests and dominated by relict tests, also permit to infer that they were synthesized and deposited in the area during the last marine transgression in the Holocene, when the maximum sea level (3-5 m above the current sea level) was reached, between 4000 and 5600 cal yr BP (Dominguez et al., 1990; Martin et al., 2003; Tripathi et al., 2017). The differences in the degradation of the tests among the beaches, with more degrades tests in Enseada, reflect the local hydrodynamics, given that greater energy (generated by waves and currents), as found in this beach, increases the fragmentation and abrasion of the tests through their transportation and friction with the bottom (Moraes & Machado, 2003).

The amount of very coarse grains and CaCO_3 were the sediment features that best explained the variation in foraminiferal assemblages. Although the colonization and establishment of foraminiferal populations and assemblages are driven by a wide range of physical, chemical and biological parameters (Scott et al., 2001; Murray, 2006; Jones, 2013), the fact that on the studied beaches most foraminifera were dead lead to those assemblages were mainly controlled by factors related to hydrodynamics and sedimentary processes, such

as waves, currents and origin, transport, and deposition of sediments (Komar, 1998; Suguio, 2003).

2.3 CONCLUSION

The foraminiferal assemblages in beachrocks of Pernambuco coast (tropical Brazilian coast) are dominated by *Amphistegina lessonii*, *Archaias angulatus*, *Massilina pernambucensis*, *Quinqueloculina lamarckiana*, *Textularia agglutinans*, and *Triloculina laevigata*. Most specimens are dead (live foraminifera were associated with macroalgae), have porcelanous tests, and belong to the Order Miliolida, reflecting the strong influence of hydrodynamics and sedimentary process in the structuring of the assemblages.

The low number of recent foraminifera tests found indicates that they were synthesized and deposited during the last marine static period of sea level. The CaCO₃ content and the amount of very coarse grains were the parameters best related to foraminiferal assemblages. This reflects the inter-beach variations of sediment input (fluvial or erosive) and hydrodynamics (related to the presence of beachrocks), which change along a gradient from Pina, with finer sediments, more intact tests, and richest and most abundant assemblages, to Enseada, where sediments are coarser, tests are more degraded and species richness and abundance are the lowest, with intermediate values in Toquinho. Even dead foraminiferal assemblages have a strong potential to be used in monitoring programs as indicators of changes in environmental characteristics in coastal tropical areas.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors would like to thank the editor and anonymous reviewers by their suggestions to the early version of the manuscript, the Coordination of Improvement of Higher Education Personnel (CAPES) for the scholarship to the first author, to the Geological Survey of Brazil (CPRM) for the grain size analyses, to the Oswaldo Cruz Foundation (FIOCRUZ) for the use of MEV, to the Laboratório de Paleontologia from the Universidade Federal de Pernambuco for the support offered, and to Stephen Ferrari for the professional English review of the manuscript.

3 ARTIGO 2 - FORAMINÍFEROS ASSOCIADOS A MACROALGAS EM RECIFES TROPICAIS COSTEIROS (NORDESTE, BRASIL)



A SER SUBMETIDO À REVISTA *JOURNAL OF FORAMINIFERAL RESEARCH*

RESUMO

Este estudo descreve as assembleias de foraminíferos associadas as macroalgas de recifes tropicais costeiros (Pernambuco/Brasil), caracterizando sua composição taxonômica, as principais adaptações desenvolvidas para interação com as macroalgas e o papel dessas no estabelecimento e desenvolvimento dos foraminíferos nas regiões costeiras. Um total de 60 amostras de cinco espécies de macroalgas foram coletadas em maré baixa de sizígia em outubro/2020 nos recifes costeiros das praias do Pina, Enseada dos Corais e Toquinho (Nordeste do Brasil). Foram realizadas análises quantitativas dos foraminíferos totais (vivos e mortos) e qualitativas dos fixos. Dos 857.621 foraminíferos totais coletados, 84% estavam mortos e 16% vivos. O total de vivos correspondeu a 133.814 foraminíferos de 39 espécies epifíticas. A assembleia de espécies mortas apresentou composição similar as encontradas no ambiente deposicional da plataforma continental, evidenciando a forte influência existente da dinâmica sedimentar sobre as macroalgas. A assembleia de foraminíferos vivos foi composta por *Rosalina anglica*, *R. bradyi*, *R. floridana*, *R. globularis*, *Pararotalia cananeaensis*, *Quinqueloculina* sp. "A", *Glabratella mirabilis* e *G. brasiliensis*, espécies epifíticas calcário hialinas que se diferenciam da assembleia morta, demonstrando adaptações morfológicas e comportamentais ao hábito de vida no substrato macroalgal. O estabelecimento e desenvolvimento da assembleia viva de foraminíferos nas regiões costeiras ocorre devido atenuação das condições ambientais geradas pelas macroalgas, através do oferecimento de microhabitats de fixação, alimentação, reprodução e proteção contra a alta energia hidrodinâmica, a forte dinâmica sedimentar e predação. As informações obtidas sobre os foraminíferos epifíticos dão possibilidades para utilização dessas assembleias como ferramentas de estudo das formas de estabelecimento da microfauna em ambientes costeiros e das variações das condições ambientais.

Palavras-chave: foraminíferos epifíticos, bioindicadores, bentos, recifes costeiros.

3.1 INTRODUÇÃO

O fital é definido como o ambiente marinho formado por macrófitas (macroalgas ou fanerógamas marinhas) e pelos organismos associados a elas, sejam eles residentes permanentes ou temporários (Remane, 1933). Nesse ambiente as macroalgas marinhas estão distribuídas nos filos Ochrophyta (Classe Phaeophyceae - Algas pardas) do Reino Chormista, e Rhodophyta (algas vermelhas) e Chlorophyta (algas verdes) do Reino Plantae (Ruggiero et al., 2015; Guiry & Guiry, 2022). Suas distintas composições químicas e arquitetônicas favorecem o estabelecimento e desenvolvimento de diversas comunidades de organismos (animais e plantas) ao disponibilizar microhabitats, amenizar predação e competição, reduzir o estresse ambiental (dessecação, radiação UV, batimento de ondas) e acumular perifíton e detritos, além de, oferecer locais para reprodução e forrageamento (Christie et al., 2009; Bates, 2009; Veiga et al., 2014; Tano et al., 2016; Borst et al., 2019).

Nos recifes costeiros, as macroalgas formam extensos bancos e compartilham o substrato com invertebrados marinhos de diferente filos e subfilos, Foraminifera (Globothalamea), Annelida (Polychaeta e Errantia), Arthropoda (Chelicerata e Crustacea), Bryozoa (Gymnolaemata), Chordata (Ascidiacea), Cnidaria (Hydrozoa e Anthozoa), Echinodermata (Asterozoa e Echinozoa), Mollusca (Bivalvia e Gastropoda), Nematoda (Chromadorea e Enoplea), Porifera (Demospongiae) e vertebrados, em especial peixes (Coelho et al., 1980a,1980b; Edgar, 1983; Lippert et al., 2001; Jacobucci & Leite, 2002; Murray, 2006; Tano et al., 2016).

Os foraminíferos epifíticos se diferenciam dos demais por suas adaptações à vida na superfície da vegetação, com espécies sésseis, que se fixam as macroalgas por pseudópodes e/ou muco adesivo, ou espécies móveis, que transitam entre macroalgas (Rao et al., 1982; Langer, 1993). Estudos sobre foraminíferos em macroalgas revelam uma elevada seletividade e especificidade ao substrato, relacionadas às características estruturais das macroalgas, ao nível de abrigo e proteção oferecido, e a disponibilidade temporal do substrato (Atkinson, 1969; Boltovskoy et al.,1976b; Langer, 1993; Debenay & Payri, 2010; Solís-Díaz et al., 2022). O hábito alimentar dos foraminíferos epifíticos baseia-se principalmente no consumo de microrganismos como microalgas, fungos e bactérias que encontram-se aderidos as estruturas das macroalgas (Boltovskoy et al., 1976b; Sen Gupta, 2003; Murray, 2006).

Ainda que, os foraminíferos sejam reconhecidos por seu papel como bioindicadores da impactação ambiental, dinâmica sedimentar e reconstituição paleoambiental (Scott et al., 2001; Murray, 2006; Boudagher-Fadel, 2018), poucos são os estudos que mostram a interação

dos foraminíferos com macroalgas em regiões costeiras, principalmente no Brasil, dada a maioria dos estudos realizados utilizar assembleias de fundos inconsolidados, principalmente, da plataforma continental. Trabalhos com foco na relação dos foraminíferos e macroalgas, permitem compreender como as características das macroalgas atuam no estabelecimento e desenvolvimento da microfauna, gerando possibilidades de estudos voltados para o maior detalhamento das condições ambientais e biológicas das regiões costeiras. O presente estudo objetivou-se descrever as assembleias de foraminíferos associadas as macroalgas de recifes tropicais costeiros (Pernambuco/Brasil), caracterizando sua composição taxonômica, as principais adaptações desenvolvidas para interação com as macroalgas e o papel das macroalgas no estabelecimento e desenvolvimento dessa microfauna em regiões costeiras.

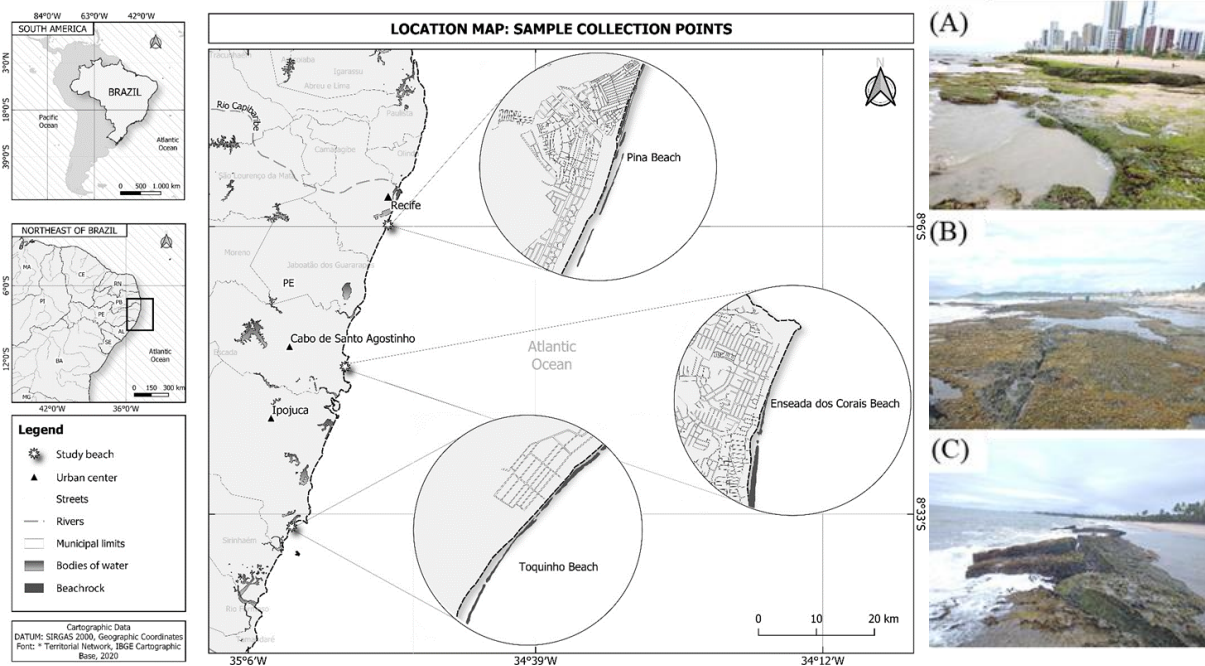
3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Áreas de estudo

As coletas foram realizadas em recifes costeiros na costa tropical do Brasil, nas praias do Pina (8°5'24.91"S - 34°52'45.94"O, Recife), Enseada dos Corais (8°19'24.74"S - 34°56'56.85"O, Cabo de Santo Agostinho) e Toquinho (8°34'12.79"S - 35°1'55.22"O, Ipojuca) (Fig.1). O clima na região é típico de zonas tropicais com alta incidência solar, temperatura média da água de 27°C, salinidade média de 36, com elevada concentração de oxigênio dissolvido e baixa turbidez (Coutinho et al., 1970; França et al., 1976; Domingues et al., 2017). Os sedimentos das praias são formados majoritariamente por grãos de areia siliciclásticos (20 - 80%, quartzos de origem continental) e biogênicos (algas calcárias, moluscos e carapaças de foraminíferos) (Mabesoone, 1972; Pereira et al., 2017).

Os recifes costeiros compreendem duas a três faixas seccionadas e paralelas à linha de costa, encontrando-se emersos ou imersos em profundidades de 5 a 10 m durante a maré baixa (Mabesoone, 1964; Leão et al., 2016). As dimensões dos recifes são muito variáveis, a espessura pode variar de 3 a 5 m, com larguras de até 60 m e comprimento contínuo máximo de até 10 km (Mabesoone, 1964; Bezerra et al., 2005). Sobre os recifes se estabelece uma rica flora e fauna, compostas principalmente pelas espécies de macroalgas *Palisada perforata* (Bory de Saint-Vincent) K.W. Nam, *Gelidiella acerosa* (Forsskal) Feldmann & G. Hamel, *Ulva* spp. Linnaeus, *Bryopsis* sp. J.V. Lamouroux, *Chondracanthus acicularis* (Roth) Fredericq e *Sargassum* C. Agardh (Vasconcelos et al., 2019), associadas principalmente a crustáceos (anfípodes, isópodes, ostracodes e tanaidaceos), poliquetas (silideos), moluscos (gastrópodes, bivalves e quítons), cnidários, platelmintos e equinodermas (Craveiro et al., 2021).

Figura 1. Mapa da localização das coletas nas praias do Pina (A), Enseada dos Corais (B) e Toquinho (C) ao longo da região costeira do estado de Pernambuco/Brasil.



Fonte: Própria (2022).

3.2.2 Procedimentos de campo

As coletas dos foraminíferos associados as macroalgas foram feitas em maré baixa de sizígia em outubro de 2020 em recifes costeiros. Por praia foram coletadas 4 amostras de cada espécie de macroalgas (Tab. 1) que foram escolhidas de acordo com abundância e perenidade ao longo dos recifes costeiros das praias do estado de Pernambuco (Vasconcelos et al., 2019), totalizando 60 amostras. As macroalgas foram envolvidas por sacos plásticos, cuidadosamente retiradas dos recifes e fixadas com álcool 70% corado com Rosa Bengala (1g/1 litro de álcool) (Walton, 1952; Bernhard, 2000).

3.2.3 Procedimentos de laboratório

O protocolo para a análise dos foraminíferos nas macroalgas foi elaborado com base em uma revisão bibliográfica (Atkinson, 1969; Boltovskoy et al., 1976b; Rao et al., 1982; Langer, 1993; Fujita & Hallock, 1999; Richardson, 2000; Toefy et al., 2003; Wilson, 2007, 2008; Debenay & Payri, 2010; Manda et al., 2020; Solís-Díaz et al., 2022), sendo feitas adaptações que permitissem identificar o hábito de cada espécie, sua posição ao longo da macroalga (base ao ápice) e sua abundância.

