



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

TAIANA REGINA SILVA DE OLIVEIRA

FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS COMO INDICADORES AMBIENTAIS NO
COMPLEXO ESTUARINO DE SUAPE (PE)

Recife

2020

TAIANA REGINA SILVA DE OLIVEIRA

**FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS COMO INDICADORES AMBIENTAIS NO
COMPLEXO ESTUARINO DE SUAPE (PE)**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
ao Departamento de Geologia da
Universidade Federal de Pernambuco, como
requisito final para a obtenção do Título de
Doutor em Geociências.

Área de Concentração: Geologia
Sedimentar e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos

Coorientadora: Prof^ª. Dr^ª Patrícia Pinheiro Beck Eichler

Recife

2020

Catálogo na fonte
Bibliotecário Gabriel Luz, CRB-4 / 2222

O48f

Oliveira, Taiana Regina Silva de.

Foraminíferos bentônicos como indicadores ambientais no complexo estuarino de SUAPE (PE) / Taiana Regina Silva de Oliveira – Recife, 2020.
132 f.: figs.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Lima Barcellos.

Coorientadora: Profa. Dra. Patrícia Pinheiro Beck Eichler.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2020.

Inclui referências.

1. Geociências. 2. Foraminíferos bentônicos. 3. Metais pesados. 4. Estuário. 5. Sedimentos. I. Barcellos, Roberto Lima (Orientador). II. Eichler, Patrícia Pinheiro Beck (Coorientadora). III. Título.

UFPE

551 CDD (22. ed.)

BCTG / 2020-221

TAIANA REGINA SILVA DE OLIVEIRA

**FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS COMO INDICADORES AMBIENTAIS NO
COMPLEXO ESTUARINO DE SUAPE (PE)**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao departamento de Geologia,
como requisito final para a obtenção do
Título de Doutor em Geociências.

Aprovada em: 16/06/2020

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr Roberto Lima Barcellos - Orientador
Departamento de Oceanografia – UFPE

Dr. Virgínio H. M. L. Neumann - Titular
Departamento de Geologia – UFPE

Dr^a Geise de Santana dos Anjos Zerfass – Titular
Petróleo Brasileiro S.A. – PETROBRAS

Dr. André Rosch Rodrigues – Titular
Departamento de Oceanografia – UFES

Dr^a Claudia Guterres Vilela – Titular
Instituto de Geociências – UFRJ

Prof. Dr. Valdir do Amaral Vaz Manso - Suplente
Departamento de Geologia – UFPE

Dr. Robbyson Mendes Melo - Suplente
Laboratório de Micropalantologia Aplicada – UFPE

AGRADECIMENTOS

Agradeço a CAPES, com o auxílio da bolsa de doutorado que permitiu a realização deste trabalho.

A FACEPE pelo Projeto “Sedimentação holocênica na região de influência do Complexo Industrial Portuário de Suape (PE)” (Suape-Geosub - FACEPE: APQ- 260/1.08-15), ao qual meu trabalho está vinculado.

Agradeço aos meus pais, a Dona Lenira, a Rita e a Marta por toda a rede de apoio que possibilitou a finalização do doutorado.

A Júlia Menezes, minha filha, por ser a minha motivação diária.

Ao meu marido e companheiro Hugo Menezes, por apoiador a realização de um sonho.

Ao meu orientador Roberto Barcellos, pelo tempo, dedicação e incentivo na elaboração dos artigos.

Agradeço a minha coorientadora professora Patrícia Eichler.

Às amigas que a Pós-graduação uniu: Thaís Santana e Luciana Santos.

À professora Kátia Piovesan pelas fotos realizadas no Laboratório de Micropaleontologia Aplicada e no MEV.

Aos meus amigos Bruna Cordeiro, Tata Oliveira, Rafaela Souza, Fernando Henrique e Daniel Ramalho.

A todos do Departamento de Oceanografia que diretamente e indiretamente me ajudaram.

RESUMO

Este estudo visa avaliar a influência da construção do Complexo Industrial Portuário de Suape nas assembleias de foraminíferos bentônicos e suas respostas às características do substrato (teores de carbonato de cálcio, matéria orgânica total, metais pesados, nitrogênio e granulometria) do sistema estuarino-lagunar de Suape. Essas análises orientaram os 3 manuscritos que compõem a tese. Foi realizado um estudo piloto da área correlacionando as assembleias de foraminíferos aos conteúdos de matéria orgânica, carbonato de cálcio (CaCO₃) e granulométricos de subambientes do estuário dos rios Tatuoca e Massagana. Posteriormente, foram feitas 41 amostragens nos sistemas estuarinos dos rios Massagana/Tatuoca e Ipojuca/Merepe para reconhecimento das associações de foraminíferos bentônicos. Os conteúdos de nitrogênio (%N), matéria orgânica total, CaCO₃ e metais pesados foram analisados em 17 amostras a fim de compreender o padrão de distribuição das assembleias foraminíferas na Baía de Suape. Os sedimentos litoclásticos e arenosos dominaram, com áreas preferenciais de deposição de sedimentos finos e maiores teores orgânicos no canal de acesso portuário interno. As estações de sedimentos finos apresentaram elevados conteúdos de metais pesados e indícios de eutrofização (%N), com presença da associação *Ammonia tepida* e *Eggerella* spp., tolerantes à redução de oxigênio, e invasoras em regiões portuárias. A estação de coleta com granulação mais grossa apresenta dominância de macroforaminíferos *Archaias angulatus*, demonstrando um ambiente de alta hidrodinâmica de ondas. Valores mais altos de diversidade são encontrados nas baías, diminuindo em direção às porções internas de ambos os sistemas. A dominância de *A. tepida* nas porções internas das baías sugere instabilidade ambiental e poluição das águas costeiras. Os estuários dos rios Ipojuca e Merepe apresentaram o melhor índice ecológico, possivelmente atribuído à influência dos manguezais, estuários e águas marinhas na manutenção da diversidade das espécies. Os sedimentos com características lamosas, altos teores de matéria orgânica e elevados percentuais de metais pesados e nitrogênio viabilizaram o estabelecimento da associação *A. tepida* e *Eggerella* spp.. Os dados sugerem o controle das espécies *Eggerella* spp. e das cargas poluidoras de esgotamento doméstico e industrial lançadas no Complexo estuarino-lagunar de Suape.

Palavras-chave: Foraminíferos bentônicos. Metais pesados. Estuário. Sedimentos.

ABSTRACT

This study aims to evaluate the influence of the Suape Port construction on assemblages of benthic foraminifera and its response to marine sediments characteristics (calcium carbonate, total organic matter, heavy metals, nitrogen, and grain size) in the Ipojuca and Suape estuarine-lagoonal-bays. These analyses originated 3 manuscripts. A pilot study of the area was carried out correlating the foraminifera assemblages to the organic matter, calcium carbonate (CaCO₃) and particle size contents of the Tatuoca and Massangana estuaries. Subsequently, 41 samples were analyzed in the Massangana/Tatuoca and Ipojuca/Merepe estuarine systems for identification of benthic foraminifera associations. The contents of nitrogen (%N), total organic matter, CaCO₃, and heavy metals were analyzed in seventeen samples to understand the distribution pattern of foraminiferal assemblages. The lithoclastic sandy samples dominated, and preferential areas of deposition of fine sediments with the highest organic contents occur in the harbor access innerchannel. Muddy sediments presented high content of heavy metals and eutrophication indices (%N), with the presence of low oxygen-tolerant and invasive species in harbour regions, like *Ammonia tepida* and *Eggerella* spp.. The coarse-grained sediment was dominated by *Archaias angulatus* macro Foraminifera, demonstrating a high hydrodynamic wave environment. Higher diversity values are found in the bays, decreasing towards the inner portions of both systems. The dominance of *A. tepida* in the inner portions of the bays suggests environmental instability and pollution of coastal waters. The estuaries of the Ipojuca and Merepe rivers presented the best ecological index value, possibly attributed to the marine influence and the mangroves and estuaries in the region. Data indicates that sediments with muddy characteristics, high levels of organic matter, high percentages of heavy metals and nitrogen influenced the composition of foraminifera associations, which makes it possible for the establishment of the association *A. tepida* and *Eggerella* spp.. The study suggests genera monitoring of *Eggerella* spp., as well as and the amount of domestic and industrial sewage loads released into the Suape estuarine-lagoon complex daily.

Keywords: Benthic Foraminifers. Heavy Metals. Estuary. Sediments.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização da área de estudo.	17
Figura 2 - Mapa da configuração do sistema estuarino-lagunar de Suape antes (1974) e após a instalação do Complexo Industrial Portuário de Suape. Barcellos <i>et al.</i> , 2018.....	19
Figura 3 - Mapa da área de estudo e locais de amostragem das estações analisadas em Porto de Suape. Fonte: Barcellos <i>et al.</i> , 2018.	25
Figura 4 - Mapa da área de estudo do Complexo Industrial Portuário de Suape e distribuição das estações de coleta. Fonte: Oliveira <i>et al.</i> , 2019.....	26
Figura 5 - Mapa da área de estudo do Complexo estuarino Lagunar de Suape e distribuição das estações de coleta.....	27
Figura 6 - Procedimento laboratorial para tratamento das amostras. a) Amostras nomeadas, b) Peneiramento, c) Amostras pós-peneiramento seguindo para secagem em estufa.....	28

Artigo I - Correlação entre características sedimentológicas e Foraminíferos bentônicos em Porto de Suape (PE-Brasil): um estudo ambiental

Figure 1 - Mapa da área de estudo (A, B, C) e locais de amostragem das estações analisadas em Porto de Suape (D).	33
Figure 2 - A) Distribuição do CaCO_3 na área de estudo. B) Distribuição da MOT na área de estudo.....	36
Figure 3 - Gráficos das análises de PCA: A) Gráfico da análise do PCA com todas as amostras; B) Gráfico da análise do PCA sem a estação 8.	37
Figure 4 - Análise de MDS com a representação das amostras e sua distribuição através de um padrão sedimentológico.....	40

Artigo II - Benthic Foraminifera of Tropical Estuarine-Lagoonal-Bays System, in the Suape Harbour, Brazil: A Case Study

Figure 1 - Map of the Suape estuarine-lagoon system before (1974) and after the construction of Suape Port Industrial Complex (modified from Barcellos & Santos, 2018).....	54
Figure 2 - Study area and location of sampling stations	56
Figure 3 - Relative abundances (%) of a) <i>Ammonia tepida</i> , b) <i>Eggerella</i> spp., c) <i>Triloculina oblonga</i> , d) <i>Amphistegina gibbosa</i> , e) <i>Archaias angulatus</i> , f) <i>Quiqueloculina lamarckiana</i> in samples collected off Suape coastal estuarine complex..	60
Figure 4 - Cluster analysis showing separation of foraminiferal assemblages grouped by geographical approximation. The horizontal dashed line represents the significance cut off..	63

Artigo III - Benthic foraminifera and geochemical evaluation of a harbour area: the case of Suape Coastal System (Brazil)

Figure 1 - Map of the Suape estuarine-lagoon system before (1974) and after the construction of Suape Port Industrial Complex (modified from Barcellos & Santos, 2018).....	89
Figure 2 – A Brazil map. B Map of Pernambuco state. C Location of the 17 stations sampled of Suape Estuarine System.....	90
Figure 3 - Pejrup’s triangular diagram (1988) to the stations of Suape System.....	95
Figure 4 - Distribution of sedimentary facies in Suape Estuarine System (PE), Brazil.....	96
Figure 5 - PCA Graph with all the samples.....	97
Figure 6 - 1 - <i>Nonion</i> sp. (side view), 2 - a <i>Quinqueloculina lamarckiana</i> (side view), 2 - b <i>Quinqueloculina lamarckiana</i> (umbilical view), 3 - <i>Amphistegina gibbosa</i> , 4a – <i>Ammonia parkinsoniana</i> (side view) 4b - <i>Ammonia parkinsoniana</i> (umbilical view).....	99

Figure 7 - Contour plots with a percentage distribution of dominant species in the study area.
a) *Ammonia tepida* b) *Eggerella* spp. c) *Amphistegina gibbosa* d) *Archaias angulatus* e)
Quinqueloculina lamarckiana f) *Triloculina oblonga* (Montagu, 1803).... 101

Figure 8 - Cluster analysis showing separation of foraminiferal assemblages grouped by
geographical approximation. The horizontal dashed line represents the significance cut off...
..... 103

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	16
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	17
3.1 Hidrografia e intervenções morfogeológicas.....	18
3.1.1. Rio Ipojuca	19
3.1.2 Rio Merepe	20
3.1.3 Rio Massangana.....	20
3.1.4 Rio Tatuoca	21
3.2 Clima	21
3.3 Geologia	21
3.3.1 Formação Cabo.....	22
3.3.2 Suíte Magmática de Ipojuca	22
3.3.4 Formação Estiva	22
3.3.5 Formação Algoduais	23
3.3.6 Formação Barreiras	23
3.3.7 Cobertura Quaternárias	23
3.4 Manguezais.....	23
3.5 Ocupação e uso do solo	24
4 METODOLOGIA ADOTADA	25
4.1 Procedimentos laboratoriais e análise dos dados da microfauna de foraminíferos	27
4.2 Análises granulométricas (Artigo I)	28
4.3 Análise da Composição Elementar da Matéria Orgânica do Nitrogênio.....	29

4.4 Metais Pesados	29
4.5 Análise dos Dados e Estatística	29
5 Artigo 1 - Correlação entre Características Sedimentológicas e Foraminíferos Bentônicos em Porto de Suape (PE-Brasil): um Estudo Ambiental	30
6 Artigo 2 - Benthic Foraminifera of Tropical Estuarine-Lagoonal-Bays System, in the Suape Harbour, Brazil: A Case Study	51
7 Artigo 3 - Benthic foraminifera and geochemical evaluation of a harbour area: the case of Suape Coastal System (Brazil)	86
8 CONCLUSÃO GERAL	125
REFERÊNCIAS	127

1 INTRODUÇÃO

Os estuários são corpos sedimentares instáveis localizados na zona costeira, sob influência de domínios continentais e marinhos. Podem ser definidos, de acordo com sua sedimentação e alguns processos hidrodinâmicos, como parte de um sistema de vales inundados, voltados para o mar, os quais recebem sedimentos de fontes fluviais e marinhas, contendo fácies influenciadas pela maré, por ondas e processos fluviais (DALRYMPLE *et al.*, 1992). Estes sistemas estuarinos estão localizados entre o limite interno das fácies de maré e o limite oceânico das fácies costeiras. Geologicamente, são feições efêmeras, pois suas áreas de deposição sedimentar e a morfologia são reflexos dos processos atuantes no sistema estuarino (PERILLO, 1995; VERONEZ *et al.*, 2009).

Estes ecossistemas costeiros apresentam uma grande importância ecológica e econômica, pois também são os principais fornecedores de nutrientes e matéria orgânica para a região costeira, sendo considerados ambientes eutróficos devido à alta produtividade primária, pois recebem e concentram o material originado de sua bacia de drenagem e podem vir a receber aportes significativos por ação antrópica. Esses ambientes suportam uma elevada produção orgânica, abrigando matéria orgânica sob várias formas e estados de degradação, onde a mesma é decomposta e fixada sobre sedimentos finos (SUGUIO, 1980).

Os portos sempre foram importantes para o desenvolvimento econômico das nações por apresentarem grande porcentagem da população mundial vivendo próximos a ambientes costeiros. Esse fato reflete em diversas modificações geológicas, químicas, físicas e biológicas de origem antrópica, e instalações industriais/portuárias nos ambientes próximos às suas áreas.

Esses investimentos em infraestrutura, no entanto, estão consistentemente associados a diversos tipos de doenças antropogênicas e mudanças geomorfológicas e ambientais, incluindo acumulação de sedimentos e dragagens, aterros sanitários, supressão da vegetação local e dinamitização dos *beachrocks* que têm efeitos diretos e indiretos sobre as comunidades biológicas desses ecossistemas degradados (DAVIS, 1983; DESALVO, 1994; YOCHUM & AGARWAL, 1988, PESSOA *et al.*, 2009).

Neste aspecto, estudos com organismos bioindicadores são importantes para caracterização e monitoramento dessas áreas, pois são organismos sensíveis a mudanças ambientais bruscas, uma vez que estes ambientes deposicionais funcionam como barreiras biogeoquímicas, retendo as partículas em suspensão e os poluentes orgânicos e inorgânicos

adsorvidos a estas (SCHUBEL & CARTER, 1984; TOLOSA *et al.*, 2013). Deste modo, os organismos bentônicos sensíveis à mudanças ambientais são comumente utilizados como bioindicadores em estudos de monitoramento. Os foraminíferos, organismos pertencentes ao reino Protista, são o grupo mais abundante do meiobentos (KORNEEVA *et al.*, 2004) e sua distribuição ecológica é controlada por fatores bióticos e abióticos (HORTON & MURRAY, 2007). Esses organismos apresentam preferências de salinidade, temperatura, profundidade, luminosidade, oxigênio dissolvido, transparência da água e substrato bem definidas e que, se alteradas, interferem na distribuição, composição e estrutura da comunidade.

Os foraminíferos podem apresentar suas carapaças formadas por minerais secretados, denominada de carapaça calcária do tipo porcelanosa ou hialina, ou também aquelas aglutinadas por partículas do sedimento, definida como aglutinantes. De acordo com a composição de suas carapaças, esses organismos podem designar características do ambiente em que habitam, de modo que as carapaças porcelanosas podem indicar ambientes altamente iluminados, como lagoas hipersalinas e são abundantes em águas quentes, rasas e alcalinas. As espécies com testa calcária hialina ocorrem em quase todas as regiões marinhas, e em áreas profundas predominam as espécies com testas aglutinantes, pois as carapaças calcárias dissolvem abaixo da profundidade de compensação de carbonato (CCD) (KENNETT, 1966; MURRAY, 1989).

A viabilidade e a importância do estudo desses organismos como bioindicadores se deve aos requisitos ecológicos específicos, a alta densidade e diversidade, vida curta, e também, devido a preferência de espécies por substratos selecionados, sendo documentado em diversos trabalhos (SGARRELLA; MONCHARMONT-ZEI, 1993; DEBENAY *et al.*, 2001; DIZ *et al.*, 2004; VILELA *et al.* 2011; MAGNO *et al.* , 2012; EICHLER *et al.*, 2017). Além disso, suas carapaças fornecem informações ambientais, de caráter climatológico, sedimentológicos e ecológicos do presente, possibilitando também reconstruções do ambiente passado (MURRAY, 2006; SCHÖNFELD *et al.*, 2012), incluindo a determinação de impactos humanos em ambientes costeiros e paralelos (CULVER & BUZAS, 1995; DEBENAY *et al.* 2001; VILELA *et al.*, 2011; REDDY *et al.*, 2016).

As respostas de foraminíferos ao estresse ambiental natural e antropogênico foram extensivamente documentadas por muitos trabalhos no Brasil e no mundo (VILELA *et al.*, 2011; ALDAY *et al.* 2013). Entretanto, apesar de ser uma dos mais importantes portos da América do Sul, são escassas as pesquisas que utilizam organismos bioindicadores no

Complexo Estuarino de Suape (NEUMANN-LEITAO *et al.* 1999; PESSOA *et al.*, 2009; KOENING *et al.*, 2002; KOENING *et al.*, 2003; COSTA *et al.*, 2013), não existindo nenhum estudo de foraminíferos na área. Desta forma, o trabalho tem como hipótese: a instalação do Complexo Industrial Portuário de Suape (CIPS) pode influenciar o padrão de distribuição das assembleias de foraminíferos bentônicos no Complexo Estuarino-Lagunar de Suape.

2 OBJETIVOS

O objetivo deste estudo é compreender as condições ambientais presentes do sistema estuarino de Suape, Nordeste do Brasil, por meio do conhecimento das assembleias de foraminíferos em sedimentos superficiais, identificando possíveis associações biológicas/sedimentológicas/geoquímicas relacionadas às mudanças antrópicas ocorridas com a instalação do Complexo Industrial Portuário de Suape. Para tanto, foram estabelecidos como objetivos específicos:

- Avaliar as assembleias de foraminíferos bentônicos e suas respostas aos parâmetros sedimentológicos;
- Analisar a variabilidade espacial dos foraminíferos nos estuários dos rios Ipojuca/Merepe e Massangana/Tatuoca e seus tributários em todo o sistema estuarino de Suape;
- Identificar, por meio de análises multivariadas, a composição granulométrica e os parâmetros sedimentológicos de matéria orgânica, carbonato de cálcio, nitrogênio e metais pesados que se correlacionam com a distribuição das associações de foraminíferos bentônicos no Sistema estuarino-lagunar de Suape e na plataforma interna adjacente ao Porto de Suape.

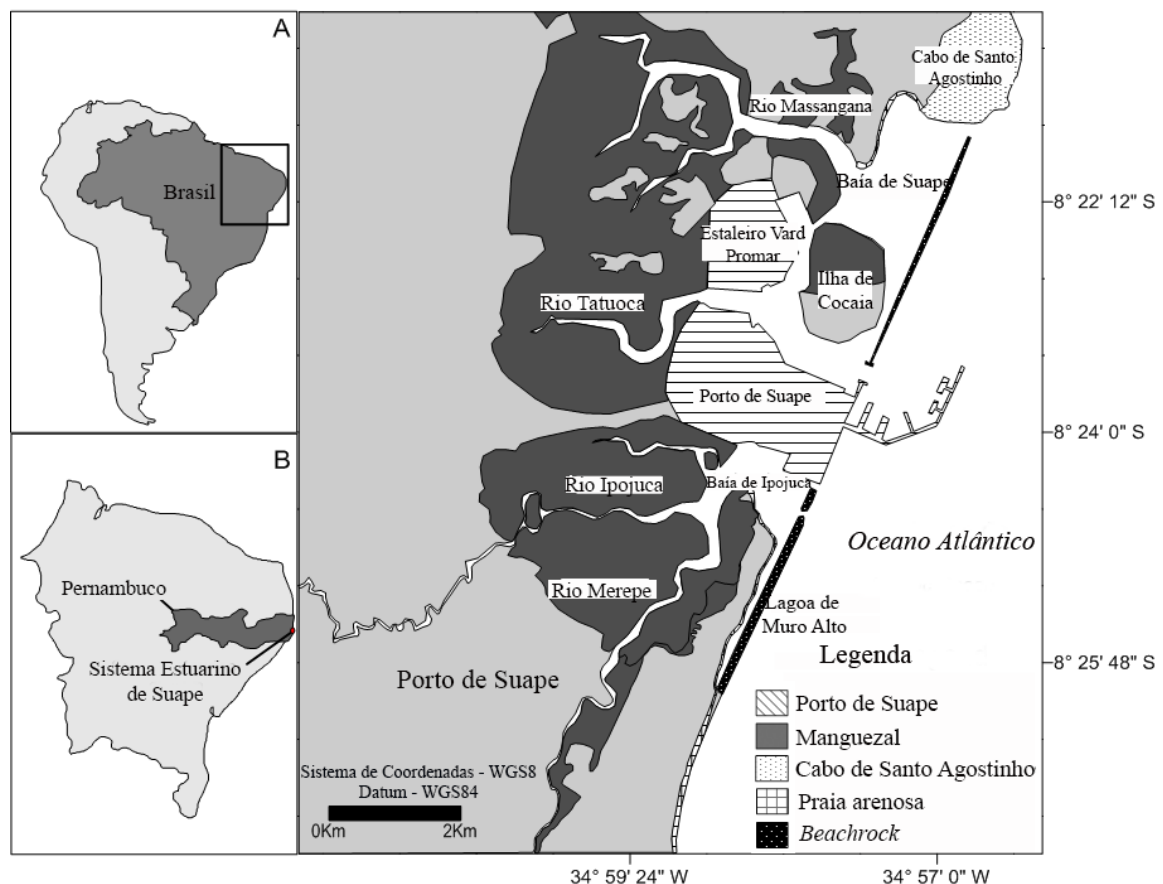
3. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado nos estuários dos rios Ipojuca e Massangana e seus tributários (Figura 1), situado sob as coordenadas: (8°20'00"S e 8°30'00"S; 34°55'00"W e 35°05'00" W), que fazem parte da área de influência do Complexo Industrial Portuário de Suape (CIPS).

A área enfocada neste trabalho dista aproximadamente 40 km da cidade do Recife e engloba tanto terrenos do embasamento cristalino quanto pertencentes a bacia sedimentar de Pernambuco (CRUZ *et al.*, 2003), como os sedimentos quaternários que compõem o sistema.

Formado por um sistema estuarino composto por quatro rios: o rio Massangana, o rio Ipojuca, o rio Merepe e o rio Tatuoca, que têm a foz em duas grandes baías costeiras, Baía de Suape e Baía de Ipojuca, a área está dividida na zona portuária de preservação ecológica e cultural, industrial e administrativa (TEIXEIRA, 2015).

Figura 1 - Localização da área de estudo.



Fonte: o autor, 2019.

A Baía de Suape apresenta na sua região central a “Ilha do Francês” (MILIANO, 2010),

cujo nome oficial é Ilha de Cocaia (SANTOS, 2013). Os ambientes encontrados nas adjacências da área compreendem manguezais, praias arenosas, recifes, bancos de algas, entre outros (CPRH, 2010). A cobertura vegetal da região apresenta resquícios de Mata Atlântica, substituída na maior parte, pela cana-de-açúcar anterior a implantação do Complexo de Suape.

3.1 Hidrografia e Intervenções geomorfológicas

O complexo estuarino de Suape é dissecado pelas bacias hidrográficas dos rios Massangana, Tatuoca, Ipojuca, Merepe, Pirapama, Sibiró, Maracaípe, Aratangí e Taperuçu, além dos estuários norte e sul e bacias costeiras (Quadro 1). Mas, apenas as bacias Massangana, Tatuoca, Ipojuca e Merepe estão totalmente contidas dentro dos limites da área (GUERRA, 1998).

Tabela 1 - Bacias hidrográficas distribuídas no Complexo Estuarino de Suape.

Bacias Hidrográficas	Área estuarina (km ²)
Maracaípe	17,61
Merepe	87,11
Tatuoca	12,85
Massangana	102,42
Pirapama	128,48
Ipojuca	134,85
Sibiró	58,96
Aratangí	17,85
Taperuçu	1,62
Estuários e bacias costeiras	30,02

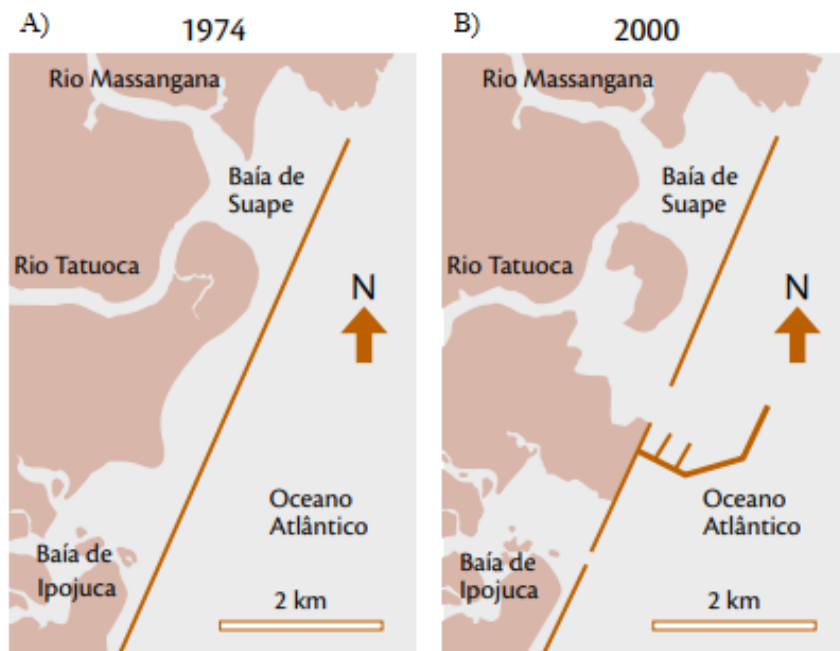
Fonte: modificado GUERRA, 1998.

Segundo Melo-Filho (1977), antes da implantação do porto de Suape, a área era cortada por diversos rios e riachos, com maior concentração ao sul do Cabo de Santo Agostinho, convergindo para a baía de Suape os rios Massangana, Tatuoca, Ipojuca e Merepe, estes dois últimos com águas canalizadas pela extensa linha de arrecifes de arenito. Após a implantação do porto, apenas os rios Massangana e Tatuoca convergiram para aquela baía, devido ao aterro de toda a área que a interligava aos rios Ipojuca e Merepe (Figura 2). Em 1983, com o rompimento parcial dos recifes da região, foram abertas passagens para permitir a comunicação

do Ipojuca e do Merepe com o mar, o que permitiu a ligação com o mar, porém apenas durante a preamar.

A instalação do Complexo Industrial de Suape provocou várias alterações fisiográficas e hidrológicas, pois os rios Massangana e Tatuoca, atualmente, apresentam altas salinidades em suas áreas mais internas, enquanto o rio Ipojuca continuou polialino, porém com variações máximas e mínimas mais acentuadas e ciclos irregulares, em consequência da alteração no ritmo das marés (NEUMANN *et al.*, 1998). As ondulações ocorrem diretamente pelas ações das correntes, que tem influência sazonal dos ventos alísios. No verão possuem origem de nordeste gerando correntes na direção Norte-Sul nos meses mais quentes do ano. Entretanto, predomina na região os ventos alísios de Sul-Sudeste, mais intensos nos meses de inverno, ocasionando a inversão das correntes para o sentido Sul-Norte (LIRA *et al.*, 2010).

Figura 2 - Mapa da configuração do sistema estuarino-lagunar de Suape antes (1974) e após a instalação do Complexo Industrial Portuário de Suape.



Fonte: Barcellos & Santos, 2018.

3.1.1. Rio Ipojuca

O rio Ipojuca apresenta cerca de 320 km de extensão e possui 3.514,35 km² em sua bacia

de drenagem (APAC, 2019). Nasce no município de Arcoverde, e tem sua foz na baía de Ipojuca, correndo na direção oeste-leste em regime intermitente onde se torna permanente apenas na zona da mata (CPRH, 2001). Em seu caminho, corta grandes cidades no Agreste, como: Belo Jardim, São Caetano, Caruaru, Bezerros e Gravatá, assim como na Zona da Mata, as cidades de Escada e Ipojuca. O rio Ipojuca foi considerado o terceiro rio mais poluído do país (BARROS, 2009), decorrente da quantidade de contaminantes provindos das redes de escoamento das grandes cidades, somado ao volume acumulado das atividades agroindustriais e do manejo de cultivo da cana de açúcar.

A instalação do Complexo Portuário de Suape ocasionou mudanças na características originárias no acesso ao oceano após a construção do molhe de atracagem dos navios, com notáveis alterações na foz e no baixo estuário do rio Ipojuca. A abertura realizada no *beachrock* ocasionou um atraso de duas horas na maré, onde a preamar dura em média duas horas a menos e a baixa mar, duas horas a mais. A feição lagunar foi atribuída devido a essa peculiaridade, posto que o assoreamento causado pela dinâmica ocasionou deposição de sedimentos e diminuição da profundidade. Propriedades estuarinas naturais foram então alteradas, como acréscimo da salinidade, turbidez e diminuição da transparência da água (KOENING *et al.*, 2002).

3.1.2. Rio Merepe

O Rio Merepe é um importante afluente do Ipojuca, possuindo cerca de 18 km de extensão. Nasce na porção central do município de Ipojuca, em terras do Engenho Queluz e segue a direção nordeste até a planície costeira passando a correr paralelo ao litoral até a sua desembocadura que apresenta abrangente área de manguezal, onde encontra-se com o Rio Ipojuca, desaguando, juntos, ao sul do Porto de Suape (CPRH, *op cit.*).

3.1.3. Rio Massangana

O Rio Massangana é um rio litorâneo de curta dimensão, atua como limite natural entre o município do Cabo de Santo Agostinho e Ipojuca, com bacia de aproximadamente 110km² e é formado pelos rios Tabatinga e Utinga de Baixo. É um rio perene e apresenta grande relevância no âmbito da manutenção dos ecossistemas e comunidades locais, percorre 7,5 km da sua nascente no engenho Providência, em Ipojuca, até sua foz, ao sul do promontório de

Santo Agostinho. Desagua juntamente ao rio Tatuoca em uma laguna costeira formada em uma baía, onde as águas são parcialmente represadas por uma barreira de recifes areníticos (CPRH, *op cit.*). Sua bacia é caracterizada por áreas de cultivo de cana de açúcar, onde gradativamente vão cedendo espaço às áreas de Mata Atlântica e aos extensos manguezais conforme caminha à jusante (CPRH, 2003; CPRH, 2010).

3.1.4. Rio Tatuoca

O rio Tatuoca possui cerca de 6km de extensão e forma em seu curto trajeto, uma sistemática rede de estuários afogados e canais que derivam, possivelmente, de um antigo estuário do rio Ipojuca (CPRM, 1998; CPRH, *op cit.*). Silveira (2010), descreve que esse importante afluente para o sistema foi assoreado pela construção de um dique de contenção, no intuito de servir como pista de acesso para as obras de construção do estaleiro Atlântico Sul, iniciada em 2005. Em detrimento dessa obra, o rio perdeu sua influência fluvial sobre o sistema, o que interferiu também na atuação das marés na região.

3.2 Clima

A região tem clima tropical úmido do tipo As', segundo Köppen, com período chuvoso de outono-inverno e com ventos dominantes de Sudeste. As maiores precipitações são observadas nos meses de maio, junho e julho, enquanto os meses de outubro, novembro e dezembro são os mais secos. A temperatura média anual da região é de 25,6 °C, variando entre 18°C e 32°C (CPRH, 1999; CPRM, 2005), e média anual pluviométrica de 2.272,9 mm (ARAGÃO, 2000; TORRES & MACHADO, 2011). A umidade relativa do ar apresenta média anual superior a 80% e a evaporação média anual de 170 mm.dia⁻¹.

3.3 Geologia

Toda a região apresenta uma geomorfologia semelhante (aplainada) e ondulada, dividida, em sua porção média, pelo afloramento das massas vulcânicas fissurais do Cabo de Santo Agostinho (SANTOS & COSTA, 1974).

A área estudada localiza-se na Bacia Pernambuco, sendo esta dividida estratigraficamente em Formação Cabo, Suíte Vulcânica de Ipojuca, Formação Estiva, Formação Algodoads, Formação Barreiras e Coberturas Quaternárias (CRUZ *et al.*, 2003).

3.3.1 Formação Cabo

A Formação Cabo é composta por conglomerados e arenitos arcoseanos, interligados por siltitos finamente estratificados e micáceos (CRUZ *et al.*, 2003), com passagem da fácies conglomerática para a arcoseana quase sempre gradacional (BARROS, 2009). Essas rochas predominam na região Cabo-Ipojuca e Sirinhaém, sob a forma de diques, derrames, soleiras, *plugs*, lacólitos ou corpos semicirculares. Nas regiões de Tamandaré – Rio Formoso, Itapoama, norte de Gaibu e em Suape, ocorre formada por folhelhos intercalados com siltitos e arenitos médio a finos (OLIVEIRA, 2019).

3.3.2 Suíte Magmática de Ipojuca

A Suíte Magmática do Ipojuca é constituída por rochas vulcânicas e subvulcânicas (basaltos, traqui-basaltos e traquitos, riolitos), com equivalentes piroclásticos, e pelo Granito do Cabo de Santo Agostinho, ocorrendo exposições esparsas por toda a Bacia Pernambuco. Ocorre mesmo de forma secundária a sul do Rio Formoso; na região do Cabo-Ipojuca, seguida por Sirinhaém, onde concentram a maior parte das ocorrências de superfície, que evidenciam ser frequentes ao longo dos setores da Bacia com bordas falhadas (ALMEIDA *et al.*, 2003).

3.3.3 Formação Estiva

A formação Estiva apresenta calcários como rochas características. Segundo Tomé *et al.* (2006), a ocorrência desta Formação é esparsa, sendo os principais afloramentos conhecidos no Engenho Gameleira (próximo da praia de Tamandaré), na praia de Cocaia e do Outeiro Alto. As rochas dessa unidade litológica afloram exclusivamente em uma pequena área a noroeste da Ilha de Cocaia, localizada dentro da Baía de Suape (BARROS, 2009).

3.3.4 Formação Algoduais

Caracteriza por apresentar rochas que repousam em discordância angular ou erosional, ora sobre os tipos litológicos da Formação Cabo ora sobre os litotipos da Suíte Magmática Ipojuca e sobre os carbonatos da Formação Estiva, a Formação Algoduais apresenta o contato com a Formação Barreiras caracterizado por uma discordância erosional. A presença de níveis basais de conglomerados e arenitos conglomeráticos constituem um marco estratigráfico que

segrega a Formação Algodoads da Formação Barreiras (LIMA FILHO, 1998).

Esta unidade é formada por rochas conglomeráticas mono a polimíticas, predominando fragmentos vulcânicos e às vezes quartzosos e litotipos do embasamento cristalino, incluindo-se arenitos e intercalações de argilitos.

3.3.5 Formação Barreiras

O Grupo Barreiras ocorre ao longo da faixa costeira do Brasil, caracterizando-se pela ocorrência quase contínua e pela regularidade geomorfológica (ARAI, 2006). Esta formação representa a evolução de um sistema fluvial, construído em fortes gradientes e sob clima predominantemente árido, sujeito a oscilações. A Formação Barreiras é caracterizada pela presença de fácies típicas de um sistema fluvial entrelaçado, composta de depósitos de granulação variada e coloração creme-amarelada, e de fácies transicionais para leques aluviais (ALHEIROS & LIMA FILHO, 1991).

A unidade, vinha sendo considerada como de origem continental, mas trabalhos recentes vêm mostrando evidências irrefutáveis de influência marinha, tanto de natureza paleontológica, como sedimentológica. Os sedimentos Barreiras apresentam um conjunto de complexas questões relativas à sua gênese, aos seus mecanismos de deposição, à sua estratigrafia e ao significado de suas diversas características litológicas (MOURA-FÉ, 2014).

3.3.6 Coberturas Quaternárias

Segundo Lima (2011), as Cobertura Quaternárias mais antigas são recobertas na faixa continental por sedimentos mais recentes do Néogeno, Terraços Marinhos Pleistocênicos, Terraços Marinhos Holocênicos, Sedimentos Flúvio Lagunares, Sedimentos Aluvionates, sendo conspicuamente representados na área pelos Sedimentos de Manguezal.

3.4 Manguezais

A área litorânea de Pernambuco engloba várias unidades ambientais, tais como: praias, mangues, estuários, lagunas planícies de inundação, várzea, entre outras, e diversos tipos de vegetação com solos característicos estão presentes.

Os solos dos manguezais de Pernambuco apresentam textura variável, desde argilosa até arenosa. De acordo com a geomorfologia e sedimentologia Quaternária, a área de Suape pode ser dividida em: colinas arredondadas, rampas de colúvio e planície costeira, esta dominando toda a parte sudoeste e, quase totalmente, as partes sudeste e nordeste da área. Esta planície é composta por três tipos de ambientes de deposição diferentes: ambientes de depósitos fluviais, de depósitos de mangue e de depósitos marinhos. Dentre estes, os de mangues são os que predominam, cobrindo grande parte da faixa central da região, na direção N-S (CAVALCANTI, 2010).

3.5 Ocupação e uso do solo

O território de Suape está inserido em uma região de importante potencial paisagístico e ambiental, com: fragmentos de mata atlântica, manguezais, lagos, lagoas e barragens. Desde a implantação do complexo portuário de Suape, evidencia-se um conflito entre a expansão urbana demandada pelos investimentos industriais, com as áreas de preservação e de interesse ambiental. Além de locais de preservação histórica, compostos por antigos engenhos de açúcar e igrejas do período colonial, que também vem sofrendo pressões e dificuldades de serem preservadas (TEIXEIRA, 2015).

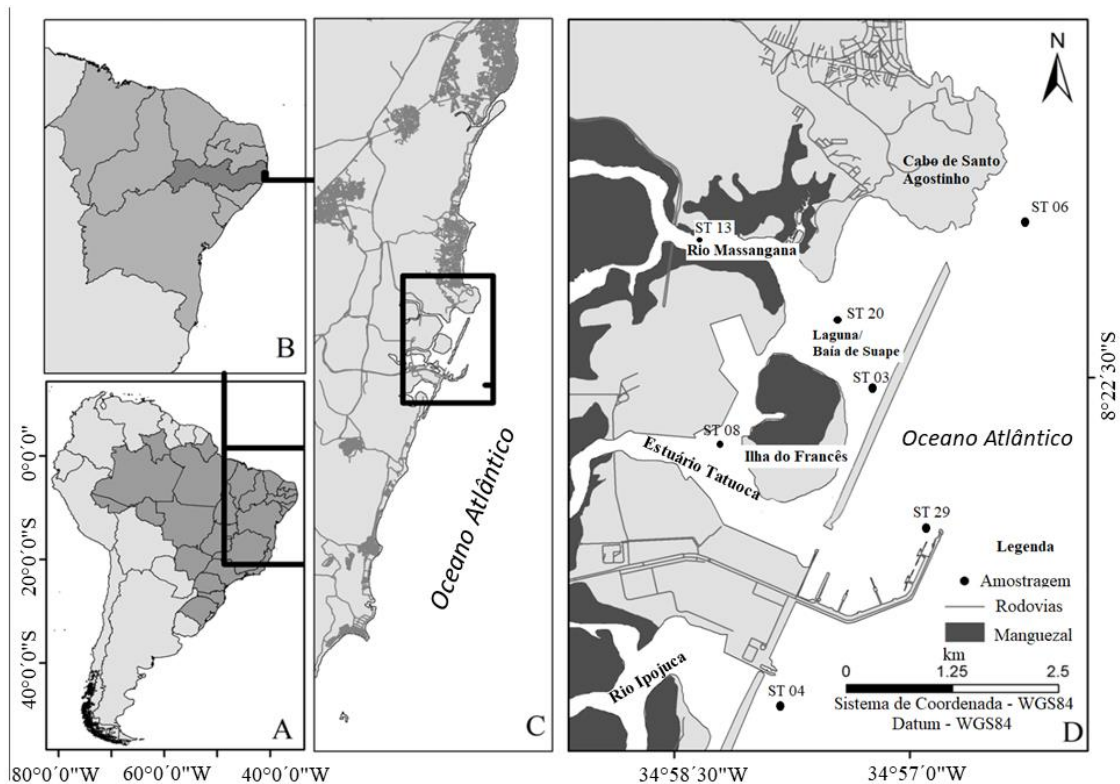
Apesar de todo o conflito social e ambiental gerado devido à sua implantação, o porto de Suape ocupa a quinta colocação entre 30 portos brasileiros no índice de desenvolvimento ambiental (IDA), definido como um número que mede o grau de atendimento às conformidades ambientais dos portos brasileiros e que é avaliado semestralmente ANTAQ (Agência Nacional de Transportes Aquaviários) e incluem requisitos legais e indicadores de natureza econômico-operacional, sociológico-cultural, físico-químico e biológico-ecológico (SUAPE, 2018). Entretanto, desde a sua implantação até os dias atuais, muitos estudos abordam os impactos causados na fauna, flora, manguezais e na estrutura socioeconômica da comunidade local (LAVORANTE *et al.* 2014; MEDEIROS *et al.*, 2014; TEIXEIRA, 2015).

4 METODOLOGIA ADOTADA

Na amostragem de campo foram efetuados cruzeiros oceanográficos por meio da embarcação “Pampo I”, sendo realizadas coletas de sedimentos superficiais através do amostrador *Van Veen*. As posições dos pontos foram definidas e referenciadas por meio de um GPS Garmin Etrex 20, e suas profundidades foram medidas por um profundímetro portátil do tipo *Sumergible PS-7*.

A primeira etapa do trabalho resultou no artigo I denominado “*Correlação entre características sedimentológicas e Foraminíferos bentônicos em Porto de Suape (PE-Brasil): um estudo ambiental*”. Para tal pesquisa, foram analisados 07 pontos (Figura 3) de subambientes representativos no sistema: laguna de Suape (ST03), plataforma interna adjacente ao Rio Ipojuca (ST04), plataforma interna próxima à desembocadura da laguna (ST06), canal dragado do Rio Tatuoca (ST08), estuário do Rio Massangana (ST13), laguna de Suape central (ST20) e a plataforma interna na área abrigada do Porto (ST29).

Figura 3 - Mapa da área de estudo e locais de amostragem das estações analisadas em Porto de Suape.

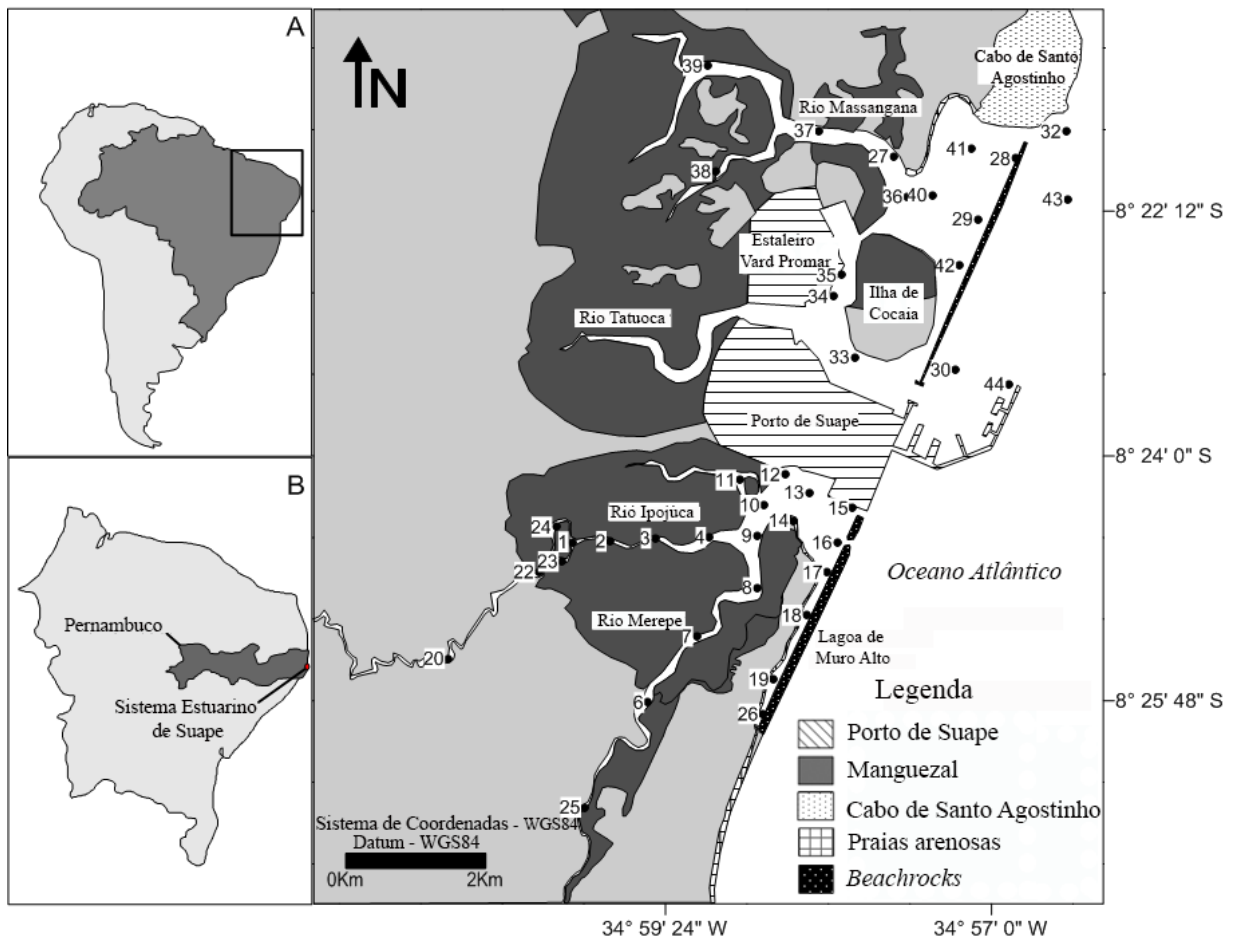


Fonte: Barcellos *et al.*, 2019.

A segunda etapa do trabalho consistiu em um estudo de 17 amostras de sedimentos

coletados entre a região dos rios Massangana e Tatuoca e 24 amostras coletadas na região do rio Ipojuca e Merepe (Figura 4) no período chuvoso de 2016. Nesta fase foram analisadas as distribuições das assembleias de foraminíferos bentônicos em todo o Complexo Estuarino-Lagunar de Suape.

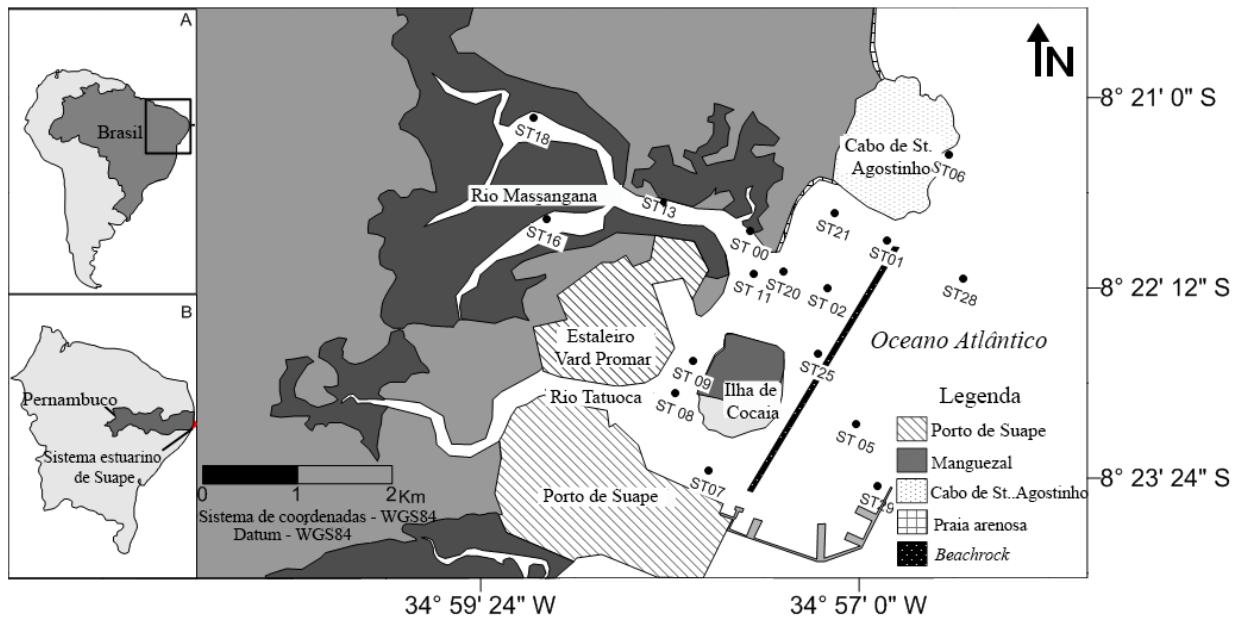
Figura 4 - Mapa da área de estudo do Complexo Industrial Portuário de Suape e distribuição das estações de coleta.



Fonte: o autor, 2019.

A terceira etapa do trabalho consistiu em um estudo de 17 amostras de sedimentos coletados na região do rio Massangana, Baía de suape e área externa ao Porto de Suape (Plataforma Interna no período chuvoso de 2016) (Figura 5).

Figura 5 - Mapa da área de estudo do Complexo estuarino Lagunar de Suape e distribuição das estações de coleta.



Fonte: o autor, 2019.

4.1 Procedimentos laboratoriais e análise dos dados da microfauna de foraminíferos

O tratamento para o estudo da microfauna consistiu na padronização em 10 ml das amostras, lavagem nas peneiras com abertura de malha de 250 μm , 125 μm e 62 μm , e posterior secagem em estufa (Figura 6). Os resíduos foram triados em lupa binocular, observando sempre que possível a contagem de 100 espécimes no mínimo (FATELA & TABORDA, 2002).

O presente estudo se baseia em dados da fauna total (vivos e mortos) de foraminíferos bentônicos presentes no momento da coleta. Os espécimes triados foram identificados e classificados taxonomicamente, utilizando-se o tratado de classificação sistemática de gêneros Loeblich & Tappan (1988), o catálogo Ellis & Messina (1940 – et sequences), e artigos específicos.

Figura 6. Procedimento laboratorial para tratamento das amostras. A) Amostras nomeadas, B) Peneiramento, C) Amostras pós-peneiramento seguindo para secagem em estufa.



Fonte: o autor (2017).

Os índices de abundância absoluta e relativa de foraminíferos foram avaliados com parâmetros ecológicos de dominância, diversidade de Shannon (H') e equitatividade (J'). Valores de diversidade em amostras com menos de 40 espécimes não foram calculados, não sendo incluídas nas análises estatísticas. Espécies com 10% ou mais de abundância relativa nas amostras foram consideradas dominantes (BOLTOVSKOY & TOTAH, 1985).

A Frequência de Ocorrência (FO) foi calculada e as espécies foram agrupadas nas seguintes categorias (DAJOZ, 1983): constantes (presentes em mais de 50% das amostras); acessórias (presentes entre 25% e 50% das amostras) e acidentais (presentes em menos de 25% das amostras).

Utilizando-se dos dados bióticos de abundância absoluta, foi realizada a análise de similaridade de *Bray Curtis*, gerando uma matriz de semelhança para análise de cluster e escalonamento multidimensional (MDS).

4.2 Análises granulométricas

Os teores de carbonatos (CaCO_3) e de matéria orgânica total (MOT) foram determinados a partir da diferença, em peso seco, medido em balança analítica, antes e após ataque com solução de HCl a 10% e de H_2O_2 a 10%, respectivamente (CARVER, 1971). Os teores de carbonatos foram classificados segundo Larssonneur *et al.* (1982): litoclástico ($\text{CaCO}_3 < 30\%$); litobioclástico ($30\% < \text{CaCO}_3 < 50\%$); biolitoclástico ($50\% < \text{CaCO}_3 < 70\%$) e bioclástico ($\text{CaCO}_3 > 70\%$).

A análise granulométrica foi realizada de acordo com as técnicas de peneiramento e pipetagem de Suguio (1973) e os resultados sofreram tratamento segundo os parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) e o diagrama textural de fácies sedimentares de Shepard (1954) por meio do software *Sysgran3* (CAMARGO, 2005), obtendo-se o grau de seleção, diâmetro médio e a composição sedimentar (percentual de cascalho, areia, silte e argila).

4.3 Análise da composição elementar da matéria orgânica do Nitrogênio

A análise da composição elementar da matéria orgânica do nitrogênio foi realizada após um tratamento preliminar para a eliminação do CaCO_3 existente (HEDGES & STERN, 1984), sendo determinada pela combustão automática da amostra em um analisador elementar Carlo Erba (CHN-1110), acoplado a um espectrômetro de massa Finnigan Delta Plus do Laboratório de Ecologia Isotópica do CENA/ESALQ-USP (Piracicaba, SP). As amostras foram queimadas em meio oxidante, e os gases produzidos foram separados por cromatografia gasosa, purificados e carreados por um fluxo contínuo de Hélio. Os dados são expressos em porcentagem.

4.4 Metais pesados

Para a obtenção das concentrações de metais foi utilizado o método por fluorescência de raios-X por dispersão de energia (EDXR), realizado no Centro Regional de Ciências Nucleares (CRCN/NE). É uma análise multi-elementar baseada na excitação dos átomos dos elementos químicos de uma amostra. As concentrações dos elementos são calculadas com base na mensuração da energia decorrente dos raios-X resultantes da emissão de elétrons decorrente da incidência de raios-X. (SKOOG *et al.*, 2009).

4.5 Análise dos dados e Estatística

Os dados sedimentares foram submetidos à análise de componentes principais (PCA) para identificar a tendência ambiental através de toda a área através do software Primer 6 (University of Plymouth), com os seguintes parâmetros: areia (%), silte (%), argila (%), MOT (%), CaCO_3 (%), Nitrogênio (N%) e metais pesados Níquel (Ni), Zn (Zinco), Pb (Chumbo), Mn (Manganês) e Al (%). Utilizando-se dos dados bióticos, foi realizada a análise de similaridade de *Bray Curtis*, gerando uma matriz de semelhança para análise de classificação (*Cluster Analysis*) e escalonamento multidimensional (MDS).

5 ARTIGO I

Publicado no Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_2_159_168

Parte deste artigo foi traduzido e, após a inserção de dados adicionais, foi submetido na Edição Especial da *Estuarine, Coastal and Shelf Science* referente ao Congresso n°57 da Estuarine Coastal and Shelf Association (ECSA57), realizado em Perth (WA, Austrália).



Correlação entre Características Sedimentológicas e Foraminíferos Bentônicos em Porto de Suape (PE-Brasil): um Estudo Ambiental

Correlation Between Textural Characteristics of Marine Sediments and Benthic Foraminifera in the Suape Port (PE-Brazil): an Environmental Study

Taiana Regina Silva de Oliveira¹; Luciana Dantas dos Santos¹;
Jéssica Cristina Amorim da Silva²; Patrícia Pinheiro Beck Eichler^{3,4} & Roberto Lima Barcellos¹

¹Universidade Federal de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Geociências.

Av. da Arquitetura, s/n, Cidade Universitária, 50740-540, Recife-PE, Brasil

²Faculdade Frassinetti do Recife, Centro FAFIRE, Departamento de Ciências Biológicas.

Av. Conde da Boa Vista, 921, Boa Vista, 50060-002, Recife –PE, Brasil

³Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica.

Av. Sen. Salgado Filho, 3000, Candelária, 59066-800, Natal-RN;

⁴Universidade do Sul de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais.

Av. Pedra Branca, 25, Cidade Universitária Pedra Branca, 88137 272, Palhoça - SC

E-mails: tayegee@gmail.com; santos.luciana27@yahoo.com.br; jessiamorim25@gmail.com; patriciaeichler@gmail.com;

roberto.barcellos@ufpe.gov.br

Recebido em: 30/10/2018 Aprovado em: 04/02/2019 DOI:

http://dx.doi.org/10.11137/2019_2_159_16

Resumo

A construção do maior complexo industrial portuário do nordeste brasileiro, o Porto de Suape (PE/Brasil), ocasionou mudanças geomorfológicas, sedimentares e ambientais no sistema estuarino-lagunar associado. Este estudo visa avaliar a influência da construção do Porto de Suape nas assembleias de foraminíferos bentônicos e suas respostas às características do substrato (teores de carbonato de cálcio e à matéria orgânica total, granulometria). Para isso, 7 amostras foram selecionadas de cada subambiente representativo, nos quais 36 gêneros de foraminíferos foram identificados. Destacam-se as espécies dominantes *Ammonia tepida* e *A. parkinsoniana*. Os valores de diversidade se apresentaram mais elevados próximos a plataforma interna, com o menor valor na região do porto que sofre sucessivas dragagens. Os sedimentos de granulação areia dominaram (85,3-99,8%), com exceção da região do canal dragado do rio Tatuoca que apresentou um percentual de argila (30,6%) e o maior percentual de silte (36,2%). Predominam também sedimentos litoclásticos, com teores médios de CaCO₃ de 21,95%. A estação de sedimentos de granulação mais grossa se apresenta com ausência de foraminíferos, o que pode ser associada à forte dinâmica de correntes e a quebra parcial dos recifes para implantação do porto. A laguna de Suape, assim como a plataforma interna adjacente, apresentou os maiores percentuais de lama correlacionados à matéria orgânica, podendo revelar influência positiva aos valores de riqueza e diversidade. A região do canal dragado do Rio Tatuoca demonstrou menor diversidade, provavelmente, devido ao estresse ambiental ocasionado pelo constante revolvimento dos sedimentos, que possivelmente refletiu na dominância da *A. parkinsoniana*. Espécies oportunistas foram dominantes principalmente nas estações mais próximas à costa. Estações mais profundas, localizadas próximas aos beachrocks e plataforma interna, apresentaram um dos mais altos valores de diversidade, contribuindo para afirmar a influência marinha na melhoria da qualidade ambiental, uma vez que o ambiente possui menor influência antrópica decorrente de mudanças ambientais devido a construção do porto de Suape.

Palavras-chave: Sedimentos; Foraminíferos bentônicos; Estuário; Porto; Poluição

Abstract

The establishment of the largest industrial port complex of the Brazilian northeast, Suape Port (PE-Brazil), which caused geomorphological, sedimentary and environmental changes. This study investigate the influence of the Suape Port built on Benthic Foraminifera and your influence on marine sediments (calcium carbonate, total organic matter, grain size). To achieve it seven samples were selected from each representative local subenvironment. Thirty-six Foraminifera genera were identified, with the largest number of Rotaliidae Order. The dominant species are *Ammonia tepida* and *A. parkinsoniana*. Diversity values were higher near the inner shelf, with the lowest value in the region of the port that undergoes successive dredging. Sand grains prevail (85.3-99.8%); with the exception of the region of the dredged channel of the Tatuoca River that shows high percentage of clay (30.6%) and the highest percentage of silt (36.2%). Lithoclastic sediments are predominant, with average CaCO₃ contents of 21.95%. Coarser grain size are absent of foraminifera, which can be associated to the strong dynamics of currents and the partial breaking of the reefs for implantation of the port The Suape lagoon. As well as the inner shelf, that presented higher percentage of mud correlated to organic matter, which reveals a positive influence on the values of diversity. The sample from dredged channel of the Tatuoca River showed less diversity probably due to the environmental stress from the reworking of sediments. Opportunistic species were dominant closer to the coast, and deeper stations, located in the shelf and closer of beachrocks show higher values of diversity, contributing to point out the marine influence and the water renovation for the environmental quality.

Keywords: Sediments; Benthic foraminifers; Estuary; Port; Pollution

1 Introdução

O Complexo Industrial Portuário de Suape, localizado na Baía de Suape, está localizado a cerca de 40 km ao sul da cidade de Recife (8°22'S/34°55'W), e foi criado como uma forma de solução ao crescimento econômico do Estado de Pernambuco (Koenig *et al.*, 2002). A Baía de Suape, formada pelo estuário dos rios Massangana, Tatuoca, Ipojuca e Merepe, sofreu diversas intervenções antrópicas para a implantação do complexo industrial que acarretou em aterros, dragagens e represamento de rios, alterando a hidrologia e sedimentologia local, modificando drasticamente a paisagem e, conseqüentemente a biota (Braga *et al.*, 1989; Koenig *et al.* 2002). Com base em estudos realizados por Miranda *et al.* (2007) no Porto de Suape, foram observados níveis consideráveis de contaminação por óleo diesel, e também, toxicidade (Araujo & Santos, 2013). Apesar desses dados, há escassez de pesquisas científicas realizadas no sistema estuarino-lagunar de Suape envolvendo organismos bentônicos.

Os foraminíferos podem ser excelentes bioindicadores, pois são organismos cosmopolitas amplamente estudados para interpretar características ambientais, como salinidade, pH, matéria orgânica, eventos anóxicos e mudanças causadas por impactos humanos (Boltovskoy *et al.*, 1980; Culver & Buzas, 1995; Geslin *et al.*, 2002; Murray, 2006). Carapaças de foraminíferos são comumente abundantes nos sedimentos e são facilmente coletados em estuários, baías, lagoas e lagunas brasileiras (Vilela *et al.*, 2003, 2011; Barbosa *et al.*, 2005; Eichler *et al.*, 2006; Machado & Araújo, 2014).

O objetivo desse trabalho é descrever as assembleias de foraminíferos bentônicos e suas respostas aos parâmetros sedimentológicos, assim como a influência antrópica na região estuarina e costeira do Complexo Industrial Portuário de Suape.

2 Materiais e Métodos

A área estudada, que originalmente era contínua e com uma conexão livre com o oceano junto ao Cabo de Santo Agostinho, foi aterrada parcialmente e passou a ser seccionada em três porções distintas: Baía de Suape/Estuário do Rio Massangana, Estuário do Rio Tatuoca e Estuário dos rios Ipojuca/Merepe; apresentando no presente duas desembocaduras artificiais,

fruto de aberturas na linha recifal externa por meio de dinamitação dos arenitos de praia (*beachrocks*) que protegiam naturalmente o sistema estuarino original à retaguarda.

Foram coletadas amostras em 07 pontos (Figura 1) no mês de agosto de 2015, no cruzeiro oceanográfico “*Suape-GeoSub III*”. As amostras foram coletadas na interface sedimento-água, com amostrador de mandíbulas do tipo *Van Veen* e registradas no Sistema de Posicionamento Global (GPS), sendo denominadas ST03, ST04, ST06, ST08, ST13, ST20, ST29. A profundidade foi medida por um profundímetro portátil do tipo *Sumergible PS-7*.

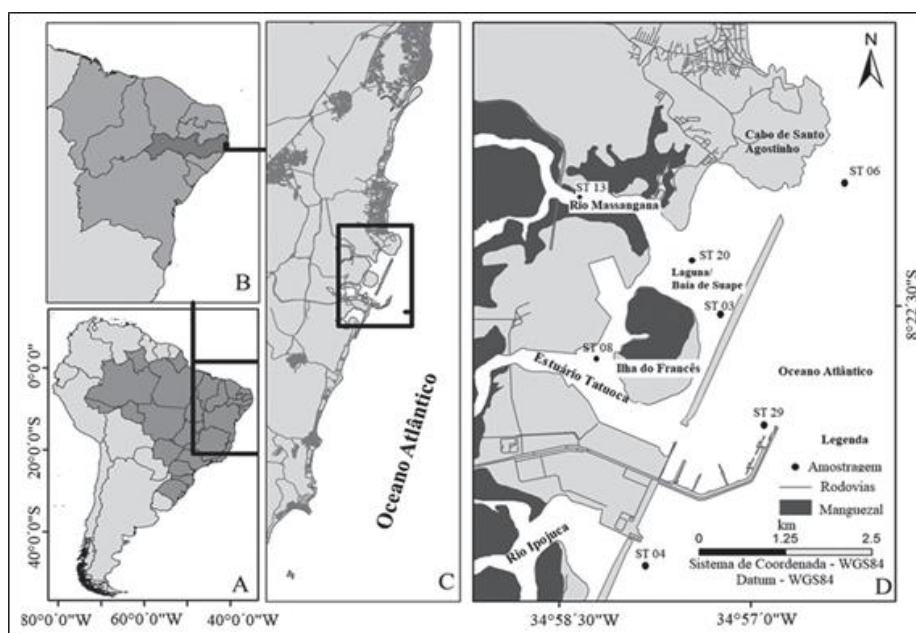


Figura 1 Mapa da área de estudo (A, B, C) e locais de amostragem das estações analisadas em Porto de Suape (D).

A seleção das amostras obedeceu a um critério de caracterização de subambientes sedimentares no sistema, denominados: laguna de Suape (ST03), plataforma interna adjacente ao Rio Ipojuca (ST04), plataforma interna próxima à desembocadura da laguna (ST06), canal dragado do Rio Tatuoca (ST08), estuário do Rio Massangana (ST13), laguna de Suape central (ST20) e a plataforma interna na área abrigada do Porto (ST29).

Os teores de carbonatos (CaCO_3) e de matéria orgânica total (MOT) foram obtidos por diferença de peso seco aferido em balança semi-analítica, antes e após ataque de HCl e H_2O_2 a 10%, respectivamente, de acordo com os métodos descritos em Carver (1971). Os dados dos

teores de carbonatos, foram classificados segundo a proposta de Larssonneur *et al.* (1982): litoclástico ($\text{CaCO}_3 < 30\%$); litobioclástico ($30\% < \text{CaCO}_3 < 50\%$); biolitoclástico ($50\% < \text{CaCO}_3 < 70\%$) e bioclástico ($\text{CaCO}_3 > 70\%$).

A análise granulométrica foi realizada de acordo com as técnicas de peneiramento e pipetagem de Suguio (1973) e os resultados sofreram tratamento segundo os parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) e o diagrama textural de fácies sedimentares de Shepard (1954) por meio do software *Sysgran3* (Camargo, 2005), obtendo-se o grau de seleção, diâmetro médio e a composição sedimentar (percentual de cascalho, areia, silte e argila). Os dados sedimentares, posteriormente, foram submetidos à análise de componentes principais (PCA) para identificar a tendência ambiental através de toda a área através do software Primer 6 (University of Plymouth), com os seguintes parâmetros: areia (%), silte (%), argila (%), MOT (%) e carbonatos (%).

O tratamento para o estudo da microfauna consistiu em lavagem, peneiramento úmido com peneira de abertura 0,062mm e secagem em estufa a 50°C. As amostras foram divididas, triadas e, posteriormente, 100 espécimes de foraminíferos bentônicos foram identificados. A determinação das espécies seguiu Loeblich & Tappan (1988), a classificação das espécies foi baseada no catálogo de Ellis & Messina (1940), Boltovskoy *et al.* (1980).

A abundância absoluta e relativa de foraminíferos foi avaliada com parâmetros ecológicos de dominância e diversidade de Shannon (H') e equitatividade. A abundância relativa foi calculada e gêneros estatisticamente significantes foram considerados como aqueles com abundância de 5%, mesmo em uma amostra, ou 2%, em pelo menos 2 amostras (Schmiedl *et al.*, 1998).

Índices ecológicos em amostras com menos de 40 espécimes não foram calculados, não sendo incluídas nas análises estatísticas. Espécies com 10% ou mais de abundância relativa nas amostras foram consideradas dominantes (Boltovskoy & Totah, 1985).

A Frequência de Ocorrência foi calculada e as espécies foram agrupadas nas seguintes categorias (Dajoz, 1983): constantes (presentes em mais de 50% das amostras); acessórias (presentes entre 25% e 50% das amostras) e acidentais (presentes em menos de 25% das amostras).

Utilizando-se dos dados bióticos, foi realizada a análise de similaridade de Bray Curtis, gerando uma matriz de semelhança para análise de cluster e escalonamento multidimensional

(MDS).

3 Resultados

3.1 Análise Sedimentológica e Geoquímica

Os sedimentos, com exceção da amostra da estação 08, apresentam um predomínio da granulação areia com proporção variando de 85,3% a 99,8%, segundo o diagrama faciológico de Shepard (1954). De acordo com Folk & Ward, apresentam-se como areia fina a areia grossa. Apenas a estação ST08, localizada no canal dragado do rio Tatuoca, apresentou alto teor de lama (66,23%), sendo classificada como silte médio (Folk & Ward, 1957) e como um silte argilo-arenoso (Shepard, 1954) (Tabela 1).

Os pontos (ST03, ST08 e ST29) classificados como areia fina, silte médio e areia fina respectivamente apresentam os maiores percentuais lamosos. Demonstrando, dessa forma, que sedimentos analisados foram predominantemente litoclásticos arenosos, em geral classificados como pobremente selecionados e com teores orgânicos em sua maioria baixos ao longo das estações de coleta do Sistema Estuarino-Lagunar de Suape. Em relação à estação ST04, observam-se apenas sedimentos de granulação grossa, com ausência de silte e argila, o que pode ser associado à forte dinâmica de correntes e ondas da área, localizado em mar aberto adjacente à desembocadura do estuário do rio Ipojuca.

O maior percentual de cascalho foi encontrado na estação ST06 (14,01%), sendo a única com o teor >10% localizada na plataforma interna próxima à desembocadura da laguna, junto ao Cabo de Santo Agostinho a 17,4m de profundidade (Tabela 1).

Os teores de CaCO_3 variaram entre 1,20% a 46,50% com prevalência de sedimentos litoclásticos em 71,42% das amostras, de acordo com a classificação de Larssoneur *et al.* (1982). Duas amostras ST04 e ST29, localizadas na plataforma continental interna, apresentam teor de CaCO_3 entre 30-40%, indicando substrato com características litobioclásticas (46,5% e 39,80%, respectivamente) (Figura 2A), já os conteúdos de MOT variaram de 0,9% a 19,4% (Figura 2B).

Tabela 1 Dados abióticos de latitude (Lat.), longitude (Long.), profundidade (Prof.), dados sedimentológicos e geoquímicos.