Tabela 1. Macroalgas estudadas (grupos morfofuncionais definidos em Steneck et al., 1994; Balata et al., 2011; Vasconcelos et al., 2019).

Espécies de macroalgas		Grupos Morfofuncional
Chlorophyta	<i>Bryopsis plumosa</i> (Hudson) C. Agardh, 1823	Filamentosa
	<i>Ulva lactuca</i> Linnaeus, 1753	Folhosa
Ochrophyta	<i>Padina antillarum</i> (Kützinger) Piccone, 1886	Folhosa
Rhodophyta	<i>Palisada perforata</i> (Bory) K. W. Nam, 2007	Filamentosa
	<i>Gelidiella acerosa</i> (Forsskål) Feldmann & Hamel, 1934	Filamentosa

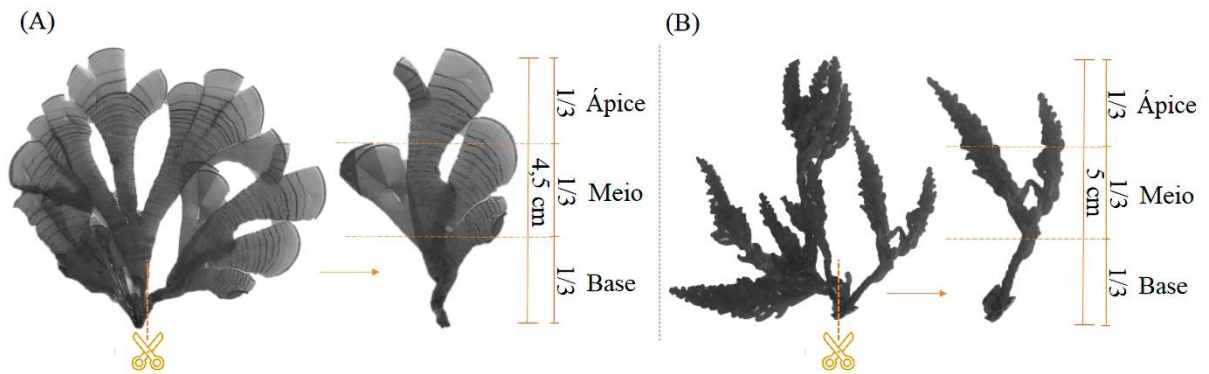
Fonte: Própria (2022).

Considerando que os foraminíferos podem estar fixos ou soltos nas macroalgas, foi realizada a análise qualitativa dos espécimes fixos associados às macroalgas e quantitativa de todos espécimes fixos e soltos (vivas/mortas). A identificação taxonômica foi feita a partir dos trabalhos de Ellis & Messina (1940 - 2006), Tinoco (1958), Loeblich & Tappan (1988), Dev (1988) e Debenay et al., (2001), com auxílio de fotomicrografias em microscópio eletrônico de varredura (Joel JSM-5600LV).

1) *Foraminíferos totais*: As macroalgas foram lavadas sob água corrente em peneira de 0,063 mm de abertura para o desprendimento completo dos foraminíferos epifíticos fixos remanescentes e remoção de todos os demais foraminíferos retidos nas estruturas das macroalgas. Esse material foi seco em estufa a 60°C e pesado em balança analítica (precisão 0,0001 g). Posteriormente para contagem e identificação dos foraminíferos as amostras foram quarteadas até alíquota com o quantitativo mínimo de 200 foraminíferos.

2) *Foraminíferos fixos*: Dada a grande quantidade de foraminíferos fixos nas macroalgas, apenas três hastes de mesmo tamanho de cada amostra foram analisadas por espécies de macroalga anteriormente a lavagem. As hastes foram subdivididas em três regiões: base (1/3 - inferior), meio (1/3 - meio) e ápice (1/3 - superior) (Fig.2), sendo cada região observada sob microscópio estereoscópio para coleta dos foraminíferos. Dos foraminíferos fixos coletados, foram identificados o posicionamento em relação a superfície da macroalga, o estado de preservação, a presença de muco, se estavam sozinhos ou agrupados, vivos ou mortos e a presença de cicatrizes deixada pelos foraminíferos nas macroalgas.

Figura 2. Esquema de subdivisão das hastes das macroalgas folhosas (A) e filamentosas(B).



Fonte: Própria (2022).

Após a remoção dos foraminíferos, as macroalgas foram medidas (altura máxima – cm), colocadas em estufa a 60°C e pesadas em balança analítica (precisão 0,0001 g).

3.2.3 Análises estatísticas

Para cada amostra de macroalga foi calculada a riqueza (total de espécies presentes), abundância (número de foraminíferos em 10 g de macroalga), frequência relativa e de ocorrência dos foraminíferos (Tinoco, 1989). As características das macroalgas e da assembleia de foraminífero foram comparadas entre espécies de macroalgas utilizando Análise de Variância de uma via (ANOVA) com dados transformados por $\log(x+1)$. Quando os resultados da ANOVA foram significativos aplicou-se o teste de contraste de médias de Tukey.

Para visualização dos padrões multivariados das assembleias e dos descritores ambientais entre áreas foi utilizada a Análise Canônica das Coordenadas Principais (CAP; Anderson & Willis, 2003). A estrutura das assembleias foi comparada entre macroalgas utilizando Análise de Variância Permutacional (PERMANOVA) (Anderson, 2001). Esta análise foi baseada em matrizes de semelhança calculadas utilizando o índice de similaridade de Bray Curtis. Para as análises foram utilizados os programas Statistica®12(TIBCO, 2020) e PRIMER 7 + PERMANOVA (Clarke & Gorley, 2015) considerando o nível de significância de 5%.

3.3 RESULTADOS

3.3.1 Características das macroalgas

A altura das macroalgas não variou significativamente entre espécies. O peso do sedimento acumulado pelas macroalgas variou e foi significativamente maior em *P. antillarum*, *U. lactuca* e *B. plumosa* (Tab. 2).

Tabela 2. Resumo dos resultados das comparações das características das macroalgas *Palisada perforata* (*Pal*), *Gelidiella acerosa* (*Gel*), *Ulva lactuca* (*Ulv*), *Padina antillarum* (*Pad*) e *Bryopsis plumosa* (*Bry*).

Descritores	Média ± Desvio padrão					ANOVA ¹	Teste de Tukey Resultado
	<i>Pal</i>	<i>Gel</i>	<i>Ulv</i>	<i>Pad</i>	<i>Bry</i>		
Altura(cm)	4,50 ± 1,01	4,82 ± 1,75	4,97 ± 1,83	4,71 ± 1,02	5,68 ± 2,40	F: 0,86 ^{ns}	Pal=G=U=Pad=B
Sedimento(g) ²	7,72 ± 5,24	5,35 ± 4,75	17,03 ± 16,45	46,67 ± 67,91	21,87 ± 22,43	F: 3,00 [*]	B=U<Pad>Pal=G

Fonte: Própria (2022). *: $p < 0,05$, ^{ns}: não-significativo. ²Peso do sedimento em 10 g de macroalga.

3.3.2 Foraminíferos totais (mortos e vivos)

Foram identificados ao total 857.621 foraminíferos distribuídos em 79 espécies de 43 gêneros, destes 84% estavam mortos e 16% vivos (Tab. 3). Nas macroalgas *U. Lactuca* e *P. antillarum* menos de 2% dos foraminíferos estavam vivos, enquanto em *P. peforata*, *B. plumosa* e *G. acerosa* mais de 55%, 26% e 24% dos espécimes estavam vivos, respectivamente.

Tabela 3. Espécies de foraminíferos registrados nas macroalgas e classificações de mobilidade (Langer, 1993) das espécies epifíticas. Continua

Espécies ¹	Mobilidade	Ocorrência de epifíticos em ² :		
		<i>Pal</i>	<i>Gel</i>	<i>Bry</i>
Rotaliida				
* <i>Ammonia beccarii</i> (Linnaeus, 1758)	Móvel	+	+	
* <i>Amphistegina lessonii</i> d'Orbigny, 1832	Móvel			+
* <i>Bolivina</i> sp. "A" d'Orbigny, 1839	Permanentemente móvel	+		
* <i>Bolivina</i> sp. "B" d'Orbigny, 1839				
* <i>Bolivina variabilis</i> (Williamson, 1858)	Permanentemente móvel	+		
* <i>Cibicides refulgens</i> Montfort, 1808	Temporariamente séssil	+		+
* <i>Cibicides</i> sp. "A" Montfort, 1808	Temporariamente séssil	+		
* <i>Cibicides</i> sp. "B" Montfort, 1808	Temporariamente séssil	+		
* <i>Cibicides</i> sp. "C" Montfort, 1808	Temporariamente séssil	+		
* <i>Discorbis mira</i> Cushman, 1922				
* <i>Elphidium alvarezianum</i> (d'Orbigny, 1839)				
* <i>Elphidium discoidale</i> (d'Orbigny, 1839)	Móvel	+		
* <i>Elphidium incertum</i> (Williamson, 1858)	Móvel	+		
* <i>Elphidium sagra</i> (d'Orbigny, 1839)	Móvel			
* <i>Eponides repandus</i> (Fichtel & Moll, 1798)	Temporariamente séssil	+		

Tabela 3. Espécies de foraminíferos registrados nas macroalgas e classificações de mobilidade (Langer, 1993) das espécies epifíticas. Continuação

Espécies ¹	Mobilidade	Ocorrência de epifíticos em ² :		
		Pal	Gel	Bry
Rotaliida				
* <i>Eponides repandus</i> (Fichtel & Moll, 1798)	Temporariamente séssil	+		
* <i>Glabratella brasiliensis</i> Boltovskoy, 1959	Temporariamente séssil	+	+	+
* <i>Glabratella mirabilis</i> Seiglie & Bermúdez, 1965	Temporariamente séssil	+	+	
* <i>Glabratella</i> sp. Dorreen, 1948	Temporariamente séssil	+		
<i>Gypsina vesicularis</i> (Parker & Jones, 1860)				
<i>Heterostegina</i> sp. d'Orbigny, 1826				
<i>Nonionoides grateloupii</i> (d'Orbigny, 1839)				
* <i>Pararotalia cananeaensis</i> Debenay et al., 2001	Móvel	+	+	+
* <i>Planorbulina mediterranea</i> d'Orbigny, 1826	Séssil	+		
* <i>Reussella aequa</i> Cushman & McCulloch, 1948	Permanentemente móvel	+		
* <i>Rosalina anglica</i> (Cushman, 1931)	Temporariamente séssil	+	+	
* <i>Rosalina bradyi</i> (Cushman, 1915)	Temporariamente séssil	+	+	
* <i>Rosalina columbiensis</i> (Cushman, 1925)	Temporariamente séssil	+	+	
* <i>Rosalina floridana</i> (Cushman, 1922)	Temporariamente séssil	+	+	
* <i>Rosalina globularis</i> d'Orbigny, 1826	Temporariamente séssil	+	+	
* <i>Rosalina</i> sp. d'Orbigny, 1826	Temporariamente séssil	+		
* <i>Sigmavirgulina tortuosa</i> (Brady, 1881)	Permanentemente móvel		+	
<i>Siphogenerina raphanus</i> (Parker & Jones, 1865)				
* <i>Siphonina reticulata</i> (Czjzek, 1848)	Permanentemente móvel			
* <i>Siphoninoides</i> sp. Cushman, 1927	Móvel			
<i>Uvigerina</i> sp. d'Orbigny, 1826				
Spirillinida				
* <i>Spirillina vivipara</i> Ehrenberg, 1843	Permanentemente móvel	+		
Vaginulinida				
<i>Dimorphina</i> sp. d'Orbigny, 1826				
Miliolida				
* <i>Amphisorus hemprichii</i> Ehrenberg, 1839	Séssil	+		
<i>Archaias angulatus</i> (Fichtel & Moll, 1798)				
<i>Articulina mucronata</i> (d'Orbigny, 1839)				
<i>Articulina multilocularis</i> Brady, Parker & Jones, 1888				
<i>Borelis pulchra</i> (d'Orbigny, 1839)				
* <i>Cornuspira involvens</i> (Reuss, 1850)	Séssil	+	+	+
* <i>Hauerina</i> sp. d'Orbigny, 1839	Permanentemente móvel	+		
<i>Massilina pernambucensis</i> Tinoco, 1958				
* <i>Miliolinella</i> sp. Wiesner, 1931	Permanentemente móvel	+	+	
* <i>Miliolinella subrotunda</i> (Montagu, 1803)	Permanentemente móvel	+		+
<i>Peneroplis bradyi</i> (Cushman, 1930)				
<i>Peneroplis pertusus</i> (Forsskål in Niebuhr, 1775)				
<i>Peneroplis proteus</i> (d'Orbigny, 1839)				
* <i>Pseudolachlanella eburnea</i> (d'Orbigny, 1839)	Permanentemente móvel	+		
<i>Pyrgo comata</i> (Brady, 1881)				
<i>Pyrgo subsphaerica</i> (d'Orbigny, 1839)				
<i>Quinqueloculina candeiana</i> d'Orbigny, 1839				
<i>Quinqueloculina derbyi</i> Tinoco, 1958				
<i>Quinqueloculina lamarckiana</i> d'Orbigny, 1839				
<i>Quinqueloculina moynensis</i> Collins, 1953				
<i>Quinqueloculina parkeri</i> (Brady, 1881)				
<i>Quinqueloculina polygona</i> d'Orbigny, 1839				
<i>Quinqueloculina seminulum</i> (Linnaeus, 1758)				

Tabela 3. Espécies de foraminíferos registrados nas macroalgas e classificações de mobilidade (Langer, 1993) das espécies epifíticas. Conclusão

Espécies ¹	Mobilidade	Ocorrência de epifíticos em ² :		
		Pal	Gel	Bry
Miliolida				
* <i>Quinqueloculina</i> sp."A" d'Orbigny, 1826	Permanentemente móvel			+
* <i>Quinqueloculina</i> sp."B" d'Orbigny, 1826	Permanentemente móvel			+
<i>Quinqueloculina venusta</i> Karrer, 1868				
<i>Quinqueloculina vulgaris</i> d'Orbigny, 1826				
* <i>Sigmoilina</i> sp. "A" Schlumberger, 1887	Permanentemente móvel			
<i>Sigmoilina</i> sp. "B" Schlumberger, 1887				
* <i>Spiroloculina</i> sp. d'Orbigny, 1826	Permanentemente móvel			
<i>Triloculina laevigata</i> d'Orbigny, 1826				
<i>Triloculina sommeri</i> Tinoco, 1955				
* <i>Triloculina</i> sp. d'Orbigny, 1826	Permanentemente móvel			+
<i>Triloculina trigonula</i> (Lamarck, 1804)				
<i>Wiesnerella auriculata</i> (Egger, 1893)				
Textulariida				
<i>Textularia agglutinans</i> d'Orbigny, 1839				
<i>Textularia barrettii</i> (Jones & Parker, 1876)				
<i>Textularia candeiana</i> d'Orbigny, 1839				
<i>Textularia conica</i> Ehrenberg, 1840				
<i>Textularia gramen</i> d'Orbigny, 1846				
<i>Textularia</i> sp. "A" Defrance, 1824				
<i>Textularia</i> sp. "B" Defrance, 1824				

Fonte: Própria (2022). ¹*: Espécies epifíticas. ²+: Ocorrência dos foraminíferos fixos.