ST	Lat. (S)	Long. (W)	Prof. (m)	Cascalho (%)	Areia (%)	Lama (%)	Phi Médio	Folk & Ward (1954)	Shepard (1954)	Grau de Seleção
ST03	-08°03.696'	-34°09.514'	12,0	3,18	89,84	6,98	2,21	Areia fina	Areia	Pobrememente selecionado
ST04	-08°04.124'	-34°09.620'	14,5	7,73	92,27	0,00	0,22	Areia grossa	Areia	Moderadamente selecionado
ST06	-08°03.557'	-34°09.367'	17,4	14,01	85,79	0,20	0,53	Areia grossa	Areia	Pobrememente selecionado
ST08	-08°03.081'	-34°09.694'	11,0	2,78	30,5	66,73	5,52	Silte médio	Silte argilo-arenoso	Muito pobrememente selecionado
ST13	-08°03.598'	-34°09.711'	3,2	5,86	93,9	0,23	1,29	Areia média	Areia	Pobrememente selecionado
ST20	-08°03.683'	-34°09.580'	2,0	0,2	99,8	0,00	0,69	Areia grossa	Areia	Bem selecionado
ST29	-08°03.909'	-34°09.480'	20,0	1,06	85,33	13,61	2,69	Areia fina	Areia	Pobrememente selecionado

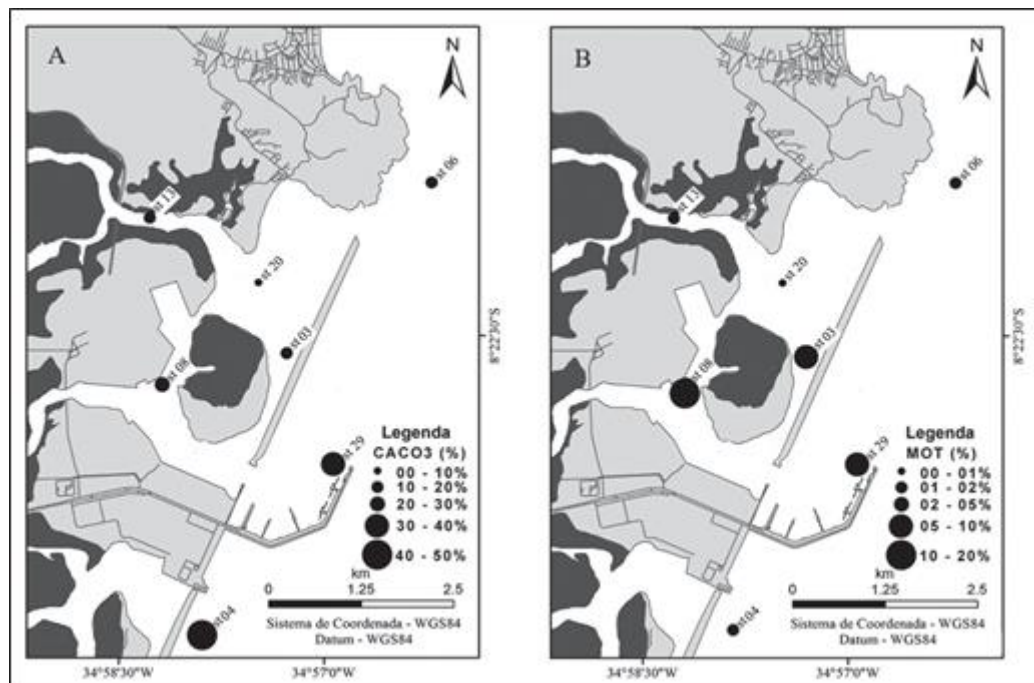


Figura 2 A) Distribuição do CaCO_3 na área de estudo. B) Distribuição da MOT na área de estudo.

Amostras lamosas com teores orgânicos mais altos são encontradas por sua vez nas porções internas do estuário, enquanto que sedimentos mais grossos litobioclásticos com baixos

teores de MOT caracterizam a plataforma continental adjacente ao sistema costeiro de Suape.

Com base na análise de PCA, foi possível observar que a estação ST08 difere das demais (Figura 3A), apresentando o maior teor de lama (~67%), e que segundo classificação proposta por Ungemach (1960 in Esteves, 1998), apresenta sedimento classificado como orgânico por apresentar teores acima de 10%. Portanto, um segundo gráfico (Figura 2B) e PCA (Tabela 2) foi calculado sem a estação 8. Com base na tabela 2, dois eixos fatoriais representaram 82,4% da variância total (Tabela 2A). O diagrama e as cargas do PCA (Tabela 2B), excluindo a estação 8 (Figura 2B), revelou que a % lama teve a maior carga positiva (0,597) seguida por % MOT (0,533) no componente principal 1 (PC1) e na carga negativa o % Areia (-0,499). O PC2 foi caracterizado por forte carga positiva para % Cascalho (0,728) e o carregamento negativo mais forte para % areia (-0,504). O % de CaCO₃, influencia na carga positiva tanto do PC1 quanto do PC2 (0,351 e 0,369, respectivamente). Outras diferenças foram mínimas, como observado acima, e as cargas (Tabela 3B) foram <0,3 (positivas ou negativas).

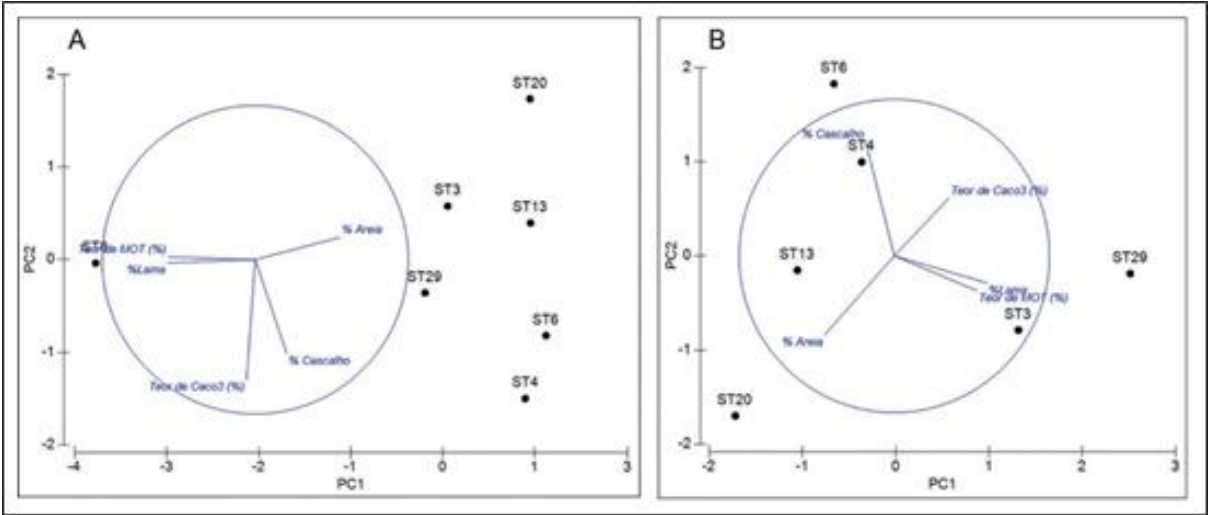


Figura 3 Gráficos das análises de PCA: A) Gráfico da análise do PCA com todas as amostras; B) Gráfico da análise do PCA sem a estação 8.

Tabela 2 - A. Variação acumulada (82,4%) de variáveis abióticas.

B. Cargas dos parâmetros abióticos para os eixos PCA 1 e 2.

A			
PC	Autovetores	%	Cum.%

		Variação	Variação
1	2,5	50,8	50,8
2	1,6	31,6	82,4
3	0,7	13,8	96,1
4	0,2	3,9	100,0
5	0,0	0,0	100,0
B			
Variável	PC1	PC2	
Teor de MOT (%)	0,533	-0,223	
Teor de Caco ₃ (%)	0,351	0,369	
% Cascalho	-0,184	0,728	
% Areia	-0,449	-0,504	
%Lama	0,597	-0,173	

3.2 Foraminíferos Bentônicos

Os foraminíferos de modo geral são abundantes e bem preservados, apresentando pequenas dimensões. Foram identificados 36 gêneros, distribuídos nas ordens Rotalida (243 espécimes), Miliolida (109 espécimes), Spirillinida (7 espécimes) e Lagenida (1 espécime).

A abundância absoluta dos foraminíferos bentônicos variou significativamente entre os locais de coleta. A estação ST04 é estéril, e as estações ST13 e ST20 apresentaram baixa densidade, sendo com- postos, respectivamente, por apenas 4 e 5 espécimes de foraminíferos.

As espécies de foraminíferos mais comuns foram *Discorbis* spp. (Lamark, 1804), *Ammonia tepida* (Cushman, 1926), *Cibicides pseudoungeriana* (Cushman, 1922), *Rosalina floridana* (Cushman, 1922), *Quinqueloculina laevigata* (d'Orbigny, 1839), *Nonion grateloupi* (d'Orbigny, 1839), *Wiesnerella auriculata* (Egger, 1893). As espécies oportunistas estão presentes em toda a baía de Suape, especialmente na estação ST08, região do Canal dragado do porto interno, onde a espécie *Ammonia parkinsoniana* se apresentou com dominância de 52%. As espécies típicas de ambientes com corais, como *Amphistegina gibbosa*, estiveram presentes apenas nas estações ST03 e ST29.

Na região ST03, *Ammonia tepida* dominou com 20% do total da assembleia. A estação

externa a baía de Suape (ST06) assemelha-se consideravelmente com a fauna da região da laguna de Suape, sendo os gêneros *Ammonia* e *Discorbis* spp. dominantes e representaram, respectivamente, 12% e 17% do total da estação. A ST29, localizada na região abrigada do porto externo, é composta também pela dominância da *A. tepida*, com abundância relativa de 10%, e *Discorbis* spp. (13%).

O índice de diversidade de Shannon (H') varia entre 2,04 e 3,20 (Tabela 3), com valor médio maior que 2. A riqueza de espécies foi mais alta na estação ST03, já a região da ST08 obteve o menor valor de riqueza, com 38 e 25, respectivamente. A equitatividade (J'), definida como uniformidade da comunidade, variou de 0,59 (ST08) a 0,90 (ST29).

Tabela 3 - Dados ecológicos representados por Riqueza de espécies (S), índice de Equitatividade (J'), Índice de diversidade (H').

Amostras	S	J'	H'
ST03	38	0,88	3,19
ST06	31	0,84	2,90
ST08	25	0,59	1,91
ST29	26	0,90	2,94

3.3 Relação entre Foraminíferos Bentônicos e Sedimentos

Na análise de MDS (Figura 4), somente as amostras ST06, ST03, ST29 ficaram agrupadas, sendo que as estações ST13, ST20, ST08 apresentaram-se de forma isolada, possivelmente devido às diferenças de abundância absoluta e sedimentológicas das estações.

Os principais parâmetros da composição do sedimento, como indicado pelo PCA: % CaCO_3 , % MOT e ocorrências de silte e argila, são refletidos no gráfico MDS (Figura 4) de forma que a distribuição das assembleias desses organismos apresenta influência da sua composição sedimentológica.

É possível observar que a ST13 apresenta alto teor de cascalho e assembleia composta de baixa abundância absoluta de foraminíferos; a ST20, também com baixa abundância de foraminíferos, mas, diferentemente, possui baixo teor de cascalho, CaCO_3 e MOT. Apesar da estação ST08 também apresentar alto teor de CaCO_3 , ela também apresenta elevada MOT, lama (%) e dominância de 52% de *Ammonia parkinsonian*. Observada a fácies do grupamento ST06, ST03, ST29 é possível afirmar que um dos principais parâmetros sedimentológicos em comum

entre eles é a composição do sedimento, composto de teores mais elevados de CaCO_3 . Entretanto, nessa fácies composta pelas estações ST06, ST03, ST29, é possível observar (Figura 3B) que a ST06 se distingue um pouco mais das estações ST03 e ST29 por possuir alto teor de cascalho, e areia grossa segundo Folk & Ward (1957), além de possuir uma assembleia significativamente composta de espécies como *Ammonia parkinsoniana* e *A. tepida*, e dominância do gênero *Discorbis* spp. se comparada as demais estações.

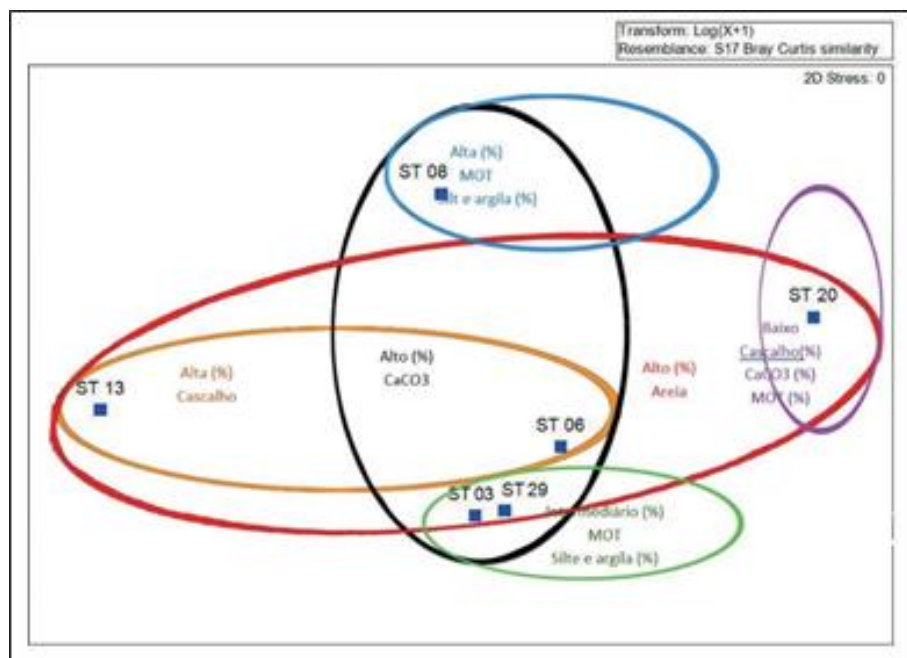


Figura 4 Análise de MDS com a representação das amostras e sua distribuição através de um padrão sedimentológico.

As estações ST03 e ST29 apresentam intermediário teor de MOT, silte e argila, por isso encontram-se subagrupadas (Figura 4), constituída de areia fina (Folk & Ward, 1957) e elevada abundância relativa das espécies *Ammonia tepida*, *Amphistegina gibbosa*, *Discorbis* spp., *Quinqueloculina lamarckiana*, *Triloculina oblonga*, *Rosalina floridana*.

4 Discussão

A Baía de Suape apresenta uma fauna diversificada com foraminíferos de diminutas dimensões, característicos de ambientes estuarinos, composta predominantemente por organismos oportunistas, especialmente do gênero *Ammonia*. A composição das assembleias de foraminíferos de Suape se asse melha a outras regiões do Brasil, como no Canal de São

Sebastião (Teodoro *et al.*, 2009, 2011), e na Bacia de Campos (Yamashita *et al.*, 2018), compostos predominantemente por foraminíferos calcários da ordem Rotaliida.

A abundância absoluta mostrou variação entre as amostras coletadas, de forma que as regiões arenosas do estuário do Massangana e laguna/baía de Suape (ST13 e ST20) apresentam-se compostas de apenas, três e cinco espécimes, respectivamente. Essas estações também são as mais rasas, desta forma, existe a possibilidade de exposição subaérea em momentos de maré baixa de sizígia, em especial para a ST20, o que seria um limitante para a existência desses organismos.

As espécies constantes revelam uma fauna típica de ambiente mixohalino, tolerante a uma ampla gama de condições estressantes, como poluição antrópica e baixos níveis de oxigênio (Murray, 2006). Teodoro *et al.* (2009) associam a maior abundância destas espécies aos sedimentos lamosos, principalmente na fração de silte. Também é possível correlacionar esse alto percentual de sedimento lamoso ao canal interno do porto, principalmente na estação ST08, com maior teor de lama (silte e argila) (Figura 3) à dominância de 52% da espécie *A. parkinsoniana*. O gênero *Ammonia* foi encontrado por Langer & Lipps (2003) em recifes na lagoa da Papua Nova-Guiné, e também, no canal de Bertioiga por Eichler *et al.* (2007), sendo associado a sedimentos finos com alto teor de matéria orgânica. Armynot du Châtelet *et al.* (2009) estudando a costa da França, afirmam ainda que a preferência de *Ammonia* por ambientes com alto teor de matéria orgânica relaciona-se com a alimentação.

Contrapondo estudo realizado no estuário do rio Pearl, na China, no qual foi observada a abundância relativa da *A. tepida* diminuindo com o aumento profundidade da água (Li *et al.*, 2014), a Baía de Suape, entretanto, não apresentou padrão de distribuição dessa espécie em relação à profundidade. Fato que pode ser decorrente das intervenções antrópicas ocasionadas na implantação do Porto, como as recorrentes dragagens que ocorrem na estação ST08, para manutenção do canal, e também o derrocamento dos *beachrocks* que pode ocasionar uma maior influência marinha nas regiões mais internas da baía de Suape.

Constante na baía de Suape, o gênero *Discorbis* está relacionado a regiões hipersalinas, ricas em nutrientes e que sofrem grande estresse ambiental, como relatado por Badawi *et al.* (2016). Segundo Eichler *et al.* (1995) e Cardoso (2000), *Discorbis* spp. são também designadoras de correntes marinhas de alta densidade que transpassam pelo fundo, característico de alta influência marinha e de penetração da cunha salina (Nurdin *et al.*, 2014). Isto é

reforçado pela dominância do gênero na região mais externa do sistema. Cardoso (2000) também descreve que este gênero foi dominante na porção insular do Canal de São Sebastião, local com fluxo mais intenso das correntes, permitindo somente a deposição de sedimentos cascalhos biogênicos (Barcellos *et al.*, 2016), assim como observado na ST06.

No caso do gênero *Rosalina*, Vieira (2004) afirma que este foi coletado nas bacias de Campos e Santos (RJ), com profundidades variando entre 96 a 148 m, portanto na plataforma externa. No caso de Suape, os sedimentos em que esse gênero se apresentou dominante, na ST06 e ST29, encontram-se na plataforma interna, a 17,4 e 20,0m, respectivamente, porém são estações que apresentaram as maiores profundidades de todos os pontos coletados.

Os índices de diversidade obtidos se assemelham aos valores encontrados em outras regiões restritas, como o norte da baía de Guanabara (Vilela *et al.*, 2002), que é considerada uma das áreas costeiras brasileiras mais poluídas, próxima às principais refinarias de petróleo do Rio de Janeiro (Vandenberg & Rebello, 1986; Leal & Wagener 1993). Li *et al.* (2014) observaram que as variáveis como riqueza, abundância e diversidade revelam uma tendência de aumento rápido dos valores, do curso superior para o exterior do estuário do rio Pearl. Com exceção da região do canal dragado, os índices ecológicos não indicam uma variação tão abrupta do curso superior para o exterior do estuário, em sua porção mais marinha. Observou-se o valor mais alto no índice de diversidade na região da laguna (ST03) com uma diminuição na desembocadura da laguna (ST06) e na plataforma (ST29). Esse padrão, possivelmente, não ocorre devido às intervenções ocasionadas para implantação do porto, tais como dragagens e rompimento de recifes para instalação do Porto.

Apesar dos índices ecológicos relativamente altos (Tabela 3), possivelmente estes valores se devem à heterogeneidade ambiental, devido à influência dos fluxos marinho, limnético e do próprio manguezal próximo à região, condicionando desta maneira, a maior diversidade de foraminíferos, representados por espécies resistentes a estresse ambiental e, também, marinhas, como a *Amphistegina gibbosa* que demonstra ambientes de recifes (Hallock, 2011). Valores de diversidade elevados também foram observados em estudo com base em fitoplâncton, na Baía de Suape, no estuário do rio Ipojuca (Koenig *et al.*, 2002), contudo, foi considerado que as espécies são em sua maioria oportunistas e não especialistas, o que indica um ambiente estuarino de baixa qualidade ambiental.

Em relação aos dados ecológicos, os valores de equitatividade se aproximaram a 1 ($J' = 1$)

(Bruno & Araújo, 2012), desta a forma as associações de foraminíferos se apresentaram relativamente homogêneas, com exceção da amostra ST08. Sendo assim, é possível inferir que a região em estudo apresenta alta equitatividade, que pode relacionar-se à localização das estações, onde as estações ST29, ST06 que possuem maior influência de águas marinhas, apresentam maior tendência de homogeneidade das espécies (equitatividade), corroborando Semensatto-Jr & Dias-Brito (2004) sobre a importância da influência marinha na distribuição das espécies. O menor valor de equitatividade apresentado na ST08 está relacionado à característica oportunista da espécie *A. parkinsoniana* e ao gênero *Discorbis*, em que o ambiente orgânico se torna favorável ao estabelecimento dessas espécies, o que pode ser claramente visualizado na fácies criada no MDS (Figura 4).

Hyams-Kaphzan *et al.* (2008) afirmam que a característica do substrato é uma das variáveis mais importantes para condicionar a distribuição dos foraminíferos. As amostras ST04 e ST29, localizadas na plataforma continental interna, apresentam teor de CaCO_3 entre 30-40%, indicando substrato com características litobioclásticas (46,5% e 39,80%, respectivamente) (Figura 2A), denotando uma maior influência marinha na sedimentação se comparada às estações mais próximas à costa. Os conteúdos de MOT variaram de 0,9% a 19,4% e de acordo com Oliveira *et al.* (2014) os percentuais acima de 6% indicam associação a sedimentos de característica lamosa (Figura 2B).

Como observado na Figura 2, as porções internas do estuário apresentam maior teor de lama com índices orgânicos mais altos, e os sedimentos grossos com baixos teores de MOT estão presentes na plataforma continental. Esse padrão de distribuição espacial é característico, e foi também observado em outros estuários da costa pernambucana, tais como os sistemas estuarinos dos rios Jaboatão (Barcellos *et al.*, 2016), Formoso (Santos & Barcellos, 2017), Goiana (Barcellos *et al.*, 2016) e Capibaribe (Oliveira *et al.*, 2014). No gráfico do PCA, é possível observar que o ambiente na amostra ST08 sofre influência do alto valor de MOT e lama. Essa estação apresentou dominância da *Ammonia parkinsoniana* (Figura 3), e possui alto teor de (%) MOT e (%) silte e argila na sua composição sedimentológica.

Em trabalho realizado por Jeshma *et al.* (2017) nos estuários de Puravadaianar e Vettar (Índia), a espécie *A. beccari* esteve associada a alto teor de MOT, que variaram de 1,02% a 3,72% e Pereira *et al.* (2004) mostrou que a porcentagem de carbono orgânico é positivamente correlacionada a dominância de *A. tepida* nas partes mais restritas da baía de Guanabara. Na

Baía de Suape e no canal portuário, os valores de MOT (Tabela 2) se apresentam muito maiores do que os estuários anteriormente citados, permitindo associá-los à elevada abundância dessa espécie.

A sedimentologia local da estação ST04 apresenta sedimentos de granulometria grossa, que é associada à forte dinâmica de correntes e, também, às ondas locais que fragmentam os grãos carbonáticos. Essa região, localizada em mar aberto, adjacente à desembocadura do rio Ipojuca, sofreu mudanças para implantação do Porto de Suape, como a quebra parcial dos recifes para permitir a comunicação do mar com o rio Ipojuca, o que condicionou mudanças no ciclo das marés, e também uma grande sedimentação na área, com consequências na diminuição da transparência da água (Neumann-Leitão *et al.*, 1994; Neumann *et al.* 1998, 1999). Possivelmente a ausência de organismos decorre da modificação da sedimentação sofrida na área, associada à alta dinâmica de correntes local.

5 Considerações Finais

Os sedimentos do Sistema Estuarino-Lagunar de Suape são, em geral, litoclásticos, predominantemente arenosos, classificados como mal selecionados, e apresentam baixos teores de MOT (<10%), com exceção da região do canal dragado do rio Tatuoca (ST08). A estação ST04 apresentou ausência de espécies em todas as amostras, com sedimentos de granulometria grossa associada à forte dinâmica das correntes em mar aberto adjacente à foz do estuário do rio Ipojuca. Adicionalmente, esta estação sofreu modificações antrópicas que causaram quebra parcial do recife, ocasionou diminuição da transparência da água, o que pode justificar também a ausência desses organismos.

A assembleia de foraminíferos bentônicos encontrada nas outras amostras é composta principalmente por organismos tolerantes à instabilidade ambiental, com predomínio do gênero *Ammonia* sobre os demais, possivelmente decorrente do estresse ocasionado pela ação antrópica associada ao complexo portuário. A dominância deste gênero revela uma associação com regiões impactadas ricas em matéria orgânica associadas à presença de sedimentos finos e lamosos.

Por fim, este estudo indicou que a região possui um alto valor de diversidade, equitatividade e riqueza, porém, possivelmente estes valores são justificados pela localização geográfica em um ambiente misto, que tem influência dos manguezais, dos rios e do oceano. Este fato é observado

na alta dominância de espécies oportunistas, o que indica que a Baía de Suape tem sido fortemente influenciada pelas modificações ocasionadas pela implantação do Porto de Suape, provavelmente de resíduos no Canal do Porto (Tatuoca), e também, pela poluição da costa, possivelmente de esgoto. Foi possível inferir que a assembleia de foraminíferos da estação ST03 reflete a modificação ocasionada pela dinamitação dos *beachrocks* para implantação do Complexo industrial, uma vez que a estação apresenta elevada abundância de *Amphistegina gibbosa* e *Discorbis* spp., indicando influência de águas de origem marinha na laguna de Suape.

Assim, modificações ambientais ocasionadas na implantação do Porto de Suape podem estar associadas ao aumento de assembleias de foraminíferos compostas de espécies oportunistas que respondem a essas mudanças.

6 Agradecimentos

Os autores agradecem à FACEPE (Fundação de Apoio à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco) pelo apoio financeiro que possibilitou a realização deste artigo, por meio do Projeto de Apoio à Pesquisa FACEPE (APQ-0260-1.08/15): “Sedimentação holocênica na região de influência do complexo industrial portuário de Suape (PE) (Suape-GeoSub)” e de Iniciação científica (PIBIC – 3621-1.08/16): “Distribuição espacial de foraminíferos bentônicos no Sistema Estuarino Lagunar do Complexo Portuário Industrial de Suape (PE)”.

7 Referências

- Armynot du Châtelet, E.; Degre, D.; Sauriau, P-G. & Debenay, J-P. 2009. Distribution of living benthic foraminifera in relation with environmental variables within the Aiguillon cove (Atlantic coast, France): improving knowledge for paleoecological interpretation. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 180:131-144.
- Araújo, C.F. & Souza-Santos, L.P. 2013. Use of the microalgae *Thalassiosira weissflogii* to assess water toxicity in the Suape industrial-port complex of Pernambuco, Brazil. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 89(1): 212-221.
- Badawi, A. & El-Menhawey, W. 2016. Tolerance of benthic foraminifera to anthropogenic stressors from three sites of the Egyptian coasts. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 42(1): 49-56.

- Barbosa, C.F.; Scott, D.B.; Seoane, J.C.S. & Turcq, B.J. 2005. Foraminiferal zonations as baselines for Quaternary sealevel fluctuations in south-southeast Brazilian mangroves and marshes. *Journal of Foraminiferal Research*, 35(1): 22-43.
- Barcellos, R.L.; Flores-Montes, M.J.; Alves, T.M.F. & Camargo, P.B. 2016. Modern Sedimentary Processes and Seasonal Variations of Organic Matter in an Urban Tropical Estuary, Jaboatão River (PE), Brazil. *Journal of Coastal Research*, 75: 38-42.
- Barcellos, R.L.; Alves, C.S. & Filho, A.F. 2016. *Geoquímica e Dinâmica Sedimentar do Sistema Estuarino do Rio Goiana*. Sambrucken, Novas Edições Acadêmicas. 96 p.
- Boltovskoy, E.; Giussani, G.; Watanabe, S. & Wright, R. 1980. *Atlas of benthic shelf foraminifera of the Southwest Atlantic*. The Hague, Dr W. Junk Publishers, Springer. 147 p.
- Boltovskoy, E. & Totah, V. 1985. Diversity, similarity and dominance in benthic foraminiferal fauna along one transect of the Argentine shelf. *Revue de Micropaléontologie*, 28: 23-31.
- Braga, R.A.P.; Uchoa, T.M.M. & Duarte, M.T.M.B. 1989. Impactos Ambientais Sobre o Manguezal de Suape - Pe. *Acta Botânica Brasílica*, 3(2): 9-19.
- Bruno, R.L.M. & Araújo, T.M.F. 2012. Distribuição dos foraminíferos na plataforma de transição carbonato-siliciclástico, região de Ilhéus, Bahia. *Gravel*, 10(1): 23-33.
- Cardoso, P. 2000. *Caracterização de foraminíferos e sua utilização como indicadores de massas d'água e de parâmetros ambientais, no canal de São Sebastião (SP)*. Programa de Pós-graduação em Oceanografia, Universidade de São Paulo, Dissertação de Mestrado, 108p.
- Carver, R. 1971. *Procedures in Sedimentary Petrology*. Wiley-Interscience, New York. 653 p.
- Camargo, M. G. SYSGRAN 3.0: Análises e gráficos sedimentológicos. Open source under GNU license, 2005.
- Culver, S.J. & Buzas, M.A. 1995. The effect of anthropogenic habitat disturbance, habitat destruction, and global warming on shallow marine benthic foraminifera. *Journal of Foraminiferal Research*, 25(3): 204-211.
- Dajoz, R. 1983. *Ecologia geral*. Petrópolis, Vozes. 472 p.
- Geslin, E.; Debenay, J-P.; Duleba, W. & Bonetti, C. 2002. Morphological abnormalities of foraminiferal tests in Brazilian environments: comparison between polluted and non-polluted areas. *Marine Micropaleontology*, 45(2): 151-168.

- Eichler, B.B.; Debenay, J-P; Bonetti, C. & Duleba, W. 1995. Répartition des foraminifères benthiques dans la zone Sud-Ouest du Système laguno-estuarien d'Iguape-Cananéia (Brésil). *Boletim do Instituto Oceanográfico*, 43(1): 01-17.
- Eichler, P.P.B.; Castelão, G.P.; Pimenta, F.M. & Eichler, B.B. 2006. Avaliação da saúde do sistema estuarino de Laguna (SC) baseada nas espécies de foraminíferos e tecamebas. *Pesquisas em Geociências*, 33: 101-115.
- Eichler, P.P.B.; Eichler, B.B.; Miranda, L.B. & Rodrigues, A. R. 2007. Modern foraminiferal facies in a subtropical estuarine channel, Bertioga, São Paulo, Brazil. *Journal of Foraminiferal Research*, 37(3): 234–247.
- Ellis, B.F. & Messina, A. 1940. *Catalogue of Foraminifera*. New York, American Museum Natural History. 2115 p.
- Esteves, F. 1998. Fundamentos de limnologia. 2ª. Ed. Rio de Janeiro, Interciência, 602 p.
- Folk, R.L. & Ward, W.C., 1957. Brazos River Bar: Study of the Significance of Grain Size Parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27(1): 3-26.
- Hallock, P. 2011. Modern coral reefs under global change: new opportunities to understand carbonate depositional hiatuses. In: STAN- LEY JR, J.D. (ed.). Coral and reefs crises, collapse and change, Cambridge, p. 121-130.
- Hyams-Kaphzan, O.; Almogi-Labin, A; Sivan, D. & Benjamini, C. 2008. Benthic foraminifera assemblage change along the southeastern Mediterranean inner shelf due to falloff of Nile-derived silicoclastics. *Neues Jahrbuch für Geologie und Palaeontologie Abhandlungen*, 248: 315–344.
- Jeshma, P.; Gandhi, M.S. & Rao, N.R. 2017. Benthic foraminifera and geochemical assessment of Puravadaianar and Vettar estuaries, Karaikal, south east coast of India—Implication for pollution monitoring studies. *Regional Studies in Marine Science*, 9: 76–88.
- Koenig, M.L; Eskinazi-Leça, E.; Neumann-Leitão, S. & Macêdo, S.J. 2002. Impactos da construção do Porto de Suape sobre a comunidade fitoplanctônica no estuário do rio Ipojuca (Pernambuco-Brasil). *Acta Botanica Brasilica*, 16(4): 407-420.
- Langer, M.R. & Lipps, J.H. 2003. Foraminiferal distribution and diversity, Madang reef and lagoon, Papua New Guinea. *Coral reefs*, 22(2): 143-154.
- Larssoneur, C.; Bouysse, P. & Aufret, J.P. 1982. The Superficial Sediments of the English Channel and its Western Approach. *Sedimentology*, 29(6): 851-864.

- Leal, M.L.S & Wagener, A.L.R 1993. Remobilization of anthropogenic copper deposited in sediments of a tropical estuary. *Chemical speciation and bioavailability*, 24(1): 31-39.
- Li, T.; Xiang, R.; Li, T. 2014. Influence of trace metals in recent benthic foraminifera distribution in The Pearl River Estuary. *Marine Micropaleontology*, 108: 13–27.
- Loeblich, A. & Tappan, H. 1988. *Foraminiferal genera and their classification*. New York, Van Nostrand Reinhold. 970 p.
- Machado, A.J. & Araújo, H.A.B. 2014. Characterization of the Caravelas River Estuary (Bahia) from a Temporal Distributional Analysis of the Foraminifera Microfauna. *Anuário do Instituto de Geociências*, 37(2): 23-38.
- Miranda, R.C.; Souza, C.S.; Gomes, E.B.; Lovaglio, R.B; Lopes, C.E. & Sousa, M.F.V.Q 2007. Biodegradation of diesel oil by yeasts isolated from the vicinity of suape port in the state of Pernambuco – Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 50(1): 147-152.
- Murray, J.W. 2006. *Ecology and applications of benthic foraminifera*. New York, Cambridge University Press. 426 p.
- Neumann, V.H.M.L.; Queiroz, C.M. & Ivo, P.S. 1994. Bottom sediments of the Suape lagoon, Pernambuco - Brazil. In: PROCEEDINGS OF THE 14TH INTERNATIONAL SEDIMENTOLOGICAL CONGRESS (RECIFE-PE, BRASIL), Recife, 1994. *Resumos expandidos*, Recife, UFPE, p. 59-60.
- Neumann, V.H.; Medeiros, C.; Parente, L.; Neumann-Leitao, S. & Koenig, M.L. 1998. Hydrodynamism, Sedimentology, Geomorphology and Plankton Changes at Suape Area (Pernambuco - Brazil) after a Port Complex Implantation. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 70(2): 313-323.
- Neumann-Leitão, S.; Koenig, M.L.; Macedo, S.J.; Medeiros, C.; Muniz, K. & Feitosa, F.A.N. 1999. Plankton disturbance at Suape estuarine area- Pernambuco-Brazil after a Port Complex im- plantation. In: SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE ON ECOSYSTEMS AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT, 34, Grécia, 1999. *Resumos expandidos*, Grécia, p. 47-56.
- Nurdin, N.; Gustiantini, L.; Marina, S.; Yosi, M. 2014. Analyses of foraminifers microfauna as environmental bioindicators in Kotok Besar, Kotok Kecil and Karang Bongkok Islands, Kepulauan Seribu, DKI Jakarta Province. *Bulletin of the Marine Geology*, 29(1): 21-28.
- Oliveira, T. S.; Barcellos, R. L.; Schettini, C. A. F. & Camargo, P.B. 2014. Processo sedimentar

- atual e distribuição da matéria orgânica em um complexo estuarino tropical, Recife, PE, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 14(3): 399-411.
- Pereira, E.R.; Eichler, P.P.B. & Eichler, B.B. 2006. Foraminifera as proxies in environmental diagnostic in Guanabara Bay, RJ. *Journal of Coastal Research*, 39: 1395 – 1398.
- Santos, L. D. & Barcellos, R. L. 2017. *Sedimentação Atual Do Estuário Do Rio Formoso (PE, Brasil)*. 1.ed. Saarbrücken, Alemanha, Novas Edições Acadêmicas. 96 p.
- Schmiedl, G.; Hemleben, C.; Keller, J. & Segl, M. 1998. Impact of climatic changes on the benthic foraminiferal fauna in the Ionian Sea during the last 330,000 years. *Paleoceanography*, 13: 447–458.
- Shepard, F.P. 1954. Nomenclature Based on Sand-Silt-Clay Ratios. *Journal of Sedimentary Petrology Research*, 24(3):151-158.
- Semensatto-Jr, D.L.& Dias-Brito, D. 2004. Análise ambiental de uma área parálica no delta do rio São Francisco, Sergipe-Brasil, com base na sinecologia de foraminíferos e tecamebas (protista). *Revista Brasileira de Paleontologia*, 7(1): 53-66.
- Suguio, K. 1973. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo, Editora Blucher. 317 p.
- Teodoro, A.C.; Duleba, W. & Lamparelli, C. 2009. Associações de foraminíferos e composição textural da região próxima ao emissário submarino de esgotos domésticos de Cigarras, Canal de São Sebastião, SP, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 36(1): 79-94.
- Teodoro, A.C.; Duleba, W. & Gubitoso, S. 2011. Estudo Multidisciplinar (Geoquímica e Associações de Foraminíferos) para Caracterizar e Avaliar Intervenções Antrópicas na Baía do Araçá, Canal de São Sebastião, SP. *Geologia USP*, 11(1): 113-136.
- Ungemach, H. 1960. *Sediment chemismus und seine Beziehung zum Stoffhaushalt in 40 europäischen Seen*. Germany, Universitat Kiel. 420 p.
- Vandenberg, C.M.G. & Rebello, A.L. 1986. Organic-copper interactions in Guanabara Bay, Brazil - an electrochemical study of copper complexation by dissolved organic material in a tropical bay. *Science of the Total Environment*, 58(1-2):37-45.
- Vieira, F.S. 2004. Padrões de distribuição de foraminíferos bentônicos na plataforma externa e talude superior das bacias de Campos e Santos, área de abrangência do Estado do Rio de Janeiro. Programa de pós-graduação em oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Dissertação de mestrado, 68 p.
- Vilela, C.G.; Baptista Neto, J.A.; Mendonça Filho, J.G.; Sanjinés, A.E.S.; Batista, D.S. &

Barbosa, C.F. 2002. Benthic foraminifera occurrence in subenvironments on Guanabara Bay, Rio de Janeiro, southeast Brasil. In: FORAMS 2002 INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON FORAMINIFERA, Perth, 2002.

Resumos, Perth. 70 p.

Vilela, C.G.; Sanjinés, A.E.S.; Ghiselli Jr., R.O.; Mendonça Filho, J.G.; Baptista Neto, J.A. & Barbosa, C.F. 2003. Search for bioindicators of pollution in the Guanabara Bay: integrations of ecologic patterns. *Anuário do Instituto de Geociências*, 26: 25-35.

Vilela, C.G.; Batista, D.S.; Baptista Neto, J.A. & Ghiselli Jr., R.O. 2011. Benthic foraminifera distribution in a tourist lagoon in Rio de Janeiro, Brazil: a response to anthropogenic impacts. *Marine Pollution Bulletin*, 62(10): 2055-2074.

Yamashita, C.; Sousa, S.H.M.; Vicente, T.M.; Martins, M.V.; Nagai, R.H.; Fabrizio, F.; Godoi, S. S.; Napolitano, D.; Burone, L.; Carreira, R.; Figueira, R.C.L., Taniguchi, N.K.; Rezende, C.E. & Koutsoukos, E.A.M. 2018. Environmental controls on the distribution of living (stained) benthic foraminifera on the continental slope in the Campos Basin area (SW Atlantic). *Journal of Marine Systems*, 181: 37-52.

.6 ARTIGO 2

Submetido ao periódico *Journal of Foraminiferal Research*.

O artigo se encontra na formatação exigida pela revista.

**Benthic Foraminifera of Tropical Estuarine-Lagoonal-Bays System, in the Suape
Harbour, Brazil: A Case Study**

Taiana Regina Silva de Oliveira¹, Luciana Dantas dos Santos², Patrícia Pinheiro Beck
Eichler³, Roberto Lima Barcellos⁴

tayeee@gmail.com, santos.luciana27@yahoo.com.br, patriciaeichler@gmail.com,
roberto.barcellos@ufpe.br

^{1,2,4}Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco

³Laboratório de Geologia Marinha e monitoramento ambiental da Universidade Federal do Rio
Grande do Norte (GGEMMA/UFRN).

ABSTRACT

The Suape Industrial Port Complex is one of the main Brazilian public ports that has caused several geomorphological changes in Ipojuca and Suape estuarine-lagoonal-bays since its construction. The present study deals with the first status on the Suape port ecosystem, recorded from 41 sediment samples throughout the Massangana/Tatuoca and Ipojuca/Merepe estuarine systems. Higher diversity values are found in the bays decreasing towards the inner parts. The dominance of *Ammonia tepida* in the inner portions of the bays is indicative of environmental instability and pollution of coastal waters. *Eggerella* spp., unusual in Brazilian fauna, was present only in the innermost portion of the Tatuoca estuary, in the dredged channel, where heavy metal impacts have been reported. *Amphistegina gibbosa*, *Triloculina oblonga*, and *Quinqueloculina lamarckiana* are represented on the outside of the bays and are indicative of high hydrodynamic marine environments. The Ipojuca and Merepe rivers presented the best ecological index, possibly attributed to the marine and terrestrial/mangrove influence of the region. In this study, it was possible to infer that the geomorphological transformation caused in the Suape Port installation established environments with distinct characteristics, mainly in the Suape Bay dredged area, indicative of possible eutrophication of the environment. The new data may be useful for determining environmental conditions and establishing new ways to monitor the consequences of anthropogenic interference and dredging in the Massangana/Tatuoca and Ipojuca/Merepe estuarine systems.

Keywords: Benthic foraminifera; Estuary; Sediments; Port; Beachrocks; Dredging.

1 Introduction

The problems arising from water pollution in coastal areas close to urban and industrial centers in Brazil are rapidly worsening. This causes concern for government, environmental protection agencies, and universities involved in pollutant detection and monitoring plans. Environmental monitoring makes it possible to minimize the impact of commercial enterprise in coastal areas, so considering a simple management plan is worth, while for the use of a biological marker capable of synthesizing the characteristics of the environment (Pinilla-Cortés & Moreno-Gutiérrez, 2019).

Benthic foraminifera associations controlled by environmental characteristics, such as pollution and salinity, so that different genera characterize different sub-environments (Brasier, 1980; Murray, 1991, 2006).

Changes in the abundance of associations, diversity and variation in the forehead morphology of these organisms provide evidence for change in ecological parameters (Buzas et al., 2003; Pati & Patra, 2012; Nagendra et al., 2015; Sreenivasulu et al., 2017). Therefore, alterations of foraminifera assemblages are sensitive environmental markers in places that suffer natural or anthropogenic environmental interference.

1.1 Study Area

The Suape Bay and Ipojuca Bay (8°22'S / 34°55'W) is located 40 km southward from Recife (PE), adjacent to tropical estuarine systems. These bays were separated by the construction of The Suape Port Complex. The region encompasses activities such as PET (polyethylene terephthalate) production, gas transportation and fuel distribution (Lemos Junior et al., 2014). The implementation of the Port Complex has led to transformations related to reef collapse, embankment over the reef line, mangrove destruction, large vessel traffic and dredging processes (Fernandes, 2000; Suape, 2019).

The hydrography of the study area consists of two categories of rivers: the coastal - Massangana, Tatuoca and Merepe (which are part of the Small Coastal River Basins); and a transitorane river, the Ipojuca (which is part of the basin of the same name). The first originates coastal zone, being generally perennial. The second is born in Agreste Pernambucano where it has a temporary regime, becoming perennial when entering the Zona da Mata (PERNAMBUCO, 1998).

The hydrographic basin of the Ipojuca River has an elongated west-east conformation and is the great water channel between the metropolitan region of Recife and the Sertão region of the state. The Ipojuca River is the main river of the Basin and has a course of 323.9 km, about 320 km long. According to CONDEPE/FIDEM (2005), its estuary has undergone changes as a result of the installation of the Suape Port Industrial Complex and, more recently, of TERMOPERNAMBUCO, being considered the third most polluted river in Brazil (Flávio, 2017). The Merepe River is about 18 km long and flows into the Ipojuca River south of Suape Port. The Tatuoca River presents about 6 km from the source to the mouth and is considered, actually, as an inland portion of the sea (CPRH, 2001), with narrow and shallow channel, and low flow (Gouveia, 2010). The Massangana River serves as a boundary between the municipalities of Cabo de Santo Agostinho and Ipojuca, forming almost its whole length, part of a complex network of canals and drowned estuary (CPRH, 2001).

The Suape estuary complex, which was originally continuous and with a free connection to the ocean adjacent to the Santo Agostinho Cape, was partially grounded and sectioned into 3 separate portions: (1) Suape Bay/Massangana River Estuary, (2) Tatuoca River Estuary (the internal Port channel) and (3) Ipojuca/Merepe River Estuary (Figure 1); presenting at present

two artificial mouths, the result of openings in the outer reef line by dynamiting the beach rocks that naturally protected the original estuarine system (Barcellos & Santos, 2018).

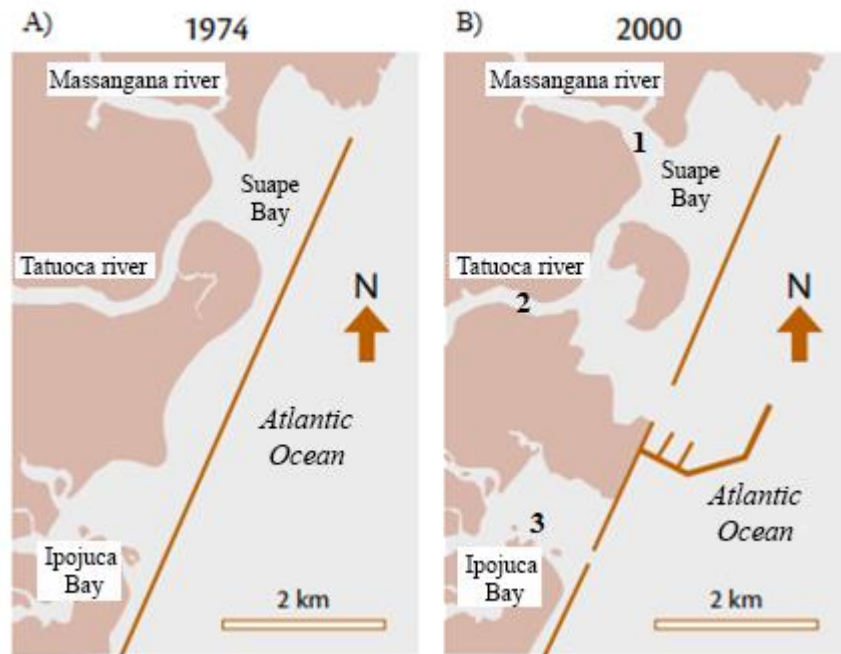


Fig. 1. Map of the Suape estuarine-lagoon system before (1974) and after the construction of Suape Port Industrial Complex (modified from Barcellos & Santos, 2018).

The construction of jetties and break waters for the mooring of ships in the Port Complex and the port embankment itself finished in 1979 caused the blockage of the Ipojuca and Merepe rivers with the ocean, causing flooding in the areas used by the sugarcane agribusiness, especially between 1979 and 1983 (CONDEPE, 1983). To minimize this impact, an opening was made in the reef itself, near the mouth of the Ipojuca River, to allow sea penetration (Figure 1). And generated a delay of more than two hours in the dynamic tide (Koenig et al., 2002).

The region has a flat relief and undulating areas, having as its original vegetation the Atlantic Forest, which was replaced by sugarcane monoculture in most of the area, prior to the implementation of the industrial-port complex at the site. Mangroves, sandy beaches, reefs, algae and macroalgae banks, among others, are found in the vicinity of Suape Harbor (SUAPE, 2015).

A research program about environmental impacts was developed to prevent environmental damage over the area. This program began with an environmental impact study prior to the implementation of the Port in 1977 (Koenig et al., 2002). The results of these

studies were published in Melo Filho (1977), CONDEPE (1983), Eskinazi-Leça & Koenig (1985/1986), Neumann-Leitão (1986) and others. All these studies, summarized in Barcellos & Santos (2018), contributed to the knowledge of the ecological conditions of the environment, however, there are few studies related to the impacts caused in the community of benthic organisms in the region (Oliveira et al., 2019).

Thus, due to the modifications to the Suape Industrial Port Complex, this work aims to make the first environmental characterization of Suape and Ipojuca estuarine-lagoonal-bays based on the quantitative and qualitative analysis of benthic foraminifera biofacies.

2 Methods

A total of 41 superficial sediment samples were collected during GeoSubs VII and VIII cruises on September/2016 by using a Van Veen grab sampler. The location of sampling sites (Fig. 1, Table 1) was determined by Garmin Etrex 20 (GPS). The samples were studied as follows: 17 inside the Massangana, Tatuoca estuaries and Suape Bay, and 24 in estuary and Ipojuca bay, Merepe and Muro Alto lagoons (Figure 2, Appendix A). A depth gauge (Sumergible PS-7) was used to measure depth.

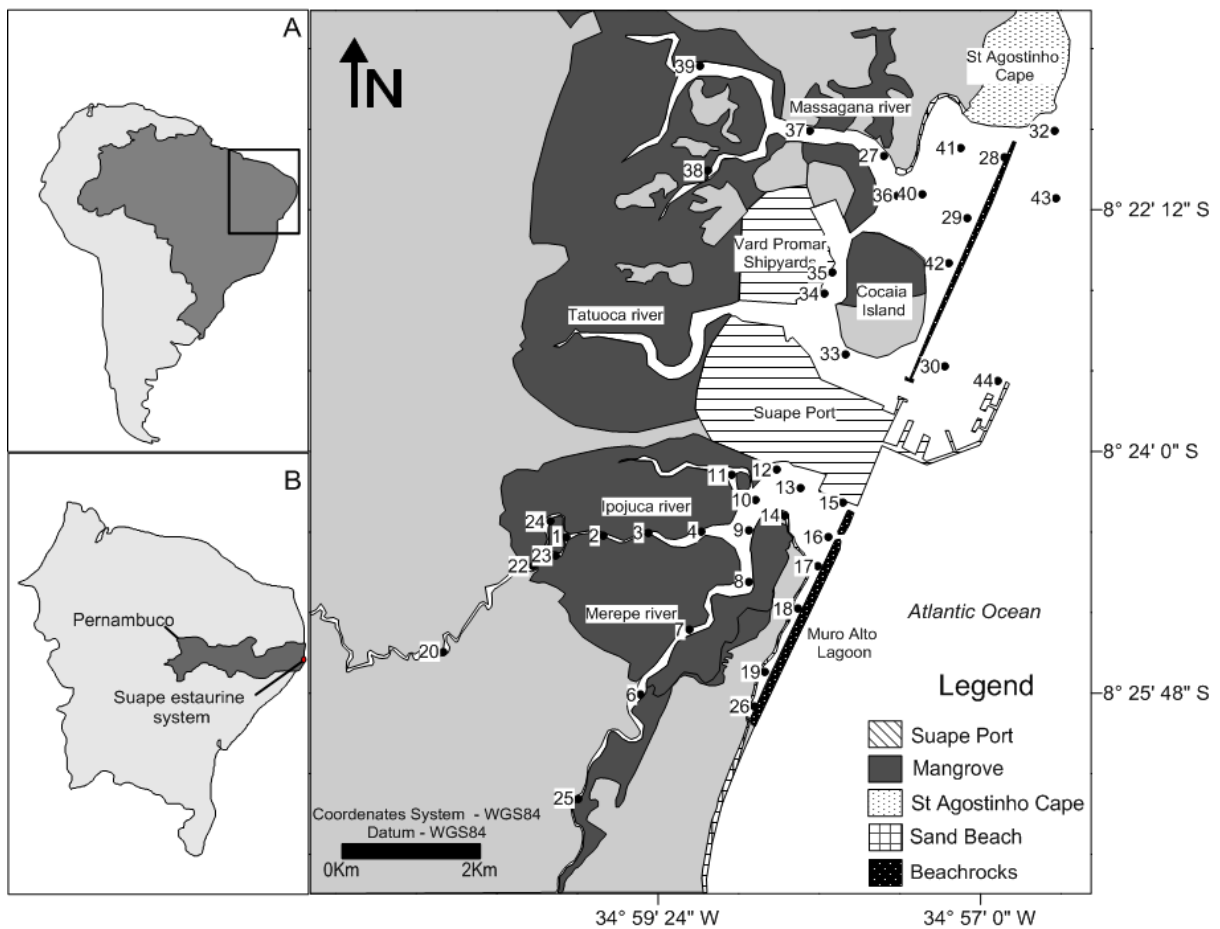


Fig. 2. Study area and location of sampling stations

2.1 Laboratory Analysis

The samples were standardized at 10 cm³, and the treatment for the microfaunal studies consisted of washing, wet sieving with a 0.062, 0.125 and 0.250 mm mesh sieve and drying in an oven at 50° C. The 0.062 mm fractions were examined under a binocular microscope and a minimum count of 100 specimens of benthic foraminifera for each sample was observed analysis (Fatela & Taborba, 2002). If they were not visualized in 0.062-mm-mesh, the 0.125mm and 0.250mm sieve sediments would be used (Appendix A). All foraminifera were counted in each sample, and the data set is based on living and dead specimens. All the fractions were examined under a stereo binocular microscope for foraminifer tests. Benthic foraminifera were classified at species level and quantitative analyses included total abundance and relative abundance (RA).

The faunal species were identified following the taxonomic classification of Loeblich & Tappan (1988), Ellis & Messina (1940) e Boltovskoy et al. (1980), Foraminifera and gallery-illustrated catalog (www.foraminifera.eu), World Modern Foraminifera Database (www.marinespecies.org/foraminifera/). All statistical analyses were performed on foraminiferal relative abundance data. The species exceeded 5% was considered main and $\geq 10\%$ were dominants (Boltovskoy & Totah, 1985). The similarity between samples in terms of their foraminifera was calculated using the Bray-Curtis Index, following root-root transformation of the abundance data. Due to the outliers of ST2 and ST10 stations, these stations were excluded from multivariate methods.

The frequency of occurrence, the species were grouped into the following categories (Dajoz, 1983): constant (present in more than 50% of the samples); accessory (present between 25% and 50% of the samples) and accidental (present in less than 25% of the samples). Dominance, wealth rate and Shannon ecological indices (H') and equitability (J') ecological parameters were calculated using Past software on samples with more than 40 specimens. Selected environmental data and relative abundances of the most common species were used to generate distribution maps with contours using GIS.

3. Results and Discussion

3.1 Foraminiferal assemblage structure

The total assembly consisted of 2299 specimens represented by 57 genera, mainly from Rotaliida and Miliolida orders (Table 1/Appendix b), compounded by planktonic foraminifera (0.34%) and undetermined foraminifera (14.0%).

Table 1 Foraminiferal distribution with higher abundance orders: Rotaliida (Rot.), Miliolida (Mil.), Textulariida (Text.) Spirillinida (Spir.), Lituolida (Lit.); absolute abundance, species richness (S), Shannon diversity indices (H') and Equitability (J') of Suape and Ipojuca bays.

Bays	Rot. %	Mil. %	Text.%	Spir. %	Lit. %	Abundance	Taxa/ richness (S)	Shannon (%)	Equitability %
ST1	-	-	-	-	-	0	-	-	-
ST2	-	50	-	-	-	4	-	-	-

ST3	-	-	-	-	-	0	-	-	-
ST4	62	8	0	0	2	45	15	2.25	0.83
ST6	66	12	0	2	2	42	19	2.59	0.88
ST7	78	0	0	2	2	106	21	1.85	0.61
ST8	38	44	0	5	0	91	30	2.95	0.87
ST9	52	21	2	3	1	106	30	2.87	0.84
ST10	-	100	-	-	-	2	-	-	-
ST11	72	13	1	0	0	106	27	2.64	0.80
ST12	61	24	2	2	2	100	31	2.69	0.78
ST13	62	19	0	3	0	91	27	2.85	0.87
ST14	45	41	2	1	1	100	38	3.29	0.91
ST15	31	51	0	0	0	105	22	2.32	0.75
ST16	52	32	0	1	0	99	29	2.90	0.86
ST17	48	31	9	1	0	100	31	3.11	0.91
ST18	27	35	9	0	0	97	24	2.51	0.79
ST19	25	47	1	0	0	101	22	2.69	0.87
ST20	-	-	-	-	-	0	-	-	-
ST22	-	-	-	-	-	0	-	-	-
ST23	-	-	-	-	-	0	-	-	-
ST24	-	-	-	-	-	0	-	-	-
ST25	-	-	-	-	-	0	-	-	-
ST26	33	52	4	0	0	98	23	2.48	0.79
ST27	-	-	-	-	-	0	-	-	-
ST28	37	37	1	0	1	89	19	2.38	0.81
ST29	33	37	3	0	0	76	18	2.31	0.80
ST30	-	-	-	-	-	0	-	-	-
ST32	1	98	1	0	0	104	5	0.81	0.50
ST33	35	24	32	2	0	82	20	2.33	0.78
ST34	76	4	15	1	0	116	21	2.23	0.73
ST35	31	16	9	0	3	70	18	2.39	0.83
ST36	69	11	0	0	1	72	14	1.93	0.73
ST37	-	-	-	-	-	0	-	-	-
ST38	42	0	0	14	0	7	-	-	-
ST39	0	0	0	0	0	2	-	-	-
ST40	-	-	-	-	-	0	-	-	-
ST41	15	62	0	0	0	13	-	-	-
ST42	35	39	5	0	0	96	21	2.52	0.83
ST43	36	35	5	2	1	80	22	2.58	0.84
ST44	33	40	1	7	0	96	29	2.89	0.86

The stations at the upper and the middle estuary of the Ipojuca/Merepe and Massangana/Tatuoca rivers were at the majority sterile of foraminifera or with low

foraminiferous abundance. The ST10 (Ipojuca Bay) was also barren and the ST40 (Suape Bay) with low abundance of foraminifera. This fact suggest a strong hydrodynamic currents at the lower estuary and mouth of Massangana river as observed by (Silva, 2019), corroborated by the coarse sandy sediments observed in this area (Barcellos et al., 2018); or, the smaller grains can be transported by the tidal currents and the river discharge stream.

Four taxa were more abundant in these two bays, mainly composed by hyaline tests and typical of mixed and brackish environments, such as *Ammonia* (Scott & Medioli, 1980). The constant species were *Ammonia parkinsoniana*, *Ammonia tepida*, *Amphistegina gibbosa*, *Discorbis* spp., *Elphidium* spp., *Pseudononion japonicum*, *Quinqueloculina lamarckiana*, *Q. seminula*, *Triloculina oblonga*.

The high abundance of opportunistic species is possibly due to land use throughout the basin that is intended for sugarcane cultivated areas, polycultures and livestock farming. This factor enables the nitrogen input to the estuarine region, causing a very high daily polluting organic load in the environment (CONDEPE, 1983). This can lead to the greater establishment of species that resist large sewage discharges. The genus *Ammonia* has an abundance that can also be justified by the relative mixohaline water of the Ipojuca, Merepe, Massangana and Tatuoca estuaries, as well as the presence of *Thermo-PE* (thermoelectric) and dredging in Tatuoca estuary (internal Port area) (ST33, ST34, ST35, ST36), causing an environmental stress that reflects in the presence of the association *Ammonia tepida* and *Eggerella* spp. (Figure 3).

Few studies report the distribution of *Eggerella* spp. in Brasil. Yamashita (2011) observed the presence of *Eggerella* in Campos Basin and Mello (2016) reported the presence of *Eggerella* during the late Maastrichtian to Eocene in the Brazilian marginal basins. The absolute abundance of *Ammonia* was observed mainly in the most coastal regions and in the inner portions of the bays. Stations close to the beachrocks and located on the inner shelf mostly exhibit low abundance or absence of this genre (Table 1/figure 3). Due possibly to the marine influence of beachrocks opening and wave dynamics in these stations. *A. tepida* is common in port areas such as the Klang Port, Malaysia (Chandran et al., 2015). This species is favored by the absence of competitors in hypo/hypersaline environments because it is more tolerant and adapted to larger environmental variations (Yanko et al., 1999), where sensitive species have tendency to decrease in density or even disappear (Murray, 1991).

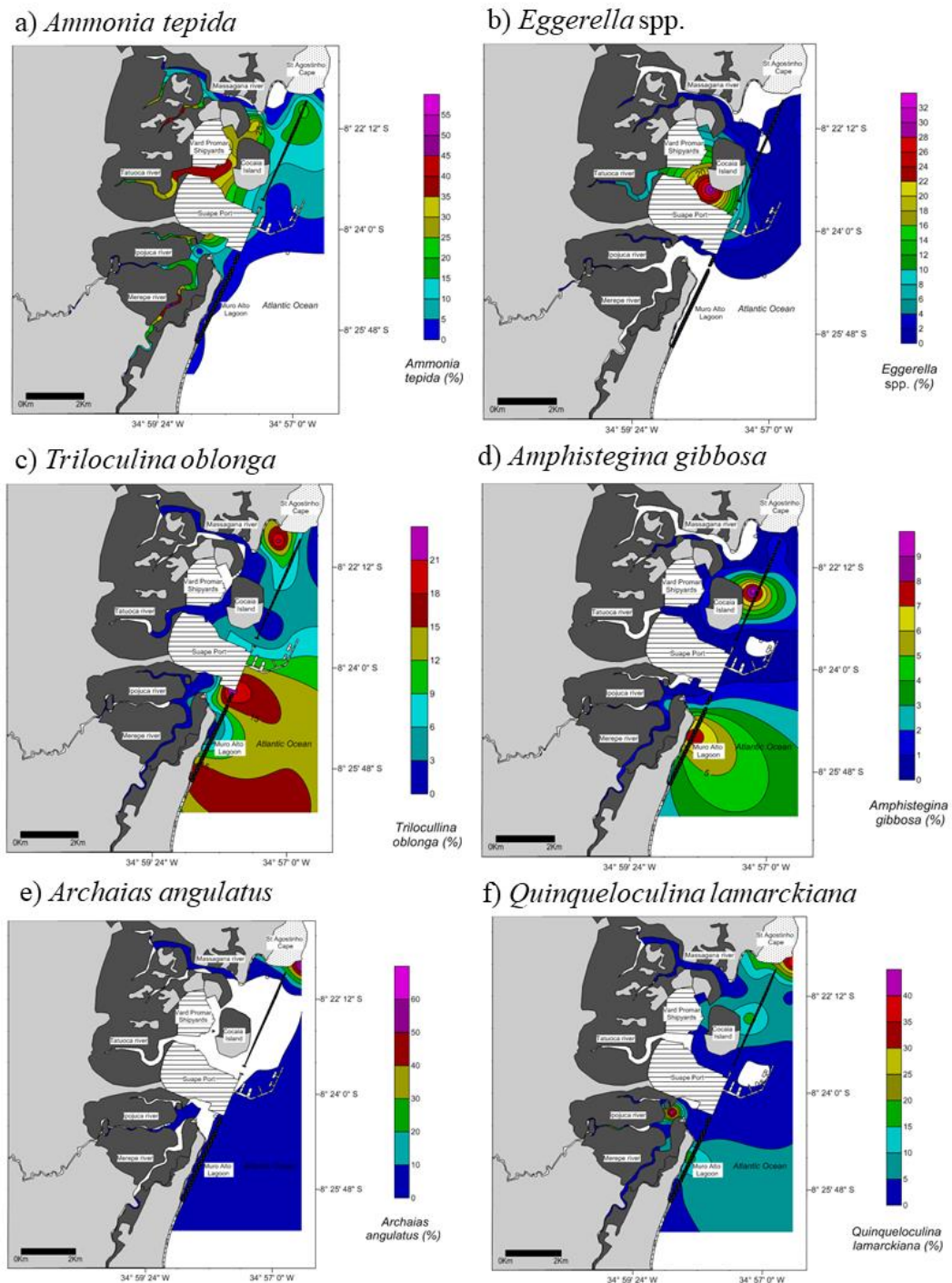


Figure 3. Relative abundances (%) of a) *Ammonia tepida*, b) *Eggerella* spp., c) *Triloculina oblonga*, d) *Amphistegina gibbosa*, e) *Archaia angulatus*, f) *Quinqueloculina lamarckiana* in the samples collected from Suape coastal estuarine complex.

The diversity index ranged from 0.81 to 3.29, with the highest values at Ipojuca Bay (ST14, ST17) (Table 1). Species diversity and richness are high in the most of the stations (Table 1) compared to other regions with similar characteristics, such as in the Campos Basin (Mello e Sousa et al., 2006) and in the São Sebastião Channel (Eichler et al., 2020). The diversity had a significant increase of this variable in the autumn and winter seasons in São Sebastião Channel. The high indexes of diversity can be related mainly to seasonality (Winter) in the region of Ipojuca and Merepe rivers. Additionally, these values possibly are derived from the different influences that the bays present, with the presence of marine species, mixohalines and typical of areas with influence of mangroves, mainly in the estuarine complex in Suape. Although located in the lower Merepe estuary, an extensive mangrove coastal river (CPRH, op cit.), ST 8 showed high diversity, which is justified by the environment intensely colonized by microorganisms that create microhabitats with biological, chemical and different physiological conditions. These skills make mangroves regions with greater metabolic diversity, which may be determinant for the richness of the area, contributing to a habitat with different foraminiferal species (Meyer-Reil & Koster, 2000).

On the inner shelf of Suape Bay, between Cocaia island and the outer beachrocks higher ecological index (>1.93) is all over, except for station 40 which has no foraminifera. Higher ecological index is possibly due to the marine influence caused by the opening of the Tatuoca estuary beachrocks, which allows the dispersion of contaminants from the internal port area toward the coastline, even in more internal portions such as the Tatuoca estuary. Foraminifera assemblages showed an increase in species diversity towards the inner shelf in Albufeiral Lagoon (Portugal) (Alday et al., 2013), but *A. tepida* is the dominant species in all areas. The same pattern possibly occurs in the Massangana, Tatuoca and Suape Bay stations, with the highest diversity values in the outermost stations, on the inner shelf, and the lowest values in regions near the Massangana and Tatuoca mouths, except for the ST32 (Santo Agostinho Cape).

The ST7 and ST8 recorded the lowest values of ecological indexes. While the ST7 presents the highest abundance of *A. tepida* (53% AR) between stations, and thus the lowest level of equitability (Table 1). Due possibly to the confinement of the area, indicated by the higher contents of sedimentary organic matter (Debenay, 1990), directly associated to the higher depths observed for the dredged channel ($> 16\text{m}$). The station 7 is located at the Merepe River middle estuary that possibly presents a greater influx of river/runoff waters, containing

species resistant to great environmental instability and salinity variability. In fact, Miranda (2019) observed large fluctuations in oxygen and chlorophyll content, as well as eutrophication processes in a seasonal study of phytoplankton in the Merepe River estuary.

The ST32 presents the association of *Archaias angulatus* (60% AR) and *Quinqueloculina lamarckiana* (38% AR) (Appendix C), a species predominantly found from intertidal zone to the limit of the euphotic zone, and typical of high energy carbonate sedimentation environments (Araújo & Machado, 2005). This dominance is possibly due to the station's high hydrodynamics, located 17m deep on the inner shelf adjacent to Santo Agostinho Cape, allowing the preservation of larger and more resistant carbonate tests only. Another possibility is that the shells can be transported and concentrated because of their size and weight.

The Cluster analysis (Bray-Curtis similarity method) showed 12 biofacies (Fig. 4). It is possible to observe that most biofacies were grouped by characteristics of the assemblages due to geographical proximity, thus possibly forming environments distinct from the original construction of the Port of Suape. Although there are some stations that has similar characteristics even in different locations. The associations are formed by species typically found in tropical regions such as *Quinqueloculina lamarckiana*, *Archaias angulatus* and

Amphistegina gibbosa.

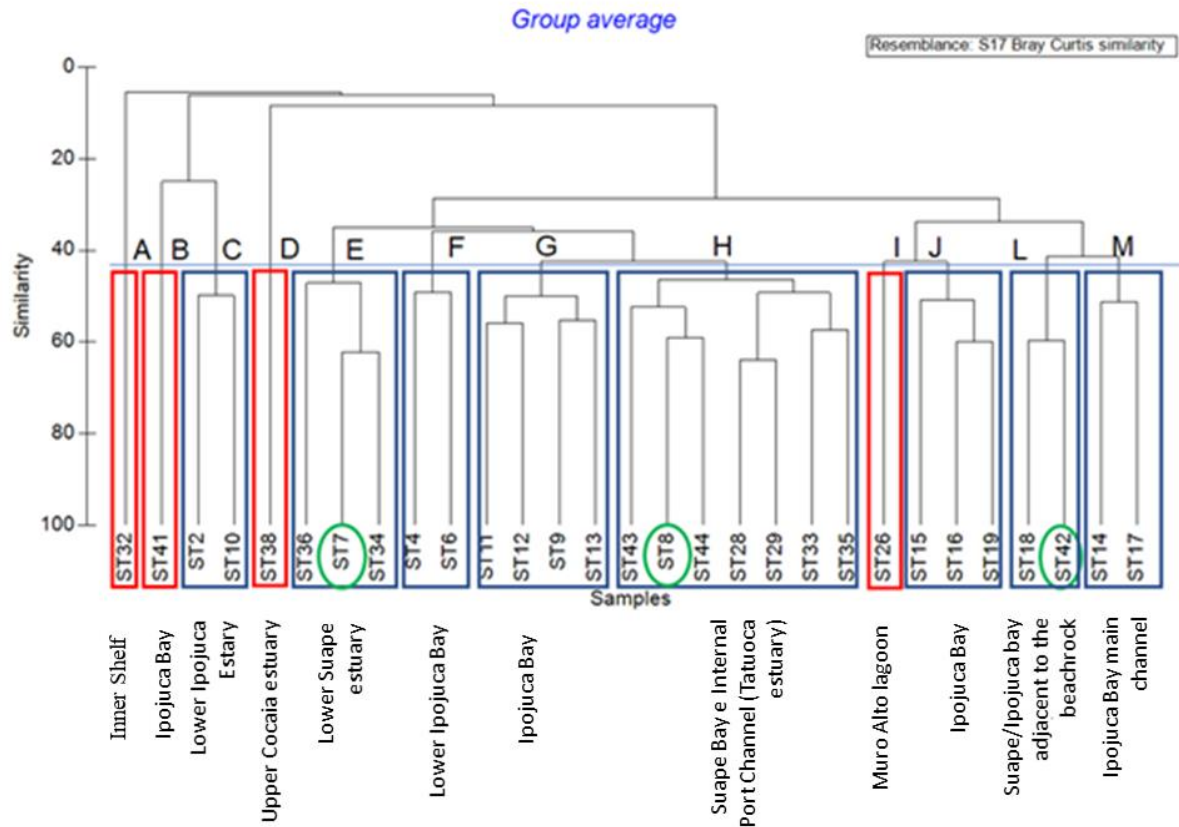


Figure 4. Cluster analysis showing separation of foraminiferal assemblages grouped by geographical approximation. The horizontal dashed line represents the significance cut off.

The biofacies A is located on the inner shelf near the Santo Agostinho Cape. The original mouth of the lagoon (17 m) has low diversity index and dominance of *Archaias angulatus* and *Quinqueloculina lamarckiana*, a fact that reflects the low ecological indexes (see Table 1). This station is isolated and demonstrates a high energy environment due to coarser sediment particle size (> 250 μ m), indicating high hydrodynamic energy, which is associated with sediments with resistant porcelaneous shells of foraminifera. According to Eichler et al. (2012) low foraminiferal diversity may be partly related to station locations in the surf zone at sites around the Mar Grosso Beach (Brazil) where the hydrodynamics hinders benthic foraminiferal colonization. The sand accumulation and absence of fine sediments in this sector severely reduced the food supply, and thus also impeded the development of a foraminiferal community. In this way, the low foraminiferal diversity may related reflect the sandy feature (Oliveira et al., 2019) of the station ST32 at inner shelf around the Suape Bay.

Vilela (2008) has found the biofacies A (*Quinqueloculina/Amphistegina/Archaias*) is found on the Brazilian Continental Margin. They are associated to high concentration of calcium carbonate that reflected by the presence of large foraminifers such as *Amphistegina* and *Archaias* (Oliveira-Silva, 2012). The assemblage was also reported in the Complex of Abrolhos (Oliveira-Silva, 2012) and in Fernando de Noronha Archipelago (Levy et al., 1995). The *Archaias* genus is typical of carbonate sediments deposited in varied environments across the Tropical West Atlantic (Martin, 1986), and is associated with regions 26°C (Weinmann et al., 2013), and with reef environments off the coast of Brazil (Araújo et al., 2011; Mirante et al., 2013). The genus *Quinqueloculina* is widely distributed in marine environments (Sanches et al., 1995), therefore the inner shelf (ST32) with marine influence such as stations near beachrocks is a suitable habitat for that species. This genus is present in high hydrodynamics mixohaline environments (Zaninetti, 1979) due to the resistance of its porcelaneous test (Gualancañay, 2007). This are attributed to high hydrodynamics associated with the effects of dredging in the region, which affords only preservation of larger porcelaneous tests.