A riqueza de espécies dos foraminíferos totais variou significativamente entre as espécies de macroalgas, sendo *P. perforata* a macroalga com maior número de espécies (28,67 ± 7,39 espécies) e *B. plumosa* (17,58 ± 9,26 espécies) e *U. lactuca* as com menor número de espécies (14,75 ± 12,40 espécies) (Tab. 4). A estrutura das assembleias de foraminíferos em *P. perforata* foi em geral significativamente diferente das demais macroalgas (exceção de *G. acerosa*) (Fig. 3, Tab. 5).

Tabela 4. Resumo dos resultados das análises dos foraminíferos nas macroalgas *Palisada perforata* (Pal), *Gelidiella acerosa* (Gel), *Ulva lactuca* (Ulv), *Padina antillarum* (Pad) e *Bryopsis plumosa* (Bry), Análises de Variância e teste *post hoc* de Tukey. Continua

Foraminíferos totais							
Descritor	Média ± Desvio padrão					F (ANOVA) ¹	Resultado do teste de Tukey
	Pal	Gel	Ulv	Pad	Bry		
Riqueza	28,67 ± 7,39	22,75 ± 6,89	14,75 ± 12,40	21,92 ± 8,05	17,58 ± 9,26	F = 4,18*	Pal > G = Pad > B = U
Abundância	8240 ± 4957	8768 ± 11618	10125 ± 15354	31929 ± 70065	12382 ± 20527	F = 1,04 ^{ns}	
Foraminíferos mortos							
Descritor	Média ± Desvio padrão					F (ANOVA) ¹	Resultado do teste de Tukey
	Pal	Gel	Ulv	Pad	Bry		
Riqueza	19,83 ± 10,77	16,17 ± 8,78	13,25 ± 12,59	20,75 ± 9,09	13,83 ± 9,39	F = 1,34 ^{ns}	
Abundância	3829 ± 3747	6271 ± 10883	9877 ± 15354	31256 ± 70338	9105 ± 20623	F = 1,26 ^{ns}	

Tabela 4. Resumo dos resultados das análises dos foraminíferos nas macroalgas *Palisada perforata* (*Pal*), *Gelidiella acerosa* (*Gel*), *Ulva lactuca* (*Ulv*), *Padina antillarum* (*Pad*) e *Bryopsis plumosa* (*Bry*), Análises de Variância e teste *post hoc* de Tukey. Conclusão

Foraminíferos vivos							
Descritor	Média ± Desvio padrão					F (ANOVA) ¹	Resultado do teste de Tukey
	<i>Pal</i>	<i>Gel</i>	<i>Ulv</i>	<i>Pad</i>	<i>Bry</i>		
Riqueza	13 ± 4,11	9,75 ± 3,05	2,5 ± 3,32	3,5 ± 4,12	6,58 ± 3,26	F = 17,63*	U=Pad<B<G<Pal
Abundância	4939 ± 3678	1977 ± 1335	247 ± 252	689 ± 853	3277 ± 1781	F = 11,51*	U=Pad<G=B<Pal

Foraminíferos fixos						
Descritor	Média ± Desvio padrão			F (ANOVA) ¹	Resultado do teste de Tukey	
	<i>Pal</i>	<i>Gel</i>	<i>Bry</i>			
Riqueza	10,08 ± 4,36	3 ± 2,08	1,67 ± 1,15	F = 15,56*	Pal>G=B	
Abundância	450 ± 470	75 ± 104	2 ± 1	F = 4,13*	Pal>G>B	

Fonte: Própria (2022). ¹*: p < 0,05. ^{ns}: não-significativo

Tabela 5. Resumo dos resultados das PERMANOVA para as assembleias de foraminíferos nas macroalgas *Palisada perforata* (*Pal*), *Gelidiella acerosa* (*Gel*), *Ulva lactuca* (*Ulv*), *Padina antillarum* (*Pad*) e *Bryopsis plumosa* (*Bry*). Continua

Assembleias de foraminíferos totais						
Fontes de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	Pseudo-F	p	Permutações únicas
Macroalga	4	18607	4651,7	2,22	< 0,01	999
Erro	55	1,15	2098,8			

Testes pareados (similaridade média dentro e entre amostras)						
	<i>Pal</i>	<i>Gel</i>	<i>Ulv</i>	<i>Pad</i>	<i>Bry</i>	
<i>Pal</i>	53,22					
<i>Gel</i>	46,13 ^{ns}	43,22				
<i>Ulv</i>	26,28*	26,07*	18,66			
<i>Pad</i>	40,26 *	37,43 ^{ns}	26,36 ^{ns}	37,32		
<i>Bry</i>	42,49*	39,58 ^{ns}	24,97*	34,83 ^{ns}	38,29	

Assembleias de foraminíferos mortos						
Fontes de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	Pseudo-F	p	Permutações únicas
Macroalga	4	12525	3131	1,12	< 0,03	998
Erro	55	1,15	2791			

Testes pareados (similaridade média dentro e entre amostras)						
	<i>Pal</i>	<i>Gel</i>	<i>Ulv</i>	<i>Pad</i>	<i>Bry</i>	
<i>Pal</i>	36,32					
<i>Gel</i>	30,84 ^{ns}	24,85				
<i>Ulv</i>	22,63*	20,17 ^{ns}	16,34			
<i>Pad</i>	36,65 ^{ns}	30,65 ^{ns}	24,52 ^{ns}	36,17		
<i>Bry</i>	31,73 ^{ns}	26,66 ^{ns}	20,91 ^{ns}	31,34 ^{ns}	27,21	

Tabela 5. Resumo dos resultados das PERMANOVA para as assembleias de foraminíferos nas macroalgas *Palisada perforata* (*Pal*), *Gelidiella acerosa* (*Gel*), *Ulva lactuca* (*Ulv*), *Padina antillarum* (*Pad*) e *Bryopsis plumosa* (*Bry*). Conclusão

Assembleias de foraminíferos vivos						
Fontes de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	Pseudo-F	p	Permutações únicas
Macroalga	4	22085	5521,2	3,32	< 0,01	998
Erro	48	79820	1662,9			
Testes pareados (similaridade média dentro e entre amostras)						
	<i>Pal</i>	<i>Gel</i>	<i>Ulv</i>	<i>Pad</i>	<i>Bry</i>	
<i>Pal</i>	55,79					
<i>Gel</i>	51,99*	55,20				
<i>Ulv</i>	29,41*	33,27*	36,07			
<i>Pad</i>	32,82*	38,20*	27,33*	28,10		
<i>Bry</i>	44,30*	47,69*	33,57*	34,93 ^{ns}	45,9	
Assembleias de foraminíferos fixos						
Fontes de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	Pseudo-F	p	Permutações únicas
Macroalga	2	13287	6643	2,59	< 0,01	996
Erro	22	56364	2562			
Testes pareados (similaridade média dentro e entre amostras)						
	<i>Pal</i>	<i>Gel</i>	<i>Ulv</i>	<i>Pad</i>	<i>Bry</i>	
<i>Pal</i>	44,82					
<i>Gel</i>	27,03*	21,56				
<i>Bry</i>	12,71*	15,53 ^{ns}			16,67	

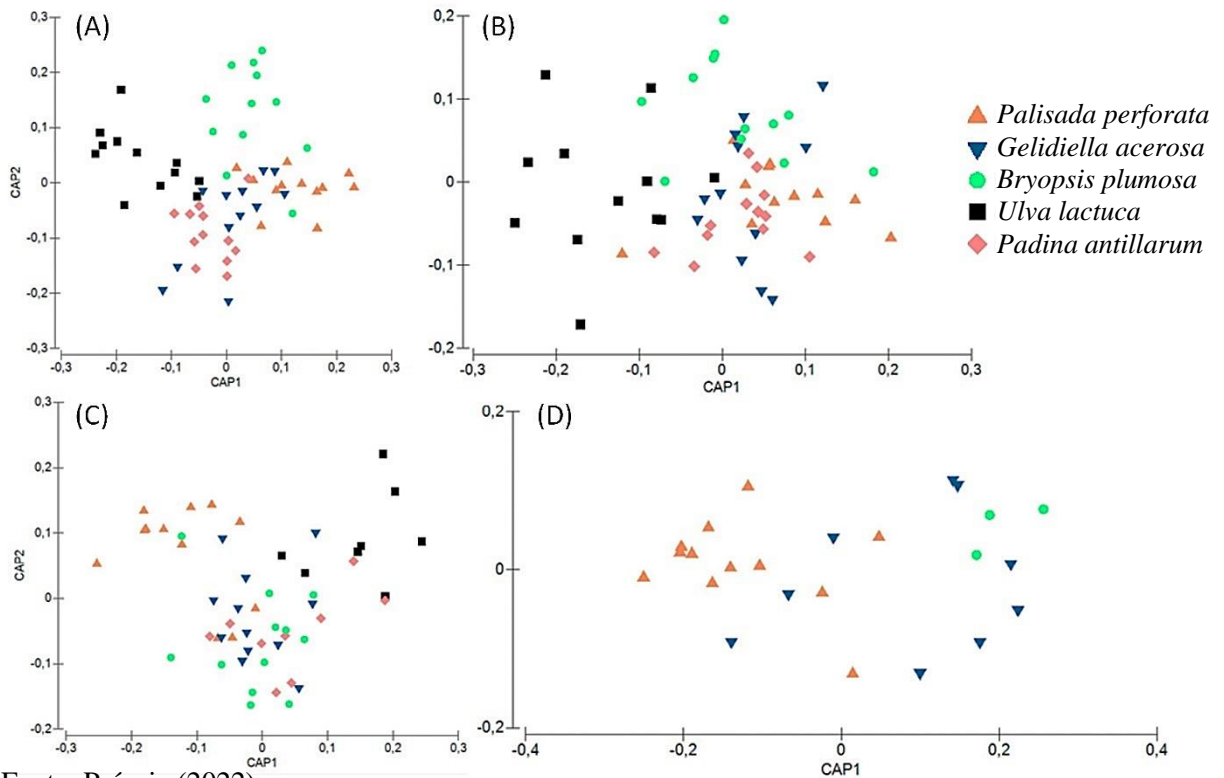
Fonte: Própria (2022). ¹GL: Grau de Liberdade. ²SQ: Soma dos Quadrados. ³QM: Quadrado Médio. ⁴p(perm): Valor de “p” depois da permutação de Monte Carlo. *: p < 0,05. ^{ns}: não-significativo.

Dos foraminíferos totais e mortos foram dominados pelas mesmas espécies *Quinqueloculina lamarckiana*, *Massilina pernambucensis*, *Q. moynensis*, *Textularia agglutinans*, *Pararotalia cananeaensis*, *Sigmoilina* sp. "A" e *Amphistegina lessonii*, uma assembleia de espécies composta por 55% de carapaças porcelanosas, 34% calcário hialinas e 11 % aglutinantes. Abundancia e riqueza de foraminíferos mortos não variaram entre macroalgas (Tab. 4), sendo os valores máximos de ambos os descritores registrados em *P. antillarum* (20,75 ± 9,09 espécies, 31256 ± 70338 ind.10g macroalga⁻¹) e mínimos em *U. lactuca* (13,25 ± 12,59 espécies) e *P. perforata* (3829 ± 3747 ind.10g macroalga⁻¹). De forma geral, a estrutura das assembleias de mortos não variou significativamente entre macroalgas, com exceção para a comparação entre *P. perforata* e *U. lactuca* (Fig. 3, Tab. 5).

Foi registrada uma alta correlação canônica dos eixos (foraminíferos totais– δ^2 CAP 1: 0,71, δ^2 CAP 2: 0,60, foraminíferos mortos - δ^2 CAP 1: 0,56, δ^2 CAP 2: 0,34, foraminíferos vivos - δ^2 CAP 1: 0,61, δ^2 CAP 2: 0,46 e foraminíferos fixos - δ^2 CAP 1: 0,63, δ^2 CAP 2: 0,13) e sucesso na classificação das amostras (52% das amostras dos foraminíferos totais foram

classificados corretamente, das amostras dos foraminíferos mortos 35%, dos vivos 51% e dos fixos 60%) (Fig. 3).

Figura 3. Gráficos CAP das assembleias de foraminíferos totais (A), foraminíferos mortos (B), foraminíferos vivos (C) e foraminíferos fixos (D).

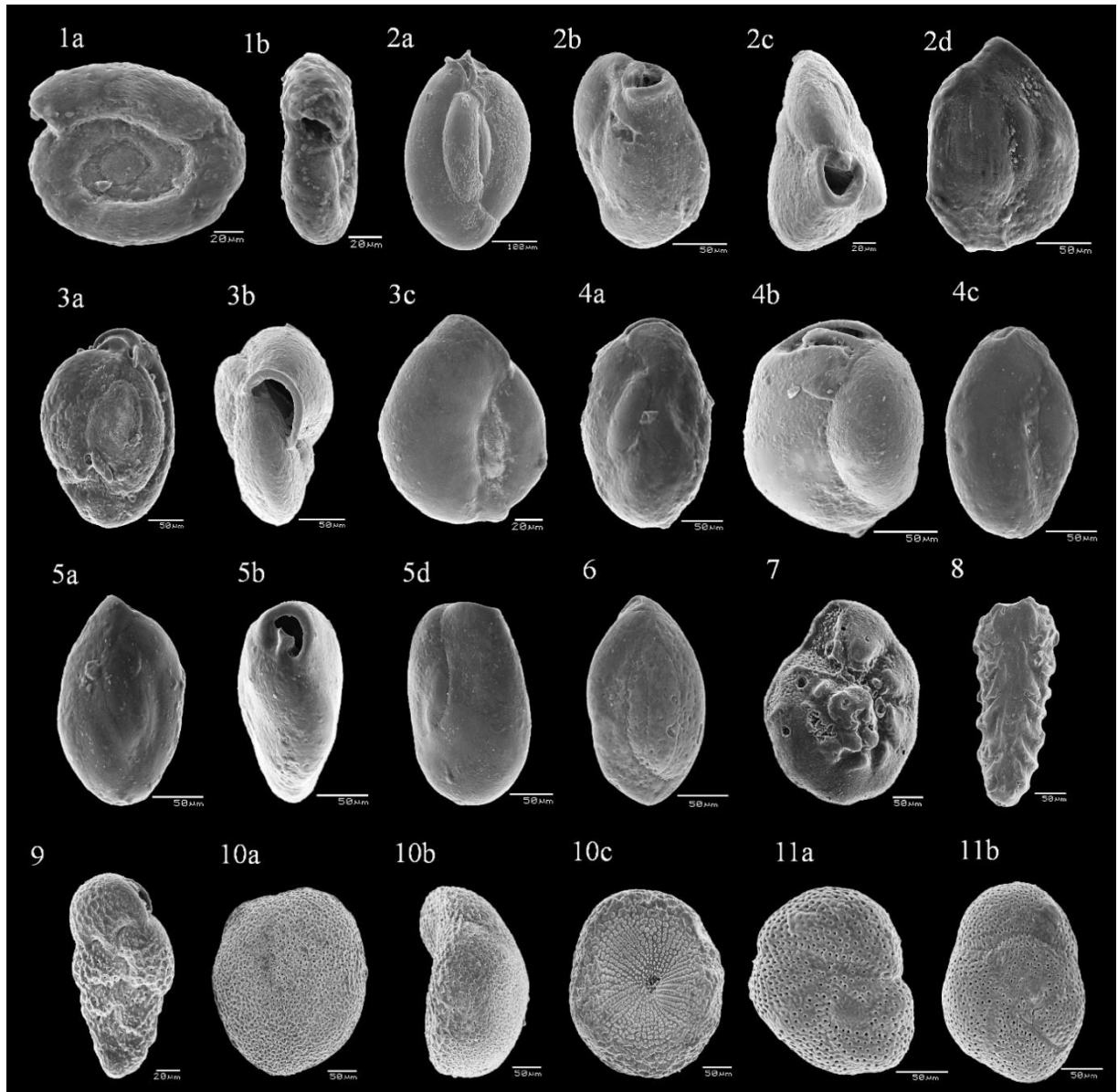


3.3.3 Foraminíferos vivos

Foram coletados 133.814 foraminíferos vivos de 39 espécies e 24 gêneros (Fig. 4 e 5), com dominância de *Rosalina anglica*, *R. bradyi*, *R. floridana*, *R. globularis*, *Pararotalia cananeaensis*, *Quinqueloculina* sp. "A", *Glabratella mirabilis* e *G. brasiliensis* (Tab. 4).