The ST41 (biofacies B) is composed of only 13 specimens which may be associated with moderate to high hydrodynamics, indicated by its sandy and lithogenic characteristics of Suape Bay (Barcellos et al., 2018). The high hydrodynamics may be related to the the absence of foraminifera in the station ST40, which is located in its central portion.

The Biofacies C, composed of ST2 and ST10 stations located at lower Ipojuca estuary, has low foraminifera abundance, 4 and 2, possibly due to the flow of the Ipojuca River, characterizing a low salinity environment with greater rainfall/fluvial influence.

The station ST38 is isolated (biofacies D) due to the low abundance of foraminifera, being a station with great terrigenous influence, because it is located on the upper estuary of the Massangana River at Cocaia sector, which justifies the low quantity of these organisms. The low abundance of foraminifera suggests a biofacies with low salinity characteristics and confinement conditions (Debenay, 1990).

Biofacies E is characterized by an association representing mainly Tatuoca/ Massangana lower estuaries, except for the ST7 station of the middle Merepe estuary. *Ammonia tepida* and *Haynesina germanica*, are typical of transitional environments and commonly occupy coastal regions where salinity values are no less than 25.8‰ (Ruiz et al., 2005), justifying their dominance in the Suape Port inner channel region, site that suffers successive dredging and that

may be more influenced by marine waters due to changes in the bottom morphology due to the implementation of Suape Port Complex. The distribution of the species *H. germanica* near the Tatuoca River (ST34), facing the effluent of the Vard Promar Shipyard, and in the inner portion of Suape Bay (ST36), near to the Massangana River, corroborates the study of Armynot Du Châtelet et al. (2011). It was observed in the Port of Boulogne-sur-Mer, in France, the dominance of the species in the stations inside the port. *H. germanica* correlates with saline environments (Calvo-Marcilese & Langer, 2010), suggesting that the innermost portions of Suape Bay have high salinity. However, the species is also related to high levels of pollution (Romano et al., 2008), being tolerant to heavy metals (HPA) (Stubbles, 1993; Stubbles et al., 1996) and polycyclic aromatic hydrocarbons (Armynot du Châtelet et al., 2004).

The stations with *Ammonia tepida* and *Elphidium* spp dominance present biofacies with foraminifera associations of transitional environments, typical of estuarine environments, generating the biofacies F. Samples located in the innermost portions of the Merepe estuary and at the mouth of the Ipojuca River suffer influences from a constant sewage discharge (Flávio, 2017). The group has low specimen abundance showing environmental characteristics with estuarine conditions; however, stations have high diversity, possibly due to the influence of mangroves present in the region. This fact was also observed by Funo (2008) for the Mapari River Estuary (Maranhão - Brazil), which the association with *A. tepida* presented higher diversity index. This species is generally restricted to external mangroves (Zaninetti et al., 1977, 1979), and typical of mangrove fringes, associated with genus *Elphidium* in Sepitiba Bay, Rio de Janeiro (Bronniman et al., 1981).

The biofacies G represents the samples of the inner portion of the Ipojuca Bay, a region with typical marine environment species, justified by the presence of species such as *Discorbis* and *Q. seminula*. This increase in marine influence in the bay may be due to the influx of tides through the artificial inlet after the breakdown of the local beachrocks (Koenig et al., 2002).

The *A. tepida*, *Eggerella* spp., *Quinqueloculina semilunum* species compounds the biofacies H, with the exception of stations ST33 and ST35 which presents the association of species *A. tepida* and *Eggerella* spp.. The biofacies H has marine characteristics, consisting mostly of the orders Rotaliida and Milioliida, such as *Discorbis* spp., *Quinqueloculina lamarckiana*, *Q. seminula* and *Triloculina oblonga*. Milliolides are favored by highly lit environments such as hypersaline lagoons and abundant in warm, shallow and alkaline waters

(Barbieri et al., 2006). The use of larger mesh screens (Appendix A) characterizes coarse-grained sand-like sediment, which is associated with more resistant tests, indicating a region with high hydrodynamics by Pejrup (1988) diagram.

The subgroup ST33/ST35 is represented by the dominance of hyaline foraminifera (*A. tepida*) and agglutinated foraminifera (*Eggerella* spp.), The latter being of the order Textulariida and dominant in low hydrodynamic and larger environments, depths, especially in the batial zone (Bruno & Araújo, 2012). This fact indicates low hydrodynamic energy of the area, which enables the preservation of tests. Agglutinated tests dominate at great depths where calcium carbonate (CaCO_3) dissolves or in low salinity environments such as lagoons (Armstrong & Brasier, 2005). These stations have muddy characteristics (Oliveira et al., 2019) and are located at the central lagoon and the dredged channel region, created to allow access to the inner Suape Port, with intermediate values of diversity and high dominance of opportunistic species. These characteristics deserve highlighting because of *Eggerella* spp. They are infrequent in the Brazilian fauna and are present in a region with great influence of waters coming from the coast, mainly from the Massangana River, impacted by the successive dredging, besides the activities of the port and the shipyard. *Eggerella advena*, for example, is recognized as an indicator of industrial pollution (Schafer et al., 1975).

Few studies report the distribution of *Eggerella* in Brazil, mainly in estuarine system. It is possible to infer the preference of *Eggerella* spp. only in the deeper stations (subgroup ST33/ST35) of Suape Bay, being present only in the stations (>12m) inside the Suape Bay. Yamashita et al. (2016) noted that the abundance of agglutinated foraminifera increased in the deeper (>765m) stations off São Sebastião Island (Brazil), including for instance *Eggerella bradyi*. Tsujimoto et al. (2006) state that the genus is associated with the eutrophication of environments, together with the *A. tepida* species, dominating the inner portion of Osaka Bay (Japan) for years until the implementation of soothing environmental measures that restricted the discharge of waste water. Smart & Gooday (2006) denote the association *Eggerella advena* and *Ammonia beccari* to shallow to deep environments with high organic gradients, as well as brackish saltwater lagoons (26-32 psu) (Murray, 1991). Oliveira et al. (2019) observed a higher level of organic matter in Suape Bay in these stations (ST33, ST34), being possible to correlate the preference of *Eggerella* spp. in the deeper stations with high levels of organic matter.

Biofacies I (ST26), located in Muro Alto lagoon, has dominance of miliolids, such as

Quinqueloculina spp. and *Triloculina oblonga* (Figure 3), these species being common in the Pernambuco continental shelf (Tinoco, 1858). Despite the presence of beachrocks, the region has a channel that allows the beachrocks to be connected to the Muro Alto lagoon, leading the region to present a lagoonal body with essentially marine characteristics. Reflecting these characteristics, the station is isolated from the others, with vast majority of typical marine high hydrodynamic environment species.

Represented by a typical fauna of an Ipojuca Bay sub-environment, the stations of this biofacies (J) are represented by *Ammonia parkinsoniana* and, for the most part, by miliolids such as *Massilina pernambucensis*, *Triloculina oblonga*. The biofacies J are distinguished from the others due to the abundance of *M. pernambucensis*, which demonstrates association with influences of the shelf waters and even the continental slope (Machado et al., 2012).

Located internally, adjacent to the beachrocks line, the biofacies L features both sampling stations with high abundance of the *Quinqueloculina lamarckiana* species. Although present in different environments (Ipojuca and Suape bays), they are located similarly in relation to the beachrocks. This analogous location allows to observe that the original conditions of the systems are the same in Suape bay/Ipojuca Bay, even after the modifications for implantation of the Portuary complex. The assemblage allows to observe the marine characteristic of the bays due to the influence of coral and sandstone reefs with typical species of marine environments. As well as, it is similarly found in portions of the system where wash over occurs by wave action in each high tide cycle. These same conditions are similar from the original system as they reflect in one of the few stations with possible conditions prior to the implementation of the Industrial Complex that had shared the system in two parts since 1978.

The biofacies M is represented by the highest ecological indexes and demonstrate the marine species increment in this region. The associations present in these biofacies reflect the marine influence in the stations due to the presence of miliolids such as *Q. lamarckiana*, *Q. seminula*. As well as the presence of species typical of coral environments such as *A. gibbosa*. The marine characteristic of this stations is also reinforced by the presence of shelf species (*T. oblonga*). The high relative abundance of *T. oblonga* and the absence of agglutinated species is in agreement with Murray (1973), who considers that the assemblages of hypersaline lagoons are dominated by Miliolina and to a lesser extent by Rotaliina. The dominance of miliolids in hypersaline environments is sometimes considered to be the result of a correlative increase in

the calcium and carbonate ions in the water (Debenay et al., 2001). Their abundance in the Ipojuca Bay is consistent with these opinions. This area (st17) with highest depths (> 4 m) corresponds to the main circulation channel of the Ipojuca Bay. This geomorphological feature suggests that the marine characteristics may be partly related to the opening of the reefs near these stations, linking the bay channel axis to the ocean, causing the influence of marine waters and reflecting on the high levels of the cited statistical parameters.

Laut et al. (2017) observed that the foraminiferal assemblages diversity and equitability were relatively higher in the stations of the Godineau river mouth and that the station that had an inflow through the bottom of oceanic water from Paria Gulf in the Godineau River mouth presented marine species increment. Debenay et al. (2001) reported in the literature the dominance of *Ammonia tepida*, *Triloculina oblonga* and less abundant *Criboelphidium excavatum* var. *selseyense* in a hypersaline lagoon (Aruaruma - Brazil), being similar to the assemblages usually reported from hypersaline lagoons with sandy carbonaterich sediments and from salt marshes. This pattern is similar to the Biofacies M, located at the most external stations (Ipojuca bay main channel), however the *Ammonia tepida* is less abundance than other species.

4. Conclusions

In general, samples barren of foraminifera or with low abundance of foraminifera were located near the upper and middle estuary of the Suape-Ipojuca estuarine complex, suggesting a salinity gradient and environmental quality in the outermost portions of the estuary due to the influence of marine waters.

Except for the presence of *Eggerella* spp., the distribution of species in the Suape-Ipojuca estuarine complex is as expected since they are common in the Brazilian coast. The genus *Ammonia* was constant throughout the estuarine complex, demonstrating that the whole region presents mixohaline characteristics. However, the frequency and dominance of *A. tepida* and *A. parkinsoniana* also suggests environmental stress which may be a reflection from the changes caused for the implementation of the Port Complex and sewage discharges in the local rivers, especially in the Ipojuca River, which presents larger extension and flow.

Occurrence of the dominant species *Eggerella* spp. and *Ammonia tepida* in the portion in the lower Massangana and Tatuoca estuaries, as well as in the inner Suape Bay portion, may

suggest an imbalance caused by eutrophic environment. This unusual association in the Brazilian recent microfauna, may be indicative of an invasive organism associated with successive dredging and port activities on this region. These assemblages are important when considered the influence of human activity which can induce such conditions. *Eggerella* spp. and *Ammonia tepida* probably increased at the entire area of Suape Bay after the installation of the Suape Port Industrial Complex. Possibly, as consequence of nutrient input and geomorphological modifications in the Suape Estuarine System, due to the deepening caused by the continuous dredging processes in the internal port channel area, added to the effluents discharges from the Suape Port-Industrial Complex. It possibly caused the decrease in the hydrodynamics, indicated by the higher organic matter contents in this port area.

The association *Quinqueloculina lamarckiana* and *Archaia angulatus*, macro foraminifera of dominant porcelanaceous tests in the inner shelf region near the Massangana and Tatuoca Rivers, indicate a high hydrodynamic energy environment and marine influence in the sedimentation processes of Suape Bay. As well as the higher associations' richness and diversity observed in the Ipojuca estuarine side is directly linked to the riverine influences added to the heterogeneity of the local coastal marine sub environments, and consequently the different derived sedimentary facies.

The ecological index values show better environmental quality in the bay of the Ipojuca and Merepe rivers, which may be influenced by the region's biomes, especially the extensive mangrove swamps in the Merepe River estuary. Compared to other Brazilian ports, Suape presents high values of diversity and equitability, which can be attributed to the region's biomes, such as the Atlantic Forest, mangroves, lagoons, marine waters and a chain of sandstone reefs. The lower values in the ecological indexes of the Merepe, Massangana and Suape Bay rivers can be attributed to the port influence associated with navigation and the successive dredging occurring in the area, as well as to the discharge of polycyclic aromatic hydrocarbons (HPAs) and industrial waters from the South Atlantic and Vard-Promar shipyards.

According to the distribution of species and dominance, it is possible to observe that both the Massangana and Tatuoca region, as well as the Ipojuca and Merepe estuaries have biofacies composed with estuarine, transitional and marine subenvironments characteristics, which can be visualized in multivariate analyzes. The foraminifera associations with mainly opportunists at the stations near the beachrocks and lagoon suggest that the deepening of the

dredging of the internal port dredged channel (Tatuoca estuary) might be causing higher marine influence on the Suape Bay as a whole.

Thus, due to the changes caused by the installation of the Suape Port Industrial Complex, it is possible to observe that the Suape Bay region and the Massangana and Tatuoca rivers seems to suffer negative effects on their biota due to the Port's implementation, represented mainly by the dominance opportunistic species such as *Eggerella* spp., *Ammonia tepida* and *Haynesina germanica*.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was supported by CAPES (*Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior*) and FACEPE (*Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia de Pernambuco*) by the research Project (FACEPE, APQ-0260-1.08/15) entitled: "*Sedimentação holocênica na região de influência do complexo industrial portuário de Suape (PE)(Suape-GeoSub)*". Special thanks are also given to Dra. Kátia Piovesan from LMA (*Laboratório de Micropalaeontologia Aplicada*) by the courtesy in the photography plates; and to the Labogeo-UFPE (*Laboratório de Geologia Marinha*), both from the Federal University of Pernambuco, Brazil. We are grateful for the talented editing in English done by Christofer Paul Barker from EcoLogicproject.com.

REFERENCES

- Alday, M., Cearreta. A., Freitas, M, C., Andrade, C., 2013, Modern and late Holocene foraminiferal record of restricted environmental conditions in the Albufeira Lagoon, SW Portugal. *Geologia Acta*: v. 11, p. 75–84.
- Araújo, H. A. B., Bruno, R. L. M., Machado, A. J., 2011. Impacto da hidrodinâmica e da sedimentação sobre a microfauna de foraminíferos bentônicos de áreas recifais do sul da Bahia, Brasil. *Bioikos*, v. 25, p. 91–108.
- Araújo, H. A. B., Machado, A. J., 2005, Foraminíferos bentônicos dos sedimentos superficiais dos arcos recifais interno e externo de Abrolhos (Bahia). In: Congresso Da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, Rio de Janeiro, Abequa, p. 1–5.
- Armstrong, H., Brasier, M., 2005, Microfossils. Second Edition. Cornwall, UK: Blackwell Publishing, 296 p.

- Armynot Du Châtelet, E. A., Debenay, J.-P., Soulard, R., 2004, Foraminiferal proxies for pollution monitoring in moderately polluted harbors. *Environmental Pollution*, v.127, p. 27–40.
- Armynot Du Châtelet, E. A., Gebhardt, K., Langer, M. R., 2011. Coastal pollution monitoring: Foraminifera as tracers of environmental perturbation in the port of Boulogne-sur-Mer (Northern France). *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie – Abhandlungen*: v. 262, 91–116.
- Barbieri, R., Hohenegger, J., Pugliese, N., 2006, Foraminifera and environmental Micropaleontology, *Marine Micropaleontology*, v. 61, p. 1–3.
- Barcellos, R. L., Santos, L. D., 2018, Histórico de impactos ambientais e o Estado-da-Arte em Oceanografia no sistema estuarino-lagunar de Suape-Ipojuca (PE), *Parcerias Estratégicas*, v. 23, p. 155-168.
- Barcellos, R.L., Santos, L. D., Oliveira, T. R. S., Oliveira, T. S., Silva, J. C. A., 2018, Análise dos componentes da fração arenosa como indicadores ambientais no sistema costeiro associado ao Complexo Industrial-Portuário de Suape (PE), *Parcerias Estratégicas*, v. 23, p. 169-188, 2018.
- Boltovskoy E., Giussani G., Watanabe S., Wright, R., 1980. *Atlas of Benthic Shelf Foraminifera of the Southwest Atlantic*: Publishers The Hague, Boston-London, 131 p.
- Boltovskoy, E; Totah, V., 1985, Diversity, similarity and dominance in benthic foraminiferal fauna along one transect of the Argentine shelf, *Rev Micropaleont*, v. 28, p. 23–3.
- Brasier, M. D., 1980, *Microfossils*: Unwin Hyman, London, 193 p.
- Buzas, S.P., Pessagno Jr., E.A., Bowen, C.J., 2003. Foraminiferal response to habitat disruption: Arroyo Colorado, Texas. *Journal of Foraminiferal Research*, v. 33, p. 294–308.
- Brönnimann, P., Moura, J. A., Dias-Brito, D., 1981, *Ecologia dos foraminíferos e microorganismos associados da área de Guaratiba/Sepetiba: Modelo ambiental e sua aplicação na pesquisa de hidrocarbonetos: research report 3549*, Petrobras, 81 p.
- Bruno, R.L.M., Araújo, T.M.F. 2012. Distribuição dos foraminíferos na Plataforma de Transição Carbonato-Siliclástico, Região de Alheus, Bahia. *Gravel*, 10: 23-33.
- Calvo-Marcilese, L., Langer, M. R., 2010, Breaching biogeographic barriers: the invasion of *Haynesina germanica* (Foraminifera, Protista) in the Bahia Blanca estuary, Argentina. *Biol Invasions*, v. 12, p. 3299–3306.

- Chandran, R., Omar, R., Leman, M. S., Faiz, N. N., 2015, Benthic Foraminiferal Assemblages as Potential Ecological Proxies for Environmental Monitoring in Coastal Sediment of the Port Klang, Selangor: American Institute of Physics. 1678: 1-7.
- Condepe (Instituto de Desenvolvimento de Pernambuco), 1983, Caracterização do Complexo Estuarino-Lagunar da área de Suape (Pernambuco-Brasil): Síntese Ecológica, Recife, v. 1, 107p.
- Condepe (Instituto de Desenvolvimento de Pernambuco)/FIDEM, 2005. Bacia hidrográfica do rio Ipojuca. Série Bacias Hidrográficas de Pernambuco Nº 1, 64p.
- CPRH, 2001. Diagnóstico sócio-ambiental do Litoral Sul de Pernambuco. Available in: <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/2diagnostico_ambiental.pdf>. Access in: 04 sep. 2019.
- Dajoz, R. 1983. Ecologia geral. 4ª ed. Petrópolis: Vozes, 472 p.
- Debenay, J.-P. 1990. Recent foraminiferal assemblages and their distribution relative to environmental stress in the paralic environments of West Africa (Cape Timiris to Ebrie Lagoon). *Journal of Foraminiferal Research*, v. 20, n. 3, p. 267–282.
- Debenay, J.-P., Geslin, E., Eichler, B.B., Duleba, W., Sylvestre, F., Eichler, P.P.B. 2001. Foraminiferal Assemblages in a Hypersaline Lagoon, Araruama (R.J.) Brazil. *Journal of Foraminiferal Research*, v. 31, n. 2, p. 133–151.
- Eichler, P.P.B., Eichler, B.B., Sen Gupta, B., Rodrigues, A.R. 2012. Foraminifera as indicators of marine pollutant contamination on the inner continental shelf of southern Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, v. 64, n. 1, p. 22-30.
- Eichler, P.P.B., Amorim, A., Xavier, D., Barcellos, R.L. 2020. Influence of submarine sewage outfall in the sediment quality of São Sebastião channel (São Paulo, BR) through foraminiferal assemblages. *Journal of Aquaculture & Marine Biology*, v. 9, p. 24–30.
- Ellis, B. F. & Messina, A. 1940. Catalogue of Foraminifera. New York, American Museum Natural History, 2115 p.
- Eskinazi-Leça, E. & Koenig, M. L., 1985/86, Distribuição das diatomáceas (Bacillariophyceae) na área de Suape (Pernambuco-Brasil). *Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco*, v. 19, p. 73–100.
- Fatela, F., Taborda, R. 2002. Confidence limits of species proportions in microfossil assemblages. *Marine Micropaleontology*, v. 45, p. 169–174.

- Fernandes, L.M. B. 2000. Avaliação de dois ambientes recifais do litoral de Pernambuco, através das suas macro e mega faunas incrustantes e sedentárias. Tese: Doutorado. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 165 p.
- Flávio, M. Rio Ipojuca agoniza e expõe descaso com meio ambiente em Caruaru, PE. G1, 2017 Available in: <<http://g1.globo.com/pe/caruaru-regiao/noticia/2017/03/rio-ipojuca-agoniza-e-expoe-descaso-com-meio-ambiente-em-caruaru-pe.html>>. Access in: 27 nov. 2019.
- Funio, R. H. F. 2008. Foraminíferos de manguezais associados ao estuário do rio Mapari, município de Humberto de Campos (MA): bases ecológicas para a sustentabilidade ambiental. Universidade Federal do Maranhão, master's dissertation. 87p.
- Gouveia, E. L. Aspectos Ambientais e Gestão de Recursos Hídricos no litoral sul da Região Metropolitana de Recife. João Pessoa, 2010. 131 f. Master Thesis (Geography) – Universidade Federal da Paraíba, 2010.
- Gualancañay, E. 2007. Distribución zoogeográfica de los géneros *Cibicides* sp., y *Quinqueloculina* sp., (Foraminíferos) de la zona de turbulencia de Monteverde, Ecuador durante noviembre: Acta Oceanográfica del Pacífico, v. 14, p. 163–167.
- Koenig, M.; Eskinazi-Leitão, S.; Macêdo, S.; Eskinazi-Leça, E., 2002, Impactos da construção do Porto de Suape sobre a comunidade fitoplanctônica no estuário do rio Ipojuca (Pernambuco-Brasil): Acta Botanica Brasilica, v. 16, p. 407–420.
- Laut, L., Clemente, i., Martins, M. V. A., Frontalini, F., Raposo, D., Belart, P., Habib, R., Fortes, R., Larini, M.L. 2017. Benthic Foraminifera and Thecamoebians of Godineau River Estuary, Gulf of Paria, Trinidad Island. n. 40, n. 2, 118-143.
- Lemos Junior, I. C., Machado, A. J., Andrade, E. J., Vieira, F. S., Guimarães, C. R. P. 2014. Macroforaminíferos da plataforma continental de Sergipe, Brasil. Scientia Plena, v.10, p. 1–11.
- Levy, A., Mathieu, R., Poignant, A., Rosset-Moulinierd, M., Ambroise, D. 1995. Benthic foraminifera from the Fernando de Noronha Archipelago (northern Brazil). Marine Micropaleontology, n. 26, p. 89-97
- Loeblich, A., and Tappan, H., 1988, Foraminiferal genera and their classification. New York, Van Nostrand Reinhold Ed., New York, 970p.

- Machado, A. J., Araújo, T. M. A., Figueiredo, S. M. C., Araújo, H. A. B., 2012, Análise batimétrica e tafonômica da microfauna de foraminíferos da plataforma e talude continentais do município de Conde, Bahia: Cadernos de Geociências, v. 9, p. 157–172.
- Martin, R.E. 1986. Habitat and distribution of the foraminifer *Archaias angulatus* (Fichtel and Moll) (Miliolina, Soritidae), Northern Florida Keys: Journal of Foraminiferal Research, v. 16, p. 201-6.
- Melo Filho, J. A. S. 1977. Caracterização da situação atual da área Programa Suape sob o ponto de vista de poluição ambiental. Recife: CONDEPE, 15 F. (Comunicação Técnica, 1).
- Mello e Sousa, S. H., Passos, R. F., Fukumoto, M., da Silveira, I. C. A., Figueira, R. C. L., Koutsoukos, E. A. M., ... Rezende, C. E. (2006). Mid-lower bathyal benthic foraminifera of the Campos Basin, Southeastern Brazilian margin: Biotopes and controlling ecological factors. Marine Micropaleontology, 61(1-3), 40–57.
- Mello, R.M. 2016. A Paleobathymetric model and evolution of the Brazilian marginal basins during the Late Maastrichtian to Eocene based on Benthic foraminifera. PhD Thesis, University of Massachussets.
- Meyer-Reil L.A. & Koster M. 2000. Eutrophication of marine waters: effects on benthic microbial communities. *Marine Pollution Bulletin*, v. 41, p. 255–263.
- Miranda, A. M. Condições ambientais do estuário do rio Merepe (Pernambuco -Brasil): biomassa fitoplantônica e parâmetros hidrológicos. Dissertação (Mestrado), 67 pgs.– Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2019.
- Mirante, A. C. F., Scalón, J. D., Araújo, T. M. F., Araújo, H. A. B., 2013. Caracterização da plataforma e do talude continentais do Estado da Bahia, a partir da análise de agrupamento dos dados sedimentológicos e da microfauna de foraminíferos: *Pesquisas em Geociências*, v. 40, p. 01–19.
- Murray, J.W. 1991. Ecology and palaeoecology of benthic foraminifera. Longman, Harlow, 397 p.
- Murray, J. W., 1973, Distribution and ecology of living benthic Foraminifera: New York, Crane, Russak and Company, 274 p.
- Murray, J.W. 2006. Ecology and applications of benthic Foraminifera. Cambridge: Cambridge

University Press. 426 p.

- Nagendra, R., Sathiyamoorthy, P., Reddy, A.N., Ramachandran, A., 2015. Spatial distribution of benthic foraminifera in the Palar Estuary, Tamil Nadu. *J. Geol. Soc. India* 86, 305–316.
- Neumann-Leitão, S. 1986. Sistemática e ecologia dos rotíferos (Rotatoria) planctônicos da área estuarina lagunar de Suape-Pernambuco (Brasil). Recife, 261 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) - Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco.
- Oliveira-Silva, P., Barbosa, C. F., de Almeida, C. M., Seoane, J. C. S., Cordeiro, R. C., Turcq, B. J., & Soares-Gomes, A. 2012. Sedimentary geochemistry and foraminiferal assemblages in coral reef assessment of Abrolhos, Southwest Atlantic. *Marine Micropaleontology*, 94-95, 14–24.
- Oliveira, T. S. 2019. Sedimentação Holocênica na região de influência do Complexo Industrial Portuário de Suape (PE). Programa de Pós-graduação em Geociências, UFPE, 79p.
- Pati, P., Patra, P., 2012. Benthic foraminiferal response to coastal pollution: a review. *Int. J. Geol. Earth Environ. Sci.* v. 2, p. 42–56.
- _____. Secretaria de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente. Diretoria de Recursos Hídricos. CIRILO, Jose Almir (coord.), Plano Estadual de Recursos Hídricos - Documento Síntese. Recife: 223 p. 1998.
- Pejrup, M. 1988. The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach. In: BOER, P. L.; VAN GELDER, A. & NIO, S. D. (ED). *Tide-influenced sedimentary environments and facies*, D. Reidel, Dordrecht, p. 289-300.
- Pinilla-Cortés, P. C.; Moreno-Gutiérrez, J. A. 2019. Attributes of Biothic Indicators as an Instrument for Assessing Ecosystem Integrity. *Open Access Library Journal* 6: 1–4
- Romano, E., Bergamin, L., Finoia, M. G., Carboni, M. G., Ausili, A., Gabellini, M., 2008, Industrial pollution at Bagnoli (Naples, Italy): Benthic foraminifera as a tool in integrated programs of environmental characterization: *Marine Pollution Bulletin*, v 56, p. 439–457.
- Ruiz, F.; González-Regalado, M.L.; Pendón, J.G.; Abad, M.; Olías, M. & Muñoz, J.M. 2005. Correlation Between Foraminifera and Sedimentary Environments in Recent Estuaries of Southwestern Spain: Applications to Holocene Reconstructions. *Quaternary International*, 140-141: 21–36.

- Sanches, T.M.; Kikuchi, R. K. P. and Eichler, B. B., 1995, Ocorrência de foraminíferos recentes em Abrolhos, Bahia: Publicação especial Instituto Oceanográfico, v.11, p. 37–47,1995.
- Schafer, C. T., Wagner, F. J. E., Ferguson, C., 1975, Occurrence of foraminifera, molluscs and ostracods adjacent to the industrialized shoreline of Canso Strait, Nova Scotia: Water: Air and Soil Pollution, v. 5, p. 79–96.
- Scott, D. B., Medioli, F. S., 1980, Quantitative studies of marsh foraminiferal distributions in Nova Scotia: implications for sea level studies. Cushman Foundation Foramineferan Research Special Publication, v. 17, p. 1–47.
- Silva, M. S. 2019. Processamento de dados de Adcp Móvel para estudos de circulação em estuários. Monograph , DOCEAN, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 78p.
- Sreenivasulu, G., Jayaraju, N., Sundara Raja Reddy, B.C., Lakshmi Prasad, T., Nagalakshmi, K., Lakshmana, B., 2017. Organic matter from benthic foraminifera (*Ammonia beccarii*) shells by FT-IR spectroscopy: a study on Tupilipalem, Southeast coast of India: MethodsX, v. 4, p. 55–62.
- Smart, C. W. & Gooday, A. J. 2006. Benthic foraminiferal trends in relation to an organic enrichment gradient on the continental slope (850 M Water Depth) Off North Carolina (USA): Journal of Foraminiferal Research, v. 36, p. 34–43.
- Stubbles, S., 1993. Recent benthic foraminifera as indicators of pollution in Restougue Creek, Cornwall: Note of poster display at the Annual Conference of the Ussber Society, p. 200-204.
- Stubbles, S.J., Hart, M., Williams, C., Green, J., 1996, Responses of foraminifera to presence of heavy metal contamination and acidic mine drainage. Minerals, metals, and the environment 2nd conference, Institution of Mining and Metallurgy, Prague, September 3–6, p. 217– 235.
- Suape, MeioAmbiente, Acess in:< <http://www.suape.pe.gov.br/environment/structure.php> >.
- Tsujimoto, A., Nomura, R., Yasuhara, M., Yoshikawa, S., 2006, Benthic foraminiferal assemblages in Osaka Bay, southwestern Japan: faunal changes over the last 50 years. Paleontological Research, v. 10, p. 141–161.
- Tinoco, I. M., 1858, Foraminíferos Quaternários de Olinda, estado de Pernambuco. Departamento Nacional de Divisão Mineral – Divisão de Geologia e Mineralogia, Rio de

Janeiro. Monograph, 61p.

- Vilela, C. 2008. As ocorrências microfossilíferas da Margem Equatorial brasileira: foraminíferos, ostracodes e palinórfos. Available in: http://www.piatamoceano.uff.br/piatamoceano/downloads/sinteses/sintese_geo_02.pdf >.
- Yamashita, C. 2011. Distribuição dos foraminíferos bentônicos vivos no talude continental e Platô de São Paulo, Bacia de Campos (23°12' - 24°30'S e 39°59' - 41°20'W): fatores ambientais condicionantes. São Paulo. Master's dissertation, 443 p.
- Yamashita, C., Nagai, R.N., Martins, M.V.A., Vicente, T.M., Sousa, S.H.M., Frontalini, F., Palóczy, A., Mahiques, M.M., Godoi, S.S., Montoya-Montes, I., Figueira, R.C.L., 2016. On the interplay between hydrodynamics, bottom morphology, sedimentary processes and benthic foraminifera assemblages in the São Paulo Bight (Brazil, SW Atlantic). *Journal of Sedimentary Environments*, v. 1, p. 326-347.
- Yanko, V., Arnold, A. J., Parker, W. C., 1999, Effects of marine pollution on benthic foraminifera: Modern Foraminifera, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, p. 217–238.
- Weinmann A.E., Rödder, D., Lötters, S. and Langer, M.R., 2013, Heading for new shores: projecting marine distribution ranges of selected larger foraminifera, *PlosOne*, v. 8, p. 1-14.
- Zaninetti, L. 1979. L'Étude des Foraminifères des mangroves actuelles: reflexion sur les objectifs et sur l'état des connaissances. *Archive des Sciences de Genève*, v. 32, p. 151-162.
- Zaninetti, L., Brönnimann, P., Beurlen, G. and Moura, J. A., 1977, La mangrove de Guaratiba et la Baie de Sepetiba, Etat de Rio de Janeiro, Brésil: foraminifères et écologie. *Archives Sciences Genève*, v. 30, p. 161–178.
- Zaninetti, L., Brönnimann, P., Dias-Brito, D., Arai, M., Casaletti, P., Koutsoukos, E. & Silveyra, S. 1979 Distribution écologique des Foraminifères dans la Mangrove d'Açupe, Etat de Bahia, Brésil. *Notes du Laboratoire de l'Université de Genève* 4, 1–17.

APPENDIX A. Listing of the location of all collection points, with geographic coordinates, meshes looked used and absolute abundance data.