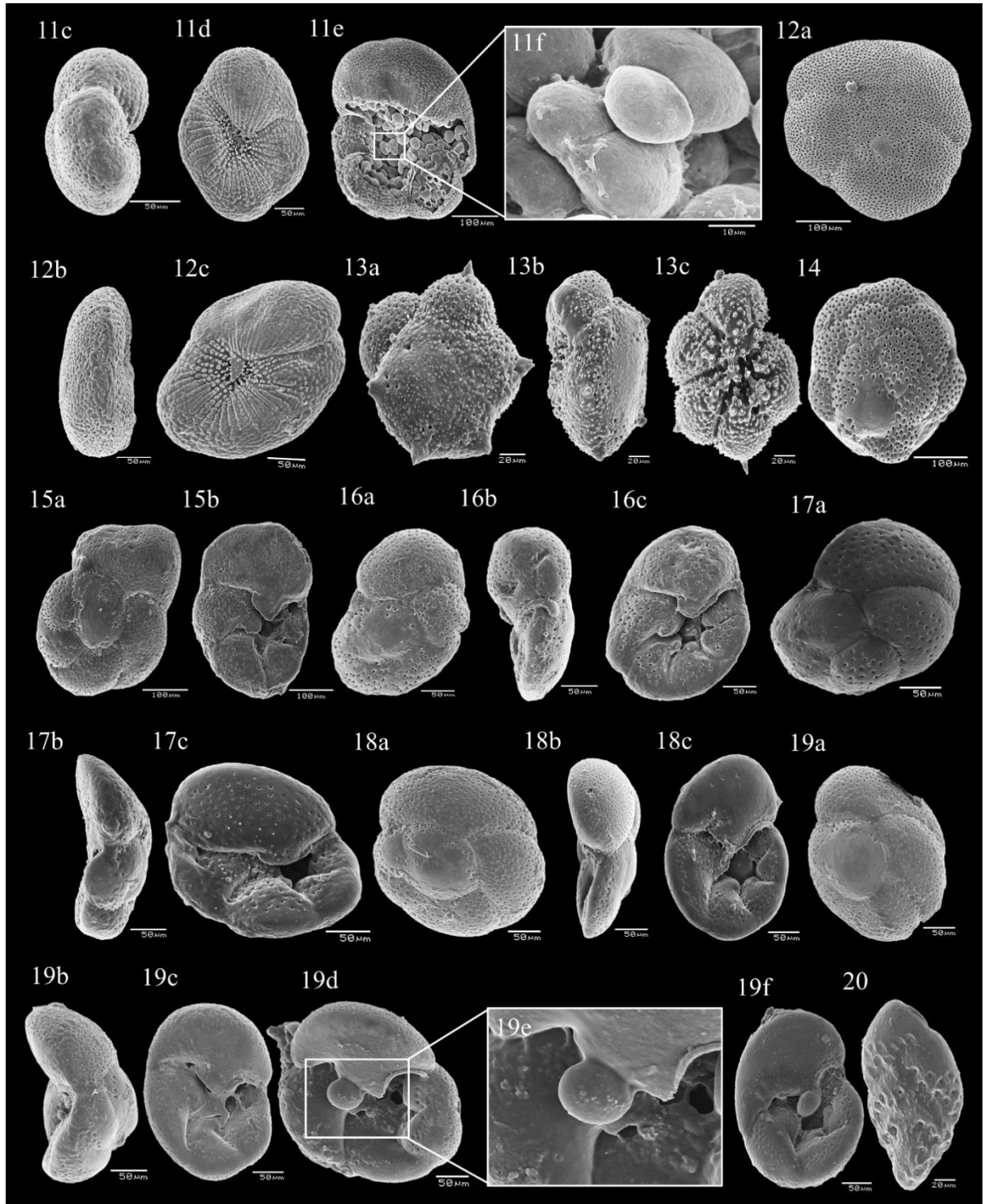
Riqueza e abundância dos foraminíferos vivos variaram significativamente entre macroalgas (Tab.4). As máximas riquezas e abundâncias ocorreram em *P. perforata* ($13 \pm 4,11$ espécies, 4939 ± 3678 ind.10 g macroalga⁻¹) e as mínimas em *U. lactuca* ($2,5 \pm 3,32$ espécies, 247 ± 252 ind. 10g macroalga⁻¹). A estrutura das assembleias variou significativamente entre macroalgas, exceção para a comparação entre *P. antillarum* e *B. plumosa* (Tab. 5).

Figura 4. Microfotografia eletrônica de varredura dos foraminíferos epifíticos. 1 - *Cornuspira involvens*; 2- *Miliolinella* sp.; 3- *M. subrotunda*.; 4- *Pseudolachlanella eburnea*; 5- *Quinqueloculina* sp."A"; 6- *Sigmoilina* sp."A"; 7- *Ammonia beccarii*; 8- *Bolivina* sp.; 9- *B. variabilis*; 10- *Glabratella brasiliensis*; 11- *G. miriabilis*.



Fonte: Própria (2022).

Figura 5. Microfotografia eletrônica de varredura dos foraminíferos epifíticos. 11- *Glabratella miriabilis* (e - f indivíduo em reprodução); 12- *Glabratella* sp.; 13- *Pararotalia cananeaensis*; 14 - *Planorbulina mediterranensis*; 15- *Rosalina anglica*; 16 - *R. bradyi*; 17 - *R. columbiensis*; 18- *R. floridana*; 19 - *R. globularis* (d,e,f - indivíduos em reprodução); 20 - *Sigmavirgulina tortuosa*.



Fonte: Própria (2022).

As carapaças dos foraminíferos vivos estavam em excelente estado de preservação (intactas) e algumas poucas apresentavam dissolução da face ventral. Das carapaças, 85% eram calcáreo hialinas (Orden Rotaliida) e 15% porcelanosas (Orden Miliolida e Spirilínida), padrão recorrente em todas as espécies de macroalgas. Da disposição e arranjos das câmaras, 40% das espécies tinham carapaças tronco-espíral, 23% plano-espíral, 20% miliolida, 10% alongada e 8% de outras formas. Em relação a angulosidade periférica das carapaças, 53% das espécies apresentavam periferia aguda a subaguda e 48% arredondadas. Quanto a mobilidade, 38% das espécies eram permanentemente moveis, 36% espécies temporariamente sésseis, 18% móveis e 8% sésseis.

3.3.4 Foraminíferos fixos

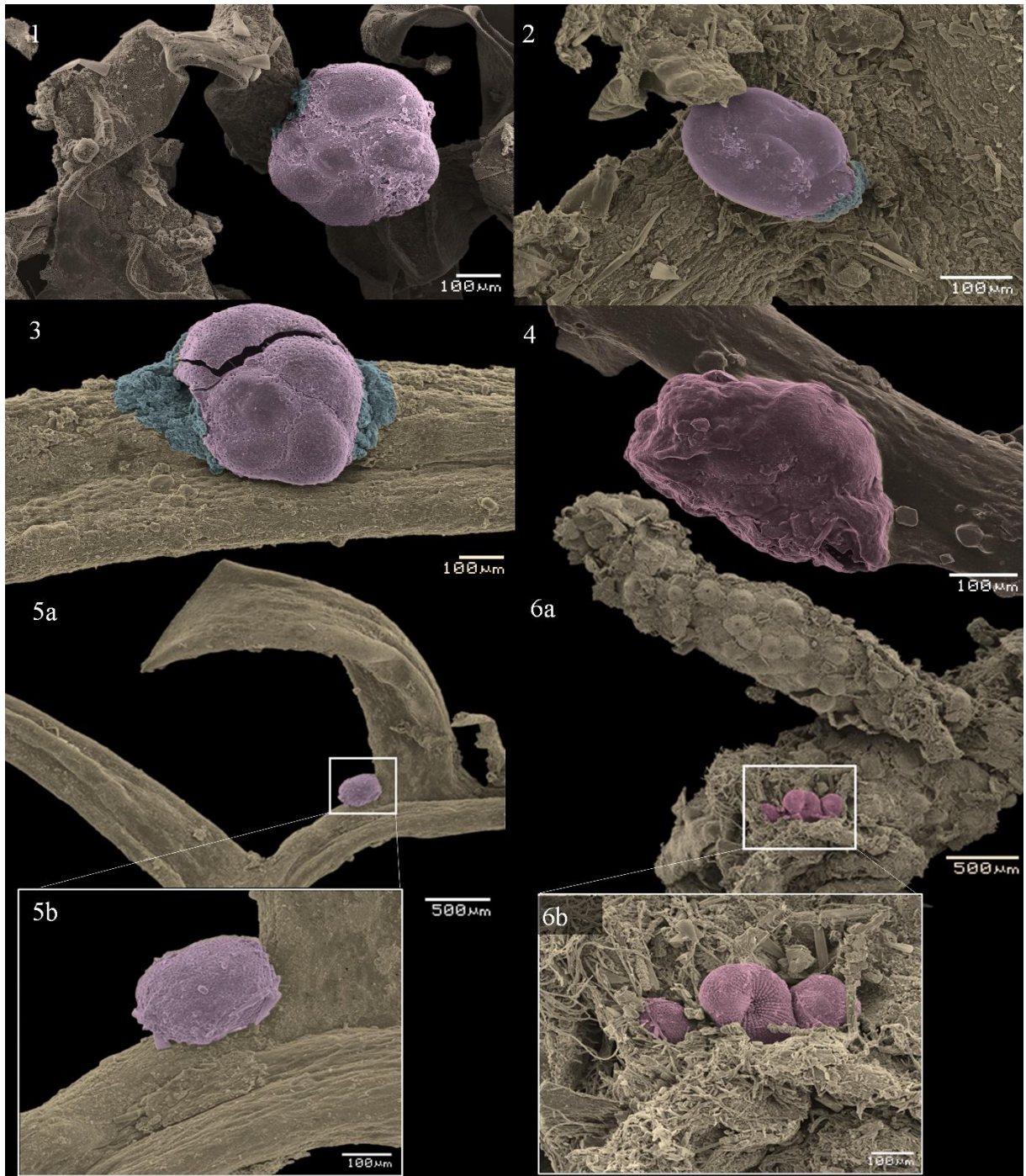
Foram registadas 6.152 foraminíferos fixos nas macroalgas, pertencentes a 33 espécies e 19 gêneros (Fig. 5). Não ocorreram foraminíferos fixos em *U. lactuca* e *P. antillarum* e estes ocorrem apenas em três amostras de *B. plumosa* em baixa abundância. As espécies *Rosalina anglica*, *R. bradyi*, *R. columbiensis*, *R. floridana*, *R. globularis*, *Glabratella mirabilis* e *Pararotalia cananeaensis*, foram dominantes e ocorreram em duas ou três espécies de macroalga filamentosas (Tab. 3). Dezenove espécies (ex.: *Quinqueloculina* sp. "A", *Planorbulina mediterraneensis*, *Spirillina vivipara*, *Glabratella* sp., *Rosalina* sp., *Triloculina* sp. e *Bolivina* sp. "A") foram exclusivas da macroalga *P. perforata* e 14 espécies, mesmo que não exclusivas, foram mais abundantes em *P. perforata*.

A riqueza e abundância de foraminíferos fixos variaram significativamente entre as macroalgas e foram significativamente maiores em *P. perforata* (Tab. 4), refletindo na variação da estrutura das assembleias de fixos entre macroalgas filamentosas (Tab. 5). De acordo com as subdivisões das hastes das macroalgas, 11% dos foraminíferos foram coletados na base do talo, 30% no meio e 59% no ápice, padrão recorrente em cada espécie de macroalga filamentosa. Não houve padrões de exclusividade de espécies nas subdivisões das hastes, apenas o aumento da abundância em direção ao ápice das macroalgas.

Em análise aos padrões recorrentes, todos os foraminíferos fixos coletados encontravam-se vivos e posicionando a abertura apertural voltada para a superfície das macroalgas, rodeados ou recobertos por muco que em algumas espécies esteve restrito a abertura apertural ou envolvendo toda a carapaça. Os foraminíferos fixos foram coletados em maioria em cavidades em meio as ramificações das estruturas das macroalgas, sejam sozinhos ou agrupados, e poucos indivíduos encontravam-se em áreas totalmente expostas. Nos locais

onde os foraminíferos encontravam-se fixos nas macroalgas, não foram observadas marcas, cicatrizes ou cavidades geradas por eles.

Figura 6. Microfotografia eletrônica de varredura modificadas com destaque dos foraminíferos fixos as macroalgas filamentosas. 1- *Rosalina globularis* fixa em *B. plumosa*; 2 - *Pseudolachlanella eburnea* e 3 – *R. globularis* fixas em *G. acerosa*; 4- *R. anglica* fixa em *P. perforata*; 5- *Glabratella brasiliensis* fixa em *G. acerosa*; 6 - *Glabratella miriabilis* fixas em *P. perforata*.



Fonte: Própria (2022).

A espécie *Pararotalia cananeaensis* apresentou espinhos em sua carapaça, localizados periféricamente nas câmaras do último verticilo. Foraminíferos do gênero *Glabratella* e *Rosalina* foram encontrados em fase de reprodução e apresentaram carapaças de indivíduos juvenis tingidas pelo corante, sozinhas ou agrupadas, fixadas internamente a carapaça parental ou fixas externamente a face ventral (Fig.5). Os juvenis de *Glabratella miriablis* apresentavam sequência de duas câmaras, características típicas de indivíduos nesta fase de desenvolvimento (Erskian et al., 1987; Kitazato et al., 2000), entretanto, os glóbulos encontrados fixos em *R. globularis* não apresentavam características que possibilitasse identificá-los como juvenis. Sinais de dissolução da face apertural foram vistos nas carapaças parentais da espécie *G. miriablis*, exatamente onde encontravam-se os juvenis.

3.4 DISCUSSÃO

3.4.1 Características das macroalgas

A altura das macroalgas foi típica das descrições de cada espécie, sendo sua variação influenciada principalmente pelas condições ambientais e também pelas taxas de consumo por organismos herbívoros que auxiliam na renovação dos bancos de macroalgas (Hoey, 2010). As macroalgas *P. antillarum*, *U. lactuca*, e *B. plumosa* acumularam as maiores quantidades de sedimento. Considerando, que as duas primeiras são folhosas com superfície plana e em formato de leque ou cálice e a terceira é filamentosa disposta em densos tufos, acredita-se que essas morfologias favoreceram a acumulação de sedimentos. Por outro lado, a morfologia das macroalgas filamentosas *P. perforata* e *G. acerosa*, que têm talo reto, consistência firme, superfície fina e cilíndrica (Senties et al., 2009; Guiry & Guiry, 2021) com pequenas cavidades, é pouco propícia à retenção de sedimentos.

Nos recifes o processo de deposição sedimentar é gerado por fatores naturais e antropogênicos, de origem fluvial, associados a períodos chuvosos, a erosão do litoral ou a ressuspensão dos sedimentos de fundo (Silva et al., 2013), sendo considerados em maiores escalas como um ameaça ao ecossistema recifal, ao gerar impactos associados a turbidez e atenuação da luz, ao sufocamento e soterramento de organismos filtradores e fotossintetizantes, a fragmentação e abrasão devido fricção com os sedimentos e alterações na taxa do crescimento e recrutamento dos organismos bentônicos recifais (Rogers, 1990). Em recifes mais próximos à costa, a acumulação de sedimentos e os impactos sofridos podem, por vezes, superar os que ocorrem em recifes mais afastados, dada a alta ressuspensão dos sedimentos e constante transporte pela hidrodinâmica das ondas e dos movimentos das marés (Dutra et al., 2006.; Segal & Castro, 2011).

Nesses ambientes, substratos vegetais capazes de diminuir a hidrodinâmica e os impactos da dinâmica sedimentar são muito importantes para as comunidades biológicas, dado que eles diminuem o estresse físico sobre as espécies, principalmente de invertebrados, e favorecem a acumulação de grãos sobre os recifes que serão colonizados por espécies de fundos inconsolidados, além de, aumentar o acúmulo de detritos, que são usados como fonte de alimento por muitas espécies (Christie et al., 2009; Bates, 2009; Tano et al., 2016; Borst et al., 2019). A forma e o nível de complexidade estrutural das macroalgas influenciam diretamente as assembleias de organismos associados. Macroalgas mais complexas apresentam assembleias muito mais abundantes e diversificadas pela oferta de abrigo e proteção contra a predação, hidrodinamismo e a dinâmica sedimentar (Bates, 2009; Cacabelos et al., 2010; Veiga et al., 2014; Lutz et al., 2019; Gan et al., 2019).

3.4.2 Foraminíferos totais (mortos e vivos)

A riqueza dos foraminíferos totais das macroalgas foram maiores em *P. perforata*, resultado relacionado a maior riqueza de espécies vivas de foraminíferos estabelecidas nessa macroalga. Os foraminíferos totais e mortos foram dominados por *Quinqueloculina lamarckiana*, *Q. moynensis*, *Massilina pernambucensis*, *Textularia agglutinans*, *Pararotalia cananeaensis*, *Sigmoilina* sp. "A" e *Amphistegina lessonii*, assembleia formada majoritariamente por foraminíferos Milionideos, não epifíticos, mortos e de carapaças porcelanosas. Essas características refletem a forte influência da dinâmica sedimentar em diferentes escalas nos ambientes costeiros rasos. Em média escala demonstra como a dinâmica determina o transporte de sedimentos do fundo sedimentar cima dos recifes, fator responsável pela dominância de espécies de foraminíferos resuspendidos típicos do ambiente deposicional da plataforma continental do Nordeste do Brasil (Tinoco, 1971; Madeira-Falcetta, 1977; Araripe et al., 2016; Alves & Nogueira Junior, 2020), e em escala local, a capacidade das macroalgas de atenuar a hidrodinâmica, favorecendo a deposição de foraminíferos em suas estruturas, relacionada com a maior capacidade de acumulação sedimentos.

3.4.3 Foraminíferos epifíticos (vivos e fixos)

De acordo com os resultados obtidos das condições ambientais do fundo sedimentar (vide Capítulo I) a ocorrência de populações vivas no entremarés das praias estudadas restringe-se a espécies epifíticas, majoritariamente associadas aos gêneros *Bolivina*, *Cibicides*, *Elphidium*, *Glabratella*, *Miliolinella*, *Pararotalina*, *Planorbulina*, *Quinqueloculina* e *Rosalina*. A recorrência de espécies epifíticas desses gêneros foi vista nesse e em outros

estudos (Atkinson, 1969; Delaca & Lipps, 1972; Boltovskoy et al., 1976ab; Rao et al., 1982; Debenay et al., 2001; Toefy et al., 2003; Alve et al., 2010; Mateu-Vicens et al., 2014; Manda et al., 2020), revelando forte associação evolutiva desses gêneros com o hábito de vida epifítico.

Entre os foraminíferos vivos os maiores valores de riqueza e abundância foram registrados nas macroalgas filamentosas *P. perforata*, *G. acerosa* e *B. plumosa*, revelando que para os foraminíferos epifíticos a capacidade de acumulação de sedimento das macroalgas não é o fator principal levado em consideração para o seu estabelecimento no substrato, mas sim a complexidade estrutural. Populações de foraminíferos epifíticos estabelecidas e desenvolvidas ocorrem apenas em macroalgas com maior quantidade e diversidade de microhabitats para colonização (Govindan et al., 1993; Devi et al., 2008; Miller et al., 2009; Senties et al., 2009), comportamento similar ao observado em espécies de invertebrados marinhos quando comparados entre macroalgas filamentosas mais complexas e folhosas menos complexas (McDonald & Bingham, 2010; Veiga et al., 2014; Lutz et al., 2019; Gan et al., 2019).

Macroalgas folhosas, como *P. antillarum* e *U. lactuca*, têm superfície plana, e são pouco ou não ramificadas (McDonald & Bingham, 2010; Miller et al., 2009; Veiga et al., 2014; Gan et al., 2019), características que possivelmente dificultam o estabelecimento das espécies de foraminíferos epifíticos, dado que nelas ficam mais expostos à hidrodinâmica, ao choque com sedimentos em suspensão e predação (Boltovskoy, 1971, 1976; Scott et al., 2001).

Além da complexidade estrutural, a composição química das macroalgas, em especial, a existência de metabólitos secundários com função antimicrobiana nas espécies *P. antillarum* e *U. lactuca* (Chew et al., 2008; Yee, 2010; Ibraheem et al., 2012; Abdel-Khaliq et al., 2014; Mashjoor et al., 2015; Rushdi et al., 2021), devem ter um papel estruturador nas assembleias dos foraminíferos epifíticos. Esses compostos podem ter ação direta sobre os foraminíferos, impedindo seu estabelecimento e sobrevivência como já observado para outros organismos (Amsler, 2008), ou atuarem reduzindo a quantidade de microorganismos como microalgas e bactérias na superfície das macroalgas, este que são recursos alimentares indispensáveis para as espécies foraminíferos epifíticos encontradas e identificadas como majoritariamente herbívoras e bacterívoras (Lipps, 1983; Langer, 1993; Murray, 2006; Sen Gupta, 2003).

Entre as espécies epifíticas vivas mais abundantes, *Rosalina globularis*, *R. floridana*, *Planorbulina mediterraneensis*, *Cornuspira involvens* e *Spirulina vivipara* apresentam ampla distribuição geográfica e são citadas como tipicamente adaptadas à vida em macroalgas costeiras, com ocorrência no Reino Unido, Índia, Espanha, França, Argentina, Itália, África do Sul, Israel, Estados Unidos da América e Dinamarca (Atkinson, 1969; Delaca & Lipps,

1972; Boltovskoy et al., 1976b; Rao et al., 1982; Debenay et al., 2001; Toefy et al., 2003; Alve et al., 2010; Mateu-Vicens et al., 2014; Manda et al., 2020). Outras espécies epifíticas, como *Glabratella brasiliensis* e *Pararotalia cananeaensis* primeiramente identificadas e descritas no ambiente sedimentar marinho do Brasil, até o momento apresentam ocorrência mais restrita a registros entre a região costeira da América do Sul e do Norte (Boltovskoy, 1959; Hofker, 1976; Hoyos, 1992; Debenay et al., 2001; Burone et al., 2006; Wilson, 2008; Gasparini et al., 2020).

A assembleias de foraminíferos epifíticos vivos das macroalgas foram dominadas por espécies da Ordem Rotaliida de carapaças calcáreo hialinas, como *Rosalina anglica*, *R. bradyi*, *R. floridana*, *R. globularis*, *Pararotalia cananeaensis*, *Quinqueloculina* sp. "A", *Glabratella mirabilis* e *G. brasiliensis*, espécies típicas da associação com substratos vegetais em regiões costeiras de elevada energia hidrodinâmica. Mesmo compartilhando das mesmas espécies dominantes, variações significativas das assembleias foram observadas entre espécies de macroalgas. A macroalga *P. perforata* é a mais distinta, tendo os maiores valores de riqueza e abundância de foraminíferos, o que revela a importância da identidade taxonômica e da complexidade arquitetônica das macroalgas para o estabelecimento dos foraminíferos.

Em um comparativo entre essa assembleia de foraminíferos epifíticos vivos e a assembleia de foraminíferos mortos, essas se diferenciaram em abundância, riqueza e composição de espécies, demonstrando o nível de adaptação e especificidade das assembleias de foraminíferos ao hábito de vida epifítico.

Não foram observados padrões de exclusividade das espécies de foraminíferos epifíticos em partes específicas das macroalgas, no entanto, com o aumento da abundância em direção ao ápice das macroalgas filamentosas, onde há o aumento do número de ramificações, demonstra-se que os foraminíferos epifíticos preferem o ápice das macroalgas estudadas como habitat de vivência (Senties et al., 2009; Guiry & Guiry, 2021). Macroalgas ramificadas têm cavidades ou fendas que caracterizam-se como microhabitats para fixação e proteção dos foraminíferos contra a predação, a hidrodinâmica e a dinâmica sedimentar, diminuindo ainda as variações de temperatura e umidade (Atkinson, 1969). Essa seletividade dos foraminíferos por cavidades das macroalgas já foi relatada por Rao et al. (1982) no estudo da macroalga *Dictyota dichotoma* colonizada especialmente por *Rosalina globularis*, *R. floridana* e *Pararotalia nipponica* e por Myers (1943), Silter (1965) e Delaca & Lipps (1972) no estudo de *R. globularis* em macroalgas do Filo Rhodophyta dos gêneros *Amphiroa* e *Corallina*.

3.4.4 Morfologia

Em relação às carapaças dos foraminíferos epifíticos, as características dessas são reflexos das adaptações ao tipo de substrato e as condições ambientais ofertadas (Murray, 2006). Diante disso, a recorrência de características vistas nas carapaças das espécies epifíticas tratam-se de adaptações ao hábito de vida em substratos vegetais que atenuam as condições do ambiente de elevada exposição ao hidrodinamismo e a dinâmica sedimentar (Delaca & Lipps, 1972; Boltovskoy et al., 1976; Rao et al., 1982; Langer, 1993).

Ambientes de alta energia como depósitos de substratos sedimentares grosseiros apresentam comumente assembleias de foraminíferos dominadas por carapaças mais resistentes a degradação, geralmente, associadas a espécies de carapaças porcelanosas da ordem Miliolida depositadas em regiões rasas de elevada energia hidrodinâmica com as assembleias da plataforma continental do Nordeste do Brasil (Boltovskoy, 1971; Tinoco, 1971; Madeira-Falcetta, 1977; Araripe et al., 2016; Alves & Nogueira Junior, 2020). No entanto, uma dominância de carapaças calcáreo hialinas intactas (carapaças delgadas e sensíveis a degradação) da ordem Rotaliida como a observada na assembleia de foraminíferos epifíticos, relacionam-se diretamente a atenuação das condições ambientais, como hidrodinâmica e dinâmica sedimentar, ofertadas nas estruturas das macroalgas marinhas (Murray, 2006).

A partir da morfologia predominante entre as carapaças das espécies de foraminíferos epifíticos coletados (carapaças calcáreo hialinas de pequeno tamanho, formato cônico, arranjo troncoespiral, periferia aguda a subaguda e a presença de espinhos), do comportamento de sempre posicionarem a abertura apertural das carapaças voltadas para superfície das macroalgas e do muco adesivo (ou também chamado de cisto ou glicocola) depositado no entorno ou envolta das carapaças, estas características são indicadas como adaptações que melhoram a forma de fixação, alimentação, camuflagem, proteção e desenvolvimento das populações de foraminíferos sob as macroalgas, permitindo uma melhor administração das condições ambientais (Delaca & Lipps, 1972; Boltovskoy et al., 1976b; Poag, 1982; Rao et al., 1982; Langer, 1993, Sem Gupta, 2003; Murray, 2006).

Delaca & Lipps (1972), Rao et al. (1982) e Langer (1993) relataram que o formato e o nível de concavidade da face ventral das carapaças podem ser modificados durante o desenvolvimento dos foraminíferos epifíticos em reflexo ao relevo do substrato como forma de melhor acomodação e fixação. No estudo da predação em *Rosalina globularis* e *Bolivina doniezi* (Cushman & Wickenden, 1929), Silter (1971) evidenciou que por posicionarem a face ventral voltada para o substrato como forma de proteção, os foraminíferos epifíticos são mais

frequentemente atacados por predadores (potencialmente nematoides) na fase dorsal, que geram múltiplas perfurações nas últimas e penúltimas câmaras das carapaças através dos poros. Todd (1965) e Delaca & Lipps (1972) no estudo de *R. globularis* destacaram que o muco glicosaminoglicanos sintetizado por essa espécie trata-se de um composto polissacarídeo ácido sulfatado que auxilia no processo de fixação em variados tipos de substratos, principalmente, em macroalgas coralinas ou carapaças de moluscos.