Ipojuca and Merepe rivers						
Samples	Coordinate		Depth	Meshes looked at (mm)	Meshes used (mm)	Abundance
ST1	-8,41053	-35,00142	4.0	0.062; 0.125; 0.250	0.062; 0.125; 0.250	barren
ST2	-8,41045	-34,99677	2.5	0.062; 0.125; 0.250	0,125	4
ST3	-8,41003	-34,99158	1.2	0.062; 0.125; 0.250	0.062; 0.125; 0.250	barren
ST4	-8,40996	-34,98458	1.2	0.062; 0.125; 0.250	0.062; 0.125; 0.250	45
ST6	-8,43021	-34,99213	0.9	0,062	0.062	abundance
ST7	-8,42211	-34,98616	1.5	0,062	0.062	abundance
ST8	-8,41612	-34,97878	1.4	0,062	0.062	abundance
ST9	-8,40976	-34,97881	1.7	0,062	0.062	abundance
ST10	-8,40603	-34,97784	1.0	0.062; 0.125; 0.250	0.125	2
ST11	-8,40295	-34,98085	1.0	0.062	0.062	abundance
ST12	-8,4023	-34,97533	1.6	0.062	0.062	abundance
ST13	-8,40448	-34,97242	0.9	0.062	0.062	abundance
ST14	-8,40792	-34,97428	4.6	0.062	0.062	abundance
ST15	-8,4064	-34,96702	1.3	0.062	0.062	abundance
ST16	-8,41062	-34,96897	4.2	0.062	0.062	abundance
ST17	-8,41426	-34,97013	1.8	0.062	0.062	abundance
ST18	-8,41952	-34,97272	1.3	0.062, 0.125	0.062; 0.125	abundance
ST19	-8,42735	-34,97674	1.6	0.062	0.062	abundance
ST20	-8,42483	-35,01659	1.4	0.062; 0.125; 0.250	0.062; 0.125; 0.250	barren
ST22	-8,41736	-35,00574	0.3	0.062; 0.125; 0.250	0.062; 0.125; 0.250	barren
ST23	-8,41292	-35,00264	0.2	0.062; 0.125; 0.250	0.062; 0.125; 0.250	barren
ST24	-8,40871	-35,00343	3.6	0.062; 0.125; 0.250	0.062; 0.125; 0.250	barren
ST25	- 8,44305 2	-34,99989	0.5	0.062; 0.125; 0.250	0.062; 0.125; 0.250	barren
ST26	-8,43162	-34,97805	0.5	0.062	0.062	abundance
Massangana and Tatuoca rivers						
Estação	Coordinate		Depth	Meshes looked at (mm)	Meshes used (mm)	Data (abundance)
ST27	-8,36329	-34,96204	3.0	0.062; 0.125; 0.250	0.062; 0.125; 0.250	barren
ST28	-8,36355	-34,9471	10.0	0.062	0.062	abundance
ST29	-8,37096	-34,95173	1.5	0.062	0.062	abundance
ST30	-8,38944	-34,9544	9.5	0.062; 0.125; 0.250	0.062; 0.125; 0.250	barren
ST32	-8,36025	-34,9409	17.0	0.062; 0.125; 0.250	0.125	abundance
ST33	-8,38787	-34,96682	15.2	0.062	0.062	abundance
ST34	-8,38045	-34,96941	14.0	0.062	0.062	abundance
ST35	-8,37784	-34,96843	12.0	0.062	0.062	abundance

ST36	-8,3682	-34,9603	3.5	0.062	0.062	abundance
ST37	-8,36013	-34,97115	3.9	0.062; 0.125; 0.250	0.062; 0.125; 0.250	barren
ST38	-8,36514	-34,98382	2.6	0.062; 0.125; 0.250	0.062	7
ST39	-8,35218	-34,98486	3.6	0.062; 0.125; 0.250	0.062	2
ST40	-8,368	-34,95731	2.4	0.062; 0.125; 0.250	0.062; 0.125; 0.250	barren
ST41	-8,36232	-34,95242	1.7	0.062; 0.125; 0.250	0.062; 0.125	13
ST42	-8,37668	-34,95389	1.4	0.062; 0.125; 0.250	0.065; 0.125	abundance
ST43	-8,36853	-34,94064	18.0	0.062	0.062	abundance
ST44	-8,3912	-34,9478	19.7	0.062; 0.125; 0.250	0.062	abundance

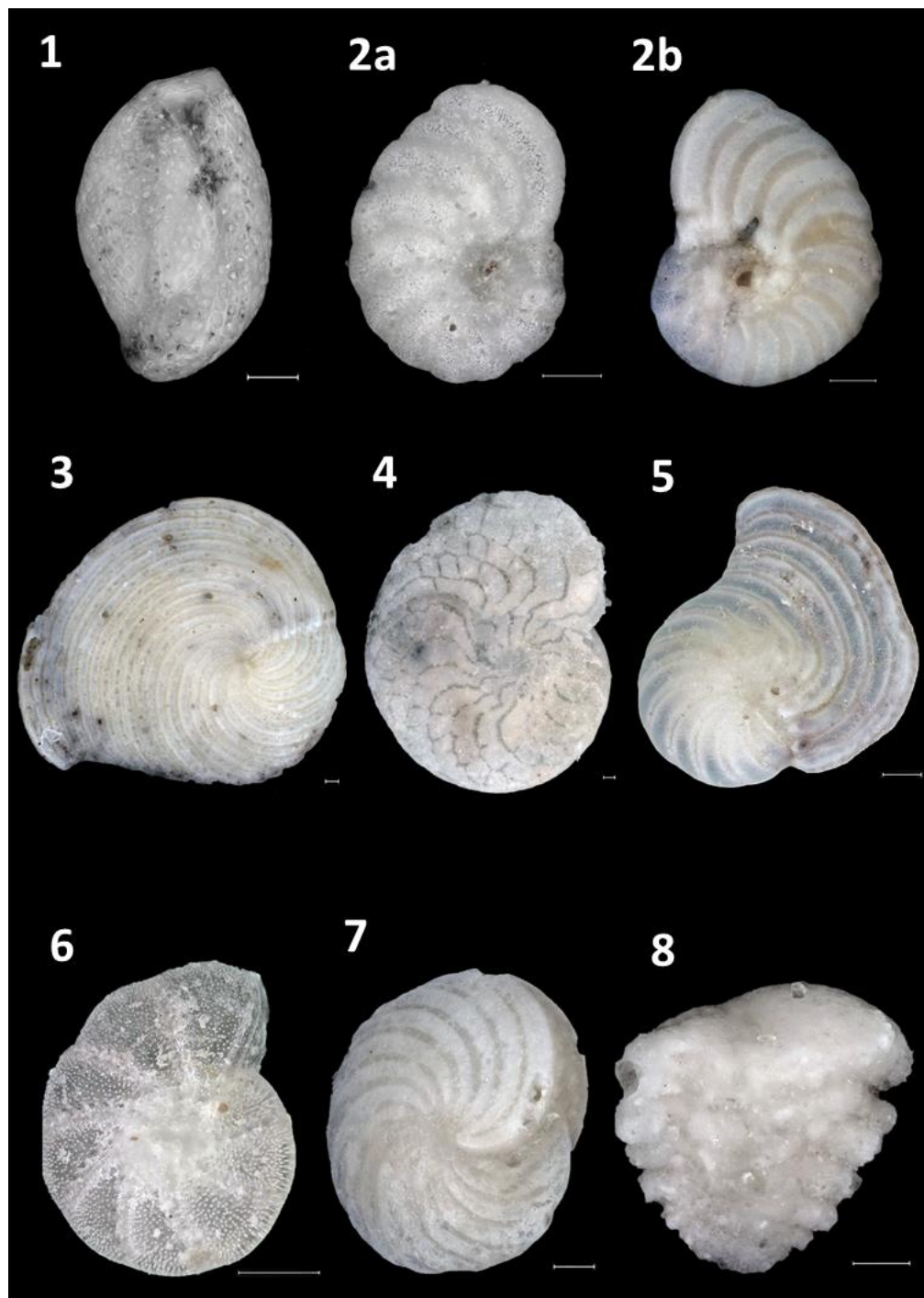
Absolute abundance																																	
Species	ST 02	ST 04	ST 06	ST 07	ST 08	ST 09	ST 10	ST 11	ST 12	ST 13	ST 14	ST 15	ST 16	ST 17	ST 18	ST 19	ST 26	ST 28	ST 29	ST 32	ST 33	ST 34	ST 35	ST 36	ST 38	ST 39	ST 41	ST 42	ST 43	ST 44			
<i>Arenoparella mexicana</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	1	0	0	0	0	4	1	0	0		0	0	1	0		
<i>Adelosina</i> spp.	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1		
<i>Ammonia parkinsoniana</i>	0	9	0	1	1	0	0	6	3	0	6	15	6	13	3	6	2	7	0	0	0	1	1	2	0	0	0	1	0	1			
<i>Ammonia</i> spp.	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Ammonia tepida</i>	0	8	9	56	13	17	0	29	31	15	9	3	3	5	4	0	3	21	14	0	16	46	21	26	3	0	0	11	11	9			
<i>Amphistegina gibbosa</i>	0	0	1	1	0	3	0	0	0	0	1	1	2	6	8	3	3	2	1	0	1	1	1	0	0	0	0	10	0	0			
<i>Archaias angulatus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Articulina</i> sp.	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Articulina pacifica</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Articulina</i> spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Bolivina</i> sp.	0	1	1	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	2			
<i>Bolivina minima</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Bolivina ordinaria</i>	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	1			
<i>Bolivina</i> sp1.	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Bolivina</i> spp.	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	2	0	0	2	0	1	0	0	0	0	1	2	1	0	0	0	0	0	1	2			
<i>Bolivina striatula</i>	0	2	2	2	0	2	0	6	3	3	2	0	3	0	0	0	0	1	0	0	0	4	3	1	0	0	0	0	0	0			
<i>Sigmavirgulina tortuosa</i>	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0			
<i>Bulimina</i> spp.	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2			
<i>Bulimina marginata</i>	0	0	0	2	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Buliminella elegantissima</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Elongobula parallela</i>	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
<i>Buliminella</i> spp.	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0			
<i>Cassidulina</i> spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	2			

<i>Globocassidulina subglobosa</i>	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Cibicides</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
<i>Cibicidoides pseudoungeriana</i>	0	0	0	4	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	1
<i>Cibicides</i> sp1.	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	6	1
<i>Cibicides</i> spp.	0	3	1	0	2	4	0	0	4	8	2	2	3	3	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
<i>Cornuspira involvens</i>	0	0	1	0	1	1	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	1	1	2	
<i>Cornuspira</i> spp.	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Cycloforina</i> spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	
<i>Discorbinella bertheloti</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Neoconorbina terquemi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
<i>Discorbitina pustulata</i>	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	
<i>Discorbis</i> sp	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Discorbis</i> spp.	0	1	1	1	4	6	0	10	2	8	2	2	6	4	0	2	7	0	0	1	3	0	4	0	0	0	0	3	11	4
<i>Rosalina obtusa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Dentalina</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Eggerella</i> spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	
<i>Elphidium articulatum</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Elphidium</i> sp.	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Elphidium</i> sp1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Cribroelphidium poeyanum</i>	0	1	0	1	0	7	0	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Elphidium</i> spp.	0	0	2	2	2	3	0	5	6	0	1	1	2	1	4	1	7	2	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	
<i>Elphidium translucens</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Eponides</i> sp.	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Eponides repantus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Fissurina laevigata</i>	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Fissurina lucida</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

[illegible]

<i>Quinqueloculina costata</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Quinqueloculina vulgares</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Quinqueloculina procerapertura</i>	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Quinqueloculina lamarckiana</i>	1	0	0	0	8	2	1	1	1	0	7	3	3	3	18	3	4	7	7	39	3	0	6	3	0	0	2	17	3	7
<i>Quinqueloculina leavigata</i>	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	10	0	1	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Miliolinella subrotunda</i>	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Pseudotriloculina patagonica</i>	0	0	0	0	3	5	0	0	2	3	5	3	3	0	1	0	0	2	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	5
<i>Quinqueloculina poeyana</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0
<i>Quinqueloculina poligona</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Quinqueloculina seminula</i>	0	2	5	0	14	5	0	2	11	10	4	0	8	6	4	2	0	9	7	0	7	1	5	3	0	0	1	4	16	11
<i>Quinqueloculina subpoeyana</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Quinqueloculina</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Quinqueloculina</i> spp.	0	2	0	0	0	0	1	0	7	1	1	0	1	3	1	6	19	1	0	0	0	0	4	0	0	0	1	0	4	5
<i>Reussella</i> spp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
<i>Rectobolivina euzebioi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Rosalina floridana</i>	0	0	4	0	4	3	0	7	0	8	3	2	2	2	0	1	0	0	3	0	0	4	0	4	0	0	0	0	2	1
<i>Siphonina</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
<i>Siphonina pulchra</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Siphogenerina duartei</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Siphogenerina raphanus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Siphogenerina roxoi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Sorites marginalis</i>	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<i>Spirillina</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
<i>Spirillina vivipara</i>	0	0	1	2	2	3	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	1	0	0	2	4

<i>Spiroloculina ornata</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Spiroloculina depressa</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Spiroloculina</i> spp.	0	0	0	0	1	0	0	2	0	0	4	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5	0	0	
<i>Textularia gramen</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Sahulia conica</i>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	5	2	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	
<i>Textularia earlandi</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Textularia</i> spp.	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	1	0	0	4	4	0	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	3	1	0	
<i>Textularia aglutinnans</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Trilocullina oblonga</i>	0	0	0	0	2	4	0	2	1	0	7	25	18	6	3	14	24	8	8	0	5	0	0	1	0	3	6	0	7	
<i>Uvigerina</i> spp.	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	
<i>Valvulina</i> sp.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
<i>Wiesnerella auriculata</i>	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	2	1	0	0	0	0	0	0	
Indeterminados	2	11	6	18	10	22	0	14	8	8	6	16	14	10	28	22	11	18	21	1	4	3	2	12	3	2	3	20	9	18



Appendix C. Plate: 1 *Quinqueloculina* sp. d'Orbigny, 1826 four chamber side; 2a *Nonion* sp. Montfort, 1808 side view; 2b *Nonion* sp. Montfort, 1808 side view 3 *Archaias angulatus* Fichtel & Moll, 1798 lateral view; 4 *Amphistegina gibbosa* d'Orbigny, 1839 lateral view; 5 *Peneroplis planatus* Fichtel & Moll, 1798 side view; 6 *Elphidium* sp Montfort, 1808. side view; 7 *Peneroplis carinatus* d'Orbigny, 1839 side view; 8 *Sahulia conica* (d'Orbigny, 1839) lateral view.

7 ARTIGO 3

Benthic foraminifera and geochemical evaluation of a Harbour area: the case of Suape

Coastal System (Brazil)

Será submetido ao periódico *Marine Geology*.

O artigo foi realizado em parceria com Oliveira (2019), e está formatado conforme o periódico citado.

Benthic foraminifera and geochemical evaluation of a Harbour area: the case of Suape

Coastal System (Brazil)

Taiana Regina Silva de Oliveira¹, Thaís de Santana Oliveira², Luciana Dantas dos Santos³,

Patrícia Pinheiro Beck Eichler⁴, Roberto Lima Barcellos⁵

tayeee@gmail.com^{1,*}, thais1ufpe@gmail.com², santos.luciana27@yahoo.com.br³,

patriciaeichler@gmail.com⁴, roberto.barcellos@ufpe.br⁵

^{1,2,3,5}Programa de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco

⁴Laboratório de Geologia Marinha e monitoramento ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (GGEMMA/UFRN).

Corresponding author: Taiana Regina Silva de Oliveira

ABSTRACT

This study analyzed sediments of the Suape coastal system, where the Suape Port Industrial Complex (CIPS) has been in operation since 1983. Seventeen surface samples were analyzed for heavy metals, foraminiferal assemblages, and grain-size distribution. The sandy samples were dominated (97.76-99.97%), except for the samples localized in dredged channel of Suape Port, which had the highest percentage of mud (>45,9%). Affected by chemical contaminants derived from industrial and urban effluents, these stations are polluted by heavy metals like Nickel (Ni), Zinc (Zn), Lead (Pb), Manganese (Mn), Aluminum (Al) and eutrophication signals (nitrogen – N%), with stress-tolerant taxa in port areas like *Ammonia tepida* and *Eggerella* spp.. Stations located near the beach rocks and inner shelf presented the highest diversity values, with the presence of calcareous foraminifera such as *Quinqueloculina lamarckiana*, and typical of sandstone reefs such as *Amphistegina gibbosa* and *Archaias angulatus*. The data indicate that sediments with muddy characteristics, high levels of organic matter, heavy metals and nitrogen have foraminiferous associations composed mainly of opportunistic species in the port channel region, which allows the establishment of the association *Ammonia tepida* and *Eggerella* spp., Indicating possible eutrophication of the region. These results can be an important record for conservation actions, preservation and restoration of Suape Bay, and as a means of control for maintaining environmental quality.

Keywords: benthic foraminifera; ecology; pollution; heavy metals; sediment

1. Introduction

Benthic foraminifera are among the most abundant protozoans in coastal environments and, due to their short life cycle and specific habitats, they tend to respond rapidly to changes in their environments and can be used as an early warning indicator of possible anthropogenic contamination (Kramer and Botterweg, 1991).

The progressive reduction in species diversity is a common effect of increasing the concentration of environmental contaminants in the foraminifera community, to the extent that only opportunistic species remain. These species generally respond favorably to pollution, and are dominant in contaminated areas (Scott et al., 1995). Species abundant in polluted areas are likely to be tolerant of the pollutants found, but, on the other hand, species sensitive to pollution often express this sensitivity through their absence (Yanko et al., 1999).

In recent years, several studies correlated distribution, diversity and population density of assemblages of benthic foraminifera with distribution of organic and inorganic compounds (Debenay et al., 2001; Teodoro et al., 2011; Donnici et al., 2012; Machain-Castillo et al., 2019, Price et al., 2019). Some authors (Setty and Nigam, 1984; Samir and El-Din, 2001; Le Cadre and Debenay, 2006) have suggested that benthic foraminifera species (*Ammonia tepida*, for example) appear to better monitor the high concentrations of selected toxic elements and/or organic compounds. Many other works have been performed to characterize anthropogenic influences due to the contribution in the marine environment of domestic and industrial sewage, agricultural contaminants, heavy metals and hydrocarbons (Alve, 1995; Cearreta et al., 2002; Burone et al., 2006; Frontalini et al., 2009).

The Suape Port Industrial Complex (CIPS) is on the Suape estuarine bay and is correlated with anthropic interventions. It caused drastic impacting processes, like siltation/erosion, reef collapse, landfills on the reef, mangrove, and coastal plain, destruction of adjacent mangroves, large vessel traffic, and discharges of industrial and domestic effluents, major sources of water and sediment contamination with heavy metals and organic pollutants (Lemos et al., 2014; Barcellos and Santos, 2018).

Due to the anthropogenic interference in Suape Estuarine-Lagoon Complex in the last decades, the main objectives of the present study is to understand the ecology and distribution of benthic foraminifera and to determine the environmental conditions of Suape Estuarine-Lagoon Complex through sedimentological and geochemical studies (heavy metals and total nitrogen) of sediment samples.

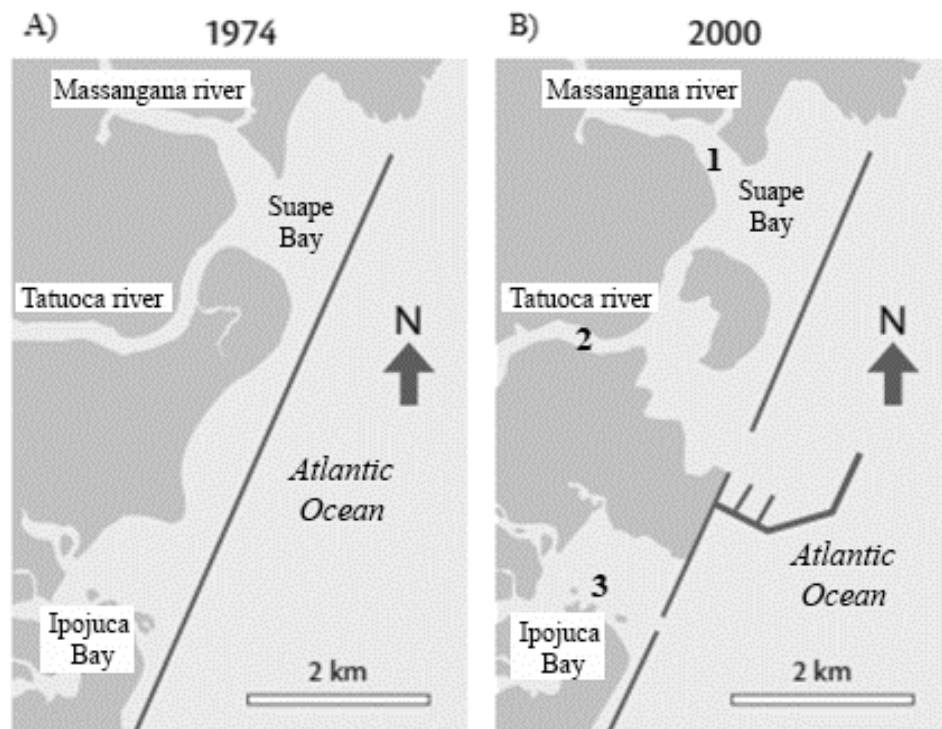
2. Regional setting and study site

The Suape Estuarine System (8°22'S-34°57'W) is located about 40 km south of Recife

(PE), encompassing the municipalities of Santo Agostinho Cape and Ipojuca. The estuarine system in which CIPS is established is formed by the Massangana, Tatuoca, Ipojuca and Merepe estuaries association.

The study area, which was originally continuous and with a free connection to the ocean along the promontory at Santo Agostinho Cape, was partially grounded and was sectioned into three separate portions: Suape Bay/Massangana River Estuary, Tatuoca River Estuary (the internal Port channel) and Ipojuca/Merepe River Estuary (Fig. 1); presenting at present two artificial mouths, the result of openings in the reef line through the collapse of beachrocks that naturally protected the original rear estuarine system (Barcellos and Santos, 2018).

Figure 1. Map of the Suape estuarine-lagoon system before (1974) and after the construction of Suape Port Industrial Complex (modified from Barcellos & Santos, 2018).

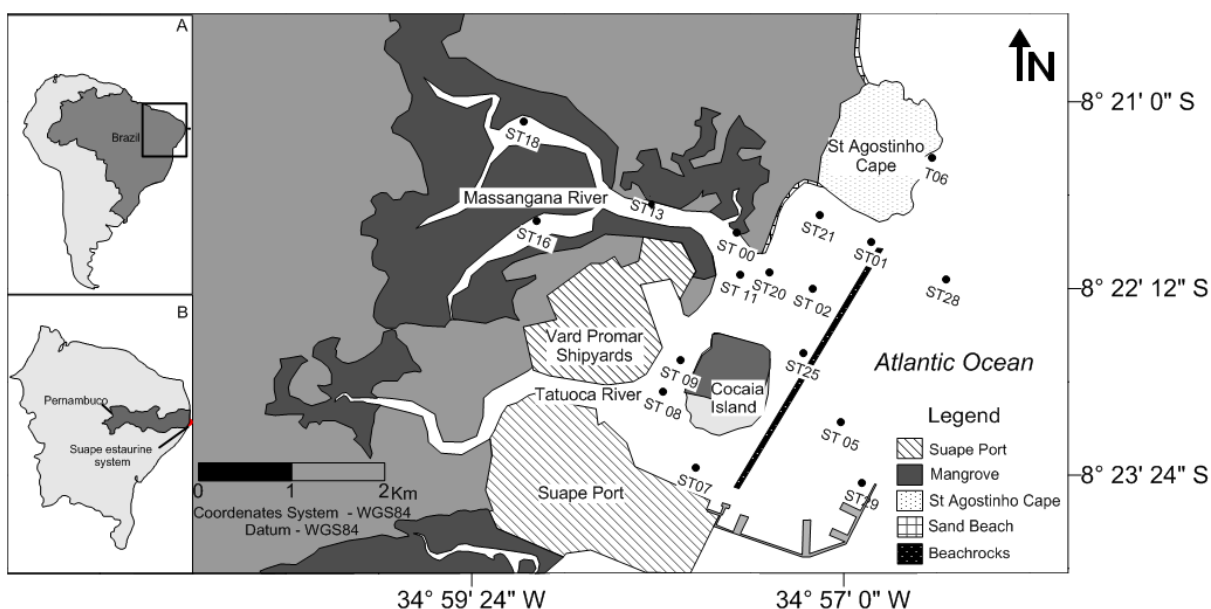


3. Methods

Surface sediments were collected at 17 points during the rainy season (July/2016) in the

Suape estuary system (Fig. 2). Point positions were defined and referenced using a Garmin Etrex 20 GPS (Appendix 1).

Figure 2. **A** Brazil map. **B** Map of Pernambuco state. **C** Location of the 17 stations sampled of Suape Estuarine System.



3.1 Sediment sampling and analysis

The grain size analyses were performed on the superficial samples, according to the screening and pipetting techniques described in Suguio (1973). After obtaining the results the data were treated according to the statistical parameters of Folk and Ward (1957), the diagrams of sedimentary facies of Shepard (1954) and Larsonneur et al. (1982), and Pejrup's estuarine hydrodynamic diagram (1988).

3.1.1 Analysis of calcium carbonate (CaCO_3), total organic matter (TOM) and total nitrogen (TN)

The CaCO_3 , TOM, and N were performed after a preliminary treatment for elimination

of the existing CaCO_3 , as described in Hedges and Stern (1984). They were determined by the automatic combustion of the sample in a Carlo Erba elemental analyzer (CHN-1110) coupled to a mass spectrometer (Finnigan Delta Plus). The samples were combusted in an oxidizing medium, and the gases produced were separated by gas chromatography, purified and carried by a continuous stream of Helium. Nitrogen is expressed in percentage.

Carbonate contents were classified according to the proposal of Larssonneur et al. (1982): lithoclastic ($\text{CaCO}_3 < 30\%$); lithobioclastic ($30\% < \text{CaCO}_3 < 50\%$); biolithoclastic ($50\% < \text{CaCO}_3 < 70\%$) and bioclastic ($\text{CaCO}_3 > 70\%$).

3.1.2 Metal Concentrations: Nickel (Ni), Zinc (Zn), Lead (Pb), Manganese (Mn), Aluminum (Al)

The metal concentrations were performed by energy dispersive X-ray fluorescence (EDXR) method. The method is a multi-elementary analysis that is based on exciting atoms; the values of element contents were calculated according to dispersion, detection, and mensuration of these X-rays (Skoog et al., 2009).

3.1.3 Micropaleontological analysis

The samples were standardized at 10 cm^3 , and the treatment for the microfaunal studies consisted of washing, wet sieving with a 0.062, 0.125 and 0.250 mm mesh sieve (Appendix 1) and drying in an oven at 50°C . The total of 100 individuals per sample (or all those present in the sample if they numbered less than 100) was considered to be representative of the sample analyzed by Fatela and Taborda (2002), and the data set is based on living and dead foraminifera specimens. Foraminifera was classified according to Loeblich and Tappan (1988), Ellis and

Messina (1940) and Boltovskoy et al. (1980), Foraminifera and gallery-illustrated catalog (www.foraminifera.eu), World Modern Foraminifera Database (www.marinespecies.org/foraminifera/).

Benthic foraminifera were classified at species level and quantitative analyses included relative and total abundances and ecological parameters, like diversity (H'), equitativity (J'), richness (S). Ecological indices in samples with less than 40 specimens were not calculated and not included in the statistical analysis (environmental parameters). Species with 10% or more relative abundance in the samples were considered dominant (Boltovskoy and Totah, 1985).

The frequency of occurrence, the species were grouped into the following categories (Dajoz, 1983): constant (present in more than 50% of the samples); accessory (present between 25% and 50% of the samples) and accidental (present in less than 25% of the samples).

3.2 Statistical analyses

Absolute abundances of foraminiferal taxa were standardized using a $\log(x+1)$ transformation. Bray Curtis similarity analysis was used to create a resemblance matrix that was used to perform cluster analysis.

The abiotic data, in turn, were subjected to principal component analysis (PCA) to identify the environmental trend across the area using the Primer 6 software (University of Plymouth), with the following parameters: gravel (%), sand (%), mud (%), MOT (%), carbonates (%), Ni, Zn, Pb, Mn, Al (%), TN (%).

4 Results

4.1 Sedimentological Data

The sediments presented a predominance of sandy facies with a proportion ranging from 7.72% to 99.97%, according to Shepard's (1954) faciological diagram (Fig. 3). However, the stations located in Suape Bay and near the Massangana River (ST07, ST08, ST09, ST28, ST29) showed a predominance of mud (Table 1).

The region presents low organic matter contents, although, there are muddy samples where higher organic contents are found (Table 1 and Fig. 3) in the dredged channel of the Tatuoca river (Inner Port complex) (ST07, ST08, ST09).

The highest percentages of gravel (1.04% to 2.20%) were found in the lower and middle estuary of the Massangana River, at stations ST00, ST13 and ST16, and also at the Suape Port Channel (ST09).

There was a predominance of low levels of CaCO_3 and TN (%). CaCO_3 levels ranged from 1.1% to 49.6%, with the prevalence of lithoclastic sediments in 82.35% of the samples, according to the classification by Larsonneur et al. (1982). Three samples (ST05, ST07, ST29) showed CaCO_3 content between 30.4% - 49.6%, indicating substrate with lithobioclastic characteristics, located on the internal platform and at the mouth of Suape Bay (Table 1).

Higher concentrations of trace elements, such as Ni, Zn, Pb, Mn were found in the internal port channel area. The TN concentrations presented an almost homogeneous distribution, ranging from 0.001% to 0.177%, except at stations ST07 (0.140%), ST08 (0.162%) and ST29 (0.177). The lowest values in stations ST05 (0.001%) and ST06 (0.001%).

Table 1 – Results of the sedimentological, geochemical for the Suape estuarine system samples.

ST	% Gravel	% Sand	% Mud	Shepard	TOM (%)	CaCO_3 (%)	Ni ppm	Zn ppm	Pb ppm	Mn ppm	Al %	TN %
----	-------------	-----------	----------	---------	------------	------------------------	-----------	-----------	-----------	-----------	---------	---------

st 00	2.20	97.76	0.03	Sand	1.53	1.70	7.00	4.10	13.30	72.80	0.76	0.003
st 01	0.03	99.73	0.24	Sand	1.60	3.40	3.20	9,00	14.40	72.80	1.23	0.004
st 02	0.00	99.66	0.34	Sand	1.53	7.70	9.70	16.10	14.30	73.90	1.30	0.003
st 05	0.67	99.23	0.10	Sand	1.00	30.40	2.30	9.40	20.90	113.0	0.00	0.001
st 06	0.41	99.59	0.00	Sand	1.37	18.40	6.10	5.2	8.80	133.3	0.00	0.001
st 07	0.00	7.72	92.3	Silty Clay	11.37	35.70	15.70	84.5	26.50	244.1	10.11	0.140
st 08	0.83	21.40	77.80	Sand-silt	15.83	28.80	16.70	78.2	22.60	176.8	11.36	0.162
st 09	1.13	53,00	45.90	Sand-silt	10.30	14.80	9.20	43.30	23.10	135.1	8.25	0.050
st 11	0.41	98.08	1.51	Sand	2.67	6.40	3.00	29.50	12.30	105.7	3.17	0.010
st 13	1.21	98.75	0.03	Sand	1.67	1.94	5.00	21.50	11.80	104.1	1.48	0.002
st 16	1.04	98.65	0.31	Sand	3.50	2.57	2.90	7.20	10.40	106.0	2.72	0.007
st 18	0.03	99.86	0.10	Sand	1.33	1.66	6.00	21.00	11.10	105.8	1.67	0,002
st 20	0	99.97	0.03	Sand	1.30	1.42	8.10	8.70	10.80	84.30	0.51	0.002
st 21	0	99.97	0.03	Sand	1.07	1.10	3.80	14.40	16.30	739.0	0.90	0.003
st 25	0.61	99.29	0.10	Sand	1.23	4.70	3.00	10.20	11.30	98.80	1.60	0.003
st 28	0	37.71	62.29	Sand-silt	2.6	27.30	11.00	42.10	15.90	133.5	5.89	0.037
st 29	0	20.97	79.03	Silty Clay	5.67	49.60	7.00	49.10	11.1	190.5	6.88	0.177

Figure 3. Pejrup's triangular diagram (1988) to the stations of Suape System.

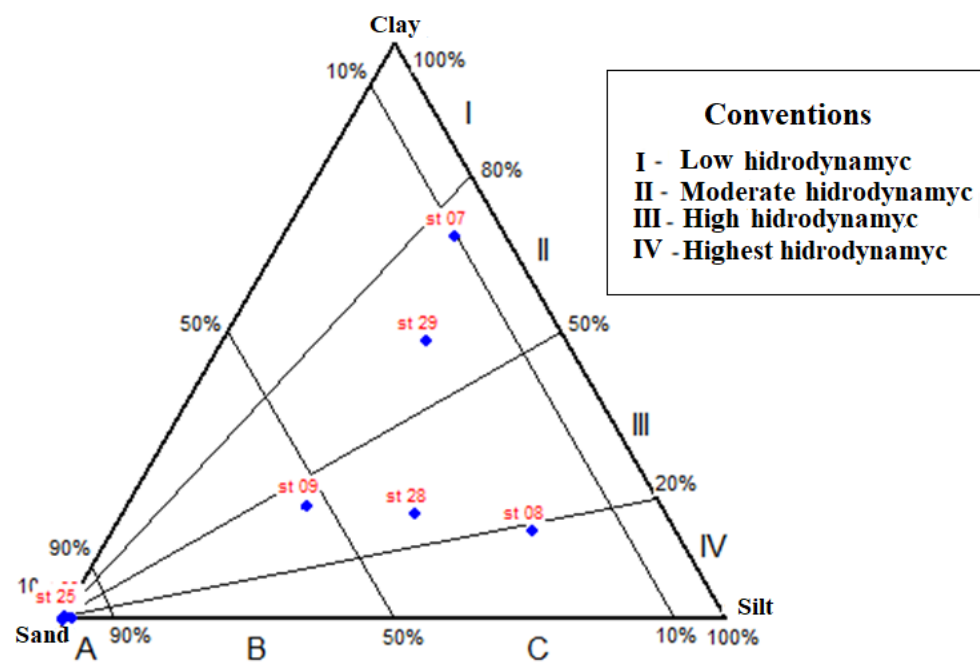
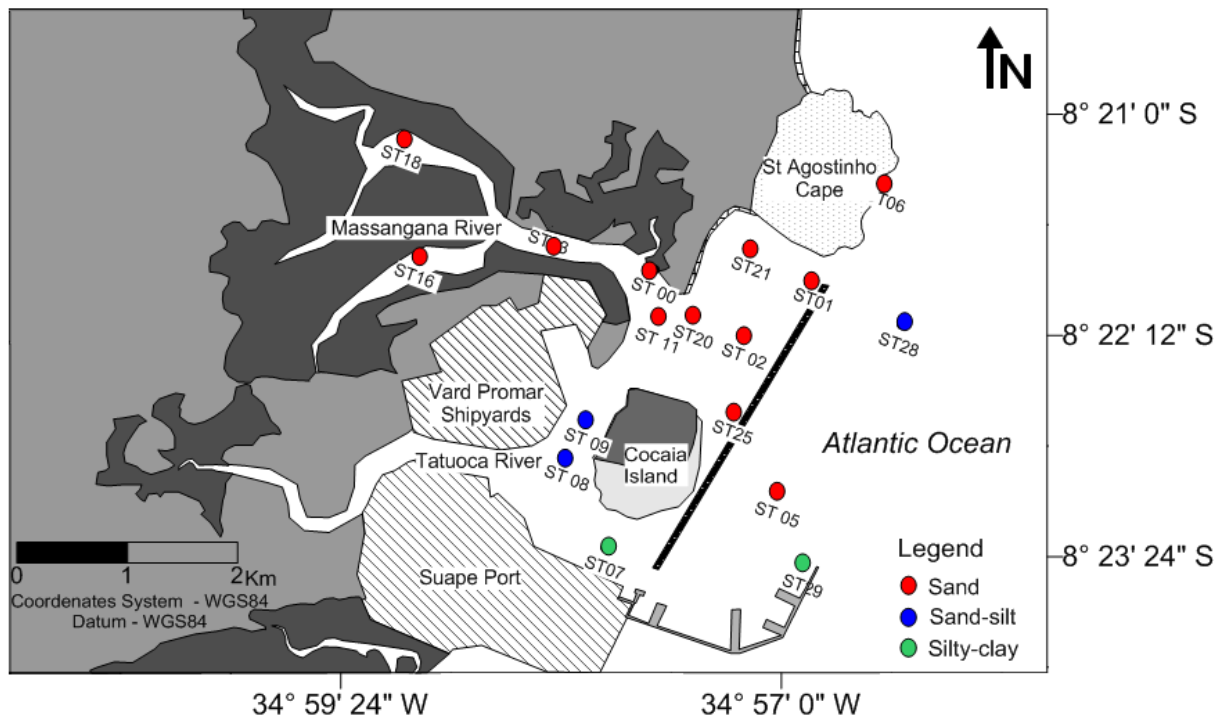


Figure 4. Distribution of sedimentary facies in Suape Estuarine System (PE), Brazil.



Based upon PCA (Fig. 5), it was possible to confirm that these stations have a sandy predominance.

The first two factorial axes obtained in the PCA analysis synthesize 72.7% of the total variance of the analyzed data, as shown in Table 2. The PCA analysis shows through Table 3 and its representation in Figure 5 the formation of groups with characteristics different sedimentological.

Figure 5. PCA Graph with all the samples.

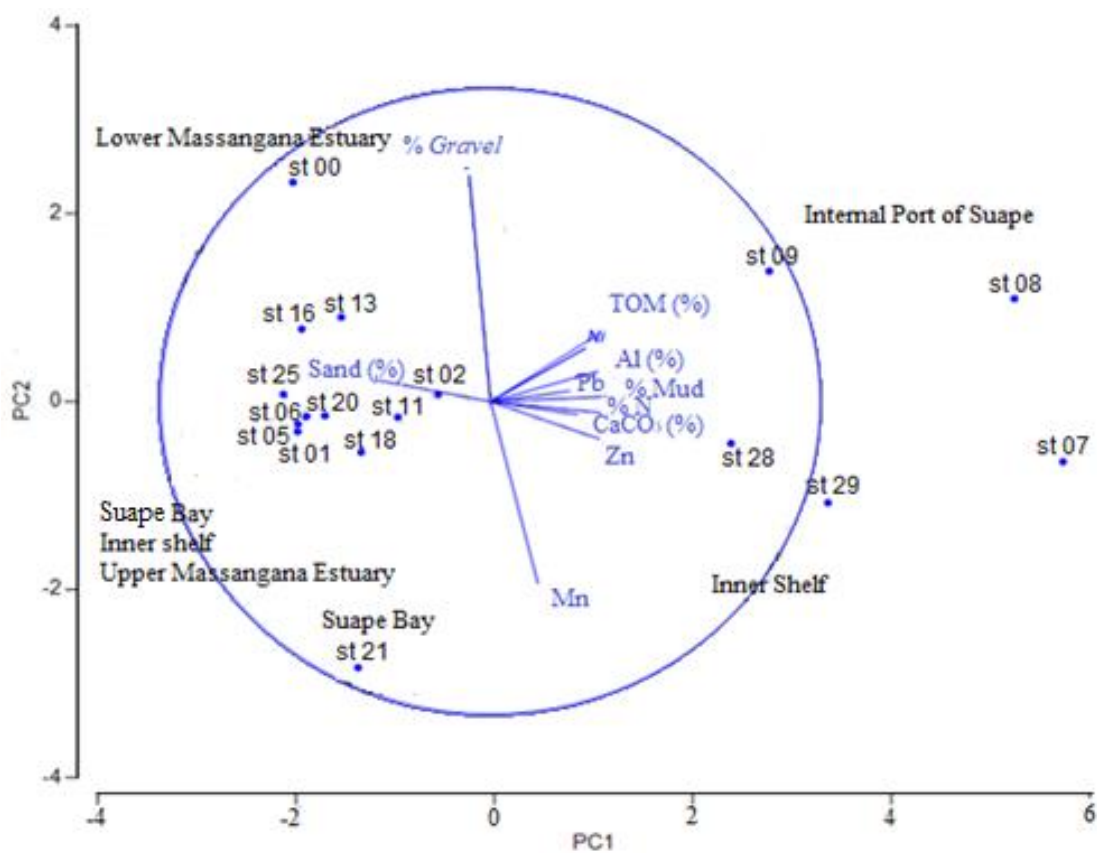


Table 2 - Cumulative variation of abiotic variables.