Em análise aos espécimes de *Pararotalia cananeaensis* coletados, distinções entre esses espécimes epifíticos e o fenótipo móvel dessa espécie descrita por Debenay et al. (2001) em amostras de sedimentos foram observadas. A presença de espinhos robustos apenas nos espécimes epifíticos revela possivelmente a adaptação dessa espécie para a vida epifítica, visando a melhor fixação nos substratos vegetais. O desenvolvimento de conchas e carapaças com espinhos, costelas e protuberâncias é uma estratégia evolutiva muito comum entre os organismos bentônicos para resistir a hidrodinâmica (García-March, et al., 2007; Davis et al., 2019; Tristan, 2019). Em estudo a espécie de foraminífero *Vasiglobulina reticulata* na plataforma continental de Nova Jersey/EUA, Poag (1982) relatou um comportamento adaptativo muito similar, onde essa espécie quando encontrada em estado sésil desenvolvia pilares ou hastes calcificadas para melhor fixação ao substrato, uma estratégia não desenvolvida pelo fenótipo móvel da espécie. Essa estratégia adaptativa torna *P. cananeaensis* uma espécie modelo para estudos das adaptações dos foraminíferos ao hábito de vida epifítico.

3.4.5 Mobilidade

A partir dos morfogrupos dos foraminíferos epifíticos propostos por Langer (1993) para identificação do tipo de mobilidade, os tipos mais frequentes foram as espécies permanentemente móveis e as temporariamente sésseis, sendo as menos frequente as espécies sésseis. Segundo o mesmo autor, espécies permanentemente móveis selecionam o substrato, principalmente, a partir da disponibilidade alimentar e locomovendo-se em posição vertical direcionando o dente da abertura apertural da carapaça em direção ao substrato para auxílio a permanência momentânea no substrato. As espécies temporariamente sésseis diferenciam-se das demais pelas carapaças com formato cônico, pela forma de reprodução e procura por alimentos que necessitam de desprendimento do substrato para ocorrerem. Por sua vez, as espécies sésseis, devido ao seu alto grau de fixação e especificidade ao substrato vegetal, tornam-se as mais promissoras a serem utilizadas em estudos paleoecológicos que visem

identificar indiretamente a ocorrência de organismos vegetais marinhos em ambientes pretéritos a partir de foraminíferos epifíticos (Langer, 1993).

3.4.6 Reprodução

Foraminíferos epifíticos das espécies de *Rosalina* e *Glabratella* foram observados com juvenis fixados internamente às carapaças. Espécies desses gêneros alternam a forma de reprodução entre gerações sexuadas (fase gamogonia - haplóide) e assexuadas (fase agamogonia - diplóide), que podem ser em alguns casos distinguidas através de análises mais apuradas em laboratório ou a partir de variações morfológicas das carapaças (Myers, 1943; Lee et al. 1963; Silter, 1965; Langer, 1993; Kitazato et al., 2000).

Em *Rosalina globularis* glóbulos solitários foram encontrados externamente fixados à face apertural da carapaça parental. Aplicando-se as descrições morfológicas para as fases de reprodução dessa espécie feitas por Myers (1943) e Silter (1965) aos foraminíferos com glóbulos fixados a face apertural das carapaças, foi possível identificar indivíduos em fase de reprodução sexuada, devido a carapaça inflada, globosa, com última câmara do verticilo lobada em direção ventral, com prolóculo megaloesférico e formato côncavo-convexo. Dados que os glóbulos solitários simples fixados na face ventral das carapaças não apresentaram características com potencial para identificação taxonômica, eles podem ser o início do desenvolvimento da câmara de flutuação descrita pelos autores como parte da fase sexual pelágica registrada apenas em temperaturas acima de 18°C, ou ainda, a carapaça de um indivíduo juvenil fixada na carapaça parental.

A existência de uma fase pelágica em *Rosalina globularis* caracteriza-se como uma forma de dispersão (Boltovskoy, 1976a), onde os foraminíferos ao liberarem os gametas na coluna de água circundante, expandem sua zona de ocorrência, podendo essa forma de dispersão ser utilizada como justificativa para ampla distribuição da espécie *Rosalina globularis* nas regiões costeiras do mundo.

Inúmeros juvenis de *Glabratella miriabilis* foram observados sendo gerados internamente as carapaças parentais, que apresentavam uma parcial dissolução/reabsorção do CaCO₃ da face apertural onde estavam os juvenis. Com base nas descrições das fases de reprodução do gênero *Glabratella* (Erskian et al., 1987; Kitazato et al., 2000), foi possível identificar que os espécimes parentais estavam em fase de reprodução sexuada, quando é realizado o chamado “par gamontogâmico” ou também denominado de “par plastogâmico”. Essa forma de reprodução consiste na união da face ventral de dois espécimes parentais onde ocorre a dissolução parcial da face apertural e dos septos das carapaças para fornecimento de

íons de Ca^{2+} para formação das carapaças dos juvenis (Murray, 2006), originando também um espaço interno de compartilhamento de gametas para formação dos zigotos e para posterior liberação dos juvenis (Erskian et al., 1987; Kitazato et al., 2000; Sen Gupta, 2003). Os juvenis encontrados no interior das carapaças possivelmente realizariam reprodução assexuada devido a alternância geracional do tipo de reprodução.

Esse processo de reprodução comumente leva os foraminíferos parentais à morte, por dissolverem a face ventral das carapaças e dividirem seu conteúdo citoplasmático para formação dos juvenis (Boltovskoy, 1976a; Murray, 2006; Sen Gupta, 2001). No entanto, algumas espécies realizam mais de um ciclo reprodutivo, utilizando estratégias especializadas de retenção de uma pequena reserva citoplasmática após a divisão e formação dos juvenis (Bradshaw, 1957) e através da reparação (recalcificação) de partes dissolvidas das carapaças (Angell, 1967; Lee et al. 1963). Esse tipo de reprodução sexuada é observado em *Spirillina*, *Discorbis*, *Patellina* e *Glabratella*, como potencial forma de adaptação reprodutiva em locais de alta hidrodinâmica (Boltovskoy, 1976a).

3.5 CONCLUSÃO

A assembleia de foraminíferos epifíticos das macroalgas recifais, formada pelas espécies de ampla ocorrência *Rosalina anglica*, *R. bradyi*, *R. floridana*, *R. globularis*, *Pararotalia cananeaensis*, *Quinqueloculina* sp. "A", *Glabratella mirabilis* e *G. brasiliensis*, representam um novo registro de distribuição de foraminíferos bentônicos na região Nordeste do Brasil.

A presença desses foraminíferos epifíticos vivos nas regiões costeiras, evidencia o potencial das macroalgas em ofertarem microhabitats favoráveis a ocorrência das espécies de foraminíferos, adaptadas ao hábito de vida epifítico e capazes de diferenciarem o substrato de estabelecimento, através da complexidade arquitetônica e composição química das macroalgas. Além disso, com essa assembleia viva, torna-se possível a aplicação dos foraminíferos epifíticos como bioindicadores das condições ambientais costeiras e como ferramentas em estudos da interação da microfauna com os bancos de macroalgas marinhas.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas áreas próximas aos recifes rasos da costa de Pernambuco, região Nordeste do Brasil, a hidrodinâmica e a dinâmica sedimentar, fortemente influenciadas pela presença dos recifes, desfavorecem o estabelecimento de populações vivas de foraminíferos no fundo sedimentar, no entanto, as condições oferecidas pelas macroalgas, relacionadas a oferta de microhabitats e a atenuação da energia ambiental, permitem o estabelecimento e desenvolvimento de uma rica e abundante assembleia de foraminíferos epifíticos vivos.

A assembleia de foraminíferos do fundo sedimentar é dominada pelas espécies *Amphistegina lessonii*, *Archaias angulatus*, *Massilina pernambucensis*, *Quinqueloculina lamarckiana*, *Textularia agglutinans* e *Triloculina laevigata*, dominada por espécimes mortos da Ordem Miliolida. As características dessa assembleia fazem indicação a uma província carbonática relictada de sedimentação litoclástica/biolitoclástica, localizada em águas tropicais mornas, rasas, translúcidas, euriálicas e de hidrodinâmica de moderada a intensa.

A assembleia de foraminíferos epifíticos das macroalgas é dominada pelas espécies *Rosalina anglica*, *R. bradyi*, *R. floridana*, *R. globularis*, *Pararotalia cananeaensis*, *Quinqueloculina* sp. "A", *Glabratella mirabilis* e *G. brasiliensis*, composição que difere das registradas no fundo sedimentar da região e que demarcam um novo registro de distribuição de foraminíferos bentônicos com adaptações morfológicas, alimentares, de mobilidade e reprodutivas, ao hábito de vida associado a macroalgas marinhas na região costeira do Nordeste do Brasil.

A resposta dos foraminíferos bentônicos mortos dos sedimentos em relação a hidrodinâmica e a dinâmica sedimentar, e a existência de uma assembleia de foraminíferos epifíticos vivos associados as macroalgas, revelam o potencial de uso das assembleias de foraminíferos como bioindicadores em estudos que busquem entender o papel das variações ambientais no estabelecimento das comunidades bentônicas e no estudo da interação da microfauna epifítica e os bancos de macroalgas marinhas.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-KHALIQ, A.; HASSAN, H.M.; RATEB, M.E.; HAMMOUDA, O. Antimicrobial activity of three *Ulva* species collected from some Egyptian Mediterranean Seashores. **International Journal of Engineering Research and General Science**, v. 2, n. 5, p. 648-669, 2014.
- ALVE, E.; GOLDSTEIN, S.T. Dispersal, survival and delayed growth of benthic foraminiferal propagules. **Journal of Sea Research**, v. 63, p. 36-51, 2010.
- ALVES, B.M.; NOGUEIRA JUNIOR, M. Foraminiferal assemblage structure from brazilian tropical urbanized beaches (~7°S). **Anais da academia Brasileira de Ciências**, v. 92, n. 2, p. 1-15, 2020.
- AMSLER, C.D. **Algal Chemical Ecology**. Springer, Berlin: 2008.
- ANDERSON, M.J.; WILLIS, T.J. Canonical analysis of principal coordinates: a useful method of constrained ordination for ecology. **Ecology**, v. 84, p. 511-525, 2003.
- ANDERSON, M.J. Permutation tests for univariate or multivariate analysis of variance and regression. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v. 58, p. 626-639, 2001.
- ANGELL, R.W. Test recalcification in *Rosalina floridana* (Cushman). **Contributions from the Cushman Foundation for Foraminiferal Research**, v. 18, p. 299-307, 1967.
- ARARIPE, R.V.C., OLIVEIRA, D.H.; ASSIS, H.M.B.; BARRETO, A.M.F. Caracterização da fauna de foraminíferos bentônicos da plataforma continental de Itamaracá, PE – Brasil, **Estudos Geológicos**, v. 26, n. 2, p. 91-107, 2016.
- ARMSTRONG, H.A. & BRASIER, M.D. **Microfossils**. 2. ed. Blackwell Publishing. 2005, 306 p.
- ATKINSON, K. The association of living foraminifera with algae from the littoral zone, south Cardigan Bay, Wales. **Journal of Natural History**, v. 3, p. 517-542, 1969.
- BALATA, D.; PIAZZI, L. & RINDI, F. Testing a new classification of morphological functional groups of marine macroalgae for the detection of responses to stress. **Marine Biological**, v. 158, p. 2459-2469, 2011.
- BARCELLOS, R.L.; MELO, M.C.S.S.; SIAL, A.N.; MANSO, V.A.V.M. Sedimentary organic matter characterization on a tropical continental shelf in northeastern Brazil. **International Journal of Geosciences**, v. 11, p. 393-419, 2020.
- BATES, C.R. Host taxonomic relatedness and functional-group affiliation as predictors of seaweed-invertebrate epifaunal associations. **Marine Ecology Progress Series**, v. 387, p. 125- 136, 2009.

BELART, P.; CLEMENTE, I.; RAPOSO, D.; HABIB, R.; VOLINO, E.K.; VILLAR, A.; ALAVES-MARTINS, M.V.; FONTANA, L.F.; LORINI, M.L.; PANIGAI, G.; FRONTALINI, F.; FIGUEIREDO, M.S.L.; VASCONCELOS, S.C.; LAUT, L. Living and dead foraminifera as bioindicators in Saquarema Lagoon System, Brazil. **Latin American Journal of Aquatic Research**, v. 46, n. 5, p. 1055-1072, 2018.

BERNHARD, J.M. Distinguishing live from dead foraminifera: methods review and proper applications. **Micropaleontology**, v. 46, n. 1, p. 38-46, 2000.

BEZERRA, F.H.R.; AMARAL, R.F.; LIMA-FILHO, F.P.; FERREIRA JR, A.V.; SENA, E.S.; DINIZ, R.F. Beachrock fracturing in Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 42, p. 319-332, 2005.

BOLTOVSKOY, E.; WRIGHT, R. C. **Recent foraminifera**. Springer. 1976b, 520 p.

BOLTOVSKOY, E. Foraminiferos recientes del sur de Brasil y sus relaciones con los de Argentina e India del Oeste. **Secretaria de Marina, Servicio de Hidrografia Naval**. p. 1-124, 1959.

BOLTOVSKOY, E. Relationship between benthonic foraminiferal fauna and the substrate in the littoral zone. **Journal of Marine Geology**, v. 7, n. 1, p. 26-30, 1971.

BOLTOVSKOY, E., LENA, H. & ASENSI, A. Algae as a substrate for foraminifera in the Puerto Deseado Area (Patagonia). **Journal of the Marine Biological Association of India**, v. 18, n. 1, p. 140 -148, 1976a.

BONTEMPO, E.B.; COUTINHO, R.Q.; BARBOSA, J.A.; BARCELLOS, R.L.; GIACHETI, H.L.; RAMOS, M.S. Temporal monitoring of contamination in three sandy beaches from the 2019 oil spill near Cabo de Santo Agostinho, Northeastern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 94, n. 2, 2022.

BORST, A.C.W.; ANGELINI, C.; TEN BERGE, A.; LAMERS, L.; DERKSEN-HOOIJBERG, M.; VAN DER HEIDE, T. Food or furniture: Separating trophic and non-trophic effects of Spanish moss to explain its high invertebrate diversity. **Ecosphere**, v. 10, n. 9, p. 1-13, 2019.

BOUDAGHER-FADEL, M. K. **Evolution and Geological significance of larger benthic foraminifera**. 2 ed. London: UCL, 2018, 704 p.

BRADSHAW, J.S. Laboratory studies on the rate growth of the foraminifera, “*Streblus becarrii* (Linné) Var. *tepida* (Cushman)”. **Journal of Paleontology**, v. 31, n. 6, p. 1138-1147, 1957.

BRUNO, R.L.M.; ARAÚJO, T.M.F. Distribuição dos foraminíferos na plataforma de transição carbonato-siliciclástico, região de Ilhéus, Bahia. **Gravel**, Porto Alegre, v. 10, n. 1, p. 23 – 33, 2012.

BUARQUE, B.V.; BARBOSA, J.A.; MAGALHÃES, J.R.G.; CRUZ OLIVEIRA, J.T.; FILHO, O.J.C. Post-rift volcanic structures of the Pernambuco Plateau, northeastern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 70, p. 251-267, 2016.

BURONE, L.; VENTURINI, N.; SPRECHMANN, P.; VALENTE, P.; MUNIZ, P. Foraminiferal responses to polluted sediments in the Montevideo coastal zone, Uruguay. **Marine Pollution Bulletin**, v. 52, n. 1, p. 61-73, 2006.

CACABELOS, E.; OLABARRIA, C.; INCERA, M.; TRONCOSO, J. S. Effects of habitat structure and tidal height on epifaunal assemblages associated with macroalgae. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 89, n. 1, p. 43-52, 2010.

CAMARGO, M.G. SYGRAN: Um sistema de código aberto para análises granulométricas do sedimento. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 36, n. 2, p. 371-378, 2006.

CARR, A.P. Beach material, sorting of. In: Beaches and coastal geology. Encyclopedia of earth sciences series. **Springer**, New York, p. 145-148, 1982.

CHAVES, L.T.C.; PEREIRA, P.H.C.; FEITOSA, J.L.L. Coral reef fish association with macroalgal beds on a tropical reef system in North-eastern Brazil. **Marine and Freshwater Research**, v. 64, p. 1101–1111, 2013.

CHEW, Y.L.; LIM, Y.Y.; OMAR, M.; KHOO, K.S. Antioxidant activity of three edible seaweeds from two areas in South East Asia. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, n. 6, p. 1067-1072, 2008.

CHRISTIE, H.; NORDERHAUG, K.M.; FREDRIKSEN, S. Macrophytes as habitat for fauna. **Marine Ecology Progress Series**, v. 396, p. 221-233, 2009.

CLARKE, K.R.; GORLEY, R.N. **PRIMER v7: User Manual/Tutorial**. PRIMER-E, Plymouth: 2015, 300 p.

COELHO, P.A.; RAMOS-PORTO, M.L. Bentos litorâneo do Nordeste oriental do Brasil: II. Povoamentos dos substratos duros. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 29, n. 2, p. 133–134, 1980a.

COELHO, P.A.; RAMOS-PORTO, M.L. Bentos litorâneo do Nordeste oriental do Brasil: I. Povoamento dos substratos móveis. **Boletim do Instituto de Oceanográfico**, v. 29, n. 2, p. 129-131, 1980b.

COSTA, M.M.S.; PEREIRA, S.M.B.; SILVA-CUNHA, M.G.G.; ARRUDA, P.C.; ESKINAZI-LEÇA, E. Community structure of epiphytic diatoms on seaweeds in Northeastern Brazil. **Botanica Marina**, v. 59, n. 4, p. 231-240, 2016.

COUTINHO, P.N.; MORAIS, J.O. Distribucion de los sedimentos en la plataforma continental Norte y Nordeste del Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 10, n. 1, p. 79-90, 1970.

COUTINHO, P.N. Levantamento do estado da arte da pesquisa dos recursos vivos marinhos do Brasil. Relatório do Programa REVIZEE (1995-2000), Oceanografia Geológica. **FEMAR/SECIRM/MMA**. Brasília: 138 p., 2005.

CRAVEIRO, N.; ALVES, R.V.A.; SILVA, J. M.; VASCONCELOS, E.; ALVES-JUNIOR, F.A.; ROSA FILHO, J.S. Immediate effects of the 2019 oil spill on the macrobenthic fauna

associated with macroalgae on the tropical coast of Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 165, p. 1-8, 2021.

DARWIN, C. On a remarkable bar of sandstone of Pernambuco on the coast of Brazil. **Magazine & Journal Sciences**. London: p. 257 – 261, 1841.

DAVIS, A.L.; HOOVER, A.P.; MILLER, L.A. Lift and drag acting on the shell of the American horseshoe crab (*Limulus polyphemus*). **Bulletin of Mathematical Biology**, v. 81, p. 3803-3822, 2019.

DEBENAY, J.P.; PAYRI, C.E. Epiphytic foraminiferal assemblages on macroalgae in reefal environments of New Caledonia. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 40, n. 1, p. 36-60, 2010.

DEBENAY, J.P.; DULEBA, W.; BONETTI, C.; MELO E SOUZA, S.H.; EICHLER, B.B. *Pararotalia cananeaensis* n. sp.: indicator of marine influence and water circulation in brazilian coastal and paralic environments. **Journal of Foraminiferal Research**, 31(2): p. 152 - 163. 2001.

DELACA, T.E.; LIPPS, J.H. The mechanism and adaptive significance of attachment and substrate pitting in the foraminifera *Rosalina globularis* d'Orbigny. **The Journal of Foraminiferal Research**, v. 2, n. 2, p. 68-72, 1972.

DEV, P. Taxonomic evaluation of foraminifera genus *Rosalina* D'orbigny, 1826. **Journal of Ravishankar University**, v. 1, n. 1, p. 59-61, 1988.

DEVI, K.P.; SUGANTHY, N.; KESIKA, P.; PANDIAN, S.K. Bioprotective properties of seaweeds: In vitro evaluation of antioxidant activity and antimicrobial activity against food borne bacteria in relation to polyphenolic content. **BMC Complementary and Alternative Medicine**, v. 8, n. 1, p. 1-11, 2008.

DI BELLA, L.; PIERDOMENICO, M.; BOVE, C.; CASALBORE, D.; RIDENTE, D. Benthic foraminiferal response to sedimentary processes in a prodeltaic environment: The Gulf of Patti case study (Southeastern Tyrrhenian Sea). **Geosciences**, v. 11, n. 5, p. 1-20, 2021.

DOMINGUES, E.D.C.; SCHETTINI, C.A.F.; TRUCCOLO, E.C.; OLIVEIRA FILHO, J.C. Hydrography and currents on the Pernambuco continental shelf. **RBRH**, v. 22, p. 1-17, 2017.

DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, A.C.S.P.; LEÃO, Z.M.A.N.; AZEVEDO, A.E.G. Geologia do Quaternário costeiro do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20, n. 1-4, p. 208-215, 1990.

DOMINGUEZ, J.M.L. The coastal zone of Brazil: an overview. **Journal of Coastal Research**, p. 16-20, 2006.

DUANE, D.B. Significance of skewness in recent sediments, Western Pamlico Sound, North Carolina. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 34, p. 864-874, 1964.

- DULEBA, W. Interpretações paleoambientais obtidas a partir das variações na coloração das carapaças de foraminíferos, da Enseada do Flamengo. **Boletim do Instituto de Oceanografia**, v. 42, p. 63-72, 1994.
- DUTRA, L.X.C.; KIKUCHI, R.K.P.; LEÃO, Z.M.A.N. Effects of sediment accumulation on reef corals from Abrolhos, Bahia, Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 39, n. 2, p. 633-638, 2006.
- EDGAR, G.J. The ecology of south-east Tasmanian phytal animal communities. ed. I. II. III. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 70, n. 2, p. 129-157, 1983.
- ELLIS, B.F.; MESSINA, A.R. **Catalogue of foraminifera**. Micropaleontology Press, American Museum of Natural History, New York: 1940 – 2006.
- ERSKIAN, M.G.; LIPPS, J.H. Population dynamics of the foraminifera *Glabratella ornatissima* (Cushman) in Northern California. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 17, n. 3, p. 240-256, 1987.
- FERREIRA JR., A.V.; PAESA, B.C.E.; VIEIRA, M.M.; SIALAF, A.N.; NEUMANN, V.H.M.L. Diagenesis of Holocene beachrock in Northeastern Brazil: petrology, isotopic evidence and age. **Quaternary and Environmental Geoscience**, v. 9, n. 2, p. 26-35, 2018.
- FERREIRA, B.P.; MAIDA, M. Fishing and the future of Brazil's Northeastern Reefs. **International Newsletter of Coastal management**, v. 38, p. 22 – 23, 2001.
- FLOETERA, S.R.; HALPERNA, B.S.; FERREIRA, C.E.L. Effects of fishing and protection on Brazilian reef fishes. **Biological Conservation**, v. 128, p. 391-402, 2006.
- FOLK, R.L.; WARD, W.C. Brazos river bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 27, n. 1, p. 3-26, 1957.
- FRANÇA, A.M.G.; COUTINHO, P.N.; SUMMERHAYES, C.P. Sedimentos superficiais da margem continental nordeste brasileira. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 6, n. 2, p. 71-88, 1976.
- FRIEDMAN, G.M. Distinction between dune, beach, and river sands from their textural characteristics. **SEPM Journal of Sedimentary Research**, v. 31, n. 4, p. 514-529, 1961.
- FUJITA, K.; HALLOCK, P. A comparison of phytal substrate preferences of *Archaias angulatus* and *Sorites orbiculus* in mixed macroalgal-seagrass beds in Florida Bay. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 29, n. 2, p. 143-151, 1999.
- GAN, S.X.; TAY, Y.C.; HUANG, D. Effects of macroalgal morphology on marine epifaunal diversity. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, p. 1 - 11. 2019.
- GARCÍA-MARCH, J.R.; PÉREZ-ROJAS, L.; GARCÍA-CARRASCOSA A.M. Influence of hydrodynamic forces on population structure of *Pinna nobilis* L., 1758 (Mollusca: Bivalvia): The critical combination of drag force, water depth, shell size and orientation. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, n. 342, v. 2, p. 202-212, 2007.

GASPARINI, S.P.; DA SILVEIRA, P.H.M.; VILELA, C.G. Evolution of the Paraíba do Sul Deltaic Complex (SE Brazil) based on benthic foraminiferal biofacies succession. **Journal of Sedimentary Environments**, v. 5, n. 2, p. 163-175, 2020.

GOVINDAN, M.; MCCLEAN, A.E.; BROWN, K.A. Chemical constituents of the caribbean marine alga *Bryopsis plumosa*. **Microchemical Journal**, v. 47, n.1-2, p. 193-196, 1993.

GUIRY, M.D.; GUIRY, G.M. **Algae Base**. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway: 2022.

HAYNES, J.R. **Foraminifera**. Halsted Press, 1981, 467 p.

HOEY, A.S. Size matters: macroalgal height influences the feeding response of coral reef herbivores. **Marine Ecology Progress Series**, v. 411, p. 299-302, 2010.

HOFKER, J. Further studies on caribbean foraminifera. **Studies on the fauna of curaçao and other caribbean islands**, v. 49, n. 1, p. 1-256, 1976.

HORTA, P.A.; AMÂNCIO, E.; COIMBRA, C.S.; OLIVEIRA, E.C. Considerações sobre a distribuição e origem da flora de macroalgas brasileiras. **Hoehnea**, v. 28, p. 243-265, 2001.

HOYOS, C.L. Biocenoses de foraminíferos bentônicos en la zona intermareal de Bocagrande Cartagena (Colombia). **Acta Biológica Colombiana**, v. 2, n. 7-8, p. 125-138, 1992.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pe/panorama>.

IBRAHEEM, I.B.M.; ABDEL-RAOUF, N.; ABDEL-HAMEED, M.S.; EL-YAMANY, K. Antimicrobial and antiviral activities against Newcastle disease virus (NDV) from marine algae isolated from Qusier and Marsa-Alam Seashore (Red Sea), Egypt. **African Journal of Biotechnology**, v. 11, n. 33, p. 8332-8340, 2012.

JACOBUCCI, G.B.; LEITE, F.P.P. Distribuição vertical e flutuação sazonal da macrofauna vágil associada a *Sargassum cymosum* C. Agardh, na praia do Lázaro, Ubatuba, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v. 19, n. 1, p. 87-100, 2002.

JONES, R.W. **Foraminifera and their applications**. Cambridge University Press, 2013, 401 p.

KARK, S. Effects of ecotones on biodiversity. **Module in Life Sciences**, p. 1-9, 2017.

KITAZATO, H.; TSUCHIYA, M.; TAKAHARA, K. Recognition of breeding populations in foraminifera: an example using the genus *Glabratella*. **Paleontological Research**, v. 4, n. 1, p. 1-15, 2000.

KOMAR, P.D. **Beach processes and sedimentation**. 2 end, Prentice Hall, 1998, 544 p.

KRUIJF, M.; SLOOTMAN, A.; DE BOER, R.A.; REIJMER, J.J.G. On the settling of marine carbonate grains: Review and challenges. **Earth-Science Reviews**, v. 217, p. 1- 30, 2021.

LABOREL, J. Les peuplements de madréporaires des côtes tropicales du Brésil. **Annales del 'Université d'Abidjan (Ecologie)**, v. 2, n. 3, 260 p., 1970.

LANGER, M.R. Epiphytic foraminifera. **Marine Micropaleontology**, v. 20, p. 235-265, 1993.

LARSONNEUR, C. La cartographie des depbts meubles sur le plateau continental franqais: methode mise au point et utilisee em Manche. **Journal de Recherche Océanographique**, v. 2, p. 34-39, 1977.

LARSONNEUR, C.; BOUYASSE, P.; AUFFRET, J.P. The superficial sediments of the English Channel and its Western **Approaches Sedimentology**, v. 29, p. 851-864, 1982.

LAUT, L.; MATTA, G.; CAMARA, G.; BELART, P.; CLEMENTE, I.; BALLALAI, J.; VOLINO, E.; COUTO, E.C.G. Living and dead foraminifera assemblages as environmental indicators in the Almada River estuary, Ilhéus, northeastern Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 105, p. 1-11, 2020.

LEÃO, Z.M.A.N.; MACHADO, A.J. Variação da cor dos carbonáticos de sedimentos marinhos atuais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 19, p. 87-91, 1989.

LEÃO, Z.M.A.N.; KIKUCHI, R.K.P.; FERREIRA, B.P.; NEVES, E.G.; SOVIERZOSKI, H.H.; OLIVEIRA, M.D.M.; MAIDA, M.; CORREIA, M.D.; JOHNSSON, R. Brazilian coral reefs in a period of global change: A synthesis. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 64, p. 97-116, 2016.

LEE, J.J.; FREUDENTHAL, H.D.; MULLER, W.A.; KOSSOY, V.; PIERCE, S.; GROSSMAN, R. Growth and physiology of foraminifera in the laboratory: part 3: initial studies of *Rosalina floridana* (Cushman). **Micropaleontology**, p. 449-466, 1963.

LIPPERT, H.; IKEN, K.; RACHOR, E.; WIENCKE, C. Macrofauna associated with macroalgae in the Kongsfjord (Spitsbergen). **Polar Biology**, v. 24, n. 7, p. 512-522. 2001.

LIPPS, J.H. Biotic interactions in benthic foraminifera. In: TEVESZ, M.J.S.; MCCALL, P.L. **Biotic Interactions in Recent and Fossil Benthic Communities**, p. 331-376, 1983.

LIRA, L.; WOR, C.; HAZIN, F.H.V.; BRAGA JUNIOR, H.A.C.; SANTOS, J.C.P. Estudo de correntes marinhas por meio de lançamento de cartões de deriva no litoral do estado de Pernambuco. **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 43, n. 1, p. 30-37, 2010.

LOEBLICH, A.R.JR.; TAPPAN, H. **Foraminiferal genera and their classification**. Van Nostrand Reinhold Company, New York: 1988, 2115 p.

LUTZ, M.L.; MINCHINTON, T.E.; DAVIS, A.R. Differences in architecture between native and non-indigenous macroalgae influence associations with epifauna. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, v. 514-515, p. 76-86, 2019.

MABESOONE, J.M. 1964. Origin and age of the sandstone reefs of Pernambuco (northeastern Brazil). *Journal of Sedimentary Petrology*, 34(4): p. 715 - 726.