Eigenvalues

PC	Eigenvalues	%Variation	% Cumulative change
1	7,45	62,1	62,1
2	1,27	10,6	72,7
3	1,04	8,7	81,4
4	0,757	6,3	87,7
5	0,598	5,0	92,7

Table 3 – Abiotic parameter loadings for PCA axes 1 and 2.

Cumulative change	PC1	PC2
Gravel%	-0,064	0,723
Sand%	-0,348	0,069
Mud%	0,353	0,015
TOM Content %	0,331	0,219
CaCO ₃ %	0,264	-0,041
Ni	0,288	0,171
Zn	0,330	-0,119
Pb	0,241	0,034
Mn	0,144	-0,582
Al %	0,326	0,097
N %	0,333	-0,035

The main sediment composition parameters indicated by PCA are mud%, TOM%, Ni, Zn, Al%, N% (Table 3). The PCA analysis shows that the percentage of sand has low influence on the stations located in the inner channel of Suape Port and in the inner platform (south opening of Suape Port). These stations located in the inner shelf have greater influence of CaCO₃, Mn, Zn and N% contents, with ST29 being the station with the highest nitrogen value (Table 1).

The inner channel group (ST07, ST08, ST09) has a high influence of organic matter in its composition, with high mud contents and heavy metal influence, as well as% N (Fig. 5).

However, it is possible to observe that the ST00 station, located in the Massangana River estuary, differs from the others due to high percentage of gravel on its sediments. Another group formed by the presence of gravel and sand is ST13/ST16, according to PCA analysis, these stations located in the Massangana River estuary, in general, have no influence of heavy metals, organic matter and nitrogen in their compositions, but rather gravel contents due to the higher

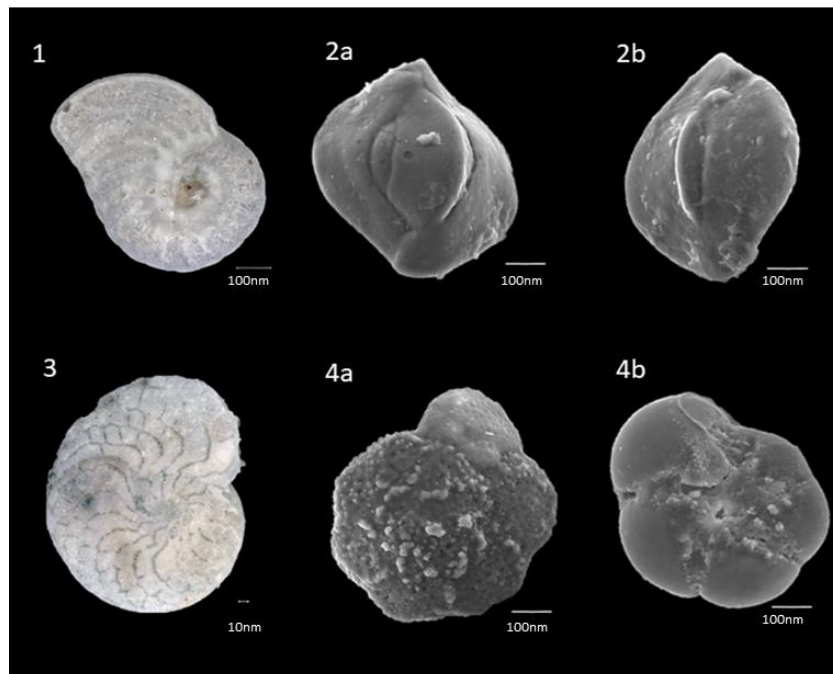
hydrodynamics of currents in the Massangana mouth area, which corroborates what was observed by Silva (2019).

4.2 Foraminiferal Assemblages

The foraminifera microfauna is composed of 903 specimens and 44 genera distributed in the orders Rotaliida, Milioliida, Textulariida, Lageniida, Lituoliida, Spirillinida, Nodosariida, Polymorphinida (Fig. 6/Appendix 2). A high proportion of broken tests was observed (approximately 13%), being called undetermined.

The absolute abundance of benthic foraminifera varied significantly between stations. While the stations located in the Massangana River estuary generally presented the absence of species and low abundance of foraminifera, the other stations located in Suape Bay were abundant in terms of foraminiferal assemblages.

Figure 6. 1 - *Nonion* sp. (side view), 2 - a *Quinqueloculina lamarckiana* (side view), 2 - b *Quinqueloculina lamarckiana* (umbilical view), 3 - *Amphistegina gibbosa*, 4a – *Ammonia parkinsoniana* (side view) 4b - *Ammonia parkinsoniana* (umbilical view)



Common species in confined environments showed high abundance in Suape Bay, such as *Ammonia tepida* (Cushman, 1926), *Ammonia parkinsoniana* (d'Orbigny, 1839) and *Eggerella* spp.. While stations adjacent to beachrocks showed typical marine species, such as *Amphistegina gibbosa* (d'Orbigny, 1839), *Archaias angulatus* (Fichtel and Moll, 1798) (Fig. 6).

The constant foraminifera species were *A. tepida* and *Q. lamarckiana* (Fig. 7). The diversity and fairness values ranged from 0.81 to 2.89 and from 0.50 to 0.86, respectively. The lowest richness and equitability values were observed in the ST 06 station (table 4), located on the inner platform, whose assemblage is predominately composed of *Q. lamarckiana* and *A. angulatus*.

Figure 7. Contour plots with a percentage distribution of dominant species in the study area. a) *Ammonia tepida*. b) *Eggerella* spp. c) *Amphistegina gibbosa* d) *Archaias angulatus* e) *Quinqueloculina lamarckiana* f) *Triloculina oblonga* (Montagu, 1803).

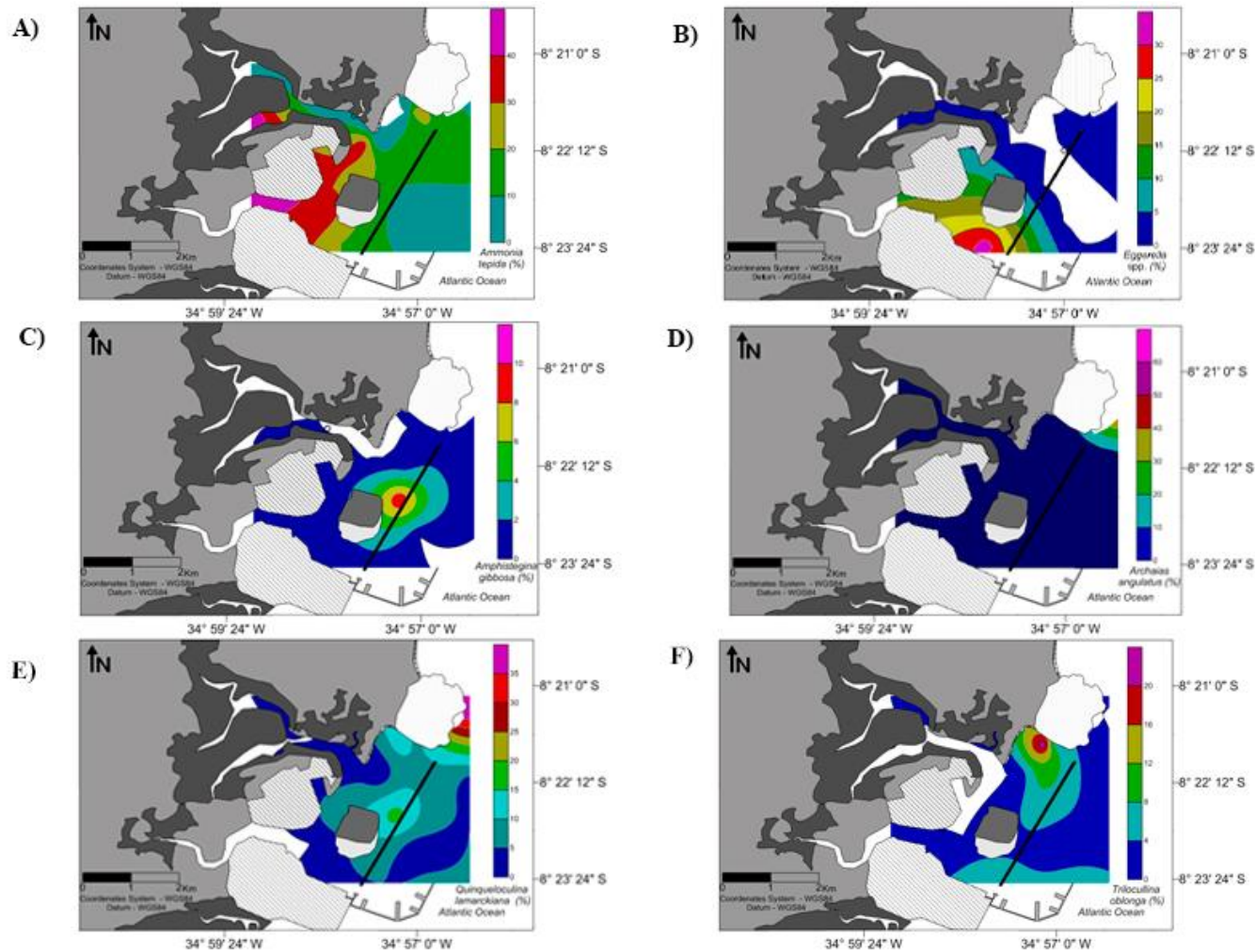
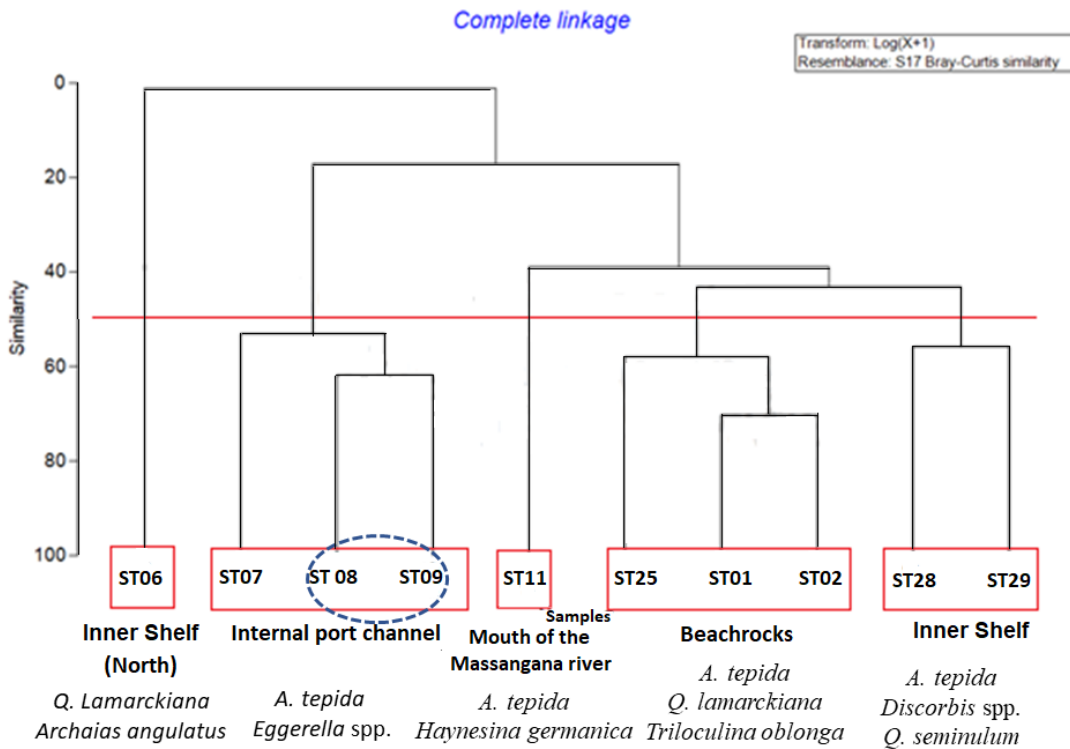


Tabela 4 – Rotaliida (Rot.), Miliolida (Mil.), Textulariida (Text.) Spirillinida (Spir.), Lagenida (Lag.), Lituolida (Lit.) foraminifera orders (higher abundance), absolute abundance (AA), species richness (S), Shannon diversity indices (H') and equitability (J') of Suape bay.

Stations	Rot. %	Mil. %	Text.%	Spir. %	Lit.%	AA	S	H'	J'
ST00	-	-	-	-	-	0	-	-	-
ST01	37	37	1	0	1	89	19	2.38	0.81
ST02	33	37	3	0	0	76	18	2.31	0.80
ST05	-	-	-	-	-	0	-	-	-
ST06	1	98	1	0	0	104	5	0.81	0.50
ST07	35	24	32	2	0	82	20	2.33	0.78
ST08	76	4	15	1	0	116	21	2.23	0.73
ST09	31	16	9	0	3	70	18	2.39	0.83
ST11	69	11	0	0	1	72	14	1.93	0.73
ST13	-	-	-	-	-	0	-	-	-
ST16	42	0	0	14	0	7	-	-	-
ST18	0	0	0	0	0	2	-	-	-
ST20	-	-	-	-	-	0	-	-	-
ST21	15	62	0	0	0	13	-	-	-
ST25	35	39	5	0	0	96	21	2.52	0.83
ST28	36	35	5	2	1	80	22	2.58	0.84
ST29	33	40	1	7	0	96	29	2.89	0.86

The Cluster analysis (Fig. 8) showed differences among the foraminiferal assemblages in the samples. With a cut of approximately 50% similarity, it was possible to observe, in general, the formation of two groups with the dominance of opportunistic species (Internal port channel and Mouth of the Massangana river), typical of polluted environments, and three groups with more marine characteristics.

Figure 8. Cluster analysis showing separation of foraminiferal assemblages grouped by geographical approximation. The horizontal dashed line represents the significance cut off.



The inner shelf station (North) is isolated due to the presence of the association *Q. lamarckiana* and *A. angulatus*, both with the constitution of the porcelain carapace. This association corresponds to approximately 98% of the foraminifera that makes up the station.

The group Internal port channel is characterized by the association *A. tepida* and *Eggerella* spp. It is possible to observe the subgroup formed by the ST08/ST09 stations with the largest dominance of the *A. tepida* species, differing from station ST07 that have the largest relative abundance of *Eggerella* spp..

The isolation of the ST11 station results from the presence of the association *A. tepida* and *Haynesina germanica* (Ehrenberg, 1840), being the only station among the study to present

dominance of the latter specie. This association presents the wall of the limestone-hyaline carapace and is located at the mouth of the Massangana River estuary, possibly presenting the greater influence of coastal waters.

The Beachrocks group consists mainly of the association *A. tepida* and *Triloculina oblonga* (Montagu, 1803). This species indicates a marine influence in this station, possibly due to the opening in the beachrocks for inlet vessels towards Suape Port. This fact can be confirmed by the ecological parameters, presenting the highest diversity and equitability indices, and lower species dominance.

The Inner shelf group is mostly represented by foraminifera typical of marine environments such as *Discorbis* spp. and *Quinqueloculina seminula* (Linnaeus, 1758). These ST28 and ST29 stations, when compared to the others, present a low abundance (<14%) of *Ammonia tepida*, showing a predominantly marine environment.

5 Discussion

In terms of sedimentary facies, predominates coarse-grained sediment (sand), which is associated to carbonate fragments. According to Pejrup (1988), lithoclastic sandy sediments (>80%) indicate a very high hydrodynamic energy environment (Fig. 3), a fact that corroborates the study by Oliveira et al. (2019).

The sedimentary facies distribution suggests that changes to the Suape Port deployment, such as the partial breakage of reefs to allow sea-to-bay communication, may have possibly altered local hydrodynamics or coarse-grained sediment may have been deposited there due to proximity of St. Agostinho Cape acting as a source area for continental sediments (Neumann et al., 1998).

MOT contents ranged from 1.0% to 15.83% and according to Oliveira et al. (2014) percentages above 6% indicate an association with muddy sediment (Table 1). As shown in Figure 2, the internal portions of the estuary have higher mud content with higher organic indexes, and thick sediments with low TOM contents are present on the continental shelf. This pattern of spatial distribution is characteristic and was also observed in other estuaries of the Pernambuco coast, such as the estuarine systems of the Jaboatão (Barcellos et al., 2016), Formoso (Santos and Barcellos, 2017), Goiana (Barcellos et al., 2016) and Capibaribe (Oliveira et al., 2014).

Suape estuarine system did not exceed the average Turekian and Wedepohl shale (1961) about the heavy metal concentrations, and It was also below the levels stipulated in the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), except at stations located in the port channel (Oliveira, 2019).

Abiotic factors, mangroves and marine influence contribute to the presence of a variety of species (Oliveira et al., 2019), with the high values of richness, diversity, and equitability (Table 4) compared to other regions in Brazil (Anjos-Zerfass et. al, 2006, Sousa et al., 2010, Vilela et al., 2017, Duleba et al. 2018). The occurrence of marine species indicates the influence of high salinity in the area, and the mangroves can retain nutrients through direct absorption from the floodwater and indirectly through sediment retention (Eyre, 1993) that, by the way, contribute to the ecological indexes. Possibly, transport by tide currents, waves and fluvial flow has a great influence on the distribution of foraminifera species in the studied area too.

However, despite the high ecological parameters, the benthic foraminiferal assemblages are composed of opportunistic organisms, especially of the genus *Ammonia*, in other regions of Brazil, such as the São Sebastião Channel (Teodoro et al., 2009, 2011), and the Campos Basin. (Yamashita et al., 2018).

The constant species reveal a typical fauna of a mixohaline environment, tolerant to a wide range of stressful conditions such as anthropogenic pollution and low oxygen levels (Murray, 2006). *Ammonia tepida* is an eurybiotic species that is characteristic of nearshore areas and paralic environments (Murray, 2006). The distribution of calcareous species is common in Brazilian estuaries, bays, and lagoons is always correlated to organic matter (Laut et al. 2016). The tolerance of *A. tepida* to adverse conditions, including organic and chemical pollution, has long been reported in both field studies and culture studies. Teodoro et al. (2009) associate the greater abundance of opportunistic species with muddy sediments, this pattern was observed in the inner channel of the Suape Port due to the dominance of *A. tepida*, especially at stations ST07, ST08.

Absolute abundance showed variation between samples collected in Suape Bay, with absence or low foraminifera abundance only in the sandy regions of the Massangana estuary and Suape lagoon/bay (ST00, ST05, ST13, ST16, ST18, ST21) submitted to higher hydrodynamics, while the stations with silica-sandy or clayey characteristics presented abundance of foraminifera.

The geochemical parameters analyzed present distribution related to the textural composition of the sediments due to the higher adsorption capacity of the grains; concentrations increase with decreasing grain size (Bordovskiy, 1965). Higher concentrations of TOM, Ni, Zn, Pb, Mn, Al%, TN are observed in stations with silt clay and clay silt sediments (ST07, ST08, ST28, ST29) located in the Suape Port Channel and the South from the inner channel port.

This fact is reflected in the cluster analysis (Fig. 5), with the formation of 5 groups with distinct characteristics. The association of *A. angulatus*/*Q. Lamarckiana* located on the inner shelf (Fig 4) presents the same dominance characteristic of the species *A. angulatus* reported by Machado and Araújo (2012) in the Abrolhos Reef Complex, Bahia - Brazil. The presence of

A. angulatus is justified on the internal platform by the percentages of gravel and sand higher than that of ambient mud, a fact also reported by Lemos Junior et al. (2014). In a study conducted in Biscayne Bay, Florida - USA, the algal symbiont-bearing genera *Archaias* is correlated negatively with Cu, Ni, Zn, Cr and Hg (Carnahan et al., 2008), which justifies the dominance of this species only at station ST06. This station, with low mud content, has a low correlation of heavy metals (Ni, Zn, Pb, Al) with its sandy composition (Fig. 3). The composition of this station reflects a high hydrodynamic energy environment (Pejrup, 1988), reflecting the foraminifera associations of porcelain-type caparaças resistant to local hydrodynamics (Araújo et al., 2011).

The Inner shelf group (ST28/ST29), located east of Suape Bay, and formed by the association *A. tepida*, *Discorbis* spp., *Q. Seminula*, the highest nitrogen content in sediments. This nutrient contributes to the increase of primary production, however, when in excess can initiate eutrophication processes and, consequently, environmental changes, such as turbidity, generated by the increase of microalgal biomass, and depletion in oxygenation levels (Esteves, 1998). The relationship between high levels of nitrogen and abundance of *Ammonia tepida* has been reported by other authors (Sousa et al., 2014, Teodoro et al., 2010).

The contribution of this nutrient to the marine environment may occur naturally and/or anthropically. Among the anthropic sources, the main one is the oceanic disposal of sewage, rich in nitrogen compounds (Aston and Hewit, 1977; Faganelli et al., 1988). These stations located in the Suape Port channel and inner shelf possibly reflect the discharge of domestic effluents from the Massangana River, which results in a high organic matter content. The families Cibicidae, Discorbidae, Rosalinidae, indicate coastal regions rich in the organic matter having medium to high hydrodynamics (Boltovskoy, 1959). The species of the genus

Discorbis, found in the present study in the outer region of the bay more frequently than in the central region, prove these characteristics in this area.

According to Alve (1995), there is the possibility of changes in the structures of foraminifera associations due to organic pollutants, among them, the decrease in richness, increase of tolerant species, which may cause the absence of foraminifera. Armynot Du Chatelet et al. (2004) showed that *H. germanica* is a successful pioneer species in polluted estuarine environments and in areas that are rich in organic matter. According to Calvo-Marcilese and Langer (2010), the species *H. germanica* usually coexists with several other benthic foraminifera species, the viability of the association of these species occur with *Ammonia parkinsoniana*, *A. tepida*, among others. This aspect is observed in figure 8, where it is possible to observe the isolation of the ST11 station due to the association *H. germanica* and *A. tepida*, a fact possibly resulting from the geochemical characteristic with intermediary concentration of heavy metals in the sedimentological composition (Fig. 5).

The sandy characteristic associated with the assemblage formed by the species *Ammonia tepida*, *Triloculina oblonga*, and *Quinqueloculina lamarckiana* demonstrates the marine characteristic of the Beachrocks group (ST25, ST01, ST02). Low levels of silt and clay, nitrogen and heavy metals demonstrate the sedimentological influence on grain adsorption and marine water renewal in maintaining local environmental quality. This fact corroborates the study by Vieira et al. (2014), where they associate higher sand contents to the high hydrodynamics energy of the environment in the continental shelf of Campos Basin; and also to the presence of the species *Q. lamarckiana* and the genus *Triloculina*, typical of sandy substrates with a marine influence. Paquette et al. (2016) observed the abundance of *Q. lamarckiana* close to the calcareous algal bank in the north of Arvoredo Island (Brazil).

Debeney et al. (2001) observed that the assemblages were dominated by 3 species (*Ammonia tepida*, *T. oblonga* and *Criboelphidium excavatum* var. *selseyense*) in a hypersaline lagoon (Araruama, Brazil). Thus, the presence of the reef and the high local hydrodynamic energy allow the renewal of the water adjacent to the beachrocks, as evidenced by the marine association of foraminifera, resistant porcelain shells and sandy sediments, demonstrating high hydrodynamics and the characteristic of a hypersaline lagoon at Suape Bay.

Based on analysis of PCA and cluster, it is possible to observe the relationship between the foraminifera associations and the sedimentological composition of the stations, the association *Ammonia tepida*/*Eggerella* spp. correlates with the high content of organic matter and mud (Fig. 5). The relationship between *A. tepida* species and high organic matter was also observed by Laut et al. (2016) on the Caeté River, Amazon (PA, Brazil). In the Potengi Estuary and the Mataripe Sound, where the sediments have relatively low concentrations of organic matter, foraminiferal assemblages were dominated by *A. tepida* (Laut et al, 2016). However, our results demonstrated that where the sediments have high concentrations of MOT, foraminiferal assemblages were dominated by *A. tepida* and *Eggerella* spp.. Schafer et al. (1975) associate the genus *Eggerella* with polluted industrial environments, this genus is also cited by Tsujimoto et al. (2006) as typical of eutrophic environments, such as in the inner region of Osaka Bay, Japan. This fact is reflected in the PCA analysis in which samples ST08, ST09, ST11 influenced by organic matter contents. The high TN% contents at Suape's internal port stations indicate a eutrophic environment.

The assemblages of foraminifera show a direct relationship with the high concentrations of Pb (22.60 to 26.50 mg/kg) and Ni (15.70 and 16.70 mg/kg), and HPA's at the opening of the port canal (Lemos et al., 2014). Therefore, the association *A. tepida* and *Eggerella* spp. (ST07,

ST08) demonstrates the anthropogenic influence on Suape Port Channel due to constant maritime traffic and operations carried out at terminals, piers, and shipyards. Therefore, this association is related to the increase in metal concentrations possibly due to various anthropogenic sources, with the release of different port, industrial and domestic effluents along the drainage basin.

6. Conclusions

The sediments are predominantly sandy, except for the Tatuoca dredged channel, with muddy sediments. The highest concentration of heavy metals is found in the western part of the bay, mainly in the inner channel of Suape Port. This study indicates that the distribution of heavy metals depends on the amount of fine-grained sediment, as these are more enriched by metallic elements compared to coarser grained ones.

It can be seen that the eastern part of the bay, directly connected to the open sea through the beachrocks opening, is partly naturally purified by tidal currents and wave forces, which may be correlated with the dominance of hard shell foraminifera and low abundance of opportunistic species.

The benthic foraminifera fauna is composed mostly of the predominant genus *Ammonia*, mainly in the western part of the bay, due to the instability of the environment due to the coastal waters of the Massangana and Tatuoca rivers, and the anthropic action associated with the port complex. The dominance of this genus reveals an association with *Eggerella* spp., mainly in regions rich in organic matter associated with the presence of fine and muddy sediments. The association of *Ammonia tepida* and *Eggerella* spp., found in the internal port channel of Suape, is a result of the sludge characteristic of the sediment associated with a high concentration of

organic matter, heavy metals, and nitrogen, providing a favorable environment for the establishment of invasive species.

Although the low average concentrations of nickel, lead and zinc metals in the Suape estuary sediments are below national and international reference values, foraminiferous distributions in the Suape Bay estuary indicate the influence of anthropogenic pollutants interactions. Those includes heavy metals, nutrients and organic compounds that mainly influence the foraminifera association, mainly in the inner channel of Suape Port. We recommend environmental monitoring for the control of *Eggerella* species and the treatment of chemical effluents in the region.

Acknowledgments

The authors are grateful for the financial support of the project: “Holocene sedimentation in the region of influence of the Suape port-industrial complex (PE) (Suape-GeoSub)” – FACEPE (*Science and Technology Support Foundation of Pernambuco State*). We are grateful for the talented editing in English done by Christofer Paul Barker from EcoLogicproject.com.

References

- Alve, E., 1995. Benthic foraminiferal responses to estuarine pollution: a review. *Journal Foraminiferal Research*, 25, 190–203. <https://doi.org/10.2113/gsjfr.25.3.190>.
- Anjos-Zerfass, G.S., Andrade, E.J., Lessa, G.C., Machado, A.J., 2006. Foraminíferos Bentônicos do Estuário de Cacha-Prego Ilha de Itaparica, Bahia, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 33, 43–54. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.19512>.

- Araújo, H.A.B., Bruno, R.L.M., Machado, A.J., 2011. Impacto da hidrodinâmica e da sedimentação sobre a microfauna de foraminíferos bentônicos de áreas recifais do sul da Bahia, Brasil. *Bioikos*. 25, 91–108.
- Armynot Du Chatelet, E., Debenay, JP., Soulard, R., 2004. Foraminiferal proxies for pollution monitoring in moderately polluted harbors. *Environment Pollut.* 127, 27–40. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(03\)00256-2](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(03)00256-2)
- Aston, S.R., Hewitt, C.N., 1977. Phosphorus and carbon distributions in a polluted coastal environment. *Estuarine and Coastal Marine Science*. 5, 243-254. [https://doi.org/10.1016/0302-3524\(77\)90020-2](https://doi.org/10.1016/0302-3524(77)90020-2).
- Barcellos, R.L., Alves, C.S., Filho, A.F. 2016. Geoquímica e Dinâmica Sedimentar do Sistema Estuarino do Rio Goiana. Ed. Sambrucken, Novas Edições Acadêmicas. 96 p.
- Barcellos, R.L., Santos, L.D. 2018. Histórico de impactos ambientais e o Estado-da-Arte em Oceanografia no sistema estuarino-lagunar de Suape-Ipojuca (PE). *Parcerias Estratégicas*. 23, 155-168. http://seer.cgee.org.br/index.php/parcerias_estrategicas/article/viewFile/894/812.
- Boltovskoy, E. 1959. Foraminifera as biological indicators in the study of ocean currents. *Micropaleontology*, 5, 473-481. <https://www.jstor.org/stable/1484129>.
- Boltovskoy, E., Giussani, G., Watanabe, S., Wright, R. 1980. Atlas of benthic shelf foraminifera of the Southwest Atlantic, ed. Springer.
- Boltovskoy, E., Totah, V. 1985. Diversity, similarity and dominance in benthic foraminiferal fauna along one transect of the Argentine shelf. *Revue de Micropaléontologie*. 28, 23-31.
- Bordovskiy, O.K., 1965. Accumulation of Organic Matter in Bottom Sediments. *Marine Geology*. 3, 33-82. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(65\)90004-6](https://doi.org/10.1016/0025-3227(65)90004-6).
- Burone, L., Venturini, N., Sprechmann, P., Valente, P., Muniz, P. 2006. Foraminiferal

- responses to polluted sediments in the Montevideo coastal zone, Uruguay. *Marine Pollution Bulletin*. 52, 61-73. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.08.007>.
- Calvo-Marcilese, L., Langer, M.R. 2010. Breaching biogeographic barriers: the invasion of *Haynesina germanica* (Foraminifera, Protista) in the Bahia Blanca estuary, Argentina. *Biol Invasions*. 12,3299–3306. <https://doi.org/10.1007/s10530-010-9723-x>.
- Carnahan, E.A., Hoare, A.M., Hallock, P., Lidz, B.H., Reich, C.D. 2008. Distribution of Heavy Metals and Foraminiferal Assemblages in Sediments of Biscayne Bay, Florida, USA. *Journal of Coastal Research*. 24, 159–169. <https://doi.org/10.2112/06-0666.1>.
- Cearreta, A., Irabien, M.J., Leorri, E., Yusta, I., Quintanilha, A., Zabaleta, A. 2002. Environmental transformation of the Bilbao estuary, N. Spain: microfaunal and geochemical proxies in the recent sedimentary record. *Marine Pollution Bulletin*. 44, 487–503. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(01\)00261-2](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(01)00261-2).
- Dajoz, R. 1983. *Ecologia geral*, ed. Vozes, Petrópolis.
- Debenay, J.P., Tsakiridis, E., Soulard, R., Grossel, H., 2001. Factors determining the distribution of foraminiferal assemblages in Port Joinville Harbor (Ile d'Yeu, France): the influence of pollution. *Mar. Micropaleontol*. 43, 75–118. [https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(01\)00023-8](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(01)00023-8)
- Donnici, S., Rossanaserandrei-Barbero, R., Bonardi, M., Sperle, M. 2012. Benthic foraminifera as proxies of pollution: The case of Guanabara Bay (Brazil). *Marine Pollution Bulletin*. 64, 2015–2028. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.06.024>
- Ellis, B.F., Messina, A., 1940. *Catalogue of Foraminifera*, ed. Micropaleontology Project, New York.
- Esteves, F. 1998. *Fundamentos de limnologia*, ed. Interciência, Rio de Janeiro.
- Eyre, B. D. 1993. Nutrients in the sediments of a tropical north-eastern Australian estuary,

- catchment and nearshore coastal zone. *Australian Journal of Marine and Freshwater Research*, 44, 845–866.
- Faganelli, J., Malej, A., Pezdic, J., Malacic, V., 1988. C:N:P ratios and stable C isotopic ratios as indicator of sources of organic matter in the Gulf of Trieste (northern Adriatic). *Oceanologia Acta*, 11, 377–382.
- Fatela, F., Taborda, R., 2002. Confidence limits of species proportions in microfossil assemblages. *Marine Micropaleontology*, 45, 169–174. [https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(02\)00021-X](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(02)00021-X)
- Folk, R.L., Ward, W.C., 1957. Brazos River Bar: Study of the Significance of Grain Size Parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*. 27, 3-26.
- Frontalini, F., Buosi, C., Da Pelo, S., Coccioni, R., Cherchi, A., Bucci, C., 2009. Benthic foraminifera as bio-indicators of trace element pollution in the heavily contaminated Santa Gilla lagoon (Cagliari, Italy). *Marine Pollution Bulletin*. 58, 858-877. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2009.01.015>.
- Hedges, J.I., Stern, J.H., 1984. Carbon and nitrogen determinations in carbonate containing solids. *Limnology and Oceanography*. 29, 657-663, 1984. <https://doi.org/10.4319/lo.1984.29.3.0657>.
- Kramer, K.J.M., Botterweg, J., 1991. Aquatic biological early warning systems: an overview. In: Jeffrey, D.W., Mudden, B. (Eds.), *Bioindicators and Environmental Management*. Academic Press, London, pp. 95-126.
- Laut, L.L.M., Martins, M.V.A., Frontalini, F., Belart, P., Santos, V.F., Lorini, M.L.; Fortes, R.R.; Silva, F.S., Vieira, S.S.S., Souza Filho, P.W.M. 2016. Biotic (foraminifera and thecamoebians) and abiotic parameters as proxies for identification of the environmental heterogeneity in Caeté River Estuary, Amazon Coast, Brazil. *Journal of Sedimentary*

- Environments. 1, 1-16. <https://doi.org/10.12957/jse.2016.21264>
- Laut, L.L.M., Martins, V., da Silva, F. S., Crapez, M. A. C., Fontana, L. F., Carvalhal-Gomes, S. B. V., & Souza, R. C. C. L. 2016. Foraminifera, Thecamoebians, and Bacterial Activity in Polluted Intertropical and Subtropical Brazilian Estuarine Systems. *Journal of Coastal Research*, 317, 56–69. <https://doi.org/10.2112/jcoastres-d-14-00042.1>
- Larsonneur, C., Bouysse, P., Aufret, J.P., 1982. The Superficial Sediments of the English Channel and its Western Approach. *Sedimentology*. 29, 851-864. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1982.tb00088.x>.
- Le Cadre, V., Debenay, J-P., 2006. Morphological and cytological responses of Ammonia (foraminifera) to copper contamination: Implication for the use of foraminifera as bioindicators of pollution. *Environmental Pollution*. 143, 304-317 <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.11.033>.
- Lemos Junior, I.C., Machado, A.J., Andrade, E.J., Vieira, F.S., Guimarães, C.R.P. 2014. Macroforaminíferos da plataforma continental de Sergipe, Brasil. *Scientia Plena*, 10, 1-11.
- Lemos, R.T.O., De Carvalho, P.S., Zanardi-Lamardo, E., 2014. Petroleum hydrocarbons in water from a Brazilian tropical estuary facing industrial and port development. *Marine Pollution Bulletin*, 82, 183-188. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.03.010>.
- Loeblich, A., Tappan, H., 1988. Foraminiferal genera and their classification. ed. Van Nostrand Reinhold., New York, 970p.
- Machado, A.J.M., Borges, H.A., 2012. Relação entre a microfauna de foraminíferos e a granulometria do sedimento do Complexo Recifal de Abrolhos, Bahia, a partir de análises multivariadas. *Revista Brasileira de Geociências*. 42, 547-562.