MABESOONE, J.M.; KEMPF, M.; COUTINHO, P.N. Characterization of surface sediments on the northern and eastern Brazilian shelf. **Trabalhos Oceanográficos**, Recife: v. 13, p. 41-48, 1972.

MADEIRA-FALCETTA, M. Contribuição ao estudo dos foraminíferos bentônicos da plataforma continental brasileira (distribuição geográfica e análise batimétrica). **Pesquisas**, v. 8, p. 133-150, 1977.

MAGNI, P.; TAGLIAPIETRA, D.; LARDICCI, C.; BALTHIS, L.; CASTELLI, A.; COMO, S.; FRANGIPANE, G.; GIORDANI, G.; HYLAND, J.L.; MALTAGLIATI, F.; PESSA, G.; RISSONDO, A.; TATARANNI, M.; TOMASSETTI, P.; VIAROLI, P. Animal-sediment relationships: evaluating the 'Pearson-Rosenberg paradigm' in Mediterranean coastal lagoons. **Marine pollution bulletin**, v. 58, n. 4, p. 478-486, 2009.

MAIA, J.C.B.G.; PEREIRA, P.S.; LESSA, R.P. Spatial and temporal variability of rip currents in Recife metropolitan region cities. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 5, n. 2, p. 166-176, 2014.

MALLMANN, D.; PEREIRA, P.; SANTOS, F.; FAÇANHA, P. Morphodynamic classification of Ipojuca's sandy beaches (Pernambuco, Brazil) through semantic analysis of panchromatic satellite images. **Pesquisas em Geociências**, v. 41, n. 2, p. 169-189, 2014.

MANDA, S.; TITELBOIM, D.; ASHCKENAZI-POLIVODA, S.; ALMOGI-LABIN, A., HERUT, D.; ABRAMOVICH, S. Epiphytic benthic foraminiferal preferences for macroalgal habitats: implications for coastal warming. **Marine Environmental Research**, v. 161, p. 1-7, 2020.

MANSO, V.A.V.; CORRÊA, I.C.S.; GUERRA, N.C. Morfologia e sedimentologia da plataforma continental interna entre as praias Porto de Galinhas e Campos - Litoral Sul de Pernambuco, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 30, n. 2, p. 17-25, 2003.

MANSO, V.A.V.; COUTINHO, P.N.; PEDROSA, F.J.; MACEDO, R.J.; SILVA, A.C.; GOIS, L.A.; BARCELLOS, R.L.; ARRUDA, S.D.A.; SOARES JUNIOR, C.F.A.; MADRUGA FILHO, J.D.; ARRAIS, M.S.M.C.; MADRUGA, M.M.D. Pernambuco: In: Muehe, D. Panorama da erosão costeira no Brasil, Pernambuco. **Biblioteca do Ministério do Meio Ambiente**, Brasília: p. 345-380, 2018.

MARTIN, L.; DOMINGUEZ, J.M.L.; BITTENCOURT, C.S.P. Fluctuating Holocene sea levels in eastern and southeastern Brazil: evidence from multiple fossil and geometric indicators. **Journal of Coastal Research**, v. 19, n. 1, p. 101-124, 2003.

MARTINS, K.A.; PEREIRA, P.S.; ESTEVES, L.S.; WILLIAMS, J. The role of coral reefs in coastal protection: analysis of beach morphology. In: SILVA, R., MARTÍNEZ, M.L., CHÁVEZ, V.; LITHGOW, D. Integrating biophysical components in coastal engineering practices. **Journal of Coastal Research**, v. 92, p. 157-164, 2019.

MARTINS, L.R.; COUTINHO, P.N. The brazilian continental margin. **Earth Science Reviews**, v. 17, p. 87-107, 1981.

MASHJOOR, S.; YOUSEFZADI, M.; ESMAEILI, M.A.; RAFIEE, R. Cytotoxicity and antimicrobial activity of marine macro algae (Dictyotaceae and Ulvaceae) from the Persian Gulf. **Cytotechnology**, v. 68, n. 5, p. 1717-1726, 2015.

MATEU-VICENS, G.; KHOKHLOVA, A.; SEBASTIÁN-PASTOR, T. Epiphytic foraminiferal indices as bioindicators in mediterranean seagrass meadows. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 44, n. 3, p. 325-339, 2014.

MCDONALD, P.S.; BINGHAM, B.L. Comparing macroalgal food and habitat choice in sympatric, tube-building amphipods, *Ampithoe lacertosa* and *Peramphithoe humeralis*. **Marine Biology**, v. 157, p. 1513-1524, 2010.

MCLACHLAN, A.; DEFEO, O. **The ecology of sandy shores**. 3 ed., Elsevier, Academic Press, London: 2018, 560 p.

MILLER, R.J.; REED, D.C.; BRZEZINSKI, M.A. Community structure and productivity of subtidal turf and foliose algal assemblages. **Marine Ecology Progress Series**, v. 388, p. 1-11, 2009.

MORAES, S.S.; MACHADO, A.J. Avaliação das condições hidrodinâmicas de dois recifes costeiros do litoral norte do estado da Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, p. 201- 210, 2003.

MURRAY, J.W. **Distribution and ecology of living benthic foraminiferids**. Crane, Russak. & Co. Inc., New York: 1973, 274 p.

MURRAY, J.W. **Ecology and application of benthic foraminifera**. Cambridge University Press, 2006, 426 p.

MYERS, E.H. Biology, ecology and morphogenesis of a pelagic foraminifer. **Stanford University Press**, v. 9, p. 1-30, 1943.

PEARSON, T.H.; ROSENBERG, R. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. **Oceanography and Marine Biology: An Annual Review**, v. 16, p. 229-311, 1978.

PEGAS, F.V.; CASTLEY, G.; QUEIROZ NETO, A. Tourism development and impacts on reef conservation in Brazil. In: PRIDEAUX, B. & PABEL G.A. Coral reefs: tourism, conservation and management. **Routledge**, p. 198-211, 2018.

PEREIRA, P.S.; ARAÚJO, T.C.M.; MANSO, V.A.V. Tropical sandy beaches of Pernambuco state. In: SHORT, A.D.; KLEIN, A.H.F. Brazilian Beaches Systems. **Springer**, v. 17, p. 251-279, 2017.

POAG, C.W. Environmental implications of test-to-substrate attachment among some modern sublittoral foraminifera. **Geological Society of America Bulletin**, v. 93, p. 252-268, 1982.

RAMOS, A.M.; SANTOS, L.A.R.; FORTES, L.T.G. Normas climatológicas do Brasil 1961-1990. **Brasília: Instituto Nacional de Meteorologia**, 465 p., 2009.

RAO, D.C.; RAO, M.S.; KALADHAR, R.; NAIDU, T.Y. Living foraminifera associated with algae from rock pools near Visakhapatnam, east coast of India. **Indian Journal of Marine Sciences**, v. 11, p. 212-219, 1982.

REMANE, A. Verteilung und organisation der benthischen mikrofauna der Kieler Bucht. **Wiss, Meeresunters**, v. 21, p. 161 – 221, 1933.

RICHARDSON, S. Epiphytic foraminifera of the Pelican Cays, Belize: diversity and distribution. **Atoll Research Bulletin**, v. 475, p. 1-20, 2000.

ROGERS, C.S. Responses of coral reefs and reef organisms to sedimentation. **Marine Ecology Progress Series**, v. 62, p. 185-202, 1990.

ROOS, N.C.; PENNINO, M.G.; CARVALHO, A.R.; LONGO, G.O. Drivers of abundance and biomass of Brazilian parrotfishes. **Marine Ecology Progress Series**, v. 623, p. 117-130, 2019.

RUGGIERO, M.A.; GORDON, D.P.; ORRELL, T.M.; BAILY, N.; BOURGOIN, T.; BRUSCA, R.C.; CAVALIER-SMITH, T.; GUIRY, M.D.; KIRK, P.M. Correction: a higher-level classification of all living organisms. **PLoS ONE**, v. 10, n. 6, p. 1-54 2015.

RUSHDI, M.I.; ABDEL-RAHMAN, I.A.M.; SABER, H.; ATTIA, E.Z.; MADKOUR, H.A.; ABDELMOHSEN, U.R. A review on the pharmacological potential of the genus *Padina*. **South African Journal of Botany**, v. 141, p. 37-48, 2021.

SCHUMACHER, B. Methods for the determination of total organic carbon (TOC) in soils and sediments. **United States Environmental Protection Agency (USEPA)**, p. 1-25, 2002.

SCOTT, D.B.; SCHAFER, C.T.; MEDIOLI, F.S. **Monitoring in coastal environments using foraminifera and thecamoebian indicators**. Cambridge University Press, 2001, 117 p.

SEGAL, B.; CASTRO, C.B. Coral community structure and sedimentation at different distances from the coast of the Abrolhos bank, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 59, n. 2, p. 119-129, 2011.

SEIBOLD, E.; BERGER, W.H. **The Sea Floor: an introduction to marine geology**. Springer-Verlag, Berlin: 2017, 272 p.

SEN GUPTA, B.K. **Modern foraminifera**. Kluwer Academic Publishers, Louisiana State University, 2003, 384 p.

SENTÍES, A.; DÍAZ-LARREA, J.; CASSANO, V.; GIL-RODRÍGUEZ, C.; FUJII, M.T. *Palisada perforata* (Rhodomelaceae, Ceramiales) no Caribe mexicano. **Revista Mexicana de Biodiversidade**, v. 80, n. 1, p. 7 - 12, 2009.

SILTER, W.V. Laboratory experiments on the life cycle and ecologic controls of *Rosalina globularis* d'Orbigny. **Journal Protozool**, v. 12, n. 2, p. 210-215, 1965.

SILTER, W.V. Predation on benthic foraminifers. **Journal of Foraminiferal Research**, v. 1, n.1, p. 20-29, 1971.

SILVA, J.B.; DULEBA, W. Comparação entre as assinaturas tafonômicas de associações de foraminíferos subfósseis das enseadas do Flamengo e da Fortaleza, São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 16, p 263-282, 2013.

SILVA, A.S.; LEÃO, Z.M.A.N.; KIKUCHI, R.K.P.; COSTA, A.B.; SOUZA, J.R.B. Sedimentation in the coastal reefs of Abrolhos over the last decades. **Continental Shelf Research**, v. 70, p. 159-167, 2013.

SOARES, L.; FUJII, M. Epiphytic macroalgae from Boa Viagem beach, Recife, Pernambuco state, Brazil. **Check List**, v. 8, p. 662-665, 2012.

SOLÍS-DÍAZ, M.; NAVARRO-BARRANCO, C.; MATEU-VICENS, G.; ESPINOSA, F. Distribution patterns of epibiotic macrobenthic foraminifera associated to coralligenous habitats of the strait of Gibraltar. **Regional Studies in Marine Science**, v. 49, p. 1-8, 2022.

STACHOWICZ, J.J. Mutualism, facilitation, and the structure of ecological communities. **BioScience**, v. 52, n. 3, p. 235-246, 2001.

STENECK, R.S.; DETHIER, M.N. A functional group approach to the structure of algal-dominated communities. **Oikos**, v. 69, p. 476-498, 1994.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. Edgard Blücher Ltda, São Paulo: 2003, 400 p.

TANO, S.A.; EGGERTSEN, M.; WIKSTRÖM, S.A.; BERKSTRÖM, C. Tropical seaweed beds are important habitats for mobile invertebrate epifauna. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v. 183, p. 1-12, 2016.

TIBCO Software Inc. Data Science Workbench, version 14. <http://tibco.com>, 2020.

TINOCO, I.M. **Foraminíferos Quaternários de Olinda, estado de Pernambuco**. Monografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: 1958.

TINOCO, I.M. Distribuição dos foraminíferos na plataforma continental do Norte-Nordeste do Brasil. **Arquivos do Museu Nacional**, p. 93 – 97, 1971

TINOCO, I.M. **Introdução ao estudo dos componentes bióticos dos sedimentos marinhos recentes**. Editora Universitária da UFPE, 1989, 220 p.

TODD, R. A new *Rosalina* (foraminifera) parasitic on a bivalve. **Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts**, v. 12, n. 6, 831-837, 1965.

TOEFY, R.; MCMILLAN, I.K.; GIBBONS, M.J. The effect of wave exposure on the foraminifera of *Gelidium pristoides*. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 83, n. 4, p. 705-710, 2003.

TRIPATHI, S.K.; SARATH, L.G. Relict benthic foraminifera in surface as well as sub-surface sediment off Gopalpur- Palur, Odisha: Indicator of sea level changes. **Indian Journal of Geo Marine Science**, v. 46, n.10, p. 1945-1949, 2017.

TRISTAN, S.C. "Performance in three shell functions predicts the phenotypic distribution of hard-shelled turtles." **Evolution**, v. 73, n. 4, p. 720-734, 2019.

VASCONCELOS, E.R.T.P.P. **Macroalgas marinhas como ferramenta de avaliação do estado de conservação de ambientes recifais em Pernambuco**. 2016. Tese (Doutorado em Oceanografia), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

VASCONCELOS, E.R.T.P.P.; VASCONCELOS, J.B.; REIS, T.N.V.; COCENTINO, A.L.M.; MALLEA, A.J.A.; MARTINS, G.M.; FUJII, M.T. Macroalga responses to coastal urbanization: relative abundance of indicator species. **Journal of Applied Phycology**, v. 31, p. 893-903, 2019.

VEIGA, P.; RUBAL, M.; SOUZA-PINTO, I. Structural complexity of macroalgae influences epifaunal assemblages associated with native and invasive species. **Marine Environmental Research**, v. 101, p. 115-123, 2014.

VIEIRA, M.M.; DE ROS, L.F. Cementation patterns and genetic implications of Holocene beachrocks from northeastern Brazil. **Sedimentary Geology**, v. 192, n. 3-4, p. 207-230, 2006.

VOUSDOUKAS, M.I.; VELEGRAKIS, A.F.; PLOMARITIS, T.A. Beachrock occurrence, characteristics, formation mechanisms and impacts. **Earth-Science Reviews**, v. 85, p. 23-46, 2007.

WALTON, W.R. Techniques for recognition of living foraminifera. **Contributions of the Cushman Foundation for Foraminiferal Research**, v. 3, p. 56-60, 1952.

WILSON, B. Guilds among epiphytal foraminifera on fibrous substrates, Nevis, West Indies. **Marine Micropaleontology**, v. 63, p. 1-18, 2007.

WILSON, B. Population structures among epiphytal foraminiferal communities, Nevis, West Indies. **Journal of Micropalaeontology**, v. 27, p. 63-73, 2008.

YEE, C.P. Antioxidant and antimicrobial compounds from the marine algae *Padina antillarum*. **University of Tunku Abdul Rahman Publications**, Malaysia: 2010.

ZALESNY, E.R. Foraminiferal ecology of Santa Monica Bay, California. **Micropaleontology**, v. 5, p. 101-126, 1959.

ZAR, J.H. **Biostatistical analysis**. Prentice Hall, 2010, 960 p.