<http://dx.doi.org/10.5327/Z0375-75362012000300009>

- Machain-Castillo, M.L., Ruiz-Fernández, A.C., Gracia, A., Sanchez-Cabeza, J.A., Rodríguez-Ramírez, A., Alexander-Valdés, H.M., Pérez-Bernal, L.H., Nava-Fernández, X.A., Gómez-Lizárraga, L. E., Almaraz-Ruiz, L., Schwing, P.T., Hollander, D.J. 2019. Natural and anthropogenic oil impacts on benthic foraminifera in the Southern Gulf of Mexico. *Marine environmental research*. 149, 11-125. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2019.06.006>
- Murray, J.W., 2006. Ecology and applications of benthic foraminifera, ed. Cambridge University Press, New York.
- National Oceanic and Atmospheric Administration. Screening Quick Reference Tables, NOAA OR&R Report 08-1, Seattle WA, Office of Reponse and Restoration Division, National Oceanic and Atmospheric Administration, 34 pages, 2008.
- Neumann, V. H.; Medeiros, C.; Parente, L.; Neumann-Leitão, S.& Koenig, M. L., 1998. Hydrodynamism, sedimentology, geomorphology and plankton changes at Suape area (Pernambuco-Brazil) after a Port Complex Implantation. *Anais Academia Brasileira de Ciências*, 70, 313-323.
- Oliveira, T. de S., Barcellos, R.L., Schettini, C. A. F., Camargo, P.B. de., 2014. Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica em um complexo estuarino tropical, Recife, PE, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 14, 399–411. <https://doi.org/10.5894/rgci470>.
- Oliveira, T.R.S., Santos, L.D., Silva, J.C. A; Eichler, P.P.B., Barcellos, B.L. 2019. Correlação entre Características Sedimentológicas e Foraminíferos Bentônicos em Porto de Suape (PE-Brasil): um Estudo Ambiental. *Anuário do Instituto de Geociências*.42,159-168. http://dx.doi.org/10.11137/2019_2_159_168.

- Oliveira, T. de S., *Sedimentação Holocênica Na Região De Influência Do Complexo Industrial Portuário de Suape (PE)*. 2019. Thesis. PPGEOC, Recife, 2019.
- Paquette, M.-L., Bonetti, C., Bitencourt, V., & Bonetti, J. 2016. Spatial patterns of benthic foraminifera as a support to the oceanographic characterisation of Arvoredo biological marine reserve (South Atlantic, Brazil). *Marine Environmental Research*, 114, 40–50. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.12.012>
- Pejrup, M., 1988. The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new Approach, *in*: Boer, P.L.; Van Gelder, A. and Nio, S.D. (Ed)., *Tide-influenced sedimentary environments and facies*. D. Reidel, Dordrecht, pp. 289-300.
- Price, E.B., Kabengi, N., Goldstein, S. T. 2019. Effects of heavy-metal contaminants (Cd, Pb, Zn) on benthic foraminiferal assemblages grown from propagules, Sapelo Island, Georgia (USA). *Marine Micropaleontology*, 147, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.marmicro.2019.01.004>.
- Samir, A.M., El-Din, A.B., 2001. Benthic foraminiferal assemblages and morphological abnormalities as pollution proxies in two Egyptian bays. *Mar. Micropaleontol.* 41, 193–227. [https://doi.org/10.1016/S0377-8398\(00\)00061-X](https://doi.org/10.1016/S0377-8398(00)00061-X).
- Santos, L.D., Barcellos, R.L. 2017. *Sedimentação Atual Do Estuário Do Rio Formoso (PE, Brasil)*, First, ed. Novas Edições Acadêmicas.
- Schafer, C.T., Wagner, F. J. E., Ferguson, C., 1975. Occurrence of foraminifera, molluscs and ostracods adjacent to the industrialized shoreline of Canso Strait, Nova Scotia. *Water, Air, and Soil Pollution*. 5, 79–96. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00431582>
- Scott, D.B., Schafer, C.T., Honig, C., Younger, D.C., 1995. Temporal variations of benthic foraminiferal assemblages under or near aquaculture operations: documentation of impact

- history. *Journal of Foraminiferal Research*. 25, 224–235.
<https://doi.org/10.2113/gsjfr.25.3.224>
- Setty, M.G.A.P., Nigam, R., 1984. Benthic foraminifera as pollution indices in the marine environment of west coast of India. *Rev. Itay. Paleontol. Straigr.* 89, 421–436.
<http://drs.nio.org/drs/handle/2264/6402>
- Shepard, F.P., 1954. Nomenclature Based on Sand-Silt-Clay Ratios. *Journal of Sedimentary Petrology Research*, 24(3):151-158. <https://doi.org/10.1306/D4269774-2B26-11D7-8648000102C1865D>.
- Skoog, D.A., Holler, F. J., Nieman, T.A. 2009. *Princípios de Análise Instrumental*. fifth ed. Bookman, Porto Alegre.
- Silva, M.S. 2019. Processamento de dados de ADCP móvel para estudos de circulação em estuários. TCC, Bacharelado em Oceanografia, UFPE, Recife (PE), 45p.
- Sousa, S.H.M., Amaral, P.G.C., Martins, , V., Figueira, R.C.L., Siegle, E., Ferreira, P.A.L., Silva, I.S., Shinagawa, E., Salaroli, A., Schettini, C.A.F., Santa-Cruz, J., Mahiques, M.M. 2014. Environmental Evolution of the Caravelas Estuary (Northeastern Brazilian Coast, 178 S, 398 W) Based on Multiple Proxies in a Sedimentary Record of the Last Century. *Journal of Coastal Research*, 30, 474–486. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-12-00051.1>
- Suguio, K., 1973. *Introdução à sedimentologia*, ed. Blucher, São Paulo.
- Teodoro, A.C., Duleba, W., Lamparelli, C. 2009. Associações de foraminíferos e composição textural da região próxima ao emissário submarino de esgotos domésticos de Cigarras, Canal de São Sebastião, SP, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 36, 79-94.
<https://doi.org/10.22456/1807-9806.17876>
- Teodoro, A.C, Duleba, W., Gubitoso, S., Prada S.M., Lamparelli C.C., Bevilacqua J.E. 2010. Analysis of foraminifera assemblages and sediment geochemical properties to

- characterise the environment near Araçá and Saco da Capela domestic sewage submarine outfalls of São Sebastião Channel, São Paulo State, Brazil. *Mar Pollut Bull.*, 60, 536-53. 10.1016/j.marpolbul.2009.11.011
- Teodoro, A.C., Duleba, W., Gubitoso, S. 2011. Estudo Multidisciplinar (Geoquímica e Associações de Foraminíferos) para Caracterizar e Avaliar Intervenções Antrópicas na Baía do Araçá, Canal de São Sebastião, SP. *Geologia USP.* 11, 113-136. <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X2011000100007>
- Tsujimoto, A., Nomura, R., Yasuhara, M., Yoshikawa, S., 2006. Benthic foraminiferal assemblages in Osaka Bay, southwestern Japan: faunal changes over the last 50 years. *Paleontological Research.* 10, 141–161. <https://doi.org/10.2517/prpsj.10.141>.
- Turekian, K.K., Wedepohl, K.H., 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. *GSA Bulletin.* 32, 175-192. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1961\)72\[175:DOTEIS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1961)72[175:DOTEIS]2.0.CO;2).
- Vieira, F. S., Machado Koutsoukos, E. A., Machado, A. J., & Trindade Dantas, M. A. (2015). Biofaciological zonation of benthic foraminifera of the continental shelf of Campos Basin, SE Brazil. *Quaternary International*, 377, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.12.020>
- Vilela, C.G., Macedo, M.C., Baptista Neto, J.A., 2017. Foraminiferal Assemblage and Bioindicators for Evaluation of the Anthropogenic Impact in the Guanabara Bay, Rio de Janeiro, SE Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências.* 40, 386-387. DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2017_3_386_397
- Yanko, V., Arnold, A.J., Parker, W.C., 1999. Effects of marine pollution on benthic foraminifera. In: Sen Gupta, B.S. (Ed.), *Modern Foraminifera*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 217–238.

Yamashita, C., Sousa; S.H.M., Vicente, T.M., Martins, M.V., Nagai, R.H., Fabrizio, F., Godoi, S. S., Napolitano, D., Burone, L., Carreira, R., Figueira, R.C.L., Taniguchi, N.K., Rezende, C.E., Koutsoukos, E.A.M., 2018. Environmental controls on the distribution of living (stained) benthic foraminifera on the continental slope in the Campos Basin area (SW Atlantic). *Journal of Marine Systems*. 181, 37-52. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2018.01.010>.

APPENDIX 1. Listing of the location of all collection points, with geographic coordinates, meshes, meshes used and absolute abundance data.

Massangana and Tatuoca rivers						
Stations	Coordinate		Depth	Meshes (mm)	Meshes used (mm)	Data (abundance)
ST00	-8,36329	-34,96204	3.0	0.062; 0.125; 0.250	0.062; 0.125; 0.250	barren
ST01	-8,36355	-34,9471	10.0	0.062	0.062	abundance
ST02	-8,37096	-34,95173	1.5	0.062	0.062	abundance
ST05	-8,38944	-34,9544	9.5	0.062; 0.125; 0.250	0.062; 0.125; 0.250	barren
ST06	-8,36025	-34,9409	17.0	0.062; 0.125; 0.250	0.125	abundance
ST07	-8,38787	-34,96682	15.2	0.062	0.062	abundance
ST08	-8,38045	-34,96941	14.0	0.062	0.062	abundance
ST09	-8,37784	-34,96843	12.0	0.062	0.062	abundance
ST11	-8,3682	-34,9603	3.5	0.062	0.062	abundance
ST13	-8,36013	-34,97115	3.9	0.062; 0.125; 0.250	0.062; 0.125; 0.250	barren
ST16	-8,36514	-34,98382	2.6	0.062; 0.125; 0.250	0.062	7
ST18	-8,35218	-34,98486	3.6	0.062; 0.125; 0.250	0.062	2
ST20	-8,36832	-34,95731	2.4	0.062; 0.125; 0.250	0.062; 0.125; 0.250	barren
ST21	-8,36232	-34,95242	1.7	0.062; 0.125; 0.250	0.062; 0.125	13
ST25	-8,37668	-34,95389	1.4	0.062; 0.125; 0.250	0.065; 0.125	abundance
ST28	-8,36853	-34,94064	18.0	0.062	0.062	abundance
ST29	-8,3912	-34,9478	19.7	0.062; 0.125; 0.250	0.062	abundance

APPENDIX 2. List of species identified in samples collected off Suape Estuarine System, total abundance per 10 cm³ of sediment (A) and relative frequency (R) as percent of foraminiferal species.

Station number	ST01		ST02		ST06		ST07		ST08		ST09		ST11		ST16		ST18		ST21		ST25		ST28		ST29	
Frequency	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R	A	R
<i>Arenoparrella mexicana</i>	1	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	4	6%	1	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%	0	0%
<i>Adelosina</i> sp.	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%
<i>Ammonia parkinsoniana</i>	7	8%	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%	1	1%	2	3%	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%	0	0%	1	1%
<i>Ammonia tepida</i>	21	24%	14	18%	0	0%	16	20%	46	40%	21	30%	26	36%	3	43%	0	0%	0	0%	11	11%	11	14%	9	9%
<i>Amphistegina gibbosa</i>	2	2%	1	1%	0	0%	1	1%	1	1%	1	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	10	10%	0	0%	0	0%
<i>Archaias angulatus</i>	0	0%	0	0%	62	60%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
<i>Articulina</i> spp.	0	0%	2	3%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
<i>Bolivina</i> sp.	0	0%	1	1%	0	0%	1	1%	2	2%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	2	2%
<i>Bolivina ordinaria</i>	0	0%	0	0%	0	0%	2	2%	4	3%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%
<i>Bolivina</i> spp.	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%	2	2%	1	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%	2	2%
<i>Bolivina striatula</i>	1	1%	0	0%	0	0%	0	0%	4	3%	3	4%	1	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
<i>Bulimina</i> spp.	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	2	2%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	2	2%
<i>Buliminella</i> sp.	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%	0	0%
<i>Cassidulina</i> spp.	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%	1	1%	2	2%
<i>Cibicidoides pseudoungeriana</i>	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	2	2%	0	0%	1	1%
<i>Cibicides</i> sp.	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	8%	0	0%	0	0%	0	0%
<i>Cibicides</i> sp1.	0	0%	1	1%	0	0%	1	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	6	8%	1	1%
<i>Cibicides</i> spp	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%	1	1%
<i>Cornuspira involvens</i>	2	2%	0	0%	0	0%	2	2%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%	1	1%	2	2%
<i>Cycloforina</i> spp.	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%	0	0%	1	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
<i>Discorbinella bertheloti</i>	0	0%	2	3%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
<i>Discorbinella pustulata</i>	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%
<i>Discorbis</i> spp.	0	0%	0	0%	1	1%	3	4%	0	0%	4	6%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	3	3%	11	14%	4	4%
<i>Eggerella</i> spp.	0	0%	0	0%	0	0%	26	32%	18	16%	10	14%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	2	3%	1	1%
<i>Elphidium</i> sp.	1	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
<i>Elphidium</i> spp.	2	2%	1	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%	1	1%	0	0%
<i>Fissurina</i> spp.	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%	2	2%	0	0%	1	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%	0	0%
<i>Fursenkoina</i> spp.	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	4	3%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
<i>Haynesina germanica</i>	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	10	9%	3	4%	15	21%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%

<i>Massilina pernambucensis</i>	2	2%	2	3%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%	0	0%	0	0%		
<i>Miliolinella subrotunda</i>	2	2%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%		
<i>Neoconorbina terquemi</i>	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%		
<i>Nonion</i> spp.	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%	0	0%	1	1%		
Planctônicos	1	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%		
<i>Patellina corrugata</i>	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%		
<i>Peneroplis</i> spp.	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	3	3%	3	4%	0	0%		
<i>Pseudononion japonicum</i>	1	1%	0	0%	0	0%	3	4%	5	4%	1	1%	1	1%	0	0%	0	0%	1	8%	0	0%	0	0%	1	1%
<i>Pseudononion</i> spp.	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%	2	2%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%		
<i>Pseudotriloculina patagonica</i>	2	2%	1	1%	0	0%	1	1%	0	0%	0	0%	1	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	5	5%		
<i>Quinqueloculina lamarkiana</i>	7	8%	7	9%	39	38%	3	4%	0	0%	6	9%	3	4%	0	0%	0	0%	2	15%	17	18%	3	4%	7	7%
<i>Quinqueloculina poeyana</i>	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%	1	1%	1	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%	0	0%		
<i>Quinqueloculina seminula</i>	9	10%	7	9%	0	0%	7	9%	1	1%	5	7%	3	4%	0	0%	0	0%	1	8%	4	4%	16	20%	11	11%
<i>Quinqueloculina</i> spp.	1	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	4	6%	0	0%	0	0%	0	0%	1	8%	0	0%	4	5%	5	5%
<i>Reussella</i> sp.	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%	0	0%	0	0%		
<i>Rosalina floridana</i>	0	0%	3	4%	0	0%	0	0%	4	3%	0	0%	4	6%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	2	3%	1	1%
<i>Sigmavirgulina tortuosa</i>	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%		
<i>Siphonina</i> spp.	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	2	2%	0	0%	0	0%		
<i>Siphogenerina duartei</i>	0	0%	1	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%		
<i>Spirillina</i> spp.	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	2	2%		
<i>Spirillina vivipara</i>	0	0%	0	0%	0	0%	2	2%	1	1%	0	0%	0	0%	1	14%	0	0%	0	0%	0	0%	2	3%	4	4%
<i>Spiroloculina</i> spp.	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	8%	5	5%	0	0%	0	0%
<i>Sahulia conica</i>	0	0%	2	3%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	2	2%	1	1%	0	0%		
<i>Textularia</i> spp.	1	1%	0	0%	1	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	3	3%	1	1%	0	0%		
<i>Triloculina oblonga</i>	8	9%	8	11%	0	0%	5	6%	0	0%	0	0%	1	1%	0	0%	0	0%	3	23%	6	6%	0	0%	7	7%
<i>Uvigerina</i> sp.	0	0%	1	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	1%	0	0%	0	0%		
<i>Wiesnerella auriculata</i>	0	0%	1	1%	0	0%	0	0%	2	2%	1	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%		
Indeterminados	18	20%	21	28%	1	1%	4	5%	3	3%	2	3%	12	17%	3	43%	2	100%	3	23%	20	21%	9	11%	18	19%

8 CONCLUSÃO GERAL

Os sedimentos do Sistema Estuarino-Lagunar de Suape são predominantemente arenosos, litoclásticos e pobremente selecionados. As modificações antrópicas ocasionadas para implantação do porto de Suape refletiram na fauna de foraminíferos, com dominância de espécies oportunistas na região de maior concentração média dos elementos metálicos estudados e de nitrogênio, bem como de maior deposição de sedimentos finos e de teores orgânicos do sistema estuarino no canal do Porto Interno de Suape.

As assembleias de foraminíferos bentônicos são compostas principalmente por organismos tolerantes à instabilidade ambiental, com predomínio do gênero *Ammonia* sobre os demais, principalmente em estações com maiores teores de silte e argila. A dominância deste gênero revela uma associação com regiões que sofrem estresse ambiental devido à presença de elevados teores de matéria orgânica, metais pesados e nitrogênio, que estão associados à presença de sedimentos lamosos.

A fauna do Complexo Estuarino de Suape é representada principalmente pelas espécies *Ammonia tepida*, *A. parkinsoniana*, *Amphistegina gibbosa*, *Archaias angulatus*, *Discorbis* spp., *Eggerella* spp., *Massilina pernambucensis* e *Triloculina oblonga*.

Estações de granulação mais grossa se apresentam com abundância de macroforaminíferos *Quinqueloculina lamarckiana* e *Archaias angulatus*, demonstrando um ambiente de alta hidrodinâmica de ondas. A presença de espécies marinhas na baías estuarinas dos rios Ipojuca/Merepe, Massangana/Tatuoca indicam que a região apresenta, também, alta influência de águas de origem marinha nas estações externas e próximas aos *beachrocks*, fato que possivelmente decorre da abertura parcial dos recifes da região.

As regiões dos rios Ipojuca/Merepe e Tatuoca/Massangana apresentam um alto valor de diversidade, equitatividade e riqueza de espécies. Porém, os rios Ipojuca/Merepe apresentaram,

no geral, os maiores índices ecológicos, possivelmente devido a influência dos manguezais, dos rios e do oceano. O que não ocorre do lado Norte do sistema, apenas representado pela drenagem incipiente do Massangana.

Os dados indicam que sedimentos com características lamosas e altos teores de matéria orgânica influenciaram diretamente na composição das associações foraminíferas. Correlacionadas a estas lamas encontram-se elevados percentuais de metais pesados e nitrogênio, indicando eutrofização da região do canal do porto interno, o que viabiliza o estabelecimento da associação *Ammonia tepida* e *Eggerella* spp..

Como um todo, os resultados apresentados podem servir como ferramenta de gestão ambiental e conduzir a um melhor monitoramento das características geoquímicas, sedimentológicas através do estudo dos foraminíferos bentônicos como indicadores da saúde ambiental do sistema estuarino lagunar de Suape.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA PERNAMBUCANA DE ÁGUAS E CLIMA. Bacias Hidrográficas: Bacia do Rio Ipojuca. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/pagina.php?page_id=5&subpage_id=17>. Acesso em: 03 dez. 2019.
- ALDAY, M.; CEARRETA, A.; FREITAS, M.C, ANDRADE, C. Modern and late Holocene foraminiferal record of restricted environmental conditions in the Albufeira Lagoon, SW Portugal. *Geologica Acta* , v. 11, n. 1, p.75 – 84, 2013.
- ALHEIROS, M.M.; LIMA FILHO, M.A. Formação Barreiras. Revisão geológica da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e Rio Grande do Norte. Recife: UFPE/ DEGEO, *Estudos Geológicos - série B, Estudos e Pesquisas*, v. 10, p. 77-88, 1991.
- ALMEIDA, C. B.; SÁ, E. F. J de; CRUZ, L. R.; NASCIMENTO, M. A. L. do N.; SILVA, F. C. A. de; ANTUNES, A. F.; FRUTUOSO Jr., L. J. F.; LIMA FILHO, M. F.; SOUZA, Z. S. de; GUEDES, I. M. G. A Suíte Magmática Ipojuca: Relações e implicações tectonoestratigráficas na sub-bacia de Pernambuco. In: *Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás*, 2, 2003. Rio de Janeiro. Anais..., 2003.
- ARAGÃO, J.O.R. *Fundamentos de meteorologia e relação oceano-atmosfera. Secretaria de Recursos Hídricos de Pernambuco*, 2000.
- ARAI, M. A Grande Elevação Eustática do Mioceno e Sua Influência na Origem do Grupo Barreiras. *Revista do Instituto de Geociências*, , v. 6, n. 2, p. 1-6, 2006.
- BARCELLOS, R. L.; SANTOS, L. D.; OLIVEIRA, T. R. S.; OLIVEIRA, T. S.; SILVA, J. C. A., 2018, Análise dos componentes da fração arenosa como indicadores ambientais no sistema costeiro associado ao Complexo Industrial-Portuário de Suape (PE), *Parcerias Estratégicas*, v. 23, p. 169-188, 2018.
- BARROS, L. C. *Estudos sedimentológicos, batimétricos e geoquímicos na região interna do Porto de Suape*. 186 f. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.
- BOLTOVSKOY, E. & TOTAH, V. 1985. Diversity, similarity and dominance in benthic foraminiferal fauna along one transect of the Argentine shelf. *Rev Micropaleont*, v. 28, n. 1, p. 23-31, 1985.
- CAMARGO, M. G. SYSGRAN 3.0: Análises e gráficos sedimentológicos. Open source under GNU license, 2005.
- CARVER, R.E. (ed.) *Procedures in Sedimentary Petrology*. Wiley Interscience, p. 49-69, 1971.
- CAVALCANTI, D. B. Estudo Fitossociológico da Área do Estuário do Rio Tatuoca. *Relatório*

Final, Ipojuca, PE, Brasil, 75 p, 2010.

COSTA, D. L.; SANTOS, A. S.; SILVA, A. F.; PADILHA, R. M.; NOGUEIRA, V. O.; WANDERLEI, E. B, BELANGER, D; GOMES, P. B.; PEREZ, C. D. Biological Impacts of the Port Complex of Suape on Benthic Reef Communities (Pernambuco–Brazil). *Journal of Coastal Research*, v. 30, n. 2, 2013.

CPRH, 1999. *Diagnóstico Socioambiental e Zoneamento Ecológico Econômico Costeiro do Litoral Sul de Pernambuco*. Recife, 1999.

_____, 2010. *Relatório de monitoramento da qualidade da água de bacias hidrográficas do estado de Pernambuco em 2009*. Recife, PE: CPRH, 96 p. 2010.

_____, 2001. *Diagnóstico sócio-ambiental do Litoral Sul de Pernambuco*. Disponível em: <http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/2diagnostico_ambiental.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2019.

_____, 2003. *Projeto Orla: Perfil Socioeconômico e Ambiental do Cabo de Santo Agostinho - PE*. 2003. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/pnma2/projeto-orla-cabo/3.2.2ecossistemas-relevantes.pdf>>. Acesso em: 02 out. 2019.

CPRM/FIDEM, 1998. *Sistema de Informações para gestão territorial da região metropolitana do Recife, Projeto SINGRE*. Hidrologia do Município de Ipojuca/Pernambuco. Série recursos hídricos. Vol. 3. 1998.

CPRM. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. *Projetos Técnicos*. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

CRUZ L. R.; LIMA FILHO, M. F.; NEUMANN, V. H. M.; JARDIM DE SÁ, E. F.; SILVA, F. C. A., FRUTUOSO JR.; L. J., NASCIMENTO, M. A. L.; GUEDES, I. M. G.; ANTUNES, A. F., ALMEIDA, C. B., MELO, K. J. V. As unidades siliciclásticas da sub-bacia de Pernambuco: uma revisão lito-estratigráfica. In: *Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás*, 2, 2003. Rio de Janeiro. Anais..., 2003.

CULVER, C. J. & BUZAS, M.A. The effects of anthropogenic habitat destruction and global warming on shallow marine benthic foraminifera. *Journal of Foraminifera Research*, v. 25, p. 204–211, 1995.

DAJOZ R. *Ecologia Geral*. 4ª ed. Petrópolis: Vozes, 472pp., 1983.

DALRYMPLE, R. W.; ZAITLIN, B. A.; BOYD, R. Estuarine facies models; conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Research*, v. 62, n. 6, p. 1130–1146, 1992.

DAVIS, H.C. Regional port impact studies: a critique and suggested methodology. *Transportation Journal*, v. 23, p. 61-71, 1983.

DEBENAY, J.P.; TSAKIRIDIS, E.; SOULARD, R.; GROSSEL, H. Factors determining the

distribution of foraminiferal assemblages in Port Joinville Harbor (Ile d'Yeu, France): the influence of pollution. *Marine Micropaleontology*, v. 43, p. 75–118, 2001.

DESALVO, J. Measuring the Direct Impacts of a Port. *Transportation Journal*, 33, p. 33-42, 1994.

DIZ, P.; FRANCES, G.; COSTAS, S.; SOUTO, C.; ALEJO, I. Distribution of benthic foraminifera in coarse sediments, Ria de Vigo, NW Iberian margin. *Journal of Foraminiferal Research*, v. 34, p. 258–275, 2004.

EICHLER, P. P. B.; BARCELLOS; SANTOS, L., VITAL, H., GOMES, M. P. Sediment Characteristics and Foraminiferal Assemblages in the nearshore benthos at Ponta Negra, RN, Brazil. *Journal of Foraminiferal Research*, v. 47, n. 3, p. 258–267, 2017.

ELLIS, B. F. & MESSINA, A. *Catalogue of Foraminifera*. New York, American Museum Natural History, p. 2115, 1940.

FATELA, F. & TABORDA, R. Confidence limits of species proportions in microfossil assemblages. *Marine Micropaleontology*, v. 45, p. 169-174, 2002.

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.

GUERRA, S. M. S. *Cartografia geológico-geotécnica de áreas costeiras: o exemplo de Suape-PE*. Rio Claro, 1998. Tese de doutorado, Universidade Estadual Paulista, 1998. 187 p.

HEDGES, J.I.; STERN, J.H. Carbon and nitrogen determinations in carbonate containing solids. *Limnology and Oceanography*, v. 29, n. 3, p. 657-663, 1984.

HORTON, B. P. & MURRAY, J. W. The roles of elevation and salinity as primary controls on living foraminiferal distributions: Cowpen Marsh, Tees Estuary, UK. *Marine Micropaleontology*, v. 63, p. 169-189, 2007.

KENNETT, J.P. 1966. Foraminiferal evidence of a shallow calcium carbonate solution boundary, Ross Sea, Antarctica. *Science*, v. 153, p. 191-193.

KOENING, M. L.; ESKINAZI-LEÇA, E.; NEUMANN-LEITÃO, S.; MACÊDO, S. J. Impactos da construção do porto de Suape sobre a comunidade fitoplanctônica no estuário do rio Ipojuca (PERNAMBUCO-Brasil). *Acta Botanica Brasilica*, v. 16, n. 4, p. 407-420, 2002.

KOENING, M. L.; ESKINAZI-LEÇA, E.; NEUMANN-LEITÃO, S.; MACÊDO, S. J. Impacts of the construction of the port of suape on Phytoplankton in the Ipojuca river (Pernambuco – Brazil). *Brazilian Archives of the biology in the technology*, v. 46, n. 1, p. 73-81, 2003.

KORNEEVA, G. A.; KHUSID, T. A.; KORSUN, S. A.; VINOGRADOVA, E. L. Ecological and Biochemical evaluation of the Environment of Modern Foraminifers of the White Sea. *Biology Bulletin*, v. 31, p. 285-290, 2004.

LARSONEUR, C., BOUYASSE, P., AUFRET, J.P. The Superficial Sediments of the English Channel and its Western Approach. *Sedimentology*. V. 29, p. 851-864, 1982.

LAVORANTE, B. R. B. O. *Aprimoramento de método com náuplios de Tisbe biminiensis (Copepoda: Hartacticoida) e sua utilização no estudo de Avaliação e Identificação da Toxicidade das águas do complexo estuarino de Suape*. Recife, 2014. Tese de doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, 2014. 160 p.

LIMA, M. M. R. B. F. *Evolução geoquímica ambiental e avaliação da qualidade dos sedimentos estuarinos do Rio Jaboatão, Pernambuco*. 2011. 120 f. Tese de Doutorado. Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2011.

LIMA FILHO, M. F. *Análise Estrutural e Estratigráfica da Bacia Pernambuco*. 1998. 139 f. Tese de Doutorado. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 1998.

LIRA L.; HAZIN F.H.; WOR C.; JUNIOR H.A. Estudo de correntes marinhas por meio do lançamento de cartões de deriva no litoral do estado de Pernambuco, Brasil. *Arquivos de ciências do mar*, v. 43, p. 30-37, 2010.

LOEBLICH, A., TAPPAN, H. *Foraminiferal genera and their classification*. New York: Van Nostrand Reinhold, 970 pp., 1988.

MILIANO, Marcos. Ilha de Tatuoca: aspectos da influência de Suape sob a vida e a paisagem. 2010. Monografia de Graduação. Graduação em Ciências Sociais, Universidade Federal de Pernambuco. 2010.

MAGNO, M. C.; BERGAMIN, L., FINOIA, M. G.; PIERFRANCESCHI, G.; VENTI, F., ROMANO, E. 2012. Correlation between textural characteristics of marine sediments and benthic foraminifera in highly anthropogenically-altered coastal areas. *Marine Geology*, v. 315–318, p.143–161, 2012.

MEDEIROS, M. C.; RAMALHO, A. M.; ALMEIDA, F.; CARVALHO, G.; SANTIAGO, L. Os impactos do Complexo Industrial Portuário de Suape – CIPS nos municípios do Cabo e Ipojuca. *Architecton - Revista de arquitetura e urbanismo*. v. 4, n. 7, p. 467-80, 2014.

MELO-FILHO, J. A. S. Caracterização da situação atual da área Programa Suape sob o ponto de vista da poluição ambiental. Recife, Instituto de desenvolvimento de Pernambuco, Comunicação Técnica, 1977, v.1, 15 p.

MOURA-FÉ, M. M. DE. Barreiras: Série, Grupo ou Formação. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.7, n.06, 2014.

MURRAY, J.W. 1989. Syndepositional dissolution of calcareous foraminifera in modern shallow-water sediments. *Marine Micropaleontology*, v.15 n.1-2, p. 117-121.

MURRAY, J. W. *Ecology and applications of benthic Foraminifera*. Cambridge: Cambridge University Press, 426 pp, 2006.

NEUMANN-LEITAO, S.; KOENING, M. L.; MACEDO, S. J.; MEDEIROS, C.; MUNIZ, K.; FEITOSA, F. A. N. Plankton disturbance at Suape estuarine area - Pernambuco - Brazil after a port complex implantation. *Transactions on Ecology and the Environment*, v. 27, p. 1-10, 1999.

NEUMANN, V. H.; MEDEIROS, C.; PARENTE, L.; NEUMANN-LEITÃO, S.; KOENING, M. L. Hydrodynamism, sedimentology, geomorphology and plankton changes at Suape área (Pernambuco – Brazil) after a port complex implantation. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 70, n. 2, p. 313-323, 1998.

OLIVEIRA, T. DE S. 2019. Sedimentação Holocênica na Região de Influência do Complexo Industrial Portuário de Suape (PE). 79 f. Tese de doutorado. Pós-graduação em Geociências, Recife, 2019.

PERILLO, G. M. Definitions and geomorphologic classifications of estuaries. In: *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. Developments in Sedimentology. New York: Elsevier, 1995. p. 17–47.

PESSOA, V. T.; NEUMANN-LEITÃO, S.; GUSMÃO, L. M. O.; SILVA, A. P. PORTO-NETO, F. F. Comunidade zooplancônica na Baía de Suape e nos Estuários dos rios Tatuoca e Massangana, Pernambuco (Brasil). *Rev. Bras. Enga. Pesca* v. 4, n. 1, p. 80-94, 2009.

REDDY, B. C. S.; JAYARAJU, N.; SREENIVASULU, G.; SURESH, J.; REDDY, A. N. Heavy metal pollution monitoring with foraminifera in the estuaries of Nellore coast, East coast of India. *Marine Pollution Bulletin*, v. 113, p. 542-551, 2016.

SANTOS, M. A. & COSTA, W. D. Complexo industrial de Suape; estudo hidrogeológico preliminar. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, Maceió, 1974. *Anais do...* p. 49-69, 1974.

SANTOS, J. de O. Sustentabilidade na Baía de Suape: entre o Complexo Industrial Portuário de Suape e a Festa da Ouriçada. 130f. Dissertação de Mestrado. Programa Regional de Desenvolvimento e Meio Ambiente. João Pessoa, 2013.

SCHÖNFELD, J., ALVE, E., GESLIN, E. et al. 2012. The FOBIMO (FOraminiferal BIO-Monitoring) initiative – Towards a standardised protocol for soft-bottom benthic foraminiferal monitoring studies. *Marine Micropaleontology*, v. 94-95: 1–13.

SCHUBEL, J. R. & CARTER, H. H. The estuary as a filter for fine-grained suspended sediment. In: KENNEDY, V. S. (Ed.). *The estuary as a filter*. Academic Press Ltd, 81–105 p., 1984.

SGARRELLA, F. & MONCHARMONT-ZEI, M. Benthic Foraminifera of the Gulf of Naples (Italy): systematics and autoecology. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, n. 32, v. 2, p. 145–264, 1993.

SHEPARD, F. P. Nomenclature Based on Sand, Silt, Clay Ratios. *Journal Sedimentary*

Petrology, v. 24, p. 151-158, 1954.

SKOOG, D. A.; HOLLER, F. J.; NIEMAN, T. A. *Princípios de Análise Instrumental*. 5a ed. Porto Alegre: Bookman, 2009.

SILVEIRA, K. A. Conflitos socioambientais e participação social no Complexo Industrial Portuário de Suape, Pernambuco. (Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Programa de Desenvolvimento e Meio Ambiente). 2010.

SUAPE, 2018. Índice de Desempenho Ambiental (ANTAQ) disponível em:< <http://www.suape.pe.gov.br/pt/meio-ambiente/gestao-ambiental/ida-indice-de-desempenho-ambiental-antaq>> Acesso em: 15 jun. 2018.

SUGUIO, K. *Introdução à Sedimentologia*. São Paulo:Edgard Blücher/EDUSP. p. 317. 1973.

SUGUIO, K. *Rochas sedimentares*. São Paulo: Edgard Blücher/EDUSP, 499 p., 1980.

TEIXEIRA, M. C. S. T. *Análise comparativa socioambiental dos portos de tipologia midas: estudo de caso dos complexos portuários de Suape/PE e Doaçu/RJ*. 2015. 103f. Dissertação (Mestrado em engenharia ambiental), Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, 2015.

TOLOSA, I. FIORINI, S.; GASSER, B.; MARTÍN, J.; MIQUEL, J.C. Carbon sources in suspended particles and surface sediments from the Beaufort Sea revealed by molecular lipid biomarkers and compound-specific isotope analysis. *Biogeosciences*, v. 10, n. 3, p. 2061–2087, 2013.

TOMÉ, M. E. T. R; LIMA FILHO, M. F. de; NEUMANN, V. H. de M. L. Análise estratigráfica do Albiano-Turoniano da Bacia de Pernambuco: Considerações sobre a paleogeografia e geração de hidrocarbonetos. UNESP Universidade Estadual de São Paulo, Geociências, v. 25, n. 1, 2006.

TORRES, F.T.P.; MACHADO, P. J. O. *Introdução à Climatologia*. Cengage Learning. São Paulo, p. 256, 2011.

VERONEZ, P.; BASTOS, A. C.; QUARESMA, V. S. Morfologia e distribuição sedimentar em um sistema estuarino tropical: Baía de Vitória, ES. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 27, n. 4, p. 609–624, 2009.

VILELA, C. G.; BATISTA, D. S.; NETO, J. A. B.; GHISELLI JR, R. O. 2011. Benthic foraminifera distribution in a tourist lagoon in Rio de Janeiro, Brazil: a response to anthropogenic impacts. *Marine Pollution Bulletin*, v. 62, n. 10, p. 2055–2074, 2011.

YOCHUM, G. & AGARWAL, V. Static and changing port economic impacts", *Maritime Policy and Management*, v.15, n. 2, p. 157-171, 1988